

# GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



## A FELSŐOKTATÁS MINŐSÉGÉNEK JAVÍTÁSA KIVÁLÓSÁGI KÖZPONTOK FEJLESZTÉSÉRE ALAPOZVA A MISKOLCI EGYETEM STRATÉGIAI KUTATÁSI TERÜLETEIN

Az Európai Unió és a Magyar Állam által nyújtott támogatás összege:

**2 033 092 007 FT**

Kivitelezés ideje: 2011. 03. 01. – 2013. 02. 28.  
Kedvezményezett: Miskolci Egyetem

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
[www.ujsechenyiterv.gov.hu](http://www.ujsechenyiterv.gov.hu)  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával,  
az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



## Innovatív anyagtechnológiák

A tudományos műhely vezetője: **Dr. Tisza Miklós**  
e-mail: [tisza.miklos@uni-miskolc.hu](mailto:tisza.miklos@uni-miskolc.hu)  
tel: +3646 565 164

Az Innovatív anyagtechnológiák tudományos műhelyben folyó kutatások fő célkitűzései röviden az alábbiakban foglalhatók össze.

1. Hegesztés
  - a. korszerű technológiával gyártott, nagyszilárdságú acélok, valamint alakítható és hegeszhető szerkezeti fémek anyagok és ötvözetek, valamint hidegalakítás után újrakristályosított és különféle alakítási mértékkel megmunkált finomlemez hegeszhetőségi vizsgálata,
  - b. szakaszos energia-bevitel technológia jellemzőinek vizsgálata, ömlesztő hegesztési és ellenállás ponthegesztési kísérletek végzése szakaszos energia-bevitellel alakított és különféle alakítást elszenvedett finomlemezeken. A technológia optimalizálása a legfontosabb céljellezők figyelembevételével;
  - c. számítógéppel segített hegesztési technológia tervezés alkalmazása különféle eljárásokhoz, hegesztő eljárások kapcsolt termikus és mechanikai folyamatainak elemzése a SysWeld végelemes program rendszerrel.
2. Hő- és felületkezelés
  - a. a termokémiai felületkezelési kutatás-fejlesztésével kapcsolatosan a stratégia irányvonalak, irányelvek kidolgozása a régió értetett gazdasági szereplőivel és azok szervezeteivel (kamara, klaszterek) együttműködve;
  - b. kísérleti program kidolgozása és megvalósítása hagyományos és a korszerű, továbbfejlesztett termokémiai eljárások összehasonlító elemzésére
3. Képlékenyalakítás
  - a. alakíthatósági elemzések különös tekintettel a korszerű nagyszilárdságú acélok, Al-ötvözetek és egyes nehezen alakítható fémek vonatkozásában;
  - b. az állapotnyenzők (feszültségi állapot, hőmérséklet és alakváltozási sebesség) hatását hasznosító képlékeny alakító eljárások, valamint a gyors prototípusgyártás és az egyedi, illetve kis sorozatgyártás eljárásainak vizsgálata, fejlesztése;
  - c. számítógépes technológiai és szerszámtervezési módszerek kidolgozása, alakító technológiák és szerszámok végelemes modellezése.



CNC vezérlésű láng- és plazmavágó berendezés



MTS 810 típusú elektrohidraulikus anyagvizsgálógép



Optikai alakváltozás mérő rendszerrel felszerelt komplex lemezvizsgáló berendezés

## Befejező precíziós megmunkálások kutatása

A tudományos műhely vezetője: **Dr. Kundrák János**  
e-mail: [janos.kundrak@uni-miskolc.hu](mailto:janos.kundrak@uni-miskolc.hu)  
tel: +36 46 565 160

Az Innovatív anyagtechnológiák tudományos műhelyben folyó kutatások fő célkitűzései röviden az alábbiakban foglalhatók össze.

1. Határozott és határozatlan élű szuperkemény szerszámokkal végzett precíziós forgácsoló megmunkálások vizsgálata.
2. Különböző anyagminőségek forgácsolhatóságának elméleti és kísérleti vizsgálata.
3. Különböző élyanyagú forgácsolószerszámok kopásának elméleti és kísérleti vizsgálata. A szerszámkopás és éltartam modellezése. Éltartamösszefüggések megadása.
4. Elméleti érdesség meghatározása különböző egy és többéli szerszámokkal forgácsolt felületekre. Algoritmus és szoftver kidolgozása a forgácsolt felület érdességének tervezésére az érdességi mérőszámok elméleti értékei alapján.
5. Határozott élű és abrazív szerszámokkal megmunkált felületek pontosságának és felületminőségének vizsgálata. Összehasonlító elemzések végzése, eljárásválasztás szempontjainak megadása és ajánlatok kidolgozása.
6. Kísérletek végzése a forgácsolási adatok optimális értékének meghatározására, a befűző megmunkálási eljárások összehasonlítására és kiválasztására.
7. A hűtés-kenés csökkentésének, ill. elmaradásának hatása a forgácsolás folyamatjellemzőire (forgácsolóerő, kontakthőmérséklet, szerszámkopás, rezgés és szerszáméltartam), a felületminőségére, a hőmérsékleti tényezőkre.



EMAG megmunkáló központ



Talyron 365 típusú alak- és helyzethiba vizsgáló berendezés

## 3. TM Gépészeti és alternatív üzem-anyag kutatások energetikai mérő-cella, szélcsatorna és numerikus szimuláció együttes alkalmazásával.

A tudományos műhely vezetője:

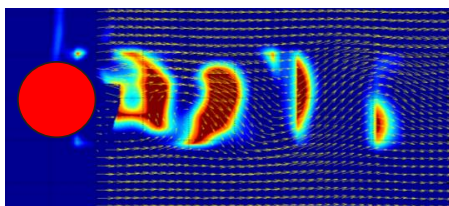
**Dr. Szabó Szilárd**

e-mail: [aram2xsz@uni-miskolc.hu](mailto:aram2xsz@uni-miskolc.hu)

tel: +3646 565 111, 1260 m.

A tudományos műhelyben öt kutatás-fejlesztési téma szerepel, ezek:

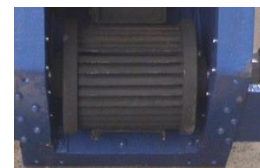
1. K+F: Fűtött vagy gyorsuló mozgást végző henger vizsgálata szélcsatornában és numerikus szimulációval. Alapvető kutatási téma, amelynek gyakorlati haszna áramlásba helyezett körszelvényű gépészeti berendezések rezgésanalízisének, illetve hőátadási tulajdonságainál van szerepe.



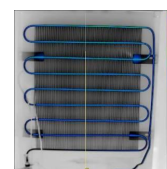
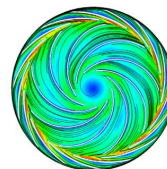
2. K+F: Belső- és külsőégésű motorokkal kapcsolatos mérések és numerikus vizsgálatok. Stirling motorokkal és hagyományos belső égésű motorokkal kapcsolatos gépészeti, hőtani és üzemanyag-vizsgálatok.



3. K+F: Energetikai gépek és rendszerek vizsgálata. Áramlás- és hőtechnikai gépek és azokból álló rendszerekkel, pl. szél- és vízturbinákkal kapcsolatos elméleti és laboratóriumi elemzések.



4. K+F: Forgó áramlástechnikai gépekben kialakuló áramlás vizsgálata. Forgó áramlástechnikai gépekben kialakuló áramlás finomsztruktúrájának és globális jellemzőinek meghatározása laboratóriumi mérés és numerikus szimuláció együttes alkalmazásával.



5. K+F: Műszaki hőátviteli és energetikai folyamatok vizsgálata. Hőjelenséggel kíséret energetikai folyamatokra vonatkozó elemzések, mint például LED-ek által termelt hő, vagy hűtőszekrény technikai körfolyamatában szereplő szerkezeti elemek hőtani számítási módszereinek kidolgozása.

# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

műszaki, vállalkozási, befektetési, értékesítési, kutatás-fejlesztési, piaci információs folyóirata

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

**elnök**

Vesza József

**főszerkesztő**

Dr. Jármai Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**főszerkesztő-helyettesek**

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kulcsár Béla

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Rittinger János

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

### TISZTELT OLVASÓ!

Lassan a végéhez közeledik a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt, melynek keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósultak meg azok a kutatások, melyek a 4-es Kiválósági Központ keretében *Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák* címmel folytak a Miskolci Egyetemen. A központ célja a kutatási potenciál fejlesztése olyan kutatásokkal, amelyek innovatív modellezést, tervezést és technológiai folyamatokat valósítanak meg. Ez összhangban van az Európai Unió azon törekvésével, amely az innováció serkentésére, a leghatékonyabb környezetbarát technológiák alkalmazására, fejlesztésére irányul.

A Kiválósági Központ hét tudományos műhelyre tagozódik, melyek egy-egy tanszék köré szerveződnek. Ezek a következők: Mechanikai Technológiák, Gépjártástechnológiák, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek, Vegyipari Gépek, Mechanikai, Gép- és Terméktervezési, valamint az Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék. Az itt dolgozó oktatók BSc, MSc és doktorandusz hallgatókat is bevontak a kutatásokba, amelyek így jó lehetőséget biztosítottak arra, hogy a fiatalok megismerkedjenek a tudományos munkával. A közel két éve működő központ programjához kapcsolódva nem egy hallgató nyújtott már kiemelkedő teljesítményt, illetve készített színvonalas TDK dolgozatot, PhD értekezést.

Az egyes tudományos műhelyek témái nagyon sokrétűek, interdiszciplináris jellegűek, sokszor még egy adott témán belül is. A tervezés témakörében olyan tervezési, modellező eljárásokat fejlesztettek ki, amelyek hatékonyabban és megbízhatóbban modellezik a szerkezeteket és jelenségeket, jobb tervezési megoldásokat adnak. Foglalkoztak szerkezetek és rendszerek optimális méretezésével. Vizsgálták a termékéletpályát, a műszaki rendszerek hajtáslánc felépítését, a környezettudatos elvekhez és az alternatív üzemanyag használatához is kapcsolódó kutatások, valamint áramlás és hőtechnikai laboratóriumi és numerikus modellezéshez is számos kutatás kötődött. A gépészeti technológiák területén a környezetbarát, szerves vegyipari, illetve a folyamatos technológiák vizsgálata és energiaraionalizálás történt. Jelentősek a professzionális mechanikai anyagvizsgálatok, valamint a számítógéppel segített technológiai folyamat-tervezés és modellezés, valamint a befejező precíziós megmunkálások, és a nagyszilárdságú acélok hegesztése területén elért eredmények is.

Felvetődik az, hogy hol jelennek meg az eredmények, az eddigi eredmények alkalmazása hol történhet? A Tudományos Műhelyeken belül működő húsz K+F téma nagyon szerteágazó. Néhány közülük az alapkutatásokhoz közelít, míg mások inkább a gyakorlatban alkalmazhatók, egyesek már most látványos eredményt hoztak, mások távlati eredményekkel kecsegtetnek. Annak érdekében, hogy ezeket az eredményeket a szakmai közönség is megismerhesse, a műhely kutatói jelentős számú publikációt készítettek el és jelentettek meg hazai és külföldi konferenciákon, hazai és külföldi szakmai folyóiratokban. Természetesen az oktatásba is beépítésre kerülnek az eredmények. Ez a cikkgyűjtemény is ezt a célt szolgálja, bemutatva a Kiválósági Központ Tudományos Műhelyeinek legújabb tudományos eredményeit.

*Prof. Dr. Jármai Károly  
egyetemi tanár, a Kiválósági Központ vezetője*

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Telefon/fax: +36-46/379-530, +36-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1027 Budapest, Fő u. 68. Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.

Telefon: 202-0656, fax: 202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gte.mtesz.hu

A GÉP folyóirat internetcíme: <http://www.gepujsag.hu>

Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Tel.: (46) 379-530, e-mail: gazdasz@chello.hu.

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Rt. Hírlap Üzletága 1008 Budapest, Orczy tér 1.

Előfizethető valamennyi postán, kézbesítőknél, e-mailen: [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu), faxon: 303-3440. További információ: 06 80/444-444

Egy szám ára: 1260 Ft. Dupla szám ára: 2520 Ft.

Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat,  
H-1389 Budapest, Pf. 149. és a Magyar Média, H-1392 Budapest, Pf. 272.

Előfizethető még közvetlenül a szerkesztőségben is.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**A megjelent cikkek lektoráltak.**

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

# TARTALOM

Kocsisné B. M., Frigyk G., Kuzsella L., Kuzsella Lné Kocsik Zs., Szilágyiné Bíró A., Kerekes G.

- 1. Trendek és tervek a hő- és felületkezelés területén..... 3**  
A Miskolci Egyetem TÁMOP projektjének Innovatív anyagtechnológiák c. Tudományos Műhelye keretében megvalósuló Hőkezelés és Felületkezelési K+F téma sokoldalú kutatás-fejlesztési programjáról adnak e cikkben rövid áttekintést. E projekt eredményei, infrastruktúra- és humán erőforrás fejlesztése alapul szolgált egy újabb TÁMOP-projektben a Hőkezelési tématerület kutatásfejlesztési koncepciójának kidolgozásához, és megteremtette a feltételeit nemzetközi együttműködések bővítésének.

Prém L., Balogh A.

- 2. Autóipari lágyacél vékonylemezek ellenállás-ponthegesztése különböző energiabeviteli módokkal ..... 7**  
Az alakítható lágyacél vékonylemezek általában jól ponthegeszthetők, a hegeszthetőség a hidegalakítás hatására az alakítás mértékével arányosan romlik. A hidegalakítás hatására a kötések nyíró-szakító ereje növekszik. A növekedés mértéke elmarad az alapanyag szilárdságnövekedésének mértékétől és erősen függ a hegesztési beállításoktól. A(z) (extra) kemény munkarenddel történő ponthegesztés során tapasztalható kilágyulás mértéke kisebb, mint lágy munkarend esetében.

Tisza M., Gál G., Kiss A., Kovács P., Lukács Sz.

- 3. Számítógépes mérnöki módszerek a képlékenyalakításban..... 11**  
A TÁMOP projekt keretében a 4. Kiválósági Központ 1. Tudományos Műhelyének témája az Innovatív anyagtechnológiák. E Tudományos Műhely egy önálló K+F témája a Számítógépes technológiai tervezés és modellezés. Ebben a cikkben a számítógépes mérnöki módszereknek a képlékenyalakítás területén való alkalmazásában a projekt eddigi futamideje alatt elért eredményekről számoltunk be röviden.

Pálmai Z.

- 4. Az acél nagy gyors deformációjánál fellépő anomália dinamikai vizsgálata ... 15**  
Az acélok feldolgozásának egyik leggyakoribb technológiájánál, a forgácsolásnál esetenként egy deformációs anomália következtében anyag rakódik a szerszám élére, élsisak (built-up edge: bue) képződik. Ez a periodikusan kialakuló képződmény átveszi a szerszám élének a szerepét, így befolyásolja a leválasztott réteg vastagságát. A forgácsoláshoz korábban kidolgozott matematikai modell továbbfejlesztésével az időben változó vastagságú réteg forgácsolását leíró matematika modellt dolgoztunk ki. Az egyik adag forgácsolhatóságát kísérleti jelleggel Pb+Te ötvözzel javítottuk, így az élsisakképződés elkerülhető volt.

Pálmai Z., Szűcs J.

- 5. A forgácsolószerszám élettartamának meghatározása munkadarab méretellenőrzéssel sorozatgyártásnál..... 19**  
Revolver-automatán célzott alkatrészgyártási kísérleteket végeztünk olyan alkatrész külső hengeres felületének esztergálásával, amelyet e célra terveztünk meg. A szerzőgépjel és szerszám bemelegedési szakaszát kizártuk a vizsgálatból, a forgácsolás közben hirtelen keresztmetszet-változás következtében a rugalmas megmunkáló rendszer mérettorzító hatását vizsgáltuk, és kompenzáltuk. A legyártott munkadarabok méreteltérését a szerszám csúcskopására átszámítva meghatároztuk a kopás-görbét, amelyet egy kopásgyenllettel modelleztünk. Az eredmény összhangban volt a kontrollként mért maximális hátkopással. A módszer alkalmasnak bizonyult arra is, hogy felhasználásával az alkatrész anyagának forgácsolhatóságát minősítsük.

Szabó O.

- 6. Anyagleválasztási folyamat vizsgálata dörzsköszörülésnél..... 23**  
A dörzsköszörülés fajlagos anyagleválasztási sebessége több módon növelhető. Ez által nő a gazdaságosan leválasztható ráhagyás értéke is. A szuperkemény szemcseanyagú, nagyobb szemcseméretű szerszámok jelentős termelékenység- és pontosság növekedést biztosítanak a hagyományos szemcseanyagú szerszámokhoz képest. Nagy a szerszámok élettartama és stabilitása. Sorozat- és tömeggyártásban alkalmazásuk gazdaságos. További fajlagos anyagleválasztási sebesség emelkedés a forgácsolási sebesség és szerszámnyomás növelésével valósul meg. Célszerű kétfokozatú dörzsköszörülés alkalmazása.

Hajdú S., Czibere T., Kalmár L.

- 7. Bánki-turbina járókerekeiben történő áramlás vizsgálata ..... 27**  
A cikk első felében a kétszeres átomlési akciós járókerekek kialakuló áramlás egydimenziós közelítését tárgyalja. Az áramvonal számítására és ábrázolására kidolgozott numerikus eljárás alkalmazásával készült ábrákon jól követhető a különböző lapáthozsok és üzemműhelyek mellett az áramlás középvonala helyzetének az alakulása és elemezhető a kilépés perdületessége. A cikk második része numerikus módszerrel ismerteti a körrács egyenes rácsra történő leképezését, amellyel egyrészt a fent említett alapadatok ismeretében felrajzolható a körrács lapátja, másrészt a kétszeres átomlési sajátosságainak a figyelembevételével felrajzolható a lapát egyenes rácsbeli konform képe is mind a centripetális, mind a centrifugális átomlési esetében.

Kalmár L., Hellmann R., Régeri T., Vigh V.

- 8. Új led modul által keltett hőátviteli folyamat vizsgálata ..... 31**  
Az elvégzett mérések és szimulációk összehasonlításával számos anyagjellemzőre és paraméterre fényt derült, mely további szimulációkat tesz lehetővé, ezzel hozzájárulva a nagyteljesítményű berendezések hűtőrendszereinek jobb tervezéséhez és fejlesztéséhez, melynek során a hangsúly a mérésről a szimulációra tolódik, ezáltal jelentős időbeli és anyagi megtakarításokat eredményezve.

Nagy J., Tolvaj B., Szabó Sz.

- 9. Palástkondenzátorok osztásának hatása a hűtőkészülékek energiafogyasztására..... 35**  
Hűtőbűtorok esetén újabbban gyakran alkalmazzák az úgynevezett palástkondenzátorokat. A cikk a hővezetés differenciálegyenletéből kiindulva arra keresi a választ, hogy van-e a palásthoz erősített kondenzátorcsövek osztásúrszerűségének olyan optimuma, amely a minimális energiafelhasználáshoz tartozik.

Döbröczi Á.

- 10. A műszaki termékek fejlesztésének néhány kérdése ..... 39**  
A gépek, mint rendszer és ezek alkatrészei fejlődése, egy összetett tevékenység. Ez a cikk néhány eredményt mutat be elsődlegesen a bolygókerékes hajtóművek, az öko-design, a természetes analógiák és optimális területén.

Kamondi L.

- 11. Hajtásláncok fogazott elemeinek kutatása és fejlesztése ..... 43**  
Az elmúlt évtizedekben a fogazott elempárok ismét bebizonyították, hogy változatlanul jelentős szerepet játszanak az erőátvitelben. Funkciói: a mozgás pontos átalakítása, a legnagyobb terhelhetőség a legkisebb méretek esetén, a környezetnek való megfelelés. A tanulmány a geometriai, dinamikai és akusztikai eredményeket mutatja be tengelykapcsoló, szabad futású kuplung és fogaskerékpar esetén.

Farkas J.

- 12. Hegesztett t-bordák alkalmazása négy sarkukon támasztott cellalemezek minimális költségre való méretezéséhez..... 47**  
Az optimális méretek különböznek a minimális térfogat illetve a minimális költség esetén. Ennek a magas gyártási költségek az okai. A hegesztett T-bordás cellalemez gazdaságosabb, mint a félbevágott hengerelt I-bordás, mert térfogata 31%-kal kisebb és költsége 12%-kal kisebb. A csökkenést az okozza, hogy hegesztett lemezbordák esetén sokkal kisebb lehet a bordák gerinclemezhosszúsága.

Kovács Gy.

- 13. Szálerősítéses műanyag kompozittal erősített acélszerkezetek ..... 51**  
A kompozitok egy újabb felhasználási köre a már meglévő vasbeton, fém vagy fa szerkezetek utólagos megerősítése. A dolgozat bemutatja az acélszerkezetek utólagos külső megerősítésére alkalmas FRP erősítési rendszerek típusait, valamint a főbb tervezési alapelveket. Továbbá kiemeli ezen erősítési technika előnyeit, alkalmazási körét. Végül egyszerű példákon keresztül bemutatja az FRP erősítéses szerkezeti elemek lehetséges tönkremeneteli módjait.

Marcus Gábor Z.

- 14. Web alkalmazás fejlesztése JavaFX környezetben optimálási problémák megoldására..... 55**  
A cikkben a heurisztikus optimáló algoritmusok működését, és a használatukban rejlő sokszínű lehetőségek vizsgálata történt. A nagy bonyolultságú, hagyományos eszközökkel megoldhatatlannak tűnő számítási feladatok elvégzése az a probléma-kör, ahol a metaheurisztikus optimáló algoritmusok a leginkább erősek. Cél, hogy tovább bővítsük a web alkalmazásba épített algoritmusok számát, valamint olyan új gyakorlati példákkal szemléltessük működésüket, mint az utazó ügynök probléma megoldása, különböző szerkezetoptimalizálási, logisztikai, operációkutatási feladatok. A web alkalmazás a <http://users.iit.uni-miskolc.hu/~marcsak/> címen érhető el.

Virág Z., Jármai K.

- 15. Szabványos kör keresztmetszetű többlettámaszú tartók optimális méretezése. 59**  
Kör keresztmetszetű többlettámaszú tartók méretezésében a feszültségi feltétel, a stabilitási feltétel és a lehajlási feltétel játszat jelentősebb szerepet. Csőszerkezeteknél úgy juthatunk el a lehető legkisebb folyóméter tömegekhez, hogy a felteteleket figyelve csökkentjük a külső átmérőket és a hozzájuk tartozó falvastagságokat. Nagy külső átmérők esetén a falvastagság csökkentésének stabilitási feltétel szab határt, míg kisebb külső átmérők esetén pedig a feszültségi feltétel válik aktívává, így szabva határt a tömeg csökkentésének. A számított eredmények e szerkezet optimális tervezésénél is megmutatják, hogy bizonyos méret csökkentés már nem hoz további vég-eredmény javulást. Ezért ebben az esetben is igazolható az optimális méretezés létjogosultsága és fontossága.

Bokros I., Siménfalvi Z., Szepesi G., Venczel G.

- 16. Keverős reaktorok vizsgálata..... 63**  
Cikkünkben bemutatásra került, hogy egy keverős készülékbe helyezett hőcserélő szerkezet milyen hatással van az eredeti keverési állapotra. Vizsgáltuk továbbá a hőátadási tényező értékeinek és a keveréshez szükséges teljesítménynek a változását. Bemutattuk a kisminta kísérletek és a számítógépes szimulációk eredményeit, majd adaptáltuk azokat az ipari méretű berendezésre.

Mannheim V.

- 17. Vegyipari környezetvédelmi kutatások a Miskolci Egyetemen..... 67**  
A vegyipari környezetvédelem területén működő kutatócsoport eredményei várhatóan nagymértékben hozzájárulnak a rendelkezésre álló vegyipari technológiák környezetvédelmi innovációjához, amely által a vállalatok versenyképessége, környezeti menedzsmentje és környezeti vállalati stratégiája fejleszthető. A kutatási eredmények a vegyipari teljesebb elkötelezettségét jelenthetik az egészség és a környezetvédelem mellett, amelynek hasznélvezői elsősorban az európai polgárok, a vegyipar, a mezőgazdaság (elsősorban a környezetbarát növényvédő szerek és segédanyagok alkalmazása által), a közlekedés és a kereskedelem. További hasznélvezők azok a hatóságok, szolgáltatók, ipari vállalkozások, területek, amelyeket a vegyiparba integrált környezetvédelem és a környezetvédelmi jogszabályok által diktált kötelezettségek érintenek.

Szamosi Z., Siménfalvi Z.

- 18. Mezőgazdasági hulladékok pörkölésére alkalmas berendezések és azok üzemi paraméterei ..... 71**  
A cikkben igyekeztünk összegyűjteni azokat a berendezéseket melyek szóba jöhetnek a kísérleti berendezés megépítéséhez. A fent felsorolt gépek, illetve technológiák közül kell egy optimális üzemi feltételekkel rendelkezőt választani. Gazdasági szempontokat is figyelembe véve, illetve elvi lehetőséget kell biztosítani egy olyan berendezésre melyet ipari méretűre, lehet nagytitani.

# TRENDEK ÉS TERVEK A HŐ- ÉS FELÜLETKEZELÉS TERÜLETÉN

## TRENDS AND PLANS IN HEAT TREATMENT AND SURFACE ENGINEERING

*Kocsisné Dr. Baán Mária<sup>1</sup>, Dr. Frigyik Gábor<sup>1</sup>, Dr. Kuzsella László<sup>2</sup>,  
Dr. Kuzsella Lászlóné Koncsik Zsuzsanna<sup>3</sup>, Szilágyiné Bíró Andrea<sup>3</sup>, Kerekes Gábor<sup>4</sup>*

### ABSTRACT

*Co-financed by the European Social Fund and implemented in the framework of the Hungarian 'Social Renewal Operational Programme' (Társadalmi Megújulás Operatív Program, TÁMOP) the project, titled as „Improving the quality of higher education based on the works of Centres of Excellence on the strategic research fields of the University of Miskolc” was launched for creating special scientific schools in different engineering topics. One of such is focused on “Innovative materials processing”, including four R&D groups: three groups are dedicated for various technological processes like welding, heat-treatment and metal forming, while the fourth group focuses on computer aided design and modelling in materials processing technologies. In this paper the research work done in Heat Treatment and Surface Engineering R & D group will be overviewed.*

### 1. ELŐZMÉNYEK

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Mechanikai Technológiai Tanszékén a hő- és felületkezelés, azon belül is a termokémiai kezelések szakterülete évtizedek óta meghatározó jelentőségű kutatás-fejlesztési és oktatási terület. Az elmúlt évek azonban jelentős változásokat és számos nehézséget hoztak: újra kell gondolnunk szakterületünk helyzetét, lehetőségeit az oktatás és a kutatás-fejlesztés egymásra épülő rendszerében, meg kell felelnünk a nemzedékváltás és a technológiai generációváltás kihívásainak. Egy kivételesen nehéz gazdasági helyzetben életben kell tartani és tovább kell fejleszteni ipari kapcsolatainkat, s alkalmassá kell válnunk a nemzetközi szakmai vérkeringésbe való aktívabb bekapcsolódásra.

E publikáció keretében annak az alig több, mint két éve megkezdett folyamatnak az összegzését mutatjuk be, mely a tanszék múltbeli értékeinek megőrzésén alapulva, a jelen pályázati támogatási és együttműködési lehetőségeit maximális hatékonysággal hasznosítva jövőt épít a nemzetközi versenyképesség irányába.

<sup>1</sup>egyetemi docens, <sup>2</sup>egyetemi adjunktus,

<sup>3</sup>egyetemi tanársegéd, <sup>4</sup>mérnök-tanár

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

### 1.1. Helyzetelemzés, szakirodalmi áttekintés

Feladattervünkben elsőként egy, a hőkezelés helyzetét, és azon belül a Tanszék szerepét és lehetőségeit sokoldalúan bemutató tanulmányt készítettünk, amely az alábbi főbb fejezeteket tekintette át:

- A hőkezelés és a műszaki felülettechnológiák jelentősége, definíciója, a technológiai eljárások kategorizálása
- Nemzetközi trendek a hő- és felületkezelésben, nemzetközi szervezetek (IOM3, IFHTSE) tanulmányai és előrejelzései,
- Hazai helyzetkép – szakmai szervezetek, rendezvények, konferenciák, on-line információforrások
- Regionális helyzetkép – ipari kapcsolatok, regionális igények, klaszterek
- Egyetemi, tanszéki helyzetkép, előzmények - ipari megbízások, publikációk, diplomatervek, stb.
- Erőforrások, adottságok a Mechanikai Technológiai Tanszéken – a Hő- és felületkezelési Szakcsoport erőforrásai, együttműködés a Tanszék többi szakcsoportjával, technológiai (műhelycsarnok) és a felületvizsgálati infrastruktúra,
- Kapcsolati tőke - Nemzetközi oktatásfejlesztési projektek
- Fejlesztési lehetőségek és tervek – infrastruktúra-fejlesztés, nemzetközi kutatási és oktatási együttműködés lehetőségei

A helyzetelemző tanulmány munkaanyagát néhány meghatározó jelentőségű ipari partnerrel egy szakmai nap keretében vitattuk meg.

A stratégiai tervezés megalapozását szolgáló helyzet-elemzés másik fő vonulata a szakirodalom áttekintése volt. Mindenekelőtt a legfrissebb, idegen nyelvű szakirodalomban a termokémiai kezelések terén a közelmúltban publikált kutatási eredményeket kívántuk összegyűjteni és rendszerezni. Szakirodalmi adatbázisunkat annak az elektronikus tanulási felületnek a keretében hoztuk létre, melyet az oktatás hatékonyabbá, korszerűbbé és gyakorlat-orientáltabbá tétele érdekében Tanszékünk számos tantárgyának oktatásában alkalmazunk.

On-line adatbázisunk így gyors és sokoldalú kereshetőséget, digitális elérhetőséget biztosít a szakcsoport tématerületével foglalkozó oktatók, kutatók és hallgatók számára. Hallgatóink féléves feladatok, TDK munkák és komplex feladatok, továbbá szakmai gyakorlatok, szakdolgozatok és diplomatervezési feladatok keretében folyamatosan hozzájárulnak a szakmai tudástár, az on-line szakirodalmi adatbázis bővítéséhez. Az elektronikus tanulási környezet sokoldalú funkcionalitásának köszönhetően lehetőség van arra, hogy a hallgatók munkájának eredményességét értékeljük, illetve, hogy a hallgatók megjegyzéseket, értékeléseket írassanak a cikkekhez, vagy akár azok részleges vagy teljes fordítását is csatolhassák az egyes publikációkhoz.

### 1.2. Infrastruktúra, erőforrások

A műszaki felülettudomány komplex szemléletmódú megközelítése, és ehhez kapcsolódóan a felületvizsgálati módszerek fejlesztése a Mechanikai Technológiai Tanszéken a 90-es évek közepén, egy EU támogatású TEMPUS projekt keretében vette kezdetét. Elsőként a felületi rétegek adhéziós kötéserősségének összehasonlító vizsgálatára alkalmas karcvizsgálat vizsgálattechnikai lehetőségét teremtettük meg, számos szubsztrát-bevonat rendszer viselkedésének vizsgálatára kerülhetett ennek segítségével sor. Az elmúlt években vizsgálattechnikai lehetőségeink egy újabb, rendkívül sokoldalú és korszerű berendezéssel bővültek. Többfunkciós moduláris mikro-nano felületvizsgáló berendezésünk alkalmas többféle mozgástípus megvalósításával, különböző környezeti körülmények között tribológiai kísérletek (pin-on-disc, karcvizsgálat) elvégzésére. Az UNMT-1 moduláris mikro-nano felületvizsgáló berendezés körmozgást megvalósító tribológiai vizsgálatokhoz használt modulja 350 °C-ig fűthető kamrával is fel van szerelve.



1. ábra. Lineáris alternáló mozgást megvalósító tribológiai elrendezés az UNMT-1 berendezésben

Berendezésünk emellett alkalmas a felületek geometriai és mechanikai tulajdonságainak (nanokeményesség, nanokarc, rugalmassági modulus) jellemzésére a Nanoanalyser modul segítségével.

Az UNMT-1 berendezés különböző moduljainak alkalmazásával lehetőségünk nyílik a különféle hőkezelési és felülettechnológiai eljárásokkal célszerűen módosított anyagszerkezeti jellemzők és anyagtulajdonságok feltérképezésére, az alkalmazott technológiák hatásának komplex jellemzésére

### 1.3. Nemzetközi trendek elemzése

Kutatás-fejlesztési stratégiánk kialakításában meszesemenően támaszkodtunk nemzetközi szakmai szervezetek tanulmányainak és előrejelzéseinek elemzésére. Kiemelést érdemel ezek közül az International Federation of Heat Treatment and Surface Engineering szakmai világszervezetének Global 21 projektje.

A projekt keretében 2005-ben egy kérdőívet bocsátottak útjára, mely jelenleg is elérhető, on-line kitölthető az IFHTSE honlapján. A beérkező válaszok képezik az alapját különböző szempontú elemzések, tanulmányok készítésének – pl. geopolitikai változások és hatásaik feltérképezése, tudomány és technológia összefüggései, gazdasági adatok és trendek értékelő elemzése, stb. Az IFHTSE szakfolyóiratában megjelenő tematikus publikációk és elemzések mellett [1, 2] fontos szerep jut a nemzetközi konferenciákon elhangzó előadásoknak és műhelyvitáknak is – e projekt támogatásával egy ilyen műhelyvitán ismertethettük nemzetközi együttműködésben megvalósult eddigi eredményeinket. [3]

A projekt keretében kiemelt szerepet kap a nemzetközi együttműködés további fokozása, a gazdasági kérdésekkel, kiemelten az energia és a környezet aspektusával kapcsolatos megfontolások középpontba állítása, az alkatrészek és szerkezetek gyártásában egyre szükségesebbé váló, valóban interdiszciplináris és multidiszciplináris megközelítés kialakítása.

A **Global 21 projekt** egy olyan periódusban elemzi a szakmai területünket meghatározó változásokat, amelyben a gazdasági világválság még inkább felgyorsította a várt hatások érvényesülését, megkérdőjelezhetetlenné téve az energia- és környezet-központú fejlesztés szükségességét. A felülettechnológiák egyik legjelentősebb innovációjának tekintett plazmatechnológiák fokozottabb elterjedése épp ezeknek a szempontoknak az előtérbe kerülése miatt lenne kívánatos hazánkban is.

A nemzetközi elemzések is alátámasztják: a járműipar kiemelt jelentőséggel bír a hő- és felületkezelés innovációs folyamataiban [4, 5] e szektor termelési értékének mintegy 70%-a közvetlenül, vagy közvetett módon kapcsolódik a járműiparhoz [1]. Ennek megfelelően speciális figyelmet fordítottunk e publikációk, illetve a prognosztizált fejlesztési trendeket bemutató cikkek előrejelzéseire [6,7].

## 2. KUTATÁSI PROGRAM A HŐ- ÉS FEKÜLETKEZELÉS K+F TÉMÁBAN

Kísérleti programunk megvalósításában is fontos szerepet játszanak a fiatal kutatók és hallgatók. A projekt időtartama alatt számos komplex feladat, TDK és szakdolgozat a nitridálás témaköréhez kapcsolódott. Kutatásaink célja, hogy párhuzamos kísérleti vizsgálatok révén összehasonlítsuk a hagyományos és a korszerű, továbbfejlesztett termokémiai eljárások eredményességét, gazdaságossági és környezetvédelmi hatásait. A kutatási eredmények oktatásba való becsatornázása mellett kiemelt jelentőséget fordítunk többcélú képzési tartalmak kidolgozására, a MinSE (International Master in Heat Treatment and Surface Engineering) tananyag-moduljainak részleges magyar nyelvű adaptációjára. Kutatás-fejlesztési programunk fontos további célja a technológia-transzfer feltételrendszerének megteremtése, és a nemzetközi K+F tevékenységbe való intenzívebb bekapcsolódást célzó kutatási pályázatok előkészítése.

### 2.1. Gáz- és plazma karbonitridálás kísérleti összehasonlító vizsgálata

A párhuzamos kísérleti vizsgálatokkal a hagyományos és a korszerű, továbbfejlesztett termokémiai eljárások összehasonlító elemzését végeztük. A ferrites állapotban végzett karbonitridálás két technológiaváltozatának (gáz- és a plazmanitridálás) alkalmazásával elemeztük a kialakult rétegek tulajdonságait, szerkezetét és rétegvastagságát, továbbá a két eljárás költséghatékonyságát és környezeti hatásait. A gázközegű karbonitridálást a Tanszéken, míg a plazmanitridálás kísérleti megvalósítását e projekt keretében a marosvásárhelyi Plazmaterm céggel való közel két évtizedes együttműködésünk keretében tudtuk megoldani.

### 2.2. Infrastruktúra-fejlesztés

A technológia-transzfer eszközháttérének megteremtésére egy párhuzamos TIOP pályázat keretében megvalósult beszerzés kínált lehetőséget.

Plazmanitridálásra és karbonitridálásra alkalmas hőkezelő berendezésünk 2012. év végén került átadásra. Főbb műszaki adatai: 10-30 kVA teljesítmény, 500, 750 és 1000V üzemi feszültség,  $\Phi$  500 mm/ 2000 mm méretű munkatér, a retorta kettős alumínium reflektor ernyővel és köpennyel ellátott. Megfelelő vákuum- és szabályozó rendszerekkel felszerelt, korszerű kemence, mely energia-takarékossági és környezetvédelmi szempontokból kedvező technológiai megoldásokat kínál. A berendezés kialakítása során kiemelt szempont volt a továbbfejlesztésre való alkalmasság, lehetővé téve ezzel az aktív ernyős technológiák kutatás-fejlesztését, a nemzetközi K+F tevékenységbe való bekapcsolódást.



2.ábra. Prof. Dr. Kolozsvári Zoltán a berendezést kifejlesztő Plazmaterm cégnél tett szakmai tanulmányutunk során egy hasonló, már működő berendezéssel ismertetett meg bennünket.

### 2.3. Oktatás-fejlesztés

Tanszékünk az elmúlt másfél évtizedben számos, egymásra épülő nemzetközi projektben vállalt aktív szerepet, melyek döntően korszerű tananyagok és oktatási programok fejlesztését célozták. A többcélú, modulárisan alkalmazható tananyagelemek az EU támogatású Innovate és MinSE (International Master in Heat Treatment and Surface Engineering) projektekben a világ vezető szakembereinek közreműködésével kerültek kidolgozásra. A nemzetközi képzési program moduljainak részleges magyar nyelvű adaptációja lehetőséget biztosít e digitális tananyagok révén a szellemi potenciál országos szintű növelésére, multiplikátor hatás elérésére.

## 3. STRATÉGIAI TERVEK

### 3.1. Kutatási terv járműipari fejlesztések területén

Az első fejezetben ismertetett, e K+F téma keretében kidolgozott helyzetelemző tanulmány és a kutatás-fejlesztés stratégiai irányainak meghatározását támogató szakirodalmi elemzések jelentősen hozzájárultak ahhoz, hogy Tanszékünk egy négy intézmény alkotta konzorcium élén sikeres pályázatot nyújtott be a "Nemzetközi közreműködéssel megvalósuló alap- és célzott alapkutatói projektek támogatása" tárgyú pályázati felhívásra. A TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 azonosító számú, *Járműipari anyagfejlesztések: célzott alapkutatás az alakíthatóság, hőkezelés és hegeszthetőség téma-*

köreiben című projektünk 2013 januárjában indul, öt témakörének egyike a Hő- és felületkezelés alábbi K+F témáira irányul:

- *Innováció és technológia-transzfer a termokémiai felületmódosító eljárások területén* – A járműiparban általánosabban alkalmazott felületmódosító eljárások (indukciós edzés és betétedzés) felváltásának lehetősége az alacsonyabb hőmérsékletű, ezért kisebb torzulást előidéző nitridálással, ezen belül is a hatékonyabb és gazdaságosabb, környezetkímélő plazma-nitridálással. E területen a legaktuálisabbnak tekintett kutatási témakör az aktív ernyő alkalmazásának elméleti háttérét és lehetőségeit vizsgálja, melylyel a komplex geometriával rendelkező munkadarabok kezelésére nyílik lehetőség.
- *Járműiparban használatos hűtőközegek hűtési teljesítményének meghatározását és a hűtési eljárás optimalizálását megalapozó mérési és számítógépes szimulációs módszer fejlesztése*. Célunk olyan mérési és számítógépes szimulációs módszer kidolgozása, valamint hazai bevezetése, mely az autóiparban használatos hűtőközegek hűtési teljesítményének meghatározását és az optimális hűtési eljárás kidolgozását teszi lehetővé, és alkalmat kínál a hűtőközegek kutatását célzó nemzetközi projektekbe való bekapcsolódásra.
- *Korszerű és komplex felületvizsgálati módszerek kidolgozása a hő- és felületkezelési technológiák kutatásfejlesztése céljából*. A felülettechnológiák kutatásfejlesztése és optimalizálása nem nélkülözheti a korszerű és komplex felületvizsgálati módszerek alkalmazását. Célunk, hogy szisztematikus vizsgálatokkal összefüggéseket tárjunk fel a mikro-nano jellemzők és a járműiparban alkalmazott felületkezelte alkatrészek illetve szerszámok gyakorlati, ipari kopásvizsgálati eredményei között.

### 3.2. Nemzetközi kutatás-fejlesztési kapcsolatok bővítése

A befejezéséhez közeledő, jelen TÁMOP projektünk kiváló lehetőséget biztosított eredményeink disszeminációjára hazai és nemzetközi szakmai rendezvényeken és publikációkban, tovább bővítve ezzel szakmai kapcsolat-rendszerünket. Korábbi nemzetközi projektjeinkben stratégiai partnerséget alakítottunk ki számos felsőoktatási intézménnyel és iparvállalattal, továbbá a hő- és felületkezelés szakmai világszervezetével. E szövetségnek 2012 januárjától a Miskolci Egyetem tagja, és felkérést kaptunk az IFHTSE oktatási portáljának kifejlesztésére.

A soron következő projekt hő- és felülettechnológiák témacsoportjának kutatási terve erre a biztos háttérre épülve kíván nemcsak új, a régió versenyképességét növelő, a továbbhasznosítás lehetőségeit magában hordozó alapkutatási eredményeket elérni, hanem egyúttal az intézmény kutatás-menedzsment képességeit és innovációs potenciálját is növelni és a fiatal kutatók gene-

rációját felkészíteni a nemzetközi szakmai életbe való aktív, sikeres bekapcsolódásra.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A Miskolci Egyetem „A felsőoktatás minőségének javítása Kiválósági Központokra alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein” című projektjének *Innovatív anyagtechnológiák* c. Tudományos Műhelye keretében megvalósuló Hőkezelés és Felülettechnológiák K+F téma sokoldalú kutatás-fejlesztési programjáról adtunk e cikkben rövid áttekintést. E projektünk eredményei, infrastruktúra- és humán erőforrás fejlesztése alapul szolgált egy újabb TÁMOP-projektben a Hőkezelési tématerület kutatásfejlesztési koncepciójának kidolgozásához, és megteremtette a feltételeit nemzetközi együttműködéseink bővítésének.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 6. IRODALOM

- [1] Z. Kolozsvary, R.B.Wood,: IFHTSE Global 21: Heat treatment and surface engineering in the first decades of the twenty-first century. Proceedings of the 1<sup>st</sup> Mediterranean Conference on HT Sharm El Sheikh , Dec.1-3 2009 p.26
- [2] Kolozsvary, Z. :GLOBAL 21 A synthesis of IFHTSE survey study on the state of the art and expected developments in heat treatment and surface engineering. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Congress on HTSE, Rio de Janeiro, 2010
- [3] M. Kocsis Baán:Technology and Knowledge Transfer in Surface Engineering, supported by international programmes, 19th IFHTSE Congress, Glasgow ,17-20 October, 2011,
- [4] Funatani K.; The Trend in Automotive Materials. The state of steel and processing technologies and future tasks JSHT V48, N6, p.128 -135, (2008)
- [5] J. Vetter, G.Barbezat, J. Crummenauer, J. Avissar: Surface treatment selections for automotive applications, Surface & Coating technology 200 (2005) pp. 1962-1968
- [6] T. Bell, C. X. Li; Active Screen Plasma Nitriding of Materials Proceedings of the 15<sup>th</sup> IFHTSE Congress, Vienna, 2006
- [7] E.D.Doyle, P.Hubbard: Innovation in Nitriding Proceedings of the 1<sup>st</sup> Mediterranean Conference on Heat Treatment and Surface Engineering Dec.1-3, 2009; Sharm El Shekh; Egypt



# AUTÓIPARI LÁGYACÉL VÉKONYLEMEZEK ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTÉSE KÜLÖNBÖZŐ ENERGIABEVITELI MÓDOKKAL

## DIFFERENT TYPES OF ENERGY INPUT FOR RESISTANCE SPOT WELDING OF AUTOMOTIVE MILD STEEL SHEETS

Prém László\*, Dr. Balogh András\*\*

### ABSTRACT

During the last twenty years the advanced and ultra high strength steels came to the front in automotive industry. In spite of that fact, mild steel sheets have been applied in a modern car fabrication in proportion of 25 to 30%. The unalloyed steel elements are exposed to cold forming, which technology influences the weldability of this material. This paper presents some different types of energy input, when these mild steel sheets are spot welded.

### 1. BEVEZETÉS

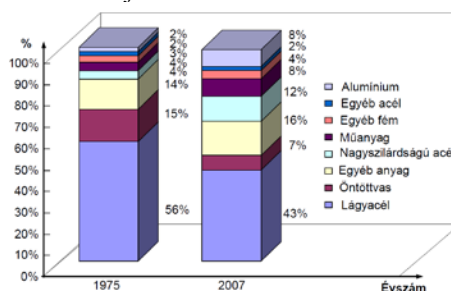
Annak ellenére, hogy az elmúlt körülbelül húsz évben az autógyártásban a saját tömeg csökkentése, az alacsonyabb üzemanyag-fogyasztás és a kisebb mértékű károsanyag kibocsátás érdekében előtérbe került a korszerű nagy szilárdságú (U-AHSS és X-AHSS) acélok felhasználása, ma még a személygépkocsik tömegének 30-50 %-a jól alakítható lágyacéllemezből készül. Ezeknek a lágyacél elemeknek a jellegzetes alakítási technológiája a képlékeny hidegalakítás, legfontosabb kötőeljárása pedig az ellenállás-ponthegeztés. A hidegen jól alakítható lágyacél vékonylemezek jól ponthegeztethetők, de a hidegalakítás a hegesztett kötés egyes tulajdonságait előnytelenül befolyásolhatja. Jelen cikk különböző nyújtottsági mértékű DC01 acél vékonylemez különböző energiabeviteli móddal történő ellenállás-ponthegeztési jellegzetességeivel foglalkozik.

### 2. AUTÓIPARI VÉKONYLEMEZEK

Az autógyártás tipikusan az a terület, ahol a vékonylemezek felhasználása az önhordó vázszerkezethöz és a karosszériaelemekhez kiemelt fontossággal bír. A gép-

járműipar speciális igényeinek megfelelően fejlesztett, ún. autógyártási vékonylemezek feldolgozása döntően képlékeny alakítással történik. A hidegalakításra való alkalmasságon túl a ponthegeztetőségre és a tervezett felületvédelemre való alkalmasság emelhető ki.

A személyautók és a nagyobb tömegű haszongépjárművek 21. századi tervezésének legfontosabb követelménye a saját tömeg csökkentése, melyet a kiélezett piaci versenyhelyzet és az egyre szigorodó környezetvédelmi normáknak való megfelelés tesz elkerülhetetlenül fontossá. Az előbbi szempontok teljesülését az 1. ábrával szemléltetjük.



1. ábra. Különböző szerkezeti anyagok részaránya egy alsó kategóriás gépkocsin belül

Az 1. ábrán [1] látható, hogy 32 év alatt egy átlagos gépkocsinál az alumínium részaránya az össztömegben belül a négyszeresére, a műanyag alkatrészek részesedése duplájára nőtt, ugyanakkor a lágyacél tömege 56 %-ról 13 %-kal csökkent, de még így is 50 % közelében maradt. A 2. ábra [2] már egy felső kategóriás gépkocsi típusnál azt mutatja be, hogy a különböző szilárdságú acélok a szerkezeten belül hol helyezkednek el és milyen funkciót töltenek be. Figyelemre méltó, hogy ennél a típusnál (az ábrán szürke színnel jelölt), 300 MPa alatti szakítószilárdságú acélból (olyan nagy kiterjedésű szerkezeti elemeket gyártanak, mint az ábrán nem szereplő motorház- és csomagtartó fedél, illetve ajtóborítások, sárvédőlemezek és tetőlemez. Nyilvánvaló, hogy a lágyacél elemek az életvédelmi szempontból alárendelt

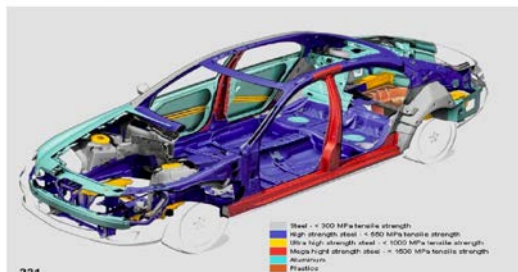
\* PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

\*\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

helyeken kerülnek beépítésre, ahol az elsődleges követelmény nem a korszerű (AHSS) és ultranagyszilárdságú acélokra (UHSS) jellemző kimagaslóan nagy szilárdság, hanem a lágyacélok által biztosított nagyfokú alakíthatóság.

S-Class Sedan (Model 221) – continued

Materials Mix

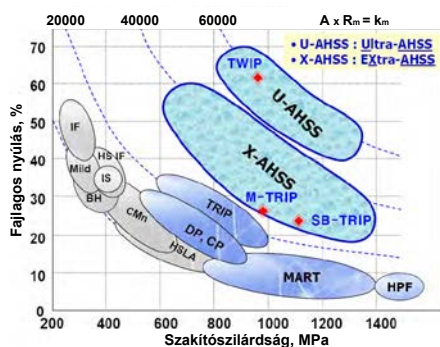


2. ábra. Különböző szilárdságú csoportú acélok alkalmazása a Mercedes egyik legfrissebb modelljénél

### 3. SZILÁRDSÁGNÖVELŐ MECHANIZMUSOK AZ AUTÓIPARI VÉKONYLEMEZEK VONAKOZÁSÁBAN

A saját tömeg mérséklése és a globális acélfelhasználás csökkentése az acél szilárdságának növelését igényli. Ma már több gazdaságos és ipari méretekben is megoldható szilárdság-növelő mechanizmust ismerünk. Ezek a következők: alakítási keményedés, szilárdoldatos ötvöztetés, szemcsefinomítás, kiválásos keményítés, hőkezelés.

A leggazdaságosabb szilárdságnövelés az első módszer alkalmazásával érhető el. A jól alakítható lágyacélok a hidegalakítás hatására felkeményednek, szilárdságuk megnő, alakváltozókéességük lecsökken, de mivel a kiindulási nyúlásuk jelentős, még az alakított állapotukban is a célnak megfelelő alakváltozókéességi tartálékkal rendelkezhetnek.



3. ábra. A lágyacélok (Mild) helye az autóipari acélok között

A 3. ábra [3] illusztrálja az előzőket: a Mild szóval jelölt lágyacélok a leginkább balra eső hiperbolán helyezkednek el, ahol a  $k_m = R_m \cdot A$  anyagkonstans értéke 10 000 MPa%.

## 4. AZ AUTÓIPARI ACÉLOK HEGESZTŐELJÁRÁSAI, HEGESZTHETŐSÉGE

Az autóipari vékonylemezeket többnyire valamilyen ellenállás- és ívhegesztő eljárásokkal, néhány speciális esetben lézersugár-hegesztéssel, dörzs-ponthegesztéssel vagy mechanikai módszerekkel (szegecselés, clinching) egyesítik. A felsorolt kötőeljárások közül a legtöbb mérnöki és gazdasági előnnyel az ellenállás-ponthegesztés rendelkezik, ezért jelenleg ez az eljárás a meghatározó és nagy biztonsággal prognosztizálható, hogy ez a dominancia a közeljövőben is megmarad.

Az ellenállás-ponthegesztésnek is vannak hegeszthetőségi feltételei, amelyekkel a jó minőségű pontkötések zökkenőmentesen biztosíthatók. Kritériumként a pontkötések valamilyen vizsgáló eljárásához kötött, kedvezőtlen törési mód megjelenési határát szokás megadni. Az alapanyag kémiai összetételének a hatását az ömlesztő hegesztésekhez hasonlóan karbonegyenértékkel fejezik ki.

## 5. KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK

Az elsődleges autóipari felhasználásból kiindulva kísérleteink során alapanyagként a DC01 jelű, hidegen hengerelt, hidegalakítási célra szánt ötvöztetlen lágyacél lemezt alkalmaztuk. Az MSZ EN 10130 szabvány szerinti DC01 jelű anyagminőség a sajtolts és a kis- és közepes mértékben mélyhúzott autóipari alkatrészek tipikus alapanyaga, ezért minden szempontból alkalmas a hidegen alakított, lágyacél lemezből készülő autóipari alkatrészek ponthegesztésének kísérleti vizsgálatára [4].

## 6. LÁGYACÉL AUTÓIPARI VÉKONYLEMEZ HIDEGALAKÍTÁSA

A személygépkocsi karosszéria elemeinek alakítása elsősorban valamilyen hidegalakító eljárással történik. A karosszéria elemek képlékeny hidegalakításának eredményeképpen a lemezanyagok szilárdsági jellemzői növekednek, alakváltozási mérőszámai csökkennek.

A hidegalakítás okozta szilárdságnövelésből fakadó előnyök azonban csak akkor lesznek érvényesíthetőek, ha az egyes anyagpárok közötti kötés létesítése során nem szűnik meg a hidegalakítás szilárdságnövelő hatása, illetve nem jön létre a kötés minőségét kedvezőtlenül befolyásoló anyagszerkezeti változás. Az előzőkből következik, hogy bár az alakítható lágyacél vékonylemezek általában jól hegeszthetőek, a hegeszthetőség a hidegalakítás hatására az alakítás mértékével arányosan romlik [4].

A különböző hidegalakítási mértékkel rendelkező karosszéria elemek nagyon gyakran tartalmaznak pont-

hegesztéssel kötendő mélyhúzott és hajlított szakaszokat, amely hidegalakítási műveleteket a kísérleteink során nyújtással helyettesítettük. Ezen részek alakíthatósági állapotának modellezéséhez a DC01 jelű alapanyagból kimunkált próbatesteket egytengelyű húzó igénybevétellel, egyenletes sebességgel nyújtottuk [4].

A hidegen alakított autóiipari alkatrészek jellegzetes alakítási mértéke körülbelül 0 % és 25 % közé tehető. Az egyes szerkezeti elemek esetében ennél nagyobb alakítási mérték csak kis foltokban fordulhat elő. A modellezéssel kapott nyúlástartományból kiindulva a ponthegesztési kísérletekhez szükséges próbatesteket a vékonylemez szállítási állapotához viszonyítva négy különböző alakítási mértékkel (10, 15, 20 és 25 %) állítottuk elő [4].

## 7. HIDEGEN NYÚJTOTT LÁGYACÉL VÉKONYLEMEZEK FOLYAMATOS ENERGIABEVITELŰ PONTHEGESZTÉSE

A folyamatos energiabevittel végzett ponthegesztési kísérletek eredményeiből egyértelműen megállapítható, hogy a hidegalakítás hatására a kötések nyírószakító ereje növekszik, azonban ez a növekedési mérték elmarad az alapanyag szilárdságnövekedésének mértékétől és erősen függ a hegesztési beállításoktól [4].

A várakozásoknak megfelelően lágy munkarendnél nagyobb mértékű kilágyulást tapasztaltunk, mint kemény munkarend esetében. Ez a tény azt jelenti, hogy kísérletileg sikerült igazolnunk, hogy a hidegen alakított vékonylemezekből ponthegesztett kötések teherviselő képességének növekedéséhez az alapanyag helyi kilágyulását mérsékelni kell, ami a ponthegesztés munkarendjének keményítésével érhető el. Az eddigi vizsgálati eredmények azt is jól mutatják, hogy még extra kemény munkarend alkalmazása esetén, az igen rövid hőciklus ideje alatt is, bizonyos mértékben kilágyulnak a hidegen alakított lemezek. Az alapanyag helyi kilágyulásának további mérséklése érdekében ezért mindenképpen célszerűnek látszik a szakaszos energiabevitel alkalmazásának kísérleti vizsgálata, ahol az elektródok összenyomott állapotában a folyamatos hőbevitelű áramciklus többszöri megismétlése játszódik le [5].

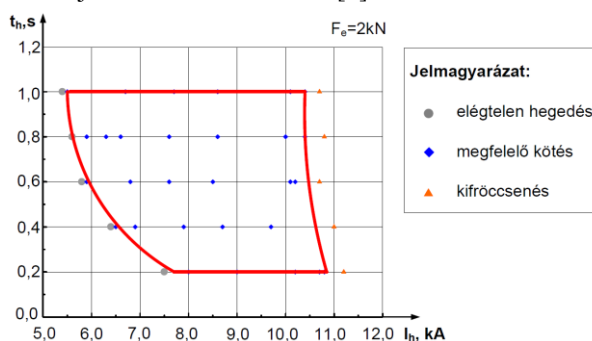
## 8. HIDEGEN NYÚJTOTT LÁGYACÉL VÉKONYLEMEZEK SZAKASZOS ENERGIABEVITELŰ PONTHEGESZTÉSE

A hidegen alakított lágyacél vékonylemezekből készített ponthegesztett kötések helyi kilágyulásának minimalizálása és teherviselő képességének maximalizálása érdekében szakaszos energiabevittel kísérleti hegesztéseket végeztünk. Az ilyen módon hegesztett köté-

sek vizsgálatai során kapott eredményeket összehasonlítottuk azon ponthegesztett kötések vizsgálati eredményeivel, amelyeket szintén kemény munkarendet biztosító, azonos hegesztési paraméterekkel (elektróderő, hegesztési idő, áramerősség), de folyamatos energiabevittel hegesztettünk.

A kísérletek során ugyanazt a hőmennyiséget folyamatos energiabevitelnél egyetlen impulzussal (10 periódus), míg szakaszos energiabevitelnél két hőimpulzus (5-5 periódus) közbeiktatásával generáltuk. Ezáltal lehetőségünk nyílt a szakaszos és a folyamatos energiabevitelnek a hidegen alakított lemezekből ponthegesztett kötések minőségére gyakorolt befolyásának összehasonlítására.

Szakaszos energiabevitelű ponthegesztés esetén a korábbi cikkünkben bemutatott, folyamatos energiabevitel és állandó elektróderő esetére érvényes weldability lobe (hegesztési munkatartomány) szélesevével számolhatunk, illetve ezzel egyidejűleg a kifröccsenés határvonalát jelző (jobb oldali) határoló vonal jobbra tolódása várható [5].

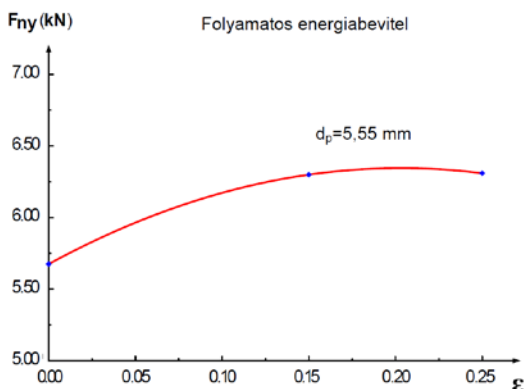


4. ábra. DC01 jelű lágyacél, 1,0 + 1,0 mm-es lemez-kombinációjára érvényes weldability lobe szakaszos energiabevittel végzett ponthegesztés esetén [5]

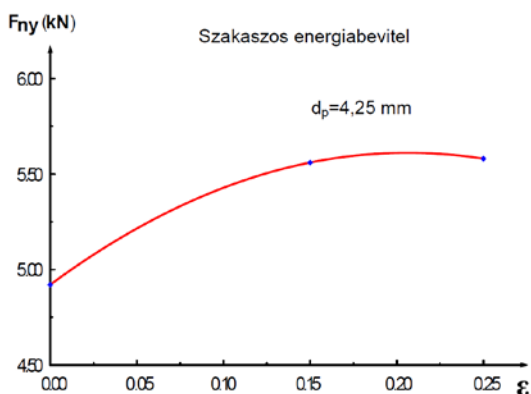
A kemény munkarend alkalmazása miatt a hegesztési időt mindkét energiabeviteli mód esetén a szakaszos energiabevitelhez tartozó hegesztési munkatartomány legkisebb értékére (0,2 s = 10 per) választottuk. A beállítandó hegesztőáramok értékét úgy jelöltük ki, hogy ennél a hegesztési időnél mind a szakaszos, mind a folyamatos energiabeviteli módnál megfelelő minőségű kötést eredményezzen.

A hegesztési tartomány szélesevé miatt a különböző energiabeviteli móddal, de azonos technológiai paraméterekkel készített kötések szakaszos energiabevitelnél az elégtelen hegedés határát kijelölő vonalhoz, míg folyamatos energiabevitelnél a kifröccsenés határoló vonalához tolódtak közelebb, azonban a kötések így is a weldability lobe-ok határoló vonalain belül maradtak. A nyírószakító vizsgálatok során valamennyi kötés kigombolódott, amely tönkremeneteli mód szintén igazolja a választott paraméterek megfelelőségét, illetve a ponthegesztett kötések megfelelő szilárdságát.

Az 5. ábra a folyamatos, míg a 6. ábra a szakaszos energiabevitellel hegesztett kötések nyíró-szakító erejének változását mutatja a hidegalakítási mérték függvényében.



5. ábra. Ponthegesztett kötések nyíró-szakító erejének változása folyamatos energiabevitel esetén



6. ábra. Ponthegesztett kötések nyíró-szakító erejének változása szakaszos energiabevitel esetén

Ahogy az 5. és a 6. ábra szemlélteti, mind a folyamatos, mind a szakaszos energiabevitellel ponthegesztett kötések nyíró-szakító ereje degresszív jelleggel nő az alakítási mérték függvényében. A kapott eredményeket elemezve azt is egyértelműen megállapíthatjuk, hogy a szakaszos energiabevitelű ponthegesztési technológiával készített kötések teherviselő képességének növekedési mértéke (13,4%) körülbelül 20%-al nagyobb, mint a folyamatos energiabevitellel hegesztett kötések nyíró-szakító erejének növekedési mértéke (11,1%), azaz szakaszos energiabevitel esetén kisebb mértékű a hidegen alakított lemezekből készített ponthegesztett kötések kilágyulása és kedvezőbb a terhelhetősége.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A személygépkocsik gyártása során közel egynegyed-egyharmad arányban alkalmazott lágyacél vékony-

lemezekkel végzett vizsgálatok során a következőket állapítottuk meg:

1. Az alakítható lágyacél vékonylemezek általában jól ponthegeeszthetők, a hegeszthetőség a hidegalakítás hatására az alakítás mértékével arányosan romlik.
2. A hidegalakítás hatására a kötések nyíró-szakító ereje növekszik. A növekedés mértéke elmarad az alapanyag szilárdságnövekedésének mértékétől és erősen függ a hegesztési beállításoktól.
3. A(z) (extra) kemény munkarenddel történő ponthegeesztés során tapasztalható kilágyulás mértéke kisebb, mint lágy munkarend esetében.
4. A hidegen nyújtott lágyacél vékonylemezek szakaszos energiabevitellel történő ponthegeesztése esetén tapasztalható kilágyulás mértéke kisebb, a teherbírási növekedési mérték pedig nagyobb, mint a kemény munkarendet megvalósító folyamatos energiabevitelű ponthegesztés esetében.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOM

- [1] TAMARELLI, C.: The Evolving Use of Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications, The Automotive Applications Council of the Steel Market Development Institute, 2011
- [2] 2009-2012 Mercedes-Benz S class sedan body structure, www.boronextrication.com
- [3] CHUNG, J.; KWON, O.: Development of high performance auto steels at Posco steels, Proc. of the 9th ICTP Conference, Gyeongju-Korea, 7-11. September 2008. p.: 3-8
- [4] PRÉM L., BALOGH A.: Hidegen nyújtott acél vékonylemezek ellenállás-ponthegeesztése, GÉP, LXIII. évf. (2012), 4. szám, p.: 23-28
- [5] JUHÁSZ D.; BALOGH A.: Szakaszos hőbevitel következményeinek vizsgálata ellenállás-ponthegeesztéskor, GÉP, LXII. évf. (2011), 4. szám, p.: 33-35

# SZÁMÍTÓGÉPES MÉRNÖKI MÓDSZEREK A KÉPLÉKENYALAKÍTÁSBAN

## COMPUTER AIDED ENGINEERING METHODS IN METAL FORMING

Dr. Tisza Miklós\*, Dr. Gál Gaszton\*\*, Dr. Kiss Antal\*\*\*, Kovács Péter Zoltán\*\*\*\*, Lukács Zsolt\*\*\*\*

### ABSTRACT

*Within the TÁMOP project entitled „Improving the quality of higher education based on the works of Centres of Excellence on the strategic research fields of the University of Miskolc” a special scientific school is created with the title “Innovative materials processing”. There are four R&D groups within the Innovative materials processing: three groups in various technological processes like welding, heat-treatment and metal forming, as well as a fourth group on Computer Aided Design and Modelling in Materials Processing Technologies. In this paper the research work done in this latter group will be overviewed.*

### 1. ELŐZMÉNYEK

A számítógépes mérnöki módszerek – a különféle CAD/CAM és FEM rendszerek – intenzív alkalmazása a képlékenyalakításban világszerte mintegy 20-25 évre tekint vissza. A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke mind hazai, mind pedig nemzetközi szinten a kezdetektől aktív résztvevője az ezen a területen folyó kutatásoknak. A következő pontban röviden áttekintjük e kutatások nemzetközi tendenciáit, valamint a Mechanikai Technológiai Tanszéken folytatott kutatások előzményeit.

#### 1.1. Irodalom áttekintés a számítógépes mérnöki tevékenység képlékenyalakításban való alkalmazásáról

Az elmúlt években, évtizedekben a képlékenyalakítás jelentősége az alkatrészgyártásban számottevően megnövekedett. Ezt a tendenciát még inkább felerősítik azok a fejlesztések, amelyek a képlékenyalakítás, anyagai, szerszámai, valamint a technológiai és szerszámtervezés területén megvalósultak.

A képlékenyalakító eljárások jellemzője, hogy a készgyártmány rendszerint több alakító művelettel valósítható meg. Ugyancsak fontos tendencia a képlékenyalakításban az ún. alakpontos (net-shape), illetve alakmegközelítő (near net-shape) gyártási filozófia terjedé-

se, az alakítást követő forgácsoló és egyéb befejező műveletek szükségességének csökkentése, illetve gyakran teljes kiküszöbölése a gyártási költségek csökkentése, az eljárás gazdaságosságának növelése érdekében. Mindezek még jobban kiemelik az alakítási folyamatok és szerszámaik szisztematikus tervezése iránti igények fokozódását.

Egy további lényeges szempont az alakító eljárások számítógépes tervezésének egyre erőteljesebb előtérbe kerülésében az a globális verseny, amely az ipar szinte minden területén, de hangsúlyozottan az autópárhazban – amely a képlékenyalakítás egyik legfontosabb felvevő piaca – megnyilvánul. A képlékenyalakítás technológiai tervezésében évtizedeken át az üzemi-gyakorlati tapasztalatokon alapuló tervezési megoldások domináltak. A globális verseny fokozódásával – különösen az autópárhazban megnyilvánuló éles versenyhelyezettel – egyre inkább meghatározó igényként jelentkezett a számítógépes mérnöki módszerek alkalmazásával elérhető előnyök minél intenzívebb hasznosítása.

A számítógépes mérnöki módszerek alkalmazásának egyik fő iránya a képlékenyalakításban – különösen a számítógépes alkalmazások kezdeti időszakában – az ún. tudásalapú szakértői rendszerek alkalmazása [1]. Ez a megoldás különösen jól illeszkedik a képlékenyalakítás sajátosságaihoz. A szakértői rendszer típusú megoldások egyszerű képlékenységtani alapokon, többnyire az alakító üzemekben felhalmozódott empirikus szabályokon nyugvó, ún. szabályalapú rendszerek kidolgozását eredményezték az alakítás különféle területein [2]. Ilyen szakértői rendszereket dolgoztunk ki a Mechanikai Technológiai Tanszéken is sorozatszámokban végzett lemezalakítás [3], illetve forgásszimmetrikus alkatrészek mélyhúzásának [4] technológiai tervezésére is. A szakértői rendszer típusú alkalmazások, bár kétségkívül jelentős előrelépést jelentettek a képlékenyalakításban évtizedeken át jellemző, klasszikus tervezési filozófiához képest (amelyet az általánosan elterjedt angol terminológia, a *trial and error* alapján a *próbálgatás és korrigálás* fokozatos megközelítési módszerének nevezhetünk) azonban vannak bizonyos hiányosságai. Mivel ezek a megoldások rendszerint elemi képlékenységtani megoldásokon alapulnak, ezért egyrészt csak jól definiált keretek közötti korlátozott érvényességgel rendel-

\* tanszékvezető egyetemi tanár, \*\* címzetes egyetemi docens,

\*\*\* főiskolai docens, \*\*\*\* adjunktus

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

keznek, másrészt a megoldások pontossága sem mindig kielégítő, továbbá nem adnak felvilágosítást az anyagáramlásról, az alakváltozási és feszültségi eloszlásról, így az esetleges hibák okairól, keletkezésük körülményeiről sem.

A számítógépes alkalmazások másik – és napjainkban egyre dominánsabb – iránya a különféle numerikus módszerek (első sorban a végeleemes analízis) alkalmazása az alakítási folyamatok modellezésére [5]-[7].

A numerikus modellezés alkalmazásának fő célja a képlékenyalakításban az alakítási folyamatok minél pontosabb mechanikai-matematikai modelleken alapuló teljes folyamatmodellezése. A folyamatmodellezés, a legmegfelelőbb folyamat paraméterek meghatározása érdekében, az alakítási határállapotok figyelembevételével, az alakváltozási és feszültségi mező teljes feltérképezésével, a lehetséges hiba okok feltárásával biztosítja a minél jobb minőségű és hibamentes alkatrészgyártást. Ezen túlmenően a numerikus modellezés egyre szélesebb körű alkalmazása a folyamatok egyre reálisabb, megbízhatóbb modellezésével lehetővé teszi a hagyományos tervezés esetén elkerülhetetlen gyakori módosítások kiküszöbölését, de legalábbis a próbálkozások számának csökkentését, ezáltal is csökkentve a termékek kifejlesztésének és gyártásának időszükségletét és a ráfordításokat, számottevően növelve a tervezés és gyártás gazdaságosságát.

A numerikus modellezés nagyfokú előretörésében kiemelkedő szerepe van azoknak az informatikai fejlesztéseknek, amelyek révén a folyamatok numerikus modellezésének időigénye a korábban olykor több hetet is igénybe vevő szimulációk időszükségletének radikális – olykor egy-két napra, sőt esetenként néhány órára – csökkentése valósítható meg. Azonban a fejlesztéseket elemezve az is megállapítható, hogy a kizárólag numerikus modellezésen alapuló szimulációs eljárásoknak is vannak bizonyos hátrányai. Az előzőekben már említett hatalmas hardver és szoftver fejlesztések ellenére az eredmények megbízhatósága gyakran függ a modellezést végző tapasztalataitól, az adott rendszerekben való jártasságától. Ez részben a folyamatokat befolyásoló paraméterek nagy számának, részben az alkalmazott matematikai-mechanikai modellek komplexitásának tulajdonítható, amelyek megalkotása, illetve kezelése is jelentős elméleti képlékenységtani és gyakorlati technológiai ismereteket igényel.

A két különböző irányzat röviden felvázolt hiányosságainak kiküszöbölése, az alakítási feladatok minél pontosabb és megbízhatóbb megoldása iránti igény vezetett az utóbbi években azokhoz a fejlesztésekhez, amelyek a kétféle megközelítés előnyeinek egyesítésén alapuló, ún. tudásalapú integrált folyamatmodellezési módszerek kidolgozásához vezettek. A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke ezen a területen is a nemzetközi kutatások élvonalához tartozik, amelyet rangos publikációk fémjeleznek [8]-[10].

E kutatások az *Innovatív anyagtechnológiák, számítógépes tervezés és modellezés* című K+F témájában folytatódnak. E K+F téma keretében nemcsak a képlékenyalakítás, de a tanszék kompetencia területébe tartozó további anyagtechnológiák (hegesztés, hőkezelés) kutatása is fontos célkitűzés. A cikk keretében e kutatások eredményeiről számolunk be röviden.

## 2. A SZÁMÍTÓGÉPES TERVEZÉS ÉS MODELLEZÉS K+F TÉMA CÉLKITŰZÉSEI

Napjainkban a számítógéppel segített technológiai folyamat tervezés és a technológiai folyamatok numerikus modellezése gyakorlatilag már ipari szinten is alapvető követelménnyé vált. Ezért is tűztük ki fő kutatási célként a tanszék kompetencia területébe tartozó anyagtechnológiák (hegesztés, hőkezelés és képlékenyalakítás) számítógépes technológiai folyamat tervezésének és modellezésének kutatását.

A hegesztés területén e K+F témacsoportban foglalkoztunk a különféle ömlesztő és sajtoló hegesztési eljárások technológiai tervezésével és numerikus modellezésével. A technológiai tervezéshez részben kereskedelmi forgalomban elérhető hegesztéstechnológiai szoftvereket (mint például a WeldSpec [11], WeldOffice [12] Welding Expert [13], Xenon Welding Software [14], stb.) részben a tanszéken fejlesztett [15] technológiai tervezést segítő szoftvereket alkalmazunk.

E programok közös jellemzője a hegesztés legkülönbözőbb területeinek – beleértve a hegesztés alap- és hozaganyagait, a hegesztés technológiai paramétereit, a hegesztőgépek megválasztását, a teljes folyamat automatizálását és dokumentálását – számítógépes adatbázisokon alapuló hatékony támogatása.

A hegesztés technológiai tervezését segítő szoftverek alkalmazása mellett egyre inkább előtérbe kerülnek a hegesztési technológiák kapcsolt termikus, mechanikus és metallurgiai folyamatait modellezni képes végeleemes programok. Ezen a területen a világon az egyik vezető szoftver fejlesztő cég, a francia ESI Group által kidolgozott SysWeld [16] programrendszer alkalmazuk. Az e területen elért eredményekről és a további tervezett kutatásokról egy soron következő cikkben számolunk be.

Ugyancsak e K+F témakör keretében hőkezelési technológiák számítógépes tervezésével is foglalkozunk. E kutatások egyik központi témája a tanszékünkön korábban nem-egyensúlyi hűtési viszonyokra kifejlesztett hőkezelés technológiai szoftver továbbfejlesztése [17].

Az anyagtechnológiák tervezése, modellezése elképzelhetetlen az anyagtudományi háttér, az anyagtörvények, anyagjellemzők megfelelő ismerete nélkül, ezért a kutatások ezekre a területekre is kiterjedtek. Természetesen egy korlátozott terjedelmű folyóiratcikkben e szerteágazó kutatások minden területén folyó munkát nem ismertethetjük részletesen, ezért a jelen cikk kere-

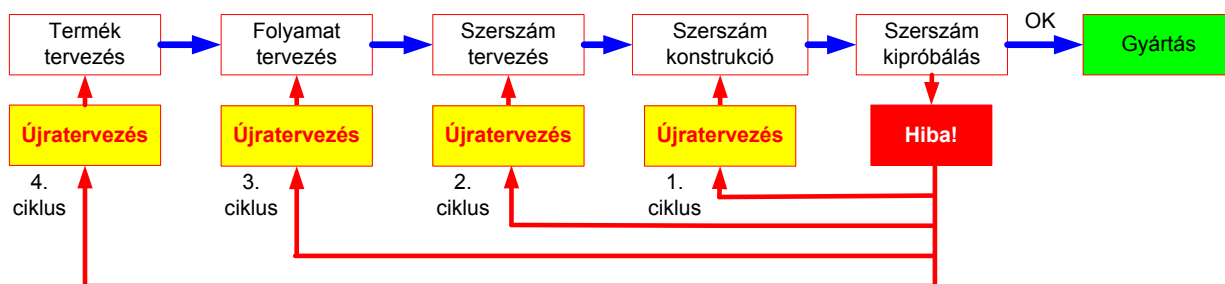
tében csak a képlékenyalakítás számítógépes tervezésével és modellezésével foglalkozunk, röviden felvázolva azt a tanszékünkön kidolgozott komplex megoldást, amelyet a szakértői rendszerek és a véges elemes modellezés integrálásával az elmúlt néhány év során megvalósítottunk. E cikkben a lemezalakítás területére kidolgozott integrált tervező és modellező rendszert ismertetjük röviden, bár az alapelvek a térfogatalakítás eljárásai esetén hasonlóan alkalmazhatók.

### 3. SZÁMÍTÓGÉPES FOLYAMATTERVEZÉS ÉS MODELLEZÉS A LEMEZALAKÍTÁSBAN

#### 3.1. Számítógépes folyamattervezés hagyományos CAD környezetben

Amint az előzmények fejezetben említettük a számítógépes tervezés a képlékenyalakításban mintegy 20-25 éves múltra tekint vissza. Azonban a számítógépes technológiai tervezés hagyományos CAD környezetben lényegében egy főképp ipari tapasztalatokra épülő, egyszerű szakértői rendszerként fogható fel, amely

természetesen nagy segítséget jelent mind a technológus, mind pedig a szerszámtervező mérnöknek, de hagyományosan ezekben a rendszerekben nem valósul meg az egyes folyamatok interaktív egymásra épülése. A módszer, amint az 1. ábra is mutatja, egy szekvenciális tervezési folyamatot jelent, hatékonyan támogatva a technológust az egymás utáni műveletek sorrendjének és technológiai paramétereinek meghatározásában, valamint a szerszámtervezésben, ezáltal is tehermentesítve a tervezőt a jelentős számítási igényű, illetve grafikus tervezési feladatoktól. Azonban a folyamat szekvenciális jellege és a közbülső interaktív beavatkozások hiánya miatt az esetleges hibák csak a szerszámok kísérleti teszteléskor derülnek ki, és a hiba nagyságától/jellegétől függően jó esetben csak a szerszámtervezést, vagy a technológiai tervezést kell módosítani, esetenként azonban a tervezési folyamat elejére, a gyártmánytervezésre visszaható következményei lehetnek. Természetesen minél korábbi tervezési fázishoz kell visszatérni a szükséges korrekciók, módosítások miatt, annál hosszabb a fejlesztési idő és nyilvánvalóan, annál nagyobbak a fejlesztési költségek.

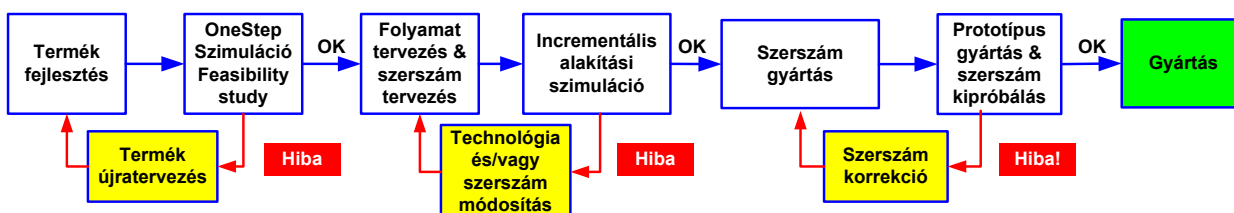


1. ábra. Számítógépes technológiai és szerszámtervezési folyamat vázlatja hagyományos CAD környezetben

#### 3.2. Számítógépes folyamattervezés szimulációs környezetben

A világméretű verseny következtében általános igényként fogalmazódik meg a teljes fejlesztési ciklus hatékonyságának fokozása, ezáltal is csökkentve a fejlesztésre fordított időt, az új termékek bevezetési idejét és

mindezeket keresztül a gyártási költségeket. Ennek érdekében egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy a korszerű numerikus modellezést és szimulációt a termékfejlesztéstől a gyártásig bezárólag a fejlesztési ciklus minden fázisában minél hatékonyabban alkalmazni kell. Ezt az elvet mutatja a 2. ábra, amelyen a szimulációval integrált fejlesztési ciklus folyamatábrája látható.



2. ábra. A numerikus modellezés integrálása a teljes fejlesztési ciklusba

Ennél a megoldásnál a szimuláció a terméktervezéstől, a technológiai és szerszámtervezésen keresztül a gyártás és szerszámkipróbálás minden fázisában jelen

van, és azonnali visszacsatolást biztosít a tervezőmérnöknek, amely lehetővé teszi a szükséges módosítások, korrekciók azonnali figyelembevételét, ezáltal is

minimalizálva a fejlesztési költségeket. Azonban még ez a megközelítés is rendelkezik bizonyos hátrányokkal a szerszámtervezést illetően, mivel a szimulációs rendszerek többnyire nem szolgáltatnak a szerszámtervezés szempontjából elegendő konstrukciós részleteket ahhoz, hogy a szerszámtervezés az általános CAD rendszerekben megfelelő részletességű és minőségű szerszámrajzokat eredményezzen.

### 3.3. Számítógépes technológiai és szerszámtervezés integrált CAD/FEM környezetben

A szerszámtervezés terén az előzőkben vázolt hiányosság kiküszöbölhető a CAD és FEM rendszerek olyan integrált alkalmazásával, ahol egy speciális interféce gondoskodik a két rendszer közötti megbízható és kellő részletességű tervezési adatok folyamatos adatcseréjéről. Lemezalkítási feladatoknál ezt a magas szintű integrált kapcsolatot a UniGraphics NX CAD rendszer és az AutoForm végeeselemes szimulációs programrendszer között az ún. UG-AF interface biztosítja [18].

E két rendszer választását számos tényezővel indokolhatjuk. Egyik oldalról, az autópárhazban a CAD rendszerek között az NX, a szimulációs rendszerek között az AutoForm egyike a világszerte leggyakrabban alkalmazott rendszereknek. Másrészt e két rendszer között az elsők között alkottak meg olyan speciális interféce programot, amely képes mindkét irányú adatforgalom megbízható szolgáltatására, és ezáltal a teljes termékfejlesztési ciklusban a CAD és FEM rendszer teljes integrációjának megvalósítását teszi lehetővé.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A Miskolci Egyetem „A felsőoktatás minőségének javítása Kiválósági Központokra alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein” címmel elnyert TÁMOP projektje keretében a 4. Kiválósági Központ 1. Tudományos Műhelyének témája az *Innovatív anyagtechnológiák*. E Tudományos Műhely keretében egy önálló K+F téma a Számítógépes technológiai tervezés és modellezés. Ebben a cikkben a számítógépes mérnöki módszereknek a képlékenyalakítás területén való alkalmazásában a projekt eddigi futamideje alatt elért eredményekről számoltunk be röviden.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 6. IRODALOM

- [1] S.K. Sitaraman, T. Altan: A Knowledge Based System for Process Sequence Design in Sheet Metal Forming, *J. of Mat. Proc. Techn.* (1991) pp. 247-271
- [2] N. Alberti, L. Cannizaro, F. Micari: Knowledge Based Systems and FE Simulations in Metal Forming Processes, *Annals of CIRP*, v.40. (1991) pp. 295-298.
- [3] M. Tisza: Expert System for Sheet Metal Forming, *J. of Mat. Proc. Techn.* (1995) pp. 423-432.
- [4] M. Tisza: A Complete CAD/CAM System for Metal Forming, 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on CAD/CAM and Robotics, London, 22-26. August 1990. pp. 110-117.
- [5] Makinouchi, A.: Sheet Metal Forming Simulation, *J. Materials Processing Technology* v.60. (1996) pp. 19-26.
- [6] T. Altan et al: Simulation of Metal Forming Processes, 6<sup>th</sup> ICTP Conf., Nuremberg, 19-24. September 1999. v. 1. p. 23.
- [7] A. E. Tekkaya: State of the art of Simulation in Sheet Metal Forming, *J. Mat. Proc. Techn.*, v.103. (2000) pp. 14-22.
- [8] M. Tisza: Numerical Modelling and Simulation in Sheet Metal Forming, *Journal of Materials Processing Technology*, v.151. (2004) No. 1-3. pp. 58-62.
- [9] M. Tisza: Numerical Modelling and Simulation: Academic and Industrial Perspectives, *Materials Science Forum*, v. 473-474. (2005) pp. 407-414
- [10] M. Tisza, G. Gál, Zs. Lukács: Integrated process simulation and die-design in sheet metal forming, *IDDRG 2007 International Conference*, 21-23. May 2007, Győr, pp. 413-422.
- [11] WeldSpec: Welding Procedure Software for engineers and managers who track and manage welding procedures, <http://www.twisoftware.com/>
- [12] WeldOffice®: State-of-the-art intelligence engineering code, <http://www.cspec.com>
- [13] Welding Expert: an innovative welding quality tool, <http://www.weldingexpert.net/>
- [14] Xenon Welding Software, <http://www.xenon.com>
- [15] Komócsin, M.: HEG-TECH-Hegesztési technológiák számítógépes tervezése, *Mérnöktovábbképző jegyzet*, Miskolci Egyetem, ME MTT, 2005., 1-124. pp.
- [16] ESI Group: SysWeld Reference Manual, <http://www.esi-group.com/products/welding>
- [17] Gál I., Schaffer J.: Számítógépes hőkezelés technológiatervező rendszer, *Felhasználói leírás*, Miskolc, 2010. pp. 1-29.
- [18] M. Tisza: Rapid Parametric Process Design using FEM, *Advanced Materials Research*, v. 6-8. (2005) pp. 235-240.



# AZ ACÉL NAGY GYORS DEFORMÁCIÓJÁNÁL FELLÉPŐ ANOMÁLIA DINAMIKAI VIZSGÁLATA

## THE DYNAMIC EXAMINATION OF AN ANOMALY DURING THE LARGE, FAST DEFORMATION OF STEEL

Dr. Pálmai Zoltán\*

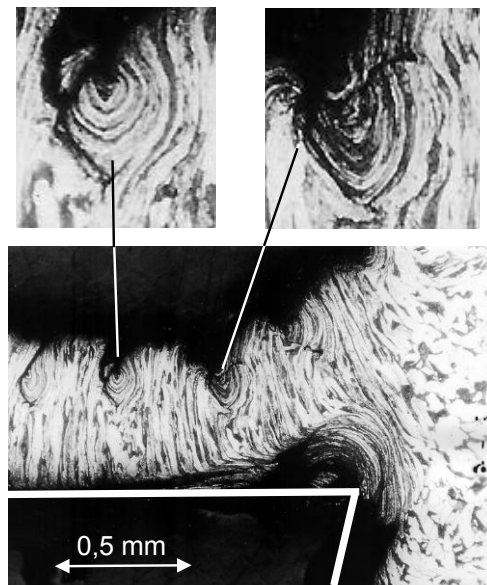
### ABSTRACT

*It may occur occasionally during turning that a metallic deposit, the so-called built-up edge (BUE) is formed that dilapidates the surface of the workpiece and shortens tool life. We have observed its effect on chip formation with microscopic techniques and have developed a mathematical model for the process. The laboratory experience confirms the numeric solution of the time delayed autonomous differential equations. This model can be applied to other technologies as well where the undeformed chip thickness varies.*

### 1. ELŐZMÉNYEK

Az acélfeldolgozás növekvő minőségi követelményei már a XX. század első felében arra késztette az anyagkutatókat, hogy behatóan tanulmányozzák termékeik technológiai tulajdonságait. A szakirodalom rendszeresen közölt jelentéseket ezekről a kutatásokról, mint pl. Rapatz cikkét [1], aki az ún. élsisakképződést tanulmányozta. Elsőként mutatta ki, hogy a nagy, gyors deformáció hatására megemelkedő hőmérsékleten a munkadarab anyagából a szerszám élére fémes réteg rakódik fel (1. ábra), amelyet a szakirodalom az angol elnevezése alapján csak BUE névvel (built-up edge) tárgyal. Ezt az anyagalakítási anomáliát egy korábbi beszámolóinkban már említettük [2]. A BUE instabil, a megmunkálás közben, amikor kialakulásának feltételei teljesülnek, átveszi a szerszámél funkcióját, rendszeresen felépül, majd leszakadozik. Jól látszik ez az 1. ábrán, amely fúrásnál keletkező forgács hosszmetsetét mutatja. Megfigyelhető, hogy a fúró előző körülfordulásakor a munkadarab felületén maradt BUE a fúró következő körülfordulásánál az éppen keletkező forgács külső felületére kerül. Az élsisak relative kis intenzitású forgácsoláshál képződik ugyan, amely a korszerű gyártási folyamatokra látszólag kevésbé jellemző, de vannak olyan technológiai

műveletek, amelyeknél most is kis sebességgel dolgozunk, mint pl. a fúrásnál. A BUE kialakulásának számos feltétele van. Ezért, noha a forgácsolás elméletének mintegy 150 éve alatt igen sokan foglalkoztak az élsisakkal, még mindig maradtak tisztázatlan részletek. Jellemző, hogy amikor Pekelharing a C.I.R.P. (College International pour la Recherche en Productique) felkérésére egy teammal összegezte az élsisakról addig szerzett ismereteket, a „Built-Up Edge (BUE): Is the Mechanism Understand?” címmel publikálta azt [3]. A témakör azóta is a technológia fejlesztésével foglalkozók érdeklődési körében maradt [4, 5].



1. ábra. Az élsisak nyomai C35 acél fúrásakor

Az e dolgozatban bemutatott munka során magával az élsisak keletkezésének folyamatával nem foglalkoztunk. Tényként fogadtuk el, hogy a BUE jól körülhatárolható és meglehetősen jól ismert technológiai feltételek mellett kialakul, és erősen befolyásolja a forgácsképződést. Célunk az volt, hogy a forgácsképződés folyamatára korábban kidolgozott és bemutatott [6] dinamikai modellünket alkalmassá

\*ny. egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, palmayz@t-online.hu

tegyük a változó rétegvastagságú forgácsolás, így az élsisak képződés hatásának leírására is.

## 2. AZ ÉLSISAK HATÁSÁNAK MATEMATIKAI MODELLEZÉSE

Az élsisak a szerszámon mintegy második élt képez, amely kinyúlik a szerszám elé is (1. ábra), azzal a következménnyel, hogy megváltozik a leválasztott anyagréteg vastagsága. Minthogy pedig a folyamat instabil, a leválasztott réteg vastagsága folyamatosan változik. Tapasztalat szerint ez a folyamat periodikus, azaz a megmunkáló rendszer egy jól meghatározható frekvenciájú rezgésgerjesztést is kap [7].

A korábban már bemutatott modell [6] a leválasztott  $h$  réteg állandóságának feltételezésével készült. Amikor ez a feltétel nem teljesül, akkor a folyamatot meghatározó képlékeny nyírési zónában ébredő  $F_{\phi t}$  erőnél, illetve a forgácsban ezzel egyensúlyt tartó  $\sigma$  nyomás hatására kialakuló rugalmas  $y_{el}$  deformációnál a  $h$  változását figyelembe kell venni (2. ábra). Az  $y_{el}$  deriválásánál ([6]) most  $\dot{y}_{el} = (h\dot{\sigma} + h\sigma)/E \sin \phi$  adódik. Az időben változó rétegvastagság megadható a

$$h(\hat{t}) = h_0 [1 + f(\hat{t})] \quad (1)$$

alakban, ahol  $h_0$  az elméleti leválasztott rétegvastagság,  $\hat{t} = t/K$  dimenziótlán idő,  $K$  az időlépték. A forgácsstó nyírési zónájában ébredő  $\hat{\tau} = \tau / \tau_\phi$  csúsztató-feszültséggel felírható új egyensúlyi egyenlet

$$\frac{d\hat{\tau}}{d\hat{t}} = \frac{1 - F(\hat{t})}{[1 + f(\hat{t})]^2} - 2 \frac{\hat{\tau}}{h} \frac{dh}{d\hat{t}} \quad (2)$$

Itt  $F(\hat{t})$  a korábbi modellnél alkalmazott anyagfüggvény,  $\tau_\phi$  pedig az olyan esetben ébredő nyírófeszültség, amikor nemcsak a leválasztott réteg vastagsága konstans, hanem a leváló forgácsé is, azaz ún. folyóforgács keletkezik. A modell többi egyenlete változatlan, ahogyan korábban már bemutatuk [7]:

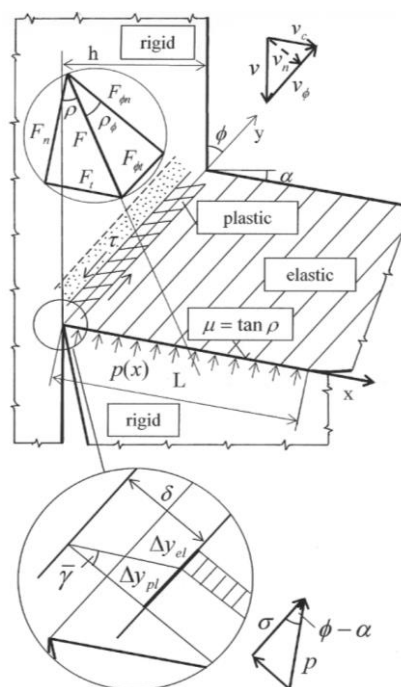
$$\frac{d\hat{T}_0(\hat{t})}{d\hat{t}} = \zeta [\hat{T}(\hat{t}) - 2\hat{T}_0(\hat{t})] - \frac{1}{\delta \hat{t}} \hat{T}_0(\hat{t}) \quad (3)$$

$$\frac{d\hat{T}(\hat{t})}{d\hat{t}} = \eta \hat{\tau}(\hat{t}) F(\hat{t}) - \zeta [\hat{T}(\hat{t}) - \hat{T}_0(\hat{t})] - \frac{1}{\delta \hat{t}} [\hat{T}(\hat{t}) - \hat{T}_0(\hat{t}) - \delta \hat{t}], \quad (4)$$

$$\frac{d\hat{\gamma}(\hat{t})}{d\hat{t}} = [F(\hat{t}) - F(\hat{t} - \delta \hat{t})] \frac{1}{\delta \hat{t}}, \quad (5)$$

és itt  $\hat{\gamma}$  a nyírési zóna deformációja,  $\hat{T} = (T - T_w)/T_w$  a nyírési, azaz aktív deformációs zóna dimenziótlán hőmérséklete, ahol  $T_w$  a munkadarab hőmérséklete,  $\hat{T}_0$  pedig a 2. ábrán pontozással jelölt inaktív, csak a hőátadásban szerepet játszó réteg hőmérséklete. Az  $\eta$ ,  $\rho$  és  $\delta \hat{t}$  rendszerparaméterek, ahol  $\eta$  a fizikai teljesítmény jellemzője,  $\delta \hat{t}$  az időtartam, amennyit az

anyag a nyírési zónában tölt,  $\rho$  pedig a hővezetéssel összefüggő rendszerparaméter.



2. ábra. A forgácsképződés új egyszerűsített technológiai modellje

Az anyagegyenlet

$$F(\hat{\gamma}, \hat{\tau}, \hat{T}) = F(t) = \frac{\dot{\hat{\gamma}}}{\dot{\hat{\epsilon}}_\phi} = \frac{\hat{T} + 1}{\hat{T}_0 + 1} \exp \frac{\tau - \frac{1 + \epsilon_\phi^n \dot{\hat{\gamma}}^n}{1 + \epsilon_\phi^n} + a(\hat{T} - \hat{T}_0)}{b(\hat{T} + 1)}, \quad (6)$$

ahol  $\epsilon_\phi$  a  $\tau_\phi$  feszültségnél kialakuló deformáció,  $\hat{T}_0$  ugyanott a hőmérséklet.

Ez az egyenletrendszer a modell négy állapot-jellemzőjének,  $\hat{\tau}$ ,  $\hat{T}_0$ ,  $\hat{T}$  és  $\hat{\gamma}$  meghatározására szolgál. A forgács képződésének általánosított modellje tehát a (2)-(5) autonóm differenciálegyenlet és a (6) anyagegyenlet. A kezdeti feltétel  $\hat{T}_0(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$ , illetve  $\hat{\tau}(\mathbf{0}) = \mathbf{0}$ , a (4) és (5) eltolásos differenciálegyenleteknél a  $\hat{t} = \mathbf{0} \dots \delta \hat{t}$  idő-intervallumban  $\hat{T}(\hat{t}) = \mathbf{0}$  és  $\hat{\gamma}(\hat{t}) = \mathbf{0}$ .

## 3. KÍSÉRLETI ELLENŐRZÉS

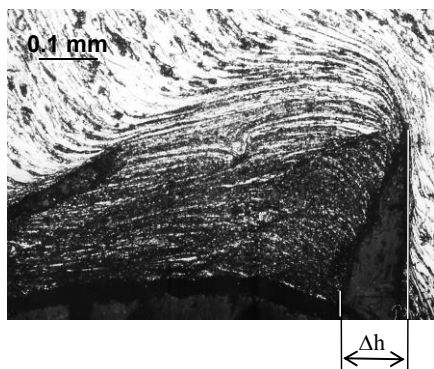
Feltételezésünk az volt, hogy a BUE kialakulása az által, hogy a folyóforgács képződését erősen megzavarja, kaotikus profilú forgácsot idézhet elő. A kaotikus jelleg elméleti sajátosságait máshol már bemutatuk [7], itt a forgácsképződés gyakorlati vonatkozásaival foglalkozunk. Ezért a kísérleti forgácsolás céljára olyan anyagot kerestünk, amelynél azonos technológiával lehet élsisak képződésével és anélkül is forgácsot leválasztani. Ehhez az automataacél

kínálkozott, amelyből egy magyar kohászati üzem ólom és tellúr ötvözéssel új acéltípust állított elő. A két anyag egészen hasonló kémiai összetételű (1. táblázat), és a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén végzett vizsgálatok szerint a forgácsolóerő a sebesség széles tartományában közel azonos. A Pb+Te ötvözés mindössze 3,5%-kal csökkentette a főforgácsolóerőt és 8,6%-kal az előtolóerőt.

1. táblázat  
A kísérleti acél adagok kémiai összetétele

Minőség	C %	P %	S %	Pb %	Te %	P %
AS1	0,08	0,098	0,208	-	-	0,098
AS1+Pb+Te	0,08	0,103	0,218	0,15	0,04	0,103

Ezeket az acélokat gyorsacél szerszámmal hengerelt állapotban esztergáltuk. A hagyományos automata-acélnál a várt élsisak keletkezett, míg az ólom és tellúr hatására a szerszám élénél a forgács BUE nélkül alakult ki, sima folyóforgács jött létre.



3. ábra. A leválasztott réteg vastagságának  $\Delta h$  változása

A periodikusan képződő és leszakadó élsisak a leválasztott réteg vastagságát is periodikusan befolyásolja, amelynek mértékét a 3. ábrán  $\Delta h$  jelzi. A kép az esztergálás hirtelen megszakításakor a munkadarabon maradt forgács tövének metszetéről készült.

A  $h$  réteg az élsisak felépülése közben fokozatosan, közelítő feltételezéssel lineárisan növekszik, majd egy  $\Delta h$  értéknél leszakad, a leválasztott réteg vastagsága ismét  $h_0$ . Így a  $h(t)$  rétegvastagság egy ún. fűrészfog-profil szerint változik, amelynek frekvenciája a forgácsról megállapítható. Az (1) képlet módosul a

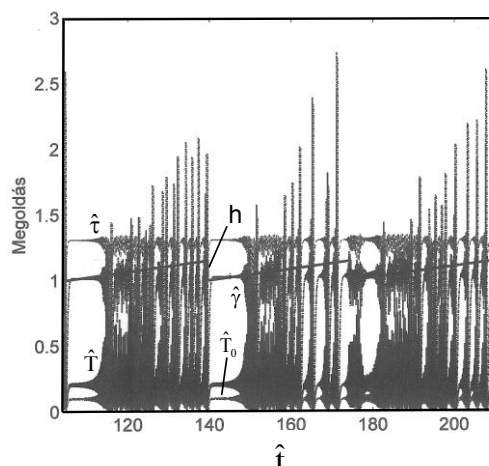
$$h(\hat{t}) = h_0 [1 + Hf_1(\Omega\hat{t})] \quad (7)$$

alakra, ahol  $H = \Delta h / h_0$ ,  $\Omega = K\omega$  és  $\omega$  az élsisak képződésének frekvenciája, és  $f_1$  a fűrészfog időfüggvénye.

Az esztergálásnál a technológiai paraméterek a következők voltak: forgácsolósebesség  $v=30$  m/min, előtolás  $f=0,3$  mm/ford., azaz  $h_0=0,3$  mm, minthogy  $\kappa_r=0^\circ$ , a szerszám működő homlokszöge

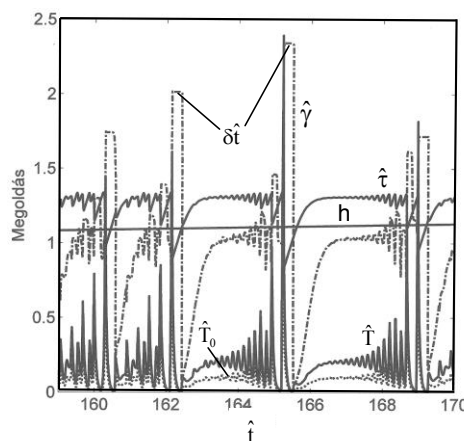
pedig  $\gamma=6^\circ$ . A forgács geometriai paramétereiből  $\phi=25,7^\circ$ ;  $\varepsilon_\phi=2,44$ ; a forgács sebessége a szerszámon  $v_{\text{forg}}=0,23$  m/s. A forgáctónél lemérhető volt a BUE kialakulásának úthossza  $L_{\text{cikl}} \cong 2,5$  mm, amelyből a ciklusidő  $t_c \cong 0,011$  s, a frekvencia pedig  $f \cong 92$  Hz.

A kísérleti anyag lényegében lágycél, amelynek fizikai és mechanikai anyagjellemzőiből a következő paramétereket határoztuk meg:  $a=0,3$ ;  $b=0,012$ ;  $n=0,2$ ;  $T_\phi=1,2$ ;  $\delta\hat{t}=0,3$ ;  $\eta=4,1$ ;  $\rho=46$ , az időlépték  $K=3,1 \cdot 10^{-4}$ s, a BUE képződésének megfelelő paraméterek pedig  $H \cong 0,1$  és  $\Omega=0,18$ .



4. ábra. A forgácsképződés matematikai modelljének megoldása változó leválasztott rétegvastagságnál

Ezekkel az adatokkal a (3)-(6) egyenletrendszer már megoldható, amelyet a MatLab szoftver segítségével végeztünk el.  $H=0$  esetén, amely a BUE nélküli forgácsképződésnek felel meg, a várt fixpont megoldást kaptuk, azaz idő függvényében konstans eredményeket. A  $H \cong 0,1$  esetében viszont kaotikus lett a megoldás, amelynek három periodikus szakaszát a 4. ábra mutatja.



5. ábra. A 4. ábra egy részletének kinagyítása

Látható itt a (7) függvény szerint „fűrészfog”-jelleggel változó  $h$  rétegvastagság is, amely periodikusan növekszik, majd hirtelen lecsökken. Minden növekedési periódusban a folyamat

állapotjellemzőinek egy jellegzetesen ismétlődő kaotikus növekedése figyelhető meg, amely megfelel az esztergálásnál kapott forgács kontúrján a szabálytalan hullámvázsnak. A kaotikus jelleget ennél az időeltolódás, így végtelen szabadságfokú differenciálegyenlet-rendszerénél Csernák Gábor igazolta is [10].

Érdekes adaléka a számításnak, hogy feltárja a forgácsképződés deformációs folyamatának finomabb szerkezetét is. Az 5. ábra egy rövid idő-intervallum kinagyítását szemlélteti, amelynek alapján az az érdekes megállapítás tehető, hogy a modell szerint a BUE kialakulásának minden ciklusa további kis ciklusokból áll, és ezek jellege hasonló a ciklusok jellegéhez. Itt is van egy kezdeti, folyamatosan növekvő amplitúdójú ingadozás, majd a kis ciklus végén egy kiugróan nagy deformáció, megcsúszás következik. Megállapítható volt, hogy ennek a megcsúszásnak az ideje  $\delta t$ , vagyis azonos azzal az időtartammal, ameddig a munkadarab anyaga a modell szerint a  $\delta$  vastagságú nyírási zónában tartózkodik. Ellenőrzésként a forgács metszetén lemértük a profil-csúcsok távolságát. Ezek átlaga  $L_{kc}=0,164$  mm, amely a  $v_{forg}$  forgácssebességgel átszámítva  $t_{kc}=7,14 \cdot 10^{-4}$  s átlagos kis ciklusidőnek felel meg. A számítási eredményekből egy önkényesen kiválasztott szakasznál a kaotikus kis ciklusok átlagos periódusideje  $6,8 \cdot 10^{-4}$  s volt. Ez kb. 1,40 ill. 1,47 kHz frekvenciának felel meg, amely a kis mintavételt is figyelembe véve kielégítő egyezésnek tekinthető. A kaotikus jelleg miatt ezek a frekvenciák természetesen az átlag körül ingadozó értékek halmazát jelentik.

A vizsgálattal tehát arra a megállapításra jutottunk, hogy a BUE által keltett primer frekvencia, amint az előzőekben bemutattuk, 92 Hz, és ez összhangban van a kutatók korábbi megállapításaival [9]. Vannak itt azonban a deformáció finomabb részleteire utaló „felharmonikusok” is, a kerekítve 1;4 kHz rezgésszámú kis ciklusok. Ezek a forgácsolóerő ingadozásában is nyilvánvalóan megjelennek, és könnyen előfordulhat, hogy a magasabb rezgésszám már megközelíti a megmunkáló rendszer valamelyik sajátfrekvenciáját, amely káros rezonancia-közeli állapotot idézhet elő.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az acélok feldolgozásának egyik leggyakoribb technológiájánál, a forgácsolásnál esetenként egy deformációs anomália következtében anyag rakódik a szerszám élére, élszak (built-up edge: BUE) képződik. Ez a periodikusan kialakuló képződmény átveszi a szerszám élének a szerepét, így befolyásolja a leválasztott réteg vastagságát. A forgácsképződésre korábban kidolgozott matematikai modell továbbfejlesztésével az időben változó vastagságú réteg forgácsolását leíró matematika modellt dolgoztunk ki. Az új modell kísérleti ellenőrzését AS1 jelű automataacél két adagjából vett minta azonos forgácsolásával végeztük. Az egyik adag

forgácsolhatóságát kísérleti jelleggel Pb+Te ötvözéssel javítottuk, így az élsakképződés elkerülhető volt. A modell-számítás eredményei összhangban voltak a forgácsolási vizsgálattal. Megállapítható volt, hogy a BUE hatására a forgácsképződés kaotikussá vált, és a BUE leszakadozásának ciklusán belül kialakul egy második kaotikus ciklikusság is kb. egy nagyságrenddel nagyobb frekvenciával.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti Csernák Gábor kollégát a MatLab alkalmazásához nyújtott segítségért és Pap József kollégát, aki a forgácsolóerő méréseket végezte.

A kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOM

- [1] Rapatz, F., Das Oberflächenaussehen bei der Spanabhebenden Bearbeitung Insbesondere beim Drehen, Archiv für das Eisenhüttenwesen, Vol. 3. 1929-1930. pp.717
- [2] Pálmai Z., A szerszámanyagok kopási folyamatai forgácsolásnál. BKL Kohászat 144. évf. 5. szám (2011) pp.5-9
- [3] Pekelharing, A.J., Built-Up Edge (BUE): Is the Mechanism Understood? Annals of the CIRP. Vol. 23/2 (1974) pp.207-212
- [4] Fang, N., P. Dewhurst, Slip-line modeling of built-up edge formation in machining. Int Journ Mechanical Sciences 47 (2005) pp.1079-1098
- [5] Klocke, F., Manufacturing Processes 1 Cutting, Springer, Aachen, 2011. pp.77
- [6] Pálmai Z., Módszer fémek speciális anyagjellemzőinek közelítő meghatározására nagy, gyors deformáció extrém körülményei között. BKL Kohászat 143. évf. 5. szám (2010) pp.37-41
- [7] Pálmai Z., G. Csernák, Chip formation as an oscillator during the turning process, Journ. of Sound and Vibration 326 (2009) pp.809-820
- [8] Pálmai Z., G. Csernák, The thermomechanical model of built-up-edge formation during turning. VII. Conference on Mechanical Engineering, Budapest, May 25-26. 2010.
- [9] Shteinberg, J.S., Ustranenie vibratsi, vozn ikayushchikh pri rezanii metallov na tokarnom. USSR, Mashgiz, 1947.
- [10] Pálmai Z., Csernák G., Effects of built-up edge induced oscillations on chip formation during turning. Journ. of Sound and Vibration (megjelenés alatt)

# A FORGÁCSOLÓSZERSZÁM ÉLTARTAMÁNAK MEGHATÁROZÁSA MUNKADARAB MÉRETELLENŐRZÉssel SOROZATGYÁRTÁSNÁL

## ASSESSMENT OF CUTTING TOOL LIFE BY MEASUREMENT CONTROL IN SERIES PRODUCTION

Dr. Pálmai Zoltán,\*Dr. Szűcs János\*\*

### ABSTRACT

We aimed at utilizing the data gained during the check of the workpiece size to observe the wear of the tool in series production. We have processed AS2 free cutting steel originating from two production charges by P20 uncoated carbide tool on automatic lathe. We designed the workpiece specifically for this purpose and we have measured the deviation from the nominal measure in the case of each piece. These were converted to wear of corner of the cutting edge and we have assessed their wear curve from which the tool life can be calculated. The results of control measurements of flank wear were in accordance with the calculated data of the wear of the corner of the cutting edge.

### 1. BEVEZETÉS

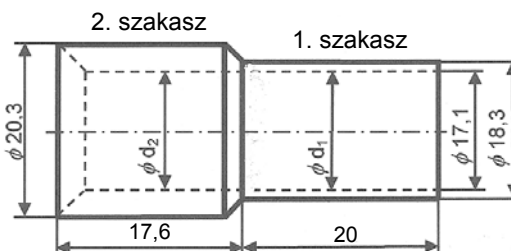
Alkatrészek sorozatgyártásánál az elkészült munkadarabok méretének ellenőrzése szükségszerű, természetesen végrehajtott művelet. Felmerült a gondolat, hogy a rendszeres mérési tevékenységgel nyert adatokat használjuk fel a szerszám elhasználódásának a nyomon követésére is, hiszen így külön célzott éltartamvizsgálatok nélkül is hasznos információk birtokába lehet jutni, amelyek a technológiai tervezésben felhasználhatók. Ezek az adatok alkalmasak lehetnek arra is, hogy a szerszámkopás felismert és kimért növekedése alapján a szerszámbeállítást vissz szabályozhassuk az egyre szűkebb mérettűrések betartása érdekében.

### 2. A KÍSÉRLETI TERV

A választásunk revolverautomatával végzett sorozatgyártásra esett. Egy SKODA A40 típusú revolveresztérgán, célzottan a kísérlet céljára kialakított

alkatrész sorozatgyártására került sor (1. ábra), amelynél minden darabon mértük a névleges mérettől való eltérést. Ebből kívántunk a szerszám csúcskopására vonatkozó információkat nyerni.

A méretszórás és a szerszámkopás kapcsolatának vizsgálatnál arra a kérdésre is kerestük a választ, hogy a művelet közben ugrásszerűen változó mechanikai igénybevétel hogyan deformálja a rugalmas megmunkáló rendszert. Ennek a kérdésnek a tisztázásához az 1. ábrán látható kísérleti munkadarabot úgy terveztük, hogy a művelet közben a külső átmérő  $\phi 18,3$ -ról  $\phi 20,3$  mm-re ugrásszerűen változzon meg, így a fogásmélység  $0,6$  mm-ről hirtelen  $1,6$  mm-re növekedjen. A végig azonos átmérőt két helyen is mértük, és ezeket az eredményeket ( $\Delta d_1$  és  $\Delta d_2$ ) összetartozó adatokként kezeltük.



1. ábra. A kísérleti alkatrész

#### 2.1. A kísérleti anyag és szerszám

A kísérleti anyag két acélgégyártási adagból származó  $\phi 28$  mm méretű hengerelt köracél volt, amelyet  $\phi 26$  mm átmérőre húztak. Az anyagminőség AS2 automataacél az 1. táblázatban látható összetétellel.

A keménység a legszélső, erősen alakított rétegen belül, ahol a forgácsolási vizsgálatokat végeztük, az A adag esetében  $HV 197 \pm 8$ , a B adagnál  $HV=199 \pm 8$ , azaz a két adagnál gyakorlatilag egyforma volt. A különbséget az A adag legyártásánál alkalmazott speciális dezoxidálási művelet okozta, amelynek következtében az A adagban olyan komplex szilikát zárványok maradtak vissza, amelyek a melegalakítás,

\*ny. egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, palmayz@t-online.hu

\*\*ny. egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, janos.szucs@uni-miskolc.hu

így a forgácsolás körülményei között is képlékenyek, és a forgácsolhatóságot javítják.

1. táblázat

A kísérleti acél adagok kémiai összetétele

Acél	C %	Mn %	Si %	P %	S %
A adag	0,15	0,88	0,31	0,075	0,179
B adag	0,17	0,86	0,28	0,076	0,191

A szerszám P20 bevonatlan keményfém volt ( $\gamma=0^\circ$ ,  $\alpha=8^\circ$ ,  $\kappa_r=45^\circ$ ,  $r_e=0,2\text{mm}$ ).

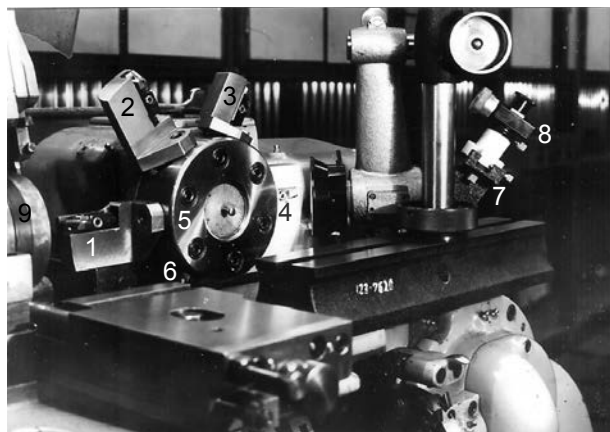
## 2.2. Technikai feltételek és műveleti sorrend

A vízszintes tengelyű, hat helyzetes revolverfejen (2. ábrán **5**) az ütköző (**6**), valamint a négy merev szerszámbe fogó készülékbe (**1**, **2**, **3**, **4**) keményfém-lapkák voltak beszerelve. A munkadarab befogása szorítóhüvelyben történt. A kísérletnél – ellenőrzésként – a szerszám hátkopását is mértük, amelyhez egy érdességmérő kettős mikroszkóp (**7**) okulár mikrométerét alkalmaztuk (**8**).

A kísérleti megmunkálás gépi műveleti sorrendje a következő volt:

- anyagadagolás, szorítás ütközőre (3. ábrán **6**),
- négy esztergálási művelet a revolverfej aktuális pozicionálása szerint (**1**, **2**, **3**, **4**),
- leszúrás.

Az összes próbadarabra kiterjedő átmérőméréseket – mérőhasábos beállítás mellett – 0-25 mm méréshatárú, 0,002 mm leolvasási pontosságú passzaméterrel végeztük. A keménységmérés Vickers keménységmérővel történt.

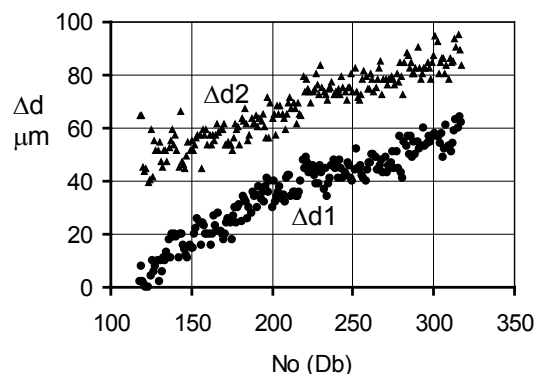


2. ábra. A mérési elrendezés a revolverautomatán

## 3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

Az AS2 acélból végrehajtott sorozatgyártás méretellenőrzésének eredményeit a 3. ábra mutatja. A legyártott munkadarabok méreteinek növekedését – a fogásmélység változása, a termikus és egyéb, véletlenszerű hatások mellett – a szerszám csúcskopása

idézi elő. Ahhoz, hogy ezt számításba lehessen venni, a legfontosabb egyéb tényezőket ki kell küszöbölni. Ilyen a megmunkáló rendszer rugalmas deformációja és a termikus hatásra bekövetkező méretváltozása. A rugalmas deformáció következménye a  $\Delta d_1$  és  $\Delta d_2$  méreteltérések közötti alapeltérés, amelyet a fogásmélység hirtelen megnövekedése okozott (1. ábra).



3. ábra. A kísérleti gyártás méretellenőrzésének eredményei az AS2 A acél adag megmunkálásánál

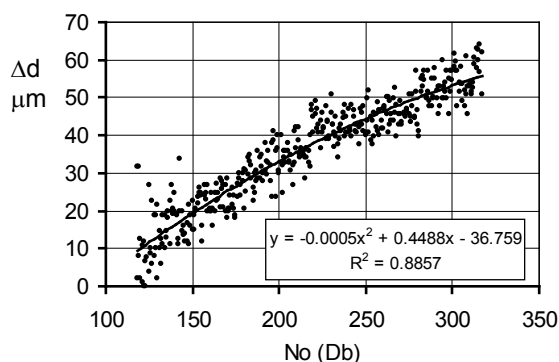
Ezzel a megmunkáló rendszer merevségét kívántuk ellenőrizni. A merevségi jellemzőt meghatározhatjuk úgy, hogy a  $\Delta d_2$  adatsornál egy  $d$  additív értéket vezetünk be a

$$\Delta d_{2\text{komp}} = \Delta d_2 + d \quad (1)$$

kompenzált méreteltérés kiszámításával. A  $d$  additív értéket optimum számításal határoztuk meg, megkeresve az egységes  $\Delta d$  adathalmazként kezelt  $\Delta d_1$  és  $\Delta d_{2\text{komp}}$  értékek maximális  $R^2$  Pearson-számához tartozó  $d$  értékét. Ezzel a módszerrel az A adag vizsgálatánál  $R_{\text{max}}^2=0,8857$  esetén  $d=-32,5\mu\text{m}$  additív érték adódott, és az átmérőmérési eredmények a megmunkáló rendszer rugalmas deformációjának a kompenzációja után a 4. ábrán láthatók. A  $d$  érték fontos információ a megmunkáló rendszer merevségére vonatkozóan, amely a  $k=d/\Delta F_p$  összefüggés alapján – ahol  $\Delta F_p$  a passzív erő növekménye a forgácsolt keresztmetszet megváltozása következtében – megadja a méreteltérést okozó rugóállandó nagyságát. Esetünkben a passzív forgácsolóerőt a Kienzle-képlettel kiszámítva [1] azt találtuk, hogy  $k=0,14 \mu\text{m}/\text{N}$ , amely meglehetősen nagy érték. A B adagra is hasonló eredmény adódott.

Ennek alapján az a megállapítás tehető, hogy az itt alkalmazott automata esetében befejező műveletnél feltétlenül kerülni kell a keresztmetszet-változásokat, mert az érzékenyen befolyásolja a megmunkálási pontosságot.

A szerszám gép-szerszám rendszer felmelegedéséből eredő mérettorzulás kiküszöbölésére a méréseket csak  $N=117$  db legyártása után kezdtük meg, amikor az előkísérletek szerint a rendszer már termikus egyensúlyba került.



4. ábra. A kísérleti gyártás kompenzált átmérőmérési eredményei az A acél adagnál ( $d = -32,5 \mu\text{m}$ )

Ezeknek az eredményeknek a birtokában úgy képeztünk csúcscopás adatokat, hogy a legyártott munkadarabok No sorszámát átszámítottuk forgácsolási időre, a  $\Delta d$  méreteltérést pedig csúcscopásra.

A forgácsolási idő kiszámítására, figyelembe véve, hogy  $No=118$ -tól új szerszámmel dolgoztunk,  $\Delta d_1$ -nél

$$t = [2(NO - 117) - 1]\Delta t, \quad (2a)$$

a  $\Delta d_{2\text{komp}}$ -nál

$$t = 2(NO - 117)\Delta t \quad (2b)$$

képletet alkalmaztuk, ahol  $\Delta t=0,128\text{min}$ , amely az 1, ill. 2 szakasz végigforgácsolásának géptideje (1. ábra). A munkadarab teljes géptideje pedig ebben a műveletben  $2\Delta t$ .

A csúcscopás a  $\Delta d$  méreteltérésekből a

$$V_C = \frac{1}{2}(\Delta d - \Delta d_0) \text{ctg} \alpha_{cs} + V_{C0} \quad (3)$$

képlettel számítható, ahol  $V_{C0}=30 \mu\text{m}$  a szerszám élsugara,  $\Delta d_0$  a sorozatgyártás megindításakor a névleges mérethez beállított alapeltérés, esetünkben  $\Delta d_0=8 \mu\text{m}$ ,  $\alpha_{cs}$  pedig a csúcs hátszöge (itt a fő- és mellékél azonos hátszöge esetén  $\text{tg} \alpha_{cs} = \sqrt{2} \text{tg} \alpha_0$ ).

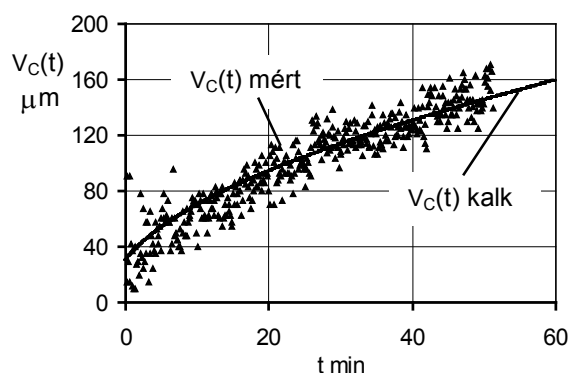
Ezekkel a csúcscopás kiszámítására  $\alpha=8^\circ$  figyelembevételével a  $V_C=2,56\Delta d+2 \mu\text{m}$  képlet adódott. Az A adagra az idő függvényében meghatározott  $V_C(t)$  csúcscopás értékeket az 5. ábra szemlélteti, amely már tartalmazza a számított kopásgörbét is.

A csúcscopás matematikai modelljeként a korábban kidolgozott kopásegyenletet alkalmaztuk [2], amely a

$$\frac{dV_C(t)}{dt} = \frac{v}{V_C(t)} \left[ A_a + A_{th} \exp \left( -\frac{B}{v^x + KV_C(t)} \right) \right] \quad (4)$$

differenciálegyenlettel írható le, és

$$B = \frac{Q}{RC_v} \quad (5)$$



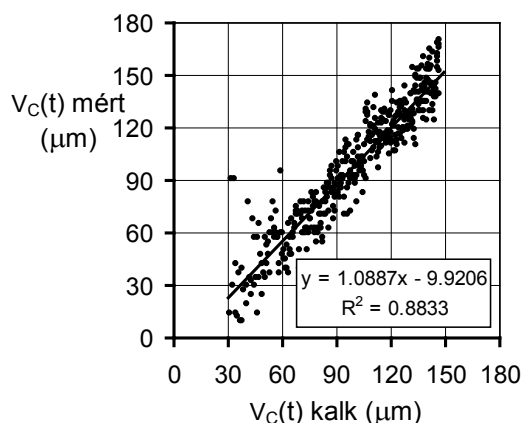
5. ábra. A csúcscopásból meghatározott kopásgörbe illeszkedése a kompenzált átmérőmérési eredményekre (A adag)

Itt  $A_a$  az abrázíós/adhéziós,  $A_{th}$  pedig a termikusan aktivált kopási folyamat együtthatója, amelyek mértékegysége  $10^{-6} \mu\text{m}/\text{min}$ , ha a  $V_C$  kopásnál  $\mu\text{m}$ , a  $t$  időnél  $\text{min}$ , a  $v$  forgácsolósebességnél  $\text{m}/\text{min}$  egységgel számolunk.  $R=8,31 \text{ J}/\text{mol}^\circ\text{K}$  az általános gázállandó,  $C_v$  pedig a forgácsoláselméletben ismert  $\Theta \approx C_v v^x$  empirikus hőmérsékletfüggvény konstansa,  $x$  pedig a kitevő. Ez utóbbi természetesen függ a technológiai paraméterektől, és itt nem részletezett számítás szerint a munkadarab 1 és 2 jelű szakaszára vonatkozóan  $C_{v1}=224,1 \text{ K}$ ,  $C_{v2}=236,5 \text{ K}$ , és  $x=0,27$  [2]. A  $K=C_w/C_v$  konstansban a  $C_w$  állandó azt a visszacsatolást fejezi ki, amely a forgácsolási hőmérséklet és a kopás között fennáll. Irodalmi adatok alapján  $C_w \approx 0,6^\circ\text{K}/\mu\text{m}$  [2].  $Q$  a kopási folyamat termikus aktiválási energiája,  $Q=134 \text{ kJ}/\text{mol}$  [3].

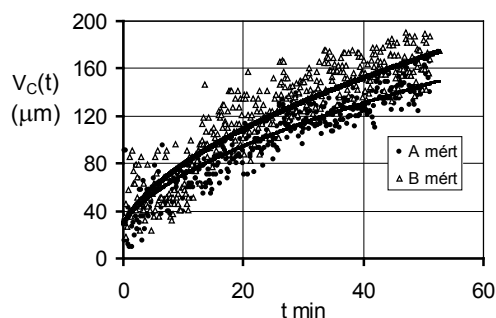
A (4) egyenlet numerikusan megoldható, az 5. ábra ezt is mutatja. Az  $R^2$  Pearson-szám maximalizálásával a konstansok  $A_a=2,3 \cdot 10^{-6} \mu\text{m}$ ,  $A_{th}=20 \mu\text{m}$ .

A munkadarab méreteltéréseiből előállított, mért értéként kezelt és a (4) egyenletből számított csúcscopás kapcsolata a vizuálisan a 6. ábra alapján megítélhető. A forgácsolástechnológiában megszokott nagy szórások ismeretében az egyezés meglehetősen szorosnak mondható.

A szerszámtartósságot a művelet közben szakaszosan vagy folyamatosan változó technológiai paraméterek esetén hagyományosan az elkopásig legyártható alkatrészek darabszámával szokás jellemezni. Szigorúan véve itt is ez a módszer kínálkozik, hiszen egy-egy műveletnél két különböző forgácsolósebességet és fogásmélységet alkalmaztunk. A (4) egyenlet révén azonban ezek a közbenső technológiai különbségek figyelembe vehetők, és végeredményben akár a szabatosan definiált, valamilyen kritériumhoz tartozó éltartamok is meghatározhatók.



6. ábra. A csúcskopás számított és mért értékeinek illeszkedése az A adagnál



7. ábra. A két vizsgált anyag forgácsolhatóságának összehasonlítása

Ezzel a módszerrel – a munkadarab méretszórásának értékelésével – a feldolgozott anyag forgácsolhatósága is megítélhető. A 7. ábra mindkét vizsgált acéladagnál mért méreteltérések feldolgozásának eredményeit tartalmazza, amely alapján megállapítható, hogy a közel azonos kémiai összetételű két lágyacél anyag a P20 keményfémrel történő megmunkálása esetén közel azonosan koptatja a szerszámot. Az éltartóssággal jellemzett forgácsolhatóság azonban az **A** adag esetében – feltehetően az acélgyártásnál alkalmazott speciális dezoxidációs technológia [4] következtében – valamivel jobb, mint a **B** adagnál. A  $V_B=0,1$ mm-hez tartozó éltartamok  $T_A=22,9$  min,  $T_B=16,6$  min, a  $V_B=0,15$ mm-hez tartozó éltartamok  $T_A=53,4$  min,  $T_B=38,8$  min, amely értékek a forgácsolhatóság különbségét számszerűen is jellemzik.

Az eredmények ellenőrzéseként a **B** adagnál, amikor egy közbelső műveletnél a forgácsolás sebessége  $v=82,3$  m/min volt, a maximális hátkopást is mértük.  $t=19,9$  min gépidőnél  $V_{Bmax}=0,104$  mm értéket mértünk, amely összhangban van a méreteltérésekből számított csúcskopás értékekkel.

Természetesen a kopásból eredő mérethiba biztonsággal kompenzálható oly módon, hogy a kopásból levezethető  $\Delta d$  mérethibával meghatározott idő után alkalmazott visszazabályozással a szerszámbeállítást korrigáljuk, és ezáltal a gyártási méretszórást lényegesen szűkebb tartományba szorítjuk.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A sorozatgyártásnál rendszeresen, a legyártás sorrendjében minden darabon elvégzett méretellenőrzés eredményeit arra kívántuk felhasználni, hogy az így nyert információkból a szerszám elhasználódására vonatkozó megállapításokat tegyünk. Revolver-automatán célzott alkatrészgyártási kísérleteket végeztünk olyan alkatrész külső hengeres felületének esztergálásával, amelyet e célra terveztünk meg. A szerszám P20 bevonatlan keményfém, a megmunkált anyag AS2 automataacél két gyártási adaga volt. A szerszám gép és szerszám bemelegedési szakaszt kizártuk a vizsgálatból, a fogácsolás közben hirtelen keresztmetszet-változás következtében a rugalmas megmunkáló rendszer mérettorzító hatását vizsgáltuk, és kompenzáltuk. Ilyen módon lehetővé vált, hogy a legyártott munkadarabok méreteltérését a szerszám csúcskopására átszámítva meghatározzuk a kopás-görbét, amelyet egy kopásegyenlettel modelleztünk. Az eredmény összhangban volt a kontrollként mért maximális hátkopással. A módszer alkalmasnak bizonyult arra is, hogy felhasználásával az alkatrész anyagának forgácsolhatóságát minősítsük.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOM

- [1] König, W., K, Essel, Spezifische Schnittkraftwerte für die Zerspanung metallischer Werkstoffe. Verlag Stahleisen M.B.H., Düsseldorf, 1973.
- [2] Pálmai Z., A szerszámanyagok kopási folyamatai forgácsolásnál. KL Kohászat 144. évf. (2011), No. 5. pp.5-9
- [3] Cook, N.H., Tool Wear and Tool Life, Trans. of the ASME, Journ. of Engineering for Industry, Nov. 1973. pp.931-938
- [4] Pálmai Z., Újabb adatok a célszerűen dezoxidált acélok forgácsolhatóságáról. Gépgyártástechnológia XI. évf. (1971) No. 7. pp.294-301



# ANYAGLEVÁLASZTÁSI FOLYAMAT VIZSGÁLATA DÖRZSKÖSZÖRÜLÉS NÉL

## EXAMINATION OF MATERIAL REMOVAL PROCESS IN HONING

Dr. Szabó Ottó\*

### ABSTRACT

*The paper examines the possibilities of increasing of material removal rate of honing in case of use of superhard tools. Tool having superhard grains significantly increases performance of chip removal, technological process becomes more stable and increase of tool life is meaningful. The author experimentally examined the effects of increase of grain size, cutting speed, tool pressure on changing of cutting time. The result of this is a two stage honing, in which the first stage assures removing of increased allowance, and the second stage is the final or fine stage which assures the realization of the prescribed accuracy and surface roughness.*

### 1. BEVEZETÉS

A nagy pontosságú és jó felületminőségű furatok precíziós- vagy finommegmunkálási eljárásait a gépjárműipari (pl. henger- és hajtókar- furatok), csapágyipar (pl. gördülőpályák) és hidraulika elemek gyártása (pl. hengerfuratok) tömegesen alkalmazza. A leggyakoribb furat- finommegmunkálási eljárások: finomesztergálás, finomfűrés, üregelés, dörzsárazás, finomköszörülés, dörzsköszörülés (honolás, szuperfinis), tükrösítés (leppelés), furatvasalás. Ezek az eljárások külső hengeres-, sík- és alakos felületek befejező megmunkálásainál is nélkülözhetetlenek [1, 3, 8]. Az edzett felületű precíziós furatok, keménymegmunkálásának új kutatási eredményeiről Dr. Kunderák János számol be [2]. A dörzsköszörülés elsődleges célja: az előző forgácsoló műveleteknél kialakult mikrogeometriai egyenetlenségek, illetve a jelentős forgácsolóerők és forgácsoláskor fellépő hőhatások következtében roncsolt, metallográfiai átalakulásokat szenvedett felületi réteg eltávolítása, felületi érdesség csökkentése, tribológiai, vagy kenéstechnikai szempontból kedvező, mikrokarcs-rendszer kialakítása.

\* egyetemi docens, CSc, PhD, Miskolci Egyetem,  
Gépgyártástechnológiai Tanszék

További cél: a dörzsköszörült felület előírt makrogeometriai pontosságának (méret-, alak- pontosság) megvalósítása.

A befejező- vagy finom-dörzsköszörüléssel nagyon kis ráhagyás kerül leválasztásra, oldalanként  $2R_{m,e}=5...20 \mu\text{m}$ . Az  $R_{m,e}$  a dörzsköszörülés előtti gondos forgácsoló művelet által létrehozott maximális érdesség.

Az elérhető átlagos érdesség  $R_a=0,09...0,02 \mu\text{m}$ .

A befejező- vagy finom- dörzsköszörülés és az előző forgácsoló művelet közé iktatott elődörzsköszörülés természetesen olyan szerszámot és technológiai adatokat alkalmaz, mellyel nagyobb anyagmennyiség, nagyobb ráhagyás is leválasztható.

E szakcikkben a furatok dörzsköszörülése területén elért kutatási eredményeiről számolok be, különös tekintettel anyagleválasztásra, a gazdaságosan leválasztható ráhagyásra.

### 2. FURATKÖSZÖRÜLÉS VAGY DÖRZSKÖSZÖRÜLÉS?

A technológus sok esetben kell, hogy döntsön, illetve meg kell válaszolni a fenti kérdést. Feltételezve, hogy rendelkezésre áll mindkét alkalmas szerszámgép. A furatköszörülés nehézségeit ismerjük, itt a köszörűorsó kis merevsége jelenti a fő gondot, ami pontosságot és anyagleválasztást korlátozza [1].

A két eljárás egyszerűsített összehasonlítását 1. táblázat foglalja össze. Táblázatban előforduló jelölések:  $d_f$  és  $d_s$  – furat és szerszám átmérő;  $B_s$  – korong szélessége;  $L_h$  – hasáb hossza;  $l_f$  – furat hossza;  $a$  – fogás;  $d_{eq}$  – ekvivalens furatátmérő;  $n_h$  – hasábok száma;  $B_h$  – hasábok szélessége;  $d_s$  – köszörűkorong átmérője. Furatköszörülésnél az ekvivalens furatátmérő:  $d_{eq}=(d_s + d_f)/(d_f - d_s)$ .

A válasz az 1. táblázatból is következik, hogy a dörzsköszörülés kis forgácsolósebességgel, alacsony forgácsolási hőmérsékleten, a szerszám kialakításából következően kiegyenlített, egyensúlyi helyzetű, radiális mélyítőirányú forgácsolóerőkkel dolgozik. Előzőek következménye: roncsolt, metallográfiailag átalakult felületi réteg eltávolítására alkalmas, illetve hasonló jellegű felületi rétegváltozásokat érdemben nem okoz. Ha az  $l_f/d_f > 1$  akkor célszerű a dörzsköszörülés mellett dönteni, amennyiben más korlátozás nem zárja ki.

1. táblázat. Eljárások összehasonlítása

Jellemzők	Furatköszörülés	Dörzsköszörülés
Forgácsoló sebesség	$v_c \geq 25$ m/s	$v_c \geq 45$ m/min
Szerszám átmérő	$d_f > d_s$	$d_f = d_s$ (állítható)
szerszámhossz	$l_f <$ vagy $> B_s$	$l_f \geq L_h$ (lökethossz állítható)
Furat hossz- és átmérő hányadosa	$l_f/d_f \leq 1,5$	1,0...20
Szerszám és furat érintkezési ívhossza	$i = (a \cdot d_{eq})^{0,5}$ ; (kicsi)	$i = n_h \cdot B_n$ ; (nagy)
Forgácsolási hőmérséklet	$> 700^\circ\text{C}$	$< 120^\circ\text{C}$
Leválasztott forgács jellemzői: hossza, alakja, hőmérséklete	rövid, „bajusz” alakú, izzó állapotú (olvadás, oxidáció)	öv., edzett acél: tört, rövid lágú, szívós anyagok: folyó-, hosszú, hideg

### 3. ELŐDÖRZSKÖSZÖRÜLÉS ANYAGLEVÁLASZTÁSI SEBESSÉGÉNEK NÖVELÉSE

Ha a dörzsköszörülés előtti forgácsolás pontatlanságai miatt a dörzsköszörülési ráhagyást meg kell növelni, akkor a dörzsköszörülést kétfokozatúra tervezzük. Elődörzsköszörülés biztosítja a ráhagyás nagy részének leválasztását, ehhez az anyagleválasztási sebességet növelni kell. Ezt követi a befejező- vagy finom dörzsköszörülés. Ha közvetlenül a furatátmérő  $\Delta$  növekedését mérjük üzemben vagy kísérleteknél azonnal használható adatokat kapunk. A pontos furatátmérő mérése többféle módon történhet: 1) 3 ponton mérő mikrométerrel; 2) pneumatikus idomszerrel; 3) megmunkálás közben a dörzsköszörülő szerszámába épített pneumatikus fűvőkákkal.

Kísérleteknél az első és a harmadik módszert alkalmaztuk.

A dörzsköszörülés anyagleválasztási teljesítményének növelése többféle úton lehetséges. A növelés fontosabb kiválasztási szempontjai:

- Szerszámgepnél:
  - gépválasztásnál annak tisztázása, hogy erőzáró- vagy alakzáró legyen a szerszámnyomás állítása, szabályozása;
  - $v_c$  forgácsolósebesség és  $p$  szerszámnyomás állítási tartománya;
  - kettő – (elő- és finomdörzsköszörülés) vagy többorsós szerszámgépek igénye;
- Szerszámoknál:
  - munkadarabhoz legkedvezőbb szerszám konstrukció kiválasztása;
  - szerszám – dörzsköszörű hasáb – működő méreteinek (felületének) kedvező megválasztása, figyelemmel a megmunkálandó anyagminőségre, forgácsképződésre;
  - szuperkemény szemcseanyag alkalmazása;
  - szemcseméret növelése, szemcsekoncentráció, kötőanyag; stb.
- Technológiai adatok megválasztásánál:
  - $p$  szerszámnyomás növelése a megengedett, gazdaságos szerszámkopási értékéig;

- $v_c$  forgácsolósebesség;  $v_t$  tangenciális és  $v_a$  axiális összetevőinek helyes megállapítása, lehetőség szerinti növelése;
- $t$  dörzsköszörülési idő beállítása a leválasztandó ráhagyás figyelembevételével;
- hűtő- kenő folyadék (honolóolaj) kiválasztása, kívánt szállítási teljesítmény és szűrés biztosítása, folyadék csereidő betartása.

Az optimális megoldás – sorozat és tömeggyártáskor – konkrét esetben közelíthető meg a munkadarab, szerszám, szerszám és technológiai adatok tervezett összhangja mellett. Az ún. univerzális dörzsköszörűgépek egyedi és kissorozatgyártás igényeit elégítik ki, kompromisszumok mellett.

### 4. KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOK

A technológiai adatok kedvező behatárolása céljából dörzsköszörülési kísérleteket végeztem az ME Gépgyártástechnológiai Tanszéken SzFS 63x315B típusú gépen. A gép adottságai a vizsgálati tartományt behatárolták. A kísérletek célja anyagleválasztási sebesség vizsgálata. A mért jellemzők:  $\Delta$  leválasztott ráhagyás (átmérőre);  $R_a$  átlagos érdesség és más érdességi jellemzők;  $H$  – köralak hiba;  $\Delta_s$  szerszámkopás (radiális irányú);  $F_a$  axiális forgácsolóerő,  $M_c$  forgácsoló nyomaték.

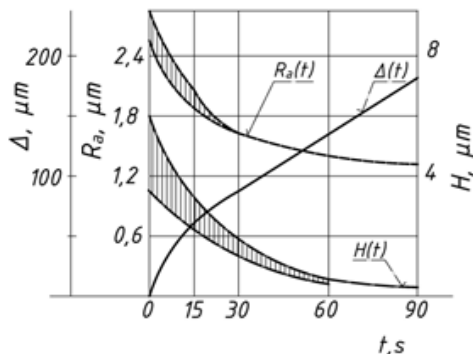
A kísérleti vizsgálatoknál  $v_c$  forgácsolósebességet,  $p$  szerszámnyomást és  $t$  megmunkálási időt változtattam különféle szintetikus, szuperkemény szemcsézett szerszámok alkalmazásával. A kísérleti munka részeredményeit az 1. és 2. ábrák mutatják.

A kísérletek öntöttvas anyagú (Öv. 25, HB=170...240) furatokon történtek. A szerszámnyomás növelése lineáris összefüggés szerint növelte az anyagleválasztási sebességet.

Az 1. ábra ACB 160/125-100 %-M1 szintetikus gyémánt szemcsézett szerszámmal (hasábok 8 x 100 mm, 3 db) végzett elődörzsköszörülés mérési eredményeit mutatja, a  $t$  dörzsköszörülési idő függvényében. A  $\Delta(t)$  leválasztott ráhagyás (átmérőre) 10-15 s után gyakorlatilag lineárisan nő. Növekedése jelentős.

A nemlineáris szakaszt a gondos, simító előmunkálás viszonylag nagy érdessége, érdességi csúcsok intenzív leválasztása okozta.

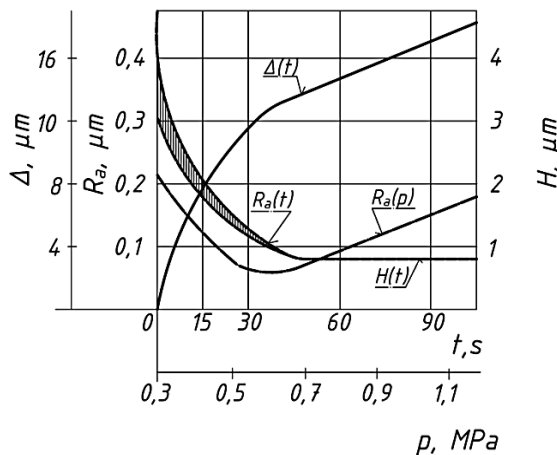
A  $H(t)$  kör alakhiba és  $R_a(t)$  átlagos érdesség rohamosan csökkent.



1. ábra. Elődörzsköszörülés:  $t$  megmunkálási idő függvényében a fontosabb jellemzők változása.

Adatok:  $v_i=44$  m/min;  $v_a=14$  m/min;  $p=0,9$  MPa; hűtő-kenő anyag: honilo 460.

A 2. ábra ACM 28/20-100%-M1 szerszámnál mutatja  $t$  dörzsköszörülési idő és  $p$  szerszámnnyomás függvényében  $\Delta(t)$  leválasztott ráhagyás (átmérőre),  $R_a(t)$  és  $R_a(p)$  átlagos érdesség változásait. Anyagleválasztási sebesség nagyságrenddel csökkent. A felületi érdesség  $R_a=0,09$   $\mu\text{m}$  alá csökkent  $t=40-45$  s után. A  $R_a(p)$  görbe minimum helye  $t=32-36$  s között alakult ki, ahol az  $R_a=0,07-0,08$   $\mu\text{m}$  értéket mutat. Ez az érték befejező vagy finom dörzsköszörülés céljára kedvező mutató.



2. ábra. Befejező- vagy finom-dörzsköszörülés:  $t$  megmunkálási idő és  $p$  szerszámnnyomás függvényében a fontosabb jellemzők változása. A  $t$ -től függő görbénél az adatok:  $v_i=40$  m/min;  $v_a=12$  m/min;  $p=0,5$  MPa.

A  $p$ -től függő görbénél:  $t=60$  s; egyéb adatok az előzőek szerint

A további kísérleti vizsgálatok néhány fontosabb eredménye a következő.

Optimalizált technológiai feltételek mellett öntöttvas megmunkálásánál a fajlagos gyémántfelhasználásra (ACB 160/125 és ACP 125/100, ACP 100/80, ACM 28/20 szemcseméreteknél (-100 %-M1) 0,05-0,07; 0,03-0,04; 0,02-0,07 mg/g értékeket kaptam. Ezek az értékek a külföldi normákkal összehasonlítva is igen kedvezőek.

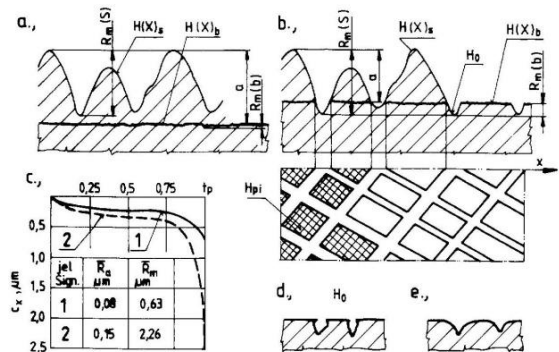
Kísérleti tapasztalataim alapján megállapítható néhány fontosabb következtetés.

Öntöttvason ACP 125/100; ACB 160/125 stb. szemcseméretű szerszámokkal végzett dörzsköszörülésnél nagy forgácsleválasztási teljesítmények érhető el, pl. ACB 250/200-100 % - M1 minőségű hasábokkal (3 db, 100x8 mm)  $\varnothing 42 \times 65$  mm furatban 1 perc alatt 0,4-0,5 mm (kétoldali) ráhagyás választható le.

A felületminőség javítása – érdesség csökkentése  $R_a=0,06-0,04$   $\mu\text{m}$  alá – finom szemcsezetű hasábokkal (pl. ACM 28/20; 20/14-100 %-M1) biztosítható.

Edzett acéloknál (pl. G03, HRC=60±2) az előzőekhez képest kisebb a forgácsleválasztási teljesítmény, de még így is helyettesítheti a furatköszörülést.

A kétlépcsős (elő- és finom-) dörzsköszörülés alkalmazása teherviselési-, tribológiai- és kenéstechnikai szempontból igen kedvező plató- vagy dörzsköszörülési eljárás. Elődörzsköszörülés nagyobb szemcsezetű szerszámmal történik és a kialakult magas érdességi csúcsok finom dörzsköszörüléssel, -szuperkemény mikroporból készült szerszámmal való lemunkálása a platók kialakítását célozza (3. ábra). A mikropor szemcsemérete 63...10 $\mu\text{m}$  tartományba választandó. Az így megmunkált alkatrészek felületén visszamaradt keresztveződő mikrokarc „völgyek” kiváló kenőanyag tárolók, a platók finom, keresztvező karcrendszere hidrodinamikai kenést, tartós olajfilm kialakulását biztosítják [7]. A 3. ábra a munkadarab felületének plató-dörzsköszörüléssel történő mikromeometriai alakítását szemlélteti.



3. ábra. Plató-dörzsköszörüléssel készült felület

A 3. ábra a, és b, részlete érdességi profil változását mutatja. A  $H(x)_s$  érdességi profil elődörzsköszörülés lenyomata. A  $H(x)_b$  profilat a befejező dörzsköszörülés hozza létre. Az a, esetben teljesen, a b, esetben csak részben választandó le az elődörzsköszörülés nyomai, a  $H_0$  olajtároló kettőskarc-rendszer („völgyek”) és  $H_{pi}$  platók így alakítandók ki. A d, és e, részlet a  $H_0$  karcok-

peremét mutatja merev fémkötés, illetve rugalmas (műanyag, gumi) kötésű szerszám alkalmazása után. A d, esetben (fém kötőanyag) karcok széle sorjás, e, esetenél (rugalmas kötés) lekerekített. A 3/c. ábra műszerrel mért  $t_p$  viszonylagos fajlagos hordozó görbéket és a hozzájuk tartozó  $R_a$  és  $R_m$  értékeket mutatja. A 2. jelű görbe elődörzsköszörülés után az 1. görbe plató-dörzsköszörülés után a  $t_p$  fajlagos hordozóhossz változása. A mérőműszer: Perthometer 58 FOCODYN lézeres mérőfejjel.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Láttuk, hogy a dörzsköszörülés  $Q'$  fajlagos anyagleválasztási sebessége [4] több módon növelhető. Ez által nő a gazdaságosan leválasztható ráhagyás értéke is. A szuperkemény szemcseanyagú, nagyobb szemcseméretű szerszámok jelentős termelékenységi- és pontosság növekedést biztosítanak a hagyományos szemcseanyagú szerszámokhoz képest.

Nagy a szerszámok élettartama és stabilitása. Sorozat- és tömeggyártásban alkalmazásuk gazdaságos. További fajlagos anyagleválasztási sebesség emelkedés a forgácsolási sebesség és szerszámnyomás növelésével valósul meg.

Célszerű kétfokozatú dörzsköszörülés alkalmazása. Elődörzsköszörülés viszonylag jelentős ráhagyást választ le, a finom dörzsköszörülés az érdességet csökkenti, felületminőséget javítja és az előző kettő kombinációja adja a plató-dörzsköszörülést.

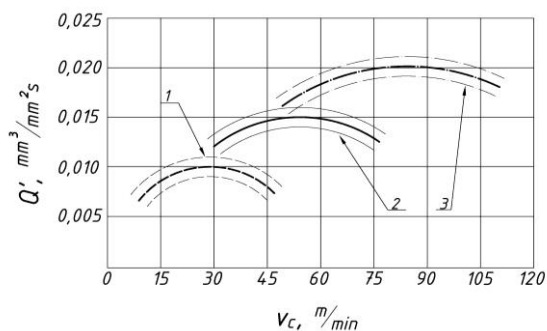
Hosszabb kutatási munkám eredményi és szakirodalom adatainak (l. a hivatkozott cikkek, azok irodalom jegyzékei, De Beers adatai, stb.) feldolgozása lehetővé tette közelítő jelleggel a 1 – hagyományos ( $Al_2O_3$ , SiC, stb.), 2- gyémánt, 3 – kőbős bórnitrid – szemcseanyagú dörzsköszörüléssel elérhető  $Q'$  fajlagos anyagleválasztási sebességek egyszerűsített feltérképezését a  $v_c$  forgácsolósebesség függvényében. Ezt szemlélteti a 4. ábra.

A CBN szemcsézettel termelékenyebb az anyagleválasztás, mint a gyémánt szemcsézettű szerszámmal. A szemcseméret növelése, fokozza az anyagleválasztási teljesítményt.

A munkadarab anyagminősége, technológiai adatok és megmunkálás körülményei eltérőek, ezért a  $Q'$  szórása nagy, amit jelez az ábra. A  $v_c$  forgácsolósebesség tartománya korszerű gépeken a nagyobb sebességek irányába jelentősen megnőtt [6].

Természetesen a beállítható  $p$  szerszámnyomás értékek is nagyobbak. Ezt is a szuperkemény szemcseanyagok és azokhoz kifejlesztett fém kötések (ónbronz, nikkel, stb.) teszik lehetővé.

Ehhez szükségesek: nagy forgácsolósebességeket és nagyobb szerszámnyomást biztosító dörzsköszörűgépek, autóiipari dörzsköszörűgépek, új szerszámkonstrukciók és eljárások [3, 5, 6].



4. ábra. A különféle szemcseanyagú dörzsköszörülő szerszámokkal elérhető  $Q'$  fajlagos forgácsolási sebességek a  $v_c$  forgácsolósebesség függvényében. Jelölések: 1- $Al_2O_3$ , SiC; 2 – gyémánt; 3 – CBN

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató-fejlesztő munka OTKA T048760 sz. és TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## 6. IRODALOM

- [1] KÖNING W., KLOCKE F.: Fertigungsverfahren, Schleifen, Honen, Läppen, Band 2, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996.
- [2] KUNDRÁK J.: Hard Boring of Gears, Journal of Production Processes and Systems, V.6.No.1. (2012), Miskolc University Press, pp. 61-70. HU ISSN 1786-7983.
- [3] SZABÓ O.: Optimisation of Technology and Quasi Honing of Polygon Bores. Journal of Materials Processing Technology, ELSEVIR, Dublin, 2002. 119. pp. 117-121.
- [4] SZABÓ O.: Dörzsköszörülés jósági mutatói és technológiai optimalálása, Miskolci Egyetem, Multidiszciplináris tudományok, 1. kötet (2011) 1. szám, Miskolci Egyetemi Kiadó, pp. 189-196. HU ISSN 2062-9737.
- [5] BURKHARD G., REHSTEINER F.: High Efficiency Abrasive Tool for Honing, Annals of the CIRP V. 51/1/2002. pp. 271-274.
- [6] DEGEN, W.: Honen in High-Speed, WB Werkstatt-Betrieb Zeitschrift für spanende Fertigung, 7-8 (2010) 143. Jahrgang pp. 63.
- [7] SZABÓ O.: Optimization of the Tool-Pressure at Honing, Journal of Production Processes and Systems, V.6.No.1. (2012), Miskolc University Press, pp. 39-44. HU ISSN 1786-7983.
- [8] VARGA G., DUDÁS, I.: Examinations of Sliding Burnishing Using for Improving the Surface Quality of External Cylindrical Surfaces, 15th World Conference on Non-Destructive Testing, Roma, Italy, October 15-21, 2000, CD Proceeding.

# BÁNKI-TURBINA JÁRÓKEREKÉBEN TÖRTÉNŐ ÁRAMLÁS VIZSGÁLATA

## FLOW PATTERN ANALYSIS IN RUNNER OF BANKI TURBINE

Hajdú Sándor\*, Dr. Czibere Tibor\*\*, Dr. Kalmár László\*\*\*

### ABSTRACT

The small capacity turbine supplied with double-flow runner by Donat Banki is still being developed and manufactured worldwide which implies that the design problems of the cross-flow turbine still have topicality. The present paper concentrates on two computational methods. The one is to determine the the central streamline of flow within the runner and the other realizes the mapping of the runner blade onto a straight cascade.

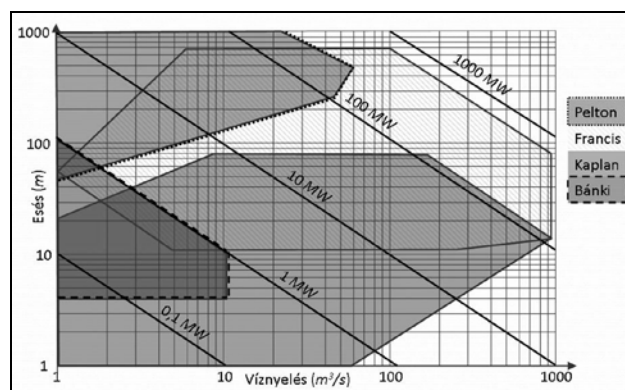
### 1. BEVEZETÉS

A Bánki-turbina a vízturbina-típusok sorában a szabadsugarú Pelton-turbina alkalmazási területét „bővíti ki” a kisebb esések hasznosíthatóságával (1. ábra).

Az akciós turbinák esetében a járókerékben mechanikai munkává alakuló esés a járókerék előtt teljes egészében kinetikai energia formájában jelentkezik. Az akciós turbina lapátsatornáiban az atmoszferikus nyomáshoz képest túlnyomás tehát nem keletkezhet.

Ez azt jelenti a gyakorlatban, hogy a járókerék lapátsatornáit az átfolyó vízszugárnak nem szabad teljesen kitöltenie. Határesetben a közeg a lapátsatornát éppen kitölti (adott lapátszögek mellett a Bánki-turbina esetében ezt a határfeltételt a járókerék lapátozás egyetlen átmérőviszonya elégíti ki).

Miután a közeg nem tölti ki teljesen a lapátsatornákat, azaz nincs nyomáskülönbség a járókerék belépő és a kilépő palástja között, Bánki maga határturbinának nevezte a kétszeres átömlésű – tulajdonképpen – szabadsugarú-turbinát [1].



1. ábra. A Bánki-turbina alkalmazhatósága

A járókerékre vezetett szabadsugarú a lapátkoszorún kétszer ömlik át: a járókerék kerületén lép be a lapátkoszorúba, és – azon *először centripetálisan* átömölve – a kinetikus energiája egy részét átadja a forgó járókeréknek; majd a járókerék belső részén áthaladva ismét belép a lapátkoszorúba, és azon immár *másodszor centrifugálisan* átömölve energiája másik részét is átadja a járókeréknek; végül a lapátkoszorú kerületén távozik a járókerékből. A járókerék lapátozását körív-alakra hajlított lemezlápátok képezik koszorúban úgy elhelyezve, hogy a lapátgörbe és a lapátkoszorú határoló belső kör érintője egymásra merőleges legyen.

Az egyszerű felépítésű Bánki turbina nagyon jól szabályozható és részterheléseknél is jó hatásfokú (az ismert megoldású, 1/3 és 2/3 osztású kerékekkel építve). Ezért a változó vízjárású helyeken (15 % - 100 % víznyelés tartományban) eredményesen alkalmazható. A kis vízfolysók (pl. patakok) esetében gyakran a Bánki-turbina az optimális választás [2].

Az ütközési veszteség csökkentésének, illetve elkerülésének feltétele, hogy a lapátok belépő élén sima rááramlás jöjjön létre. Lényeges követelmény továbbá, hogy a lapátrács megvalósítsa az előírt sebességi háromszögeknek megfelelő elterelést. A közlemény numerikus eljárást ismertet a Bánki-turbina járókerékén átömlő szabadsu-

\* doktorandusz

Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszék

\*\* Akadémikus, Professzor Emeritus

Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszék

\*\*\* egyetemi docens

Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszék

gárban kialakuló középső abszolút áramvonal meghatározására, valamint az egyenes turbina lapátrácsra történő áttérést biztosító konform leképezés végrehajtására.

## 2. A JÁRÓKERÉKEN TÖRTÉNŐ ÁTÁRAMLÁS KÖZÉPSŐ ÁRAMVONALÁNAK SZÁMÍTÁSA

A járókerék körív alakú, hengeres lapátözásának geometriáját a 2. ábra segít áttekinteni. A lapátözás geometriáját a következő három geometriai adat egyértelműen meghatározza: a lapátkoszorú  $R_I$  külső és  $R_{II}$  belső sugara, valamint a lapátgörbe érintőjének a külső kör érintőjével alkotott  $\beta_I$  szöge.

A lapátszög és az abszolút sebesség irányszöge közötti összefüggés az alábbi megfontolással adódik [3]. A 2. ábra jelöléseit használva a levezetés mind a centripetális, mind a centrifugális átömlés esetére egyaránt alkalmazható, emiatt a levezetés során a  $p$  ill. az  $f$  indexek használata a félreértés kockázata nélkül mellőzhető. A járókerék lapátözött terének tetszőleges  $P$  pontjában érvényes sebességi háromszögek (2. ábra) alapján írható:

$$c \sin \alpha = w \sin \beta$$

$$c^2 = u^2 + w^2 - 2uw \cos(\pi - \beta).$$

E két egyenletből az abszolút sebesség kiküszöbölésével adódik a

$$\frac{1}{\sin^2 \alpha} = \left( \frac{u^2}{w^2} + 2 \frac{u}{w} \cos \beta + 1 \right) \frac{1}{\sin^2 \beta}, \quad (1)$$

összefüggés, miszerint az abszolút sebesség  $\alpha$  irányszögét az  $u/w$  sebességviszony és a  $\beta$  lapátszög egyértelműen meghatározzák. A folyadéksúrlódást elhanyagolva és a járókerékben lapátkongruens relatív áramlást feltételezve (ami a vastagság nélküli végtelen sok lapát szokásos feltételével azonos) az (1) egyenlet alkalmas – adott  $u/w$  sebességviszony mellett – állandó szögsebességgel forgó járókerék lapátkoszorújában kialakuló súrlódásmentes abszolút áramlás iránymezejének a meghatározására. Az  $u/w$  sebességviszonyt a lapátszög mellett a járókerék  $\omega$  szögsebessége és az átáramló szabadsugár térfogatárama határozzák meg. Abban az esetben, amikor a folyadéksugár a két szomszédos lapát közti teret éppen kitölti, a tömegmegmaradásból következik:

$$R_I c_{I_r} = r c_r \Rightarrow w_r = c_r = \frac{R_I c_{I_r}}{r}; \quad r^2 = x^2 + y^2$$

és így az  $u$  kerületi és  $w$  relatív sebesség hányadosára a következő adódik:

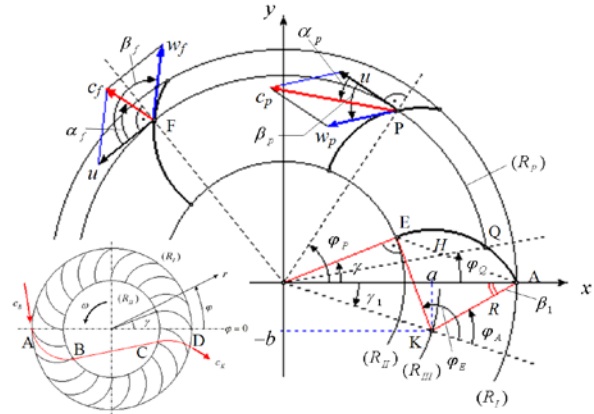
$$\frac{u}{w} = \frac{r \omega}{w} \sin \beta = \frac{r^2 \omega}{R_I c_{I_r}} \sin \beta = \frac{(x^2 + y^2) \omega}{R_I c_{I_r}} \sin \beta. \quad (2)$$

A belépő  $\omega R_I$  kerületi és a  $c_{I_r}$  meridián sebességek  $\psi = \omega R_I / c_{I_r}$  viszonyát bevezetve az (1)-(2) egyenle-

tek összevonásával adódik az abszolút sebesség  $\alpha$  irányszöge és a  $\beta$  lapátszög között – a turbina üzeml-  
lapotát jellemző  $\psi$  sebességviszony függvényében – a

$$\cot \alpha = \sqrt{\left\{ \psi^2 \sin^2 \beta \left[ \frac{(x^2 + y^2)}{R_I^2} \right] + \psi \sin 2\beta \left( \frac{x^2 + y^2}{R_I^2} + 1 \right) \right\} (1 + \cot^2 \beta)} - 1 \quad (3)$$

összefüggés a járókerék lapátözött terének tetszőleges  $P(x,y)$  pontjában, és ez már alkalmas a járókerék lapátözött terében az abszolút áramlás iránymezejének a meghatározására.



2. ábra. A lapát elhelyezése a járókerék lapátkoszorújában és a sebességvektorok a lapát egy-egy pontjában centripetális (P) és centrifugális (F) átömlés esetén és a kialakuló szabad sugár egy abszolút áramvonala

### 2.1. A járókerékben kialakuló áramvonalak különböző üzeml- állapotokban

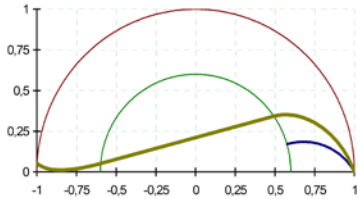
A bemutatott eljárás alkalmazására FORTRAN-programot készítettünk, amellyel meghatároztuk a belépő  $\omega R_I$  kerületi és a  $c_{I_r}$  meridián sebességek  $\psi = \omega R_I / c_{I_r}$  viszonyának néhány számértéke ( $\psi = 1; 1,25; 1,5; 1,75$ ) mellett kialakuló áramvonalakat. A 2. ábrán és a szövegben szereplő jelölések az alábbi táblázat szerint feleltethetők meg a 3-1. és a 3-2. ábrán használt, eltérő jelöléseknek:

2. ábra és szöveg:	$\beta_I$	$\gamma$	$\psi$	$\cot(\alpha_f)$ (a kilépésnél)	$R_0 / R_I$
3. ábra:	BET1 [rad]	GAM [rad]	PSI	CTA2	Ro

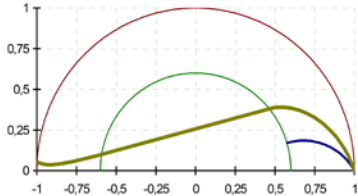
## 3. A JÁRÓKERÉK KONFORM LEKÉPZÉSE KÉT EGYENES LAPÁTRÁCSRA

A 2. ábrán bal oldalon alul a Bánki-turbina járókerékének vázlata látható. Az ábrázolás koordináta-rendszere egy, a járókerék forgási középpontjával egybeeső kezdőpontú síkbeli  $r, \varphi$  poláris koordináta-rendszer.

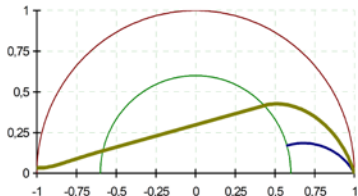
Bemenő adatok:  $R_{II}/R_I=0,6000$   $BET1=0,523600$   $PSI=1,000000$   
 Eredmények:  $R/R_I=0,3695$   $H/R_I=0,4571$   $GAM=0,286695$   
 $R_{III}/R_I=,7047$   $Ro/R_I=,8576$   $CTA2=-,0721158$



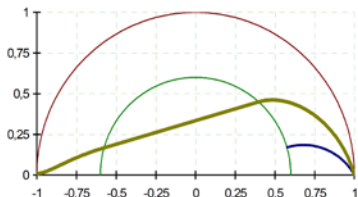
Bemenő adatok:  $R_{II}/R_I=0,6000$   $BET1=0,523600$   $PSI=1,250000$   
 Eredmények:  $R/R_I=0,3695$   $H/R_I=0,4571$   $GAM=0,286695$   
 $R_{III}/R_I=0,7047$   $Ro/R_I=0,9296$   $CTA2=-,0470801$



Bemenő adatok:  $R_{II}/R_I=0,6000$   $BET1=0,523600$   $PSI=1,500000$   
 Eredmények:  $R/R_I=0,3695$   $H/R_I=0,4571$   $GAM=0,286695$   
 $R_{III}/R_I=0,7047$   $Ro/R_I=1,0000$   $CTA2=0,227704$

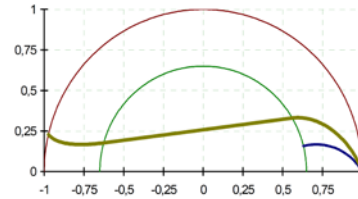


Bemenő adatok:  $R_{II}/R_I=0,6000$   $BET1=0,523600$   $PSI=1,750000$   
 Eredmények:  $R/R_I=0,3695$   $H/R_I=0,4571$   $GAM=0,286695$   
 $R_{III}/R_I=0,7047$   $Ro/R_I=1,0000$   $CTA2=0,024989$

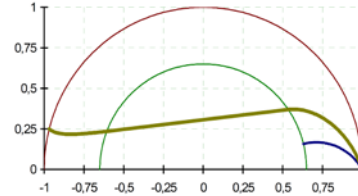


3-1. ábra A járókerékben kialakuló áramvonalak  $\psi = 1; 1,25; 1,5; 1,75$  és  $R_{II}/R_I = 0,6$

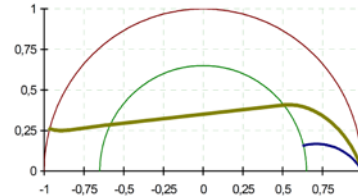
Bemenő adatok:  $R_{II}/R_I=0,6500$   $BET1=0,523600$   $PSI=1,000000$   
 Eredmények:  $R/R_I=0,3334$   $H/R_I=0,4011$   $GAM=0,243722$   
 $R_{III}/R_I=0,7305$   $Ro/R_I=0,8887$   $CTA2=-,0730179$



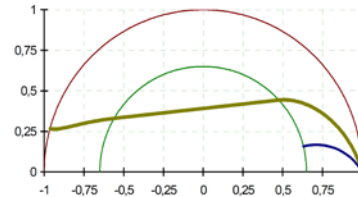
Bemenő adatok:  $R_{II}/R_I=0,6500$   $BET1=0,523600$   $PSI=1,250000$   
 Eredmények:  $R/R_I=0,3334$   $H/R_I=0,4011$   $GAM=0,243722$   
 $R_{III}/R_I=0,7305$   $Ro/R_I=0,9438$   $CTA2=-,0478274$



Bemenő adatok:  $R_{II}/R_I=0,6500$   $BET1=0,523600$   $PSI=1,500000$   
 Eredmények:  $R/R_I=0,3334$   $H/R_I=0,4011$   $GAM=0,243722$   
 $R_{III}/R_I=0,7305$   $Ro/R_I=1,0000$   $CTA2=0,228710$



Bemenő adatok:  $R_{II}/R_I=0,6500$   $BET1=0,523600$   $PSI=1,750000$   
 Eredmények:  $R/R_I=0,3334$   $H/R_I=0,4011$   $GAM=0,243722$   
 $R_{III}/R_I=0,7305$   $Ro/R_I=1,0000$   $CTA2=0,024368$



3-2. ábra A járókerékben kialakuló áramvonalak  $\psi = 1; 1,25; 1,5; 1,75$  és  $R_{II}/R_I = 0,65$

### 3.1. Az $r, \varphi$ polárkoordinátákkal jellemzett fizikai sík konform leképezése az $x, y$ derékszögű koordinátákkal jellemzett képsíkra

Az  $r, \varphi$  polárkoordinátákkal jellemzett fizikai sík konform leképezését az  $x, y$  derékszögű koordinátákkal jellemzett képsíkra a 4. ábra szemlélteti [4]. A leképezésnek az alábbi követelményeket kell teljesítenie:

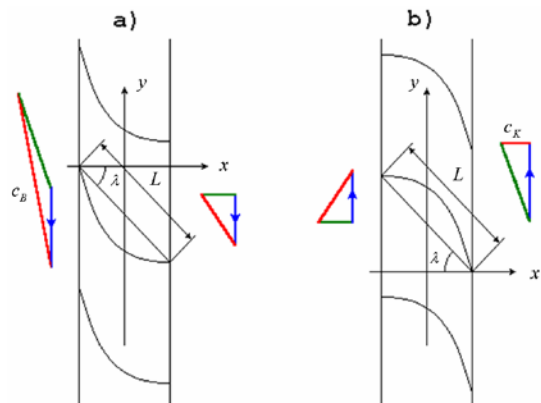
a) a koordináták mindegyike csak a neki megfelelő koordinátától függhet:

$$x(r) \Rightarrow dx = \dot{x}(r) dr$$

$$y(\varphi) \Rightarrow dy = \dot{y}(\varphi) d\varphi$$

b) a szög-tartás követelménye:  $r \frac{d\varphi}{dr} = \frac{dy}{dx}$

c) az arány-tartás követelménye:  $dl_{x,y} = \mu(P) dl_{r,\varphi}$

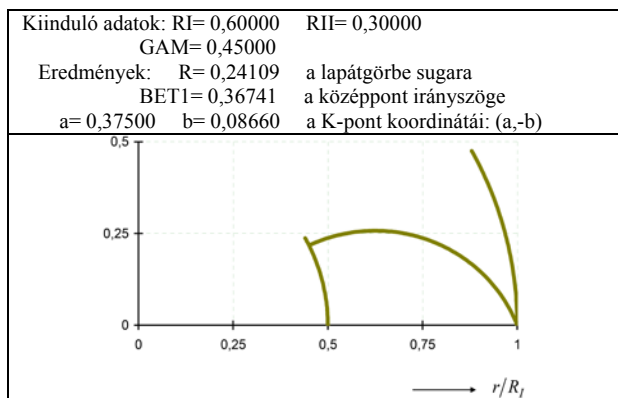


4. ábra. A Bánki-turbina lapátkoszorújának konform leképezése két egyenes turbina-lapátrácsra; a) a centripetális és b) a centrifugális átömlésű járókerék-szakasz lapátoszásának a képe

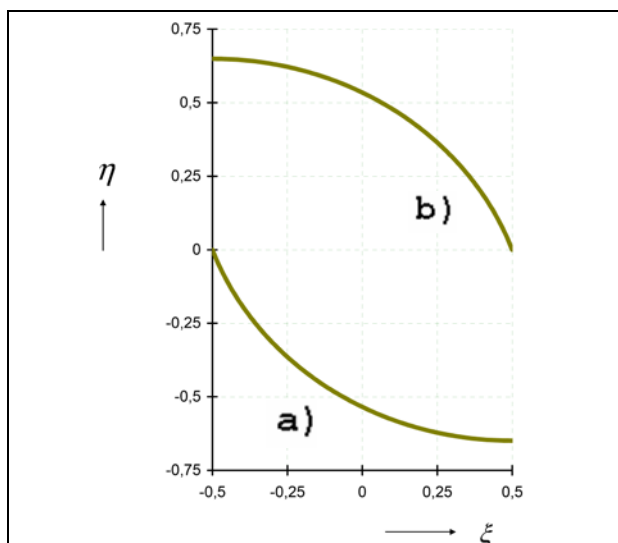
A geometriai leképezés egyenletei:

$$x = L \cos \lambda \left( -\frac{1}{2} + \frac{\ln(r/R_{II})}{\ln(R_I/R_{II})} \right); y = \frac{L \cos \lambda}{\ln(R_I/R_{II})} \varphi.$$

Az  $L$  lapáthossz szabadon választható, míg az  $R_I$ ,  $R_{II}$  és  $\gamma$  a Bánki-turbina körív-alakú lapátok alkotta lapátkoszorújának kiinduló adatrendszere.



5. ábra. A Bánki-turbina lapátkoszorújának és egy lapátjának képe a fizikai síkon felvet  $r/R_I, \varphi$  (dimenziótlan) poláris koordinátarendszerben



6. ábra. A Bánki-turbina egy lapátjának konform képe a képsíkon felvett  $\xi, \eta$  (dimenziótlan) koordinátarendszerben, az 5. ábra adataival. a): a centripetális b): a centrifugális átömlésű járókerék-szakasz lapátolásának a képe

A leképezés számítására FORTRAN-programot készítettünk, amellyel meghatározható egyrészt a Bánki-turbina lapátkoszorújában elhelyezkedő körív-alakú lapát képe az  $r, \varphi$  síkbeli poláris koordinátarendszerben, másrészt a lapát konform leképezése után adódó képe az egyenes rács képsíkján.

Az 5. ábra a Bánki-turbina lapátkoszorújának és egy lapátjának képét mutatja be a fizikai  $r/R_I, \varphi$  síkbeli

poláris koordinátarendszerben az ábrán szereplő kiindulási adatok esetében. Miután a folyadékáram a Bánki-turbina lapátkoszorúján először *centripetális*, majd pedig *centrifugális* irányban áramlik át; ennek az áramlásnak az  $x, y$  képsíkon két különböző *egyenes turbina-lapátrács* felel meg (4. és 6. ábra). Az 5. és a 6. ábrán és a szövegben szereplő eltérő jelölések a 3. ábrához tartozó táblázat szerint feleltethetők meg egymásnak.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A megújuló energiaforrások folyamatosan növekvő jelentősége előrevetíti a keresztáramú turbina egyre szélesebb körben történő alkalmazásának a lehetőségét. Ez adja a közleményben bemutatott számítási eljárások aktualitását. A cikk első felében a kétszeres átömlésű akciós járókerékben kialakuló áramlás egydimenziós közelítését tárgyalja.

Az áramvonal számítására és ábrázolására kidolgozott numerikus eljárás alkalmazásával készült ábrákon jól követhető a különböző lapáthosszak és üzemállapotok mellett az áramlás középvonala helyzetének az alakulása és elemezhető a kilépés perdületessége.

A cikk második része módszert ismertet a körrács egyenes rácsra történő leképezésére. Numerikus eljárás került kidolgozásra, amellyel egyrészt a fent említett alapadatok ismeretében felrajzolható a körrács lapátja, másrészt a kétszeres átömlés sajátosságainak a figyelembevételével felrajzolható a lapát egyenes rácsbeli konform képe is mind a centripetális, mind a centrifugális átömlés esetében.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

"A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg."

## 6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] BÁNKI D.: Energie-Umwandlungen in Flüssigkeiten Springer Verlag Berlin, 1921
- [2] <http://www.ossberger.de/cms/pt/hydro/ossberger-turbine/>
- [3] CZIBERE, T.: Az el nem évülő Bánki-turbina létrehozója 150 éve született, GÉP 60. évf. 3. sz. / 2009
- [4] CZIBERE, T.: Bánki-turbina járókerékének konform leképezése két egyenes lapátrácsra, Kutatási jelentés p. 9, 2012



# UV LED MODUL ÁLTAL KELTETT HŐÁTVITELI FOLYAMAT VIZSGÁLATA

## INVESTIGATION OF HEAT TRANSPORT PROCEDURE IN UV LED MODULE

dr. Kalmár László\*, dr. Ralf Hellmann\*\*, dr. Réger Tamás\*\*\*, Vigh Viktor\*\*\*\*

### ABSTRACT

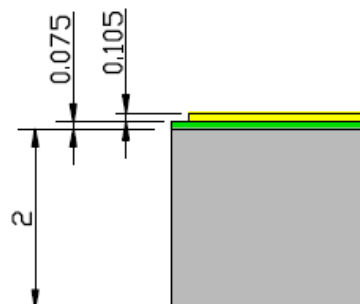
The paper deals with CFD analysis of the heat transport process caused by High Powered LED (Light Emitting Diode) in UV LED Module. This project is a R&D topic including both the laboratory measurements and the CFD simulations of UV LED Module. This project is the result of the several year- long joint research activities between the University of Aschaffenburg and the University of Miskolc. First, the Module – included one UV LED – is introduced, then the measurement after that main steps of the numerical simulation are discussed. Finally the results of measurement and simulation are compared.

### 1. BEVEZETÉS

Az UV fény használatára egyre növekvő igény jelenik meg a piacon különböző alkalmazásokban, mint ragasztás, víztisztítás vagy akár repedések feltárásában is. Az általános UV eszközök legfőbb hátrányai közé tartozik a rövid élettartam, rossz hatásfok, nagy méret és mérgező gázok tartalma. UV fény előállításához egy alternatív megoldást jelenthet a LED technológia. A cikk nagyteljesítményű UV LED modulokban keletkező hőátviteli folyamatok vizsgálatával foglalkozik. A hőmérsékleti méréseket –az előre definiált mérési pontokon- a németországi Aschaffenburgi Műszaki Egyetemnek köszönhetően, míg a numerikus szimulációkat a Miskolci Egyetem keretein belül sikerült megvalósítani. Így ez a kutatás-fejlesztési projekt a két képzési intézmény szoros együttműködésének az eredménye. A cikkben bemutatásra kerülő eredmények egy korábbi tanulmány [2] folytatásaként végzett önálló kutatómunka során keletkeztek.

### 2. UV LED MODUL BEMUTATÁSA

A nagyteljesítményű UV LED megfelelő hűtése érdekében, egy speciális alumínium hordozóra gyártott nyomtatott áramköri lapon helyezkedik el (Insulated Metal Substrate) amely egy 3 cm x 3 cm méretű panel. Ezeket a paneleket speciálisan nagyteljesítményű eszközökre gyártják, ahol jelentősen nagyobb áramok folynak, és szükség van a jobb villamos szigetelésre.

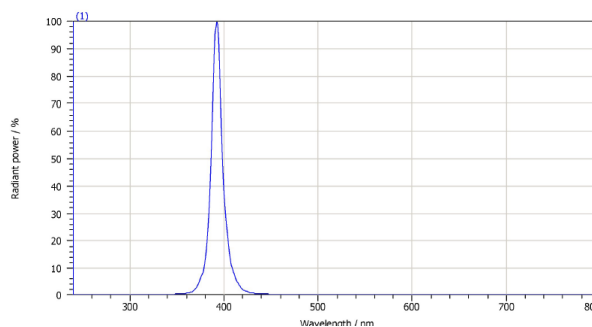


1. ábra. UV LED Modul felépítése [mm]

Az 1. ábrán jól látható hogy a hordozó réteg egy 2 mm vastag alumínium tömb, amely jól elvezeti a LED működése során keletkező hőfelesleget. Ezen a rétegen egy 0,075 mm vastagságú dielektrikum található, mint szigetelő anyag. Mivel a hővezetési tényezője igen rossz (~100-szor rosszabb, mint az alumíniumé), ezért fontos, hogy a réteg vastagsága ne legyen feleslegesen több, mint ami a villamos szigeteléshez szükséges. A réz vastagságát a „huzalon” átfolyó áramerősséghez mérten kell megválasztani, ami jelen esetben 0,105 mm.

### 2.1. A nagyteljesítményű UV LED

A méréshez használt UV LED típusa a Semileds által gyártott SL-V-U40AC. Az eszköz kimenő fényteljesítményét és spektrumát Ulbricht-gömb segítségével sikerült meghatározni.



2. ábra. UV LED spektruma

A 2. ábra jól tükrözi az UV LED technológiában rejlő nagy előnyt az általános UV fényforrásokkal szemben, mivel a LED csak egy keskeny tartományban sugároz 392 nm hullámhosszúságú csúcsertéssel, ami számos alkalmazáshoz ideális. A kimenő fényteljesítmény a bekapcsolást követően 120 mW, majd az eszköz melege- dedése során ez az érték 110 mW-ig is csökkenhet.

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Áramlás-és Hőtechnikai Gépek Tanszéke

\*\*professzor, Applied University of Science, Aschaffenburg, Germany

\*\*\* vezető kutatómérnök, von Karman Institute for Fluid Dynamics, Brussels

\*\*\*\* energetikai mérnök MSc, Miskolci Egyetem

### 2.1.1. Érzékenység vizsgálat

A LED-en átfolyó áram erőssége 350 mA, és az ehhez tartozó feszültség érték 3,4 V, amit a gyártó által közzétett adatlapon megtalálható, illetve mérés közben labor-tájp kijelzőjén is leolvasható. A LED hatásfokát nem lehet egyértelműen meghatározni, így a mért kimenő fényteljesítmény két szélsőértékével számolva kapunk egy tartományt.

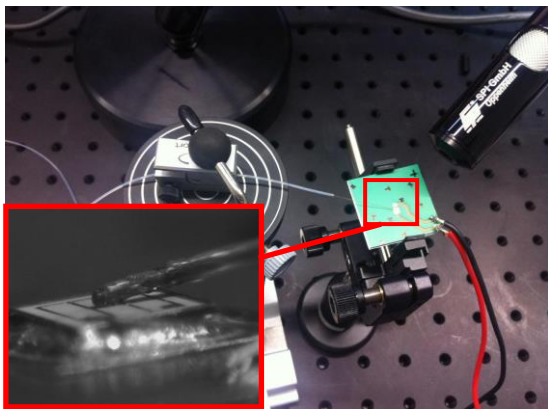
1. táblázat. UV LED hatásfoka

Bemenő villamos teljesítmény [mW]	Kimenő hőteljesítmény [mW]	Hatásfok [%]
1217,76	1107,76	9,03
1155,75	1035,75	10,38

Az 1. táblázatban látható, hogy a LED hatásfoka 9,03% és 10,38% tartományba esik. A 9,03%-os hatásfok esetén 110 mW-os kimenő fényteljesítménnyel, és a labor-tájp kijelzőjén látható kerekítés felső értékével számoltunk (3,44V és 0,354A). A 10,38%-os hatásfoknál pedig 120 mW-os kimenő fényteljesítmény mellett a kijelző kerekítésének alsó értékével számoltunk (3,35V és 0,345A). A LED technológiában rossz hatásfoknak mondható 9,03% is jobb, mint a hagyományos UV eszközök hatásfoka.

### 3. HŐMÉRSÉKLET MÉRÉS

Ahhoz, hogy a legjobb eredményeket érjük el, szükség van olyan ideális körülményeket teremtő laboratóriumra, ahol nem befolyásolják a mérést külső behatások, mint pl. hőmérséklet-ingadozás, rezgés, változó fény viszonyok, így a mért és szimulált értékek jobb közelítéssel egyeznek. A LED hőmérsékleti görbe meghatározásához egy gyors reakcióidővel, és kis mérettel rendelkező szenzort érdemes választani, így a méréshez az OpSens által gyártott 4 csatornás TempSens jelkondicionáló, valamint az OTG-F száloptikás szenzor került felhasználásra. A jelkondicionáló egy csatornán 50 Hz-es mintavételi frekvenciára képes, az optikai szenzor érzékelője pedig 180  $\mu\text{m}$  átmérővel rendelkezik. A rendszer felbontása 0,05°C, a pontossága pedig 0,8°C (a szenzor teljes mérési tartományára vonatkoztatva).



3. ábra. Mérés közben készült fénykép

A 3. ábrán látható, hogy a kis méretek miatt a mérés pontosságához szükséges a precíz, mozgás és rezgésmentes környezet. A szenzor megfelelő pozíciójáról, szögéről, és a létrejövő kontaktról - a szenzor és a vizsgált felület között - csak mikroszkóp használatával együtt győződhetünk meg, minden mérési ponton.

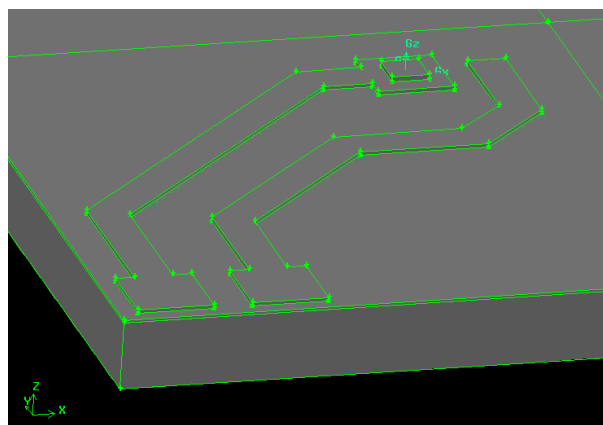
2. táblázat. Mérési pontok

Mérési pont	Távolság az 1. mérési ponttól [mm]
2. - 3.	5
4. - 7.	10
8. - 9.	15
10. - 11.	20

Minden mérési pont (2. táblázat) szimmetrikusan helyezkedik el és az 1. mérési ponttól, azaz a LED közepétől értendő. Egy mérési ponton addig tart a mérés, amíg a hőmérséklet nem konvergál egy értékhez.

### 4. NUMERIKUS SZIMULÁCIÓ

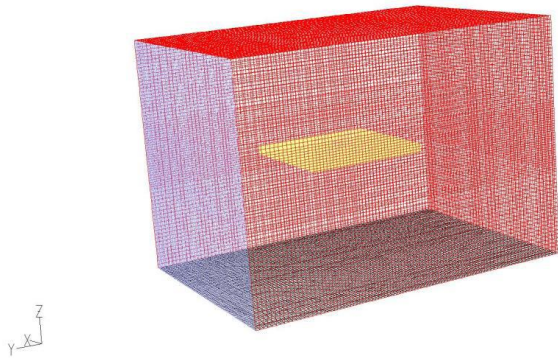
A modul méreteit mikroszkóp, és a hozzá tartozó szoftver segítségével határoztuk meg. A háromdimenziós geometria és a háló Gambit program segítségével készült el.



4. ábra. „Solid” rétegek felépítése Gambit programban

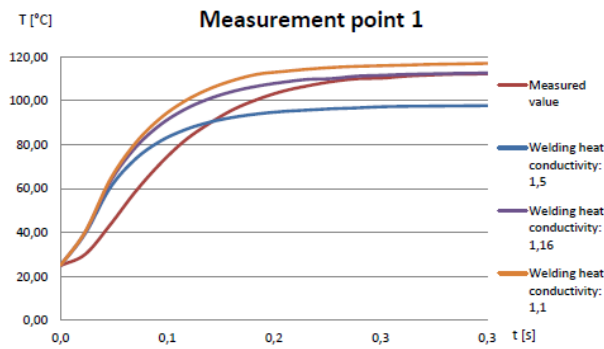
A 4. ábrán látható a modul és a LED. A réz és LED között helyezkedő hegesztés paramétereit nem ismerjük, ezért „wall” típusként definiáltuk, amelynek a szimulációban különböző tulajdonságokat tudunk beállítani (vastagság, hővezetési tényező). Mivel a numerikus megoldás véges térfogatok elvének alkalmazásán alapszik, így a szimuláció futtatásához szükséges a teljes számítási tartomány véges számú térfogatra való felosztása. A hálót a határrétegen megfelelő méretűre kell sűríteni, és az „y+” szabály betartása mellett kialakítani. A számítási tartomány 3 145 174 cellából áll. Az 5. ábrán látható a FLUENT-be beolvasott számítási tartomány. A kék felület „massflow inlet” a piros felületek pedig a „pressure outlet” peremfeltételt kapták. A szimulációk során különböző szélességeket is vizsgáltunk, vala-

mint hűtőventilátor nélküli esetet is, ahogyan a mérések során is.



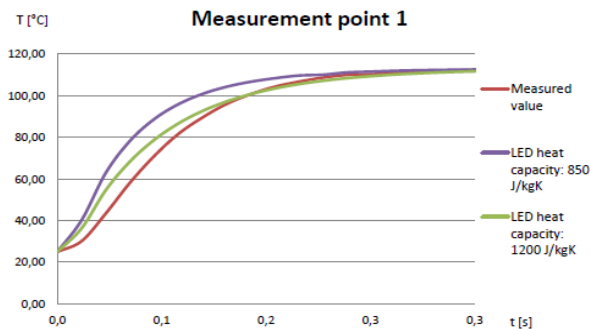
5. ábra. Szélcsatorna és a modul FLUENT-ben

A szimuláció során átlag 115 mW-os kimenő fénytjeljesítményhez tartozó 1050,2 mW-os veszteséggel (azaz kimenő hőteljesítmény) számoltunk, így 9,87%-os hatásfokot feltételezünk. Mivel nem ismert a hegesztés vastagsága, és hővezetési tényezője, így 0,1 mm-es vastagságot feltételezve, keressük a hővezetési tényezőt.



6. ábra. LED hőmérséklete a hegesztés különböző hővezetési tényezője mellett

A 6. ábrán jól látható, ha a hegesztés hővezetési tényezője rossz (sárga vonal), akkor a LED hőmérséklete magasabb, ha pedig túl jó (kék vonal) a hegesztés hővezetési tényezője, akkor a LED hőmérséklete sokkal alacsonyabb értéket mutat, mint a mért érték (piros vonal). A hőmérséklet felfutásának görbéjét, pedig a LED hőkapacitása határozza meg leginkább.

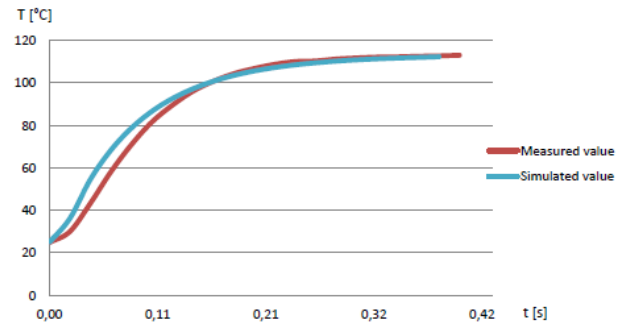


7. ábra. Különböző hőkapacitási értékek a LED-ben

A 7. ábra jól mutatja, hogy ez a rövid idejű felfutás - ami 0,3 sec alatt végbemegy - befolyásoló tényezője leginkább a LED hőkapacitása. A LED nagy része zafír, melynek hőkapacitása jelentősen változik a hőmérséklet növekedésével. A programban ezt a változást nem, de konstans értéket tudunk beállítani.

## 7. EREDMÉNYEK

A 8. ábrán látható a mért és szimulált értékek összehasonlítása ventilátor használata nélkül, az első mérési ponton, az első fél másodpercben.

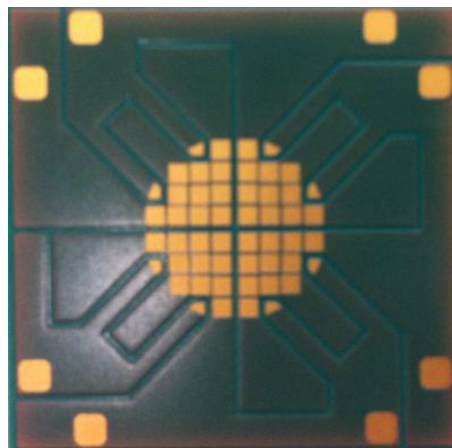


8. ábra. Mért (piros) és szimulált (kék) értékek

Jól látható, hogy az eltérések csak időben jelentkeznek, ami 0,01 - 0,02 másodperces különbségeket jelent, ami a szimulációs szoftver elhanyagolásaiából, és a mérési hibából összeadandóan jött létre, így ez a különbség elhanyagolhatóan kevés. A többi mérési pontokon jól megfigyelhető, - mérésben és szimulációban is - hogy az azonos körön lévő pontok hőmérséklete, és felfutása megegyezik. További mérések, valamint stacioner, és instacioner futtatások eredménye, különböző szélességek mellett, minden mérési ponton megtalálható az [1]-ben.

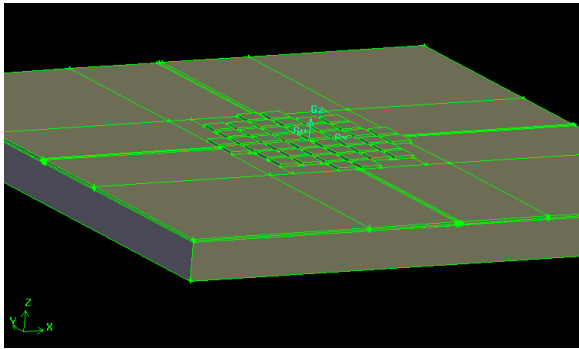
## 8. 44 UV LED-ET TARTALMAZÓ MODUL

Az előző mérési és futtatási eredményekre támaszkodva már ismerjük a modult, a hegesztés és a LED hőtechnikai paramétereit, így ezeket az információkat felhasználva szimulálhatunk egy bonyolultabb eszközt is, amely már 44 UV LED-et tartalmaz.



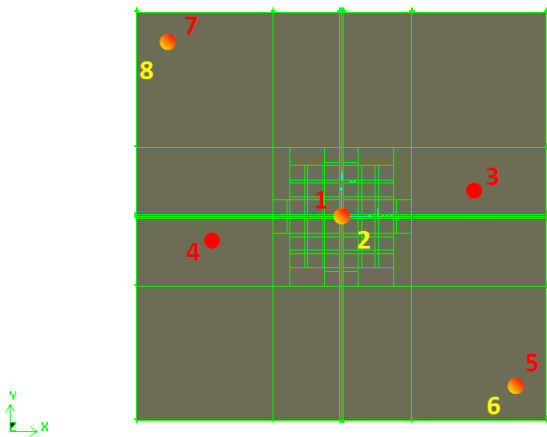
9. ábra. 44 LED-es modul

A 9. ábrán látható a 44 LED-es modul kialakítása. A panel felépítése megegyezik a korábbiakban bemutatott modulal, csak itt a részfelület nagyobb.



10. ábra. 44 LED-es modul rétegei

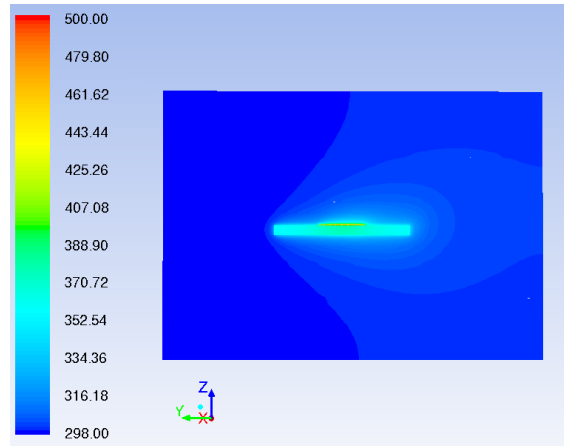
A 10. ábrán látható a Gambit programban létrehozott geometria rétegei (Solid). A hálózás egyszerűsítése miatt - ezzel futtatási időt spórolunk meg, és csökkentjük a numerikus hiba valószínűségét – elhanyagoltuk a részfelületben lévő bemarásokat, amelyek a megfelelő villamos kapcsolat létrehozása miatt készültek. A teljes számítási tartomány 5 437 889 cellából áll. Felhasználva az előző futtatás eredményeit, ugyanazokat a paramétereket definiáltuk, ugyanolyan LED veszteség mellett. A hálózás is ugyanazon elv szerint készült, betartva a háttérre vonatkozó szabályokat. A modulnak 51,3 W-os bemenő villamos teljesítmény mellett 46,2 W-os hőteljesítményt kell elvezetnie (a panel méret megegyezik).



11. ábra. 44 LED-es mérési pontok

A 11. ábrán látható, hogy a szimulációban meghatároztunk 8 mérési pontot. A Pirossal jelölt körök és számok a panel felső oldalán, a sárga pedig az alsó oldalán értendők. A szobahőmérsékletű levegő y irányból érkezik. Itt is megfigyelhető, hogy az azonos körön lévő pontok közel azonos hőmérsékletűek. A szimuláció során az első 10 másodpercben vizsgálva maximum 1°C különbség jelenik meg a belépőhöz tartozó mérési pont és a panel közepén lévő mérési ponthoz képest (azonos oldalon). A

hő terjedése megfigyelhető a szimulációban; bentől kifelé, és fentről lefelé.



12. ábra. 44 LED-es modul hőmérsékleti metszeti képe 3 m/s szélességgel 9secnél (FLUENT) [K]

A 11. ábra jól mutatja a nagy hőmérséklet kialakulását. Az ábrát nézve baloldról jobbra halad a szobahőmérsékletű levegő, így a torlópont körüli leválás is megfigyelhető. A szimuláció egyértelműen tükrözi, hogy aktív ventilátoros (3 m/s) hűtéssel nem szabad bekapcsolni, mert 1-2 másodperc alatt elérik a LED-ek a 130°C-os hőmérsékletet, ami már kifejezetten káros az élettartamra, a lencsére, és a hatásfok is jelentősen romlik. 9 másodpercnél a LED-ek átlaghőmérséklete közel 200°C-ot is elérték. További feladat közé tartozhat későbbiekben, nagyobb szélességgel való vizsgálat, illetve ilyen nagy teljesítményű rendszereknél vízhűtéses technológia alkalmazása.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett mérések és szimulációk összehasonlításával számos anyagjellemzőre és paraméterre fény derült, mely további szimulációkat tesz lehetővé, ezzel hozzájárulva a nagyteljesítményű berendezések hűtőrendszereinek jobb tervezéséhez és fejlesztéséhez, melynek során a hangsúly a mérésről a szimulációra tolódik, ezáltal jelentős időbeli és anyagi megtakarításokat eredményezve.

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## 9. IRODALOM

- [1] Vigh Viktor: Investigation of Heat Transport Procedure in High Power LED Modules, MSc diplomamunka, Aschaffenburg & Miskolc, 2012
- [2] Varga, Z.,D.: Nagyteljesítményű UV-LEDmodulban kilakulóhőátviteli folyamatCFD szimulációja, MSc diplomamunka, Aschaffenburg & Miskolc, 2012

# PALÁSTKONDENZÁTOROK OSZTÁSÁNAK HATÁSA A HŰTŐKÉSZÜLÉKEK ENERGIAFOGYASZTÁSÁRA

## THE EFFECT OF SHIELD CONDENSER PITCH ON THE ENERGY CONSUMPTION OF REFRIGERATORS

Nagy József\*, Dr. Tolvaj Béla\*\*, Dr. Szabó Szilárd\*\*\*

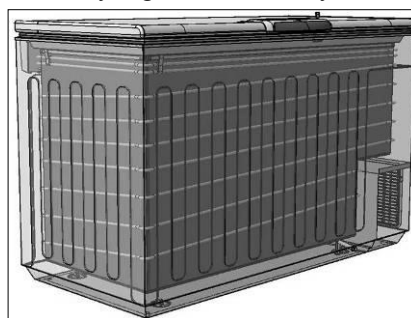
### ABSTRACT

Energy legislation sets ever stricter energy limits. To obtain lower energy consumption for household refrigerators and freezers, it is very important to know how to optimise the cooling system elements. Here we analyse the shield condensers to determine the optimal tube pitch. We analysed the condenser and its environment at steady conditions. Our results indicate that we can reduce the condensation temperature (and pressure) with tube pitch reduction. The condensation temperature is the lowest when the whole surface is at the same temperature.

### 1. BEVEZETÉS

Egyre szélesebb körben alkalmaznak hűtő- és fagyasztókészülékeknel palástkondenzátort, kihasználva a készülékek oldalfelületeit (lásd 1. ábrát). Palástkondenzátor alkalmazásával jobb (alacsonyabb) energiafogyasztás is elérhető [1]. Vizsgáljuk meg, hogy milyen tényezőktől függ a palástkondenzátorok hatékonysága. Hatékonyabb kondenzátornak azt nevezzük, amelyik alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet (így kisebb

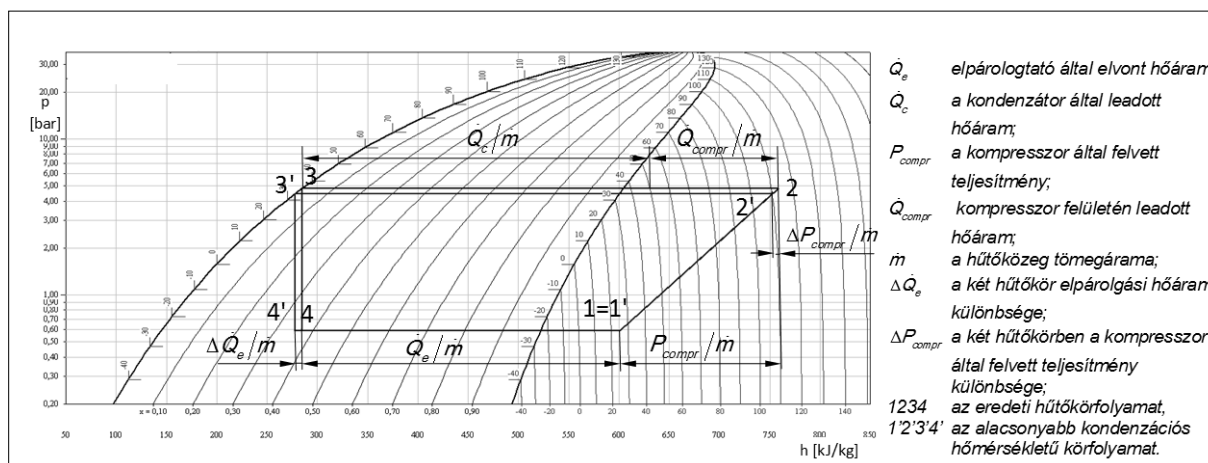
kondenzációs nyomás) mellett képes időegység alatt ugyanazt a hőmennyiséget leadni a környezetnek.



1. ábra. Fagyasztóláda palást kondenzátorral

A 2. ábrán két hűtőkörfolyamat van ábrázolva log(p)-h diagramon. Azonos elpárolgási hőmérséklet (nyomás) és azonos kompresszor hatásfok mellett látható az alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet hatása a kompresszor teljesítmény felvételére ( $\Delta P_{compr}$ ) és a teljes hűtőkör

hatékonyságára,  $COP = \frac{\dot{Q}_e}{P_{compr}} < COP' = \frac{\dot{Q}_e + \Delta\dot{Q}_e}{P_{compr} - \Delta P_{compr}}$ , azonos kondenzációs hőáram mellett ( $\dot{Q}_c$ ).



2. ábra. A két hűtőkörfolyamat log(p)-h diagramon

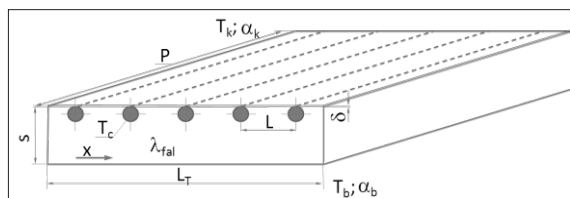
\* termékfejlesztési igazgató, Electrolux Lehel Kft.

\*\*egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke

\*\*\* tanszékvezető egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke

## 2. PALÁSTKONDEZÁTOR MODELLJE

Tekintsük a palástkondenzátort a 3. ábrán vázolt modell alapján olyan lemeznek, amelyben  $L$  osztásokban vonal menti hőforrás van, amelyeknek a hőmérséklete az állandósult állapotban mérhető  $T_c$  kondenzációs hőmérséklettel egyezik meg. A lemez egyik oldala a környezettel, a másik oldala a hűtőkészülék hőszigetelésével érintkezik.



3. ábra. Palást kondenzátor modellje

### Jelölések:

$x$ : a kondenzátor csövekre mérőleges, palást menti koordináta

$s$ : a hőszigetelés vastagsága,

$L_T$ : a vizsgált felület teljes szélessége,

$P$ : a kondenzátor csövek hossza,

$L$ : a kondenzátor csövek osztása,

$\delta$ : a palást lemez vastagsága,

$\lambda$ : a palást lemez anyagának hővezetési tényezője,

$\lambda_{fal}$ : a hőszigetelő anyag hővezetési tényezője

$\alpha_k$ : a palást lemez és a környezet közötti hőátadási tényező,

$\alpha_b$ : a hőszigetelő fal belső felülete és a belsőtér közötti hőátadási tényező,

$T_k$ : a környezeti hőmérséklet,

$T_b$ : a belsőtér hőmérséklete,

$T_c$ : a kondenzátor hőmérséklete.

## 3. TÖKÉLETES HŐSZIGETELÉS ESETE

Első lépésben tekintsük azt az esetet, amikor a lemez egyik oldalán tökéletes hőszigetelést ( $\lambda_{fal} = 0$ ) tételezünk fel. Ebben az esetben a hővezetés differenciálegyenlete a következő [2]:

$$\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{\alpha_k}{\delta} (T - T_k) = 0. \quad (1)$$

A peremfeltételek:

$$x = 0: T = T_c; \quad x = L: T = T_c.$$

Bevezetve a  $\vartheta = T - T_k$  új változót és az  $m^2 = \frac{\alpha_k}{\lambda \delta}$  jelölést, kapjuk a megoldandó differenciálegyenletet [3]:

$$\frac{d^2 \vartheta}{dx^2} - m^2 \vartheta = 0. \quad (2)$$

A peremfeltételek:

$$x = 0: \vartheta = \vartheta_c = T_c - T_k; \quad x = L: \vartheta = \vartheta_c = T_c - T_k.$$

Az általános megoldás:

$$\vartheta = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}. \quad (3)$$

A  $C_1$  és a  $C_2$  a peremfeltételekből meghatározható meg.

$$C_1 = \frac{\vartheta_c (1 - e^{-mL})}{e^{mL} - e^{-mL}}, \quad C_2 = \frac{\vartheta_c (e^{mL} - 1)}{e^{mL} - e^{-mL}}. \quad (4)$$

Ezek alapján a megoldás [4]:

$$\vartheta = \vartheta_c \frac{\sinh[m(L-x)] + \sinh(mx)}{\sinh(mL)}. \quad (5)$$

Egy csőosztásnyi felületen leadott hőáram:

$$\dot{Q}_1 = \int_0^L \alpha_k P \vartheta dx = \alpha_k P \int_0^L \vartheta dx, \quad (6)$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{\alpha_k P \vartheta_c}{\sinh(mL)} \int_0^L (\sinh[m(L-x)] + \sinh(mx)) dx, \quad (7)$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{2\alpha_k P \vartheta_c}{m \sinh(mL)} (\cosh(mL) - 1). \quad (8)$$

A teljes felület szélessége  $L_T$ , így a csőosztások száma  $n = \frac{L_T}{L}$ . A teljes felületen leadott hőáram:

$$\dot{Q} = \frac{2\alpha_k P L_T \vartheta_c}{m} \frac{\cosh(mL) - 1}{L \sinh(mL)}. \quad (9)$$

Megvizsgáljuk, hogy a teljes felületen leadott hőáramnak, mint az osztástávolság függvénye ( $\dot{Q}(L)$ ),

van-e szélsőértéke? Ott van szélsőértéke, ahol  $\frac{d\dot{Q}}{dL} = 0$ .

$$\frac{d\dot{Q}}{dL} = \frac{2\alpha_k P L_T \vartheta_c}{m} \cdot$$

$$\left[ \frac{1 - \cosh(mL)}{L^2 \sinh(mL)} + \frac{m}{L} + \frac{m \cosh(mL)(1 - \cosh(mL))}{L \sinh(mL)^2} \right]. \quad (10)$$

Ha  $L > 0$  akkor  $\frac{d\dot{Q}}{dL} > 0$ . Viszont ha  $L \rightarrow 0$ , akkor van szélsőérték. Ez pedig

$$\lim_{L \rightarrow 0} (\dot{Q}) = \frac{2\alpha_k P L_T \vartheta_c}{m} \lim_{L \rightarrow 0} \left( \frac{\cosh(mL) - 1}{L \sinh(mL)} \right) = \alpha_k P L_T \vartheta_c, \quad (11)$$

azaz, mintha az egész felület  $T_c$  hőmérsékletű lenne.

Az átlaghőmérséklet az  $L_T$  mentén a következő:

$$\bar{\vartheta} = \frac{1}{L_T} \frac{L_T}{L} \int_0^L \vartheta dx = \frac{1}{L} \int_0^L \vartheta dx, \quad (12)$$

$$\bar{\vartheta} = \frac{\vartheta_c}{L} \int_0^L \frac{\sinh[m(L-x)] + \sinh(mx)}{\sinh(mL)} dx = \frac{2\vartheta_c}{mL} \frac{\cosh(mL) - 1}{\sinh(mL)}. \quad (13)$$

A (9) összefüggést felhasználva kapjuk:

$$\bar{\vartheta} = \frac{\dot{Q}}{\alpha_k P L_T}. \quad (14)$$

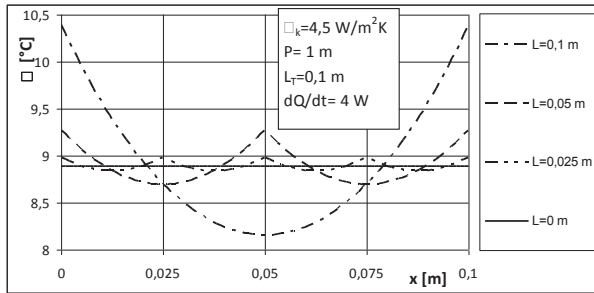
A  $\vartheta_c(L)$  függvény a  $\dot{Q}$  hőárammal kifejezve:

$$\vartheta_c = \frac{m \dot{Q}}{2\alpha_k P L_T} \frac{L \sinh(mL)}{\cosh(mL) - 1}. \quad (15)$$

A  $\vartheta_c(L)$  függvény határértéke midőn  $L \rightarrow 0$ :

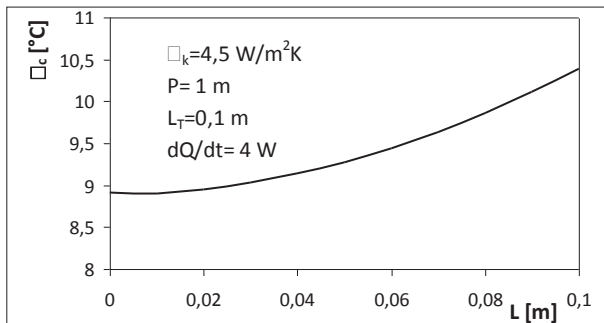
$$\lim_{L \rightarrow 0} \mathcal{G}_c = \frac{m \dot{Q}}{2\alpha_k PL_T} \lim_{L \rightarrow 0} \underbrace{\frac{L \sinh(mL)}{\cosh(mL) - 1}}_{\frac{L}{2}} = \frac{\dot{Q}}{\alpha_k PL_T}. \quad (16)$$

A 4. ábra négy különböző  $\mathcal{G}(x)$  függvényt mutat, azonos hőáram esetén. Az ábrán látható, hogy az csőosztás csökkentésével ugyanaz a  $\dot{Q}$  hőáram alacsonyabb kondenzációs hőmérséklettel elérhető. Ugyanakkor az osztás csökkentésével a lemez hőmérséklet eloszlása egyenletesebbé válik.



4. ábra. Négy  $\mathcal{G}(x)$  függvény azonos hőáram mellett különböző csőosztással

A  $\mathcal{G}_c(L)$  függvényt azonos  $\dot{Q}$  hőáram mellett az 5. ábra mutatja, az ábrán megadott konkrét technikai adatok esetén. Az ábrából látszik, hogy a (16) képlet szerinti  $L \rightarrow 0$  határátmenethez tartozó érték a legkisebb és értéke  $\mathcal{G}_c = 8,89^\circ\text{C}$ .



5. ábra.  $\mathcal{G}_c(L)$  függvény azonos hőáram mellett

#### 4. VALÓS HŐSZIGETELÉS ESETE

Tekintsük most azt az esetet, amikor lemez egyik oldalán hőszigetelő hab van, a másik oldalán a környezettel érintkezik (6. ábra). A hővezetés differenciálegyenlete ekkor:

$$\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{\alpha_k}{\delta} (T - T_k) - \frac{k_{fal}}{\delta} (T - T_b) = 0, \quad (17)$$

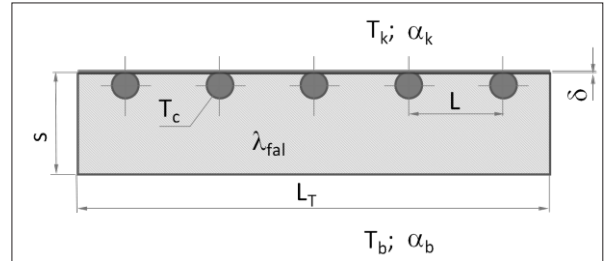
$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{\alpha_k + k_{fal}}{\lambda \delta} \left[ T - \left( \frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} T_k + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} T_b \right) \right] = 0, \quad (18)$$

ahol

$$k_{fal} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{s}{\lambda_{fal}}}.$$

A peremfeltételek:

$$x = 0: T = T_c, \quad x = L: T = T_c.$$



6. ábra. Palást kondenzátoros fal

Vezessük be a következő jelöléseket:

$$m^2 = \frac{\alpha_k + k_{fal}}{\lambda \delta}, \quad (19)$$

$$\mathcal{G} = T - \left( \frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} T_k + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} T_b \right). \quad (20)$$

A hővezetés differenciál egyenlete így egyszerűsödik:

$$\frac{d^2 \mathcal{G}}{dx^2} - m^2 \mathcal{G} = 0. \quad (21)$$

A peremfeltételek:

$$x = 0: \mathcal{G} = \mathcal{G}_c = T_c - \left( \frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} T_k + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} T_b \right),$$

$$x = L: \mathcal{G} = \mathcal{G}_c = T_c - \left( \frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} T_k + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} T_b \right).$$

A (21) egyenlet és a hozzátartozó peremfeltételek alakilag teljesen megegyeznek a (2) differenciálegyenlettel és a hozzátartozó peremfeltételekkel és így a megoldás is azonos alakú.

A (21) egyenlet megoldása:

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_c \frac{\sinh[m(L-x)] + \sinh(mx)}{\sinh(mL)}. \quad (22)$$

Bevezetve az alábbi jelöléseket:

$$\mathcal{G}_k = T - T_k, \quad \mathcal{G}_b = T - T_b, \quad \mathcal{G}_{kb} = T_k - T_b,$$

írhatjuk, hogy

$$\mathcal{G}_k = \mathcal{G} - \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} \mathcal{G}_{kb}, \quad \mathcal{G}_b = \mathcal{G} + \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} \mathcal{G}_{kb}.$$

Egy csőosztásnyi felületen a környezet felé irányuló hőáram:

$$\dot{Q}_{k1} = \alpha_k P \int_0^L \mathcal{G}_k dx = \alpha_k P \int_0^L \mathcal{G} dx - \frac{\alpha_k k_{fal} PL \mathcal{G}_{kb}}{\alpha_k + k_{fal}}. \quad (23)$$

A belsőtér felé irányuló hőáram:

$$\dot{Q}_{b1} = k_{fal} P \int_0^L \mathcal{G}_b dx = k_{fal} P \int_0^L \mathcal{G} dx + \frac{\alpha_k k_{fal} PL \mathcal{G}_{kb}}{\alpha_k + k_{fal}}. \quad (24)$$

A kondenzátor teljes hőárama egy csőosztásnyi felületen:

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_{k1} + \dot{Q}_{b1} = (\alpha_k + k_{fal}) P \int_0^L g dx, \quad (25)$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{2(\alpha_k + k_{fal}) P g_c}{m \sinh(mL)} (\cosh(mL) - 1). \quad (26)$$

A teljes felület szélessége  $L_T$ , így a csőosztások száma  $n = \frac{L_T}{L}$ . A teljes felületen mindkét irányban leadott hőáram:

$$\dot{Q} = \frac{2(\alpha_k + k_{fal}) P L_T g_c}{m} \frac{\cosh(mL) - 1}{L \sinh(mL)}. \quad (27)$$

A  $g$  átlagértéke:

$$\bar{g} = \frac{\dot{Q}}{(\alpha_k + k_{fal}) P L_T} = \frac{2 g_c}{m} \frac{\cosh(mL) - 1}{L \sinh(mL)}. \quad (28)$$

A (23) és a (28) egyenletek alapján a környezet felé irányuló hőáram:

$$\dot{Q}_k = \frac{\alpha_k}{\alpha_k + k_{fal}} \dot{Q} - \dot{Q}_{kb}, \quad (29)$$

ahol  $\dot{Q}_{kb} = \frac{\alpha_k k_{fal} P L g_{kb}}{\alpha_k + k_{fal}}$  ami nem más, mint a környezet

és a belsejében kialakuló hőáram, abban az esetben, amikor nincs kondenzátor a külső felületen, mert

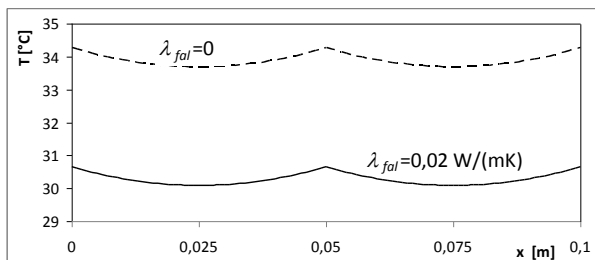
$$\frac{\alpha_k k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{1}{k_{fal}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{s}{\lambda_{fal}} + \frac{1}{\alpha_b}}.$$

Ugyanígy a belsejében felé irányuló hőáram:

$$\dot{Q}_b = \frac{k_{fal}}{\alpha_k + k_{fal}} \dot{Q} + \dot{Q}_{kb}. \quad (30)$$

A (30) összefüggésben az első tag a palást kondenzátor „fűtő hatása” a belsejében.

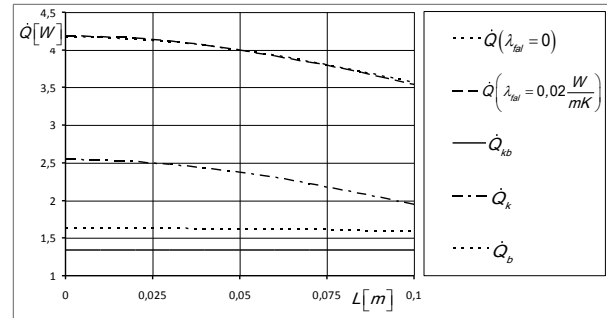
Összehasonlítva a tökéletes hőszigetelést (ami gyakorlatilag külső kondenzátornak tekinthető) és a valós palástkondenzátoros esetet, a 7. ábrán láthatjuk az előző ábrákon megadott technikai adatok, azonos kondenzációs hőáram és  $T_k = 25^\circ C$ ,  $T_b = -18^\circ C$  mellett a lemez hőmérsékletét ( $L = 0,05 m$ ). Jól látható, hogy a valós hőszigetelés esetén a lemez hőmérséklete alacsonyabb, a belsejében hűtőhatása miatt.



7. ábra. A lemez hőmérséklet-eloszlása

A 8. ábrán az előző adatok alapján a hőáramokat ábrázoltuk az  $L$  csőosztás függvényében. Az ábra alapján látható, hogy a belső kondenzátoros esetben a belsejében felé irányuló hőáram ( $\dot{Q}_b$ ) nagyobb, mint a külső kon-

denzátoros esetben a környezetből a belsejében felé irányuló hőáram ( $\dot{Q}_{kb}$ ). Az [1] alapján ez energiafogyasztás növelő, de az alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet miatt a hűtőkör hatékonysága jobb, ami pedig energiafogyasztás csökkentő.



8. ábra. Hőáramok a csőosztás függvényében

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az előzők alapján megállapíthatjuk, hogy az alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet, úgy érhető el, hogy a csőosztást csökkentjük, de nincs  $L > 0$  feltétel mellett optimum. Így az csőosztás csökkentésének határát, más feltételek (általában gazdaságossági kritériumok) alapján kell meghatározni.

Megmutattuk a palást kondenzátor „visszafűtő” hatását, ami energiafogyasztás szempontjából kedvezőtlen, de ezzel szemben áll az alacsonyabb kondenzációs hőmérséklet jobb hűtőkör hatékonyság energiafogyasztás csökkentő hatása.

További elemzést igényel annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy melyik hatás a nagyobb? Ahhoz, hogy erre a kérdésre, válaszoljunk, meg kell vizsgálni a hűtőkör hatékonyságát befolyásoló egyéb tényezőket is.

## KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] NAGY J. – DR. TOLVAJ B.: Hűtőkészülékek energiafogyasztása, Gép folyóirat 2012/9 p.69-72
- [2] CZIBERE T.: Vezetékes hőátvitel, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998
- [3] HOLMAN, J. P.: Heat transfer, 7th Edition in SI Units McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1992
- [4] CARLSLAW, H. S. – JAEGER, J. C.: Conduction of heat in solids, 2nd Edition Oxford University Press, 1959



# A MŰSZAKI TERMÉKEK FEJLESZTÉSÉNEK NÉHÁNY KÉRDÉSE

## SOME QUESTIONS ON THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL PRODUCTS

Dr. Döbröczöni Ádám CSc\*

### ABSTRACT

The developing of the machines as systems and their parts is a complex activity. This article gives some of the results on the fields of the planetary gear drives, eco-design, natural analogies and optimization.

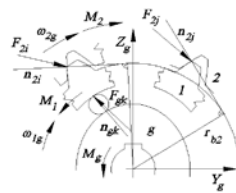
### 1. BEVEZETÉS

A ME Gép- és Terméktervezési Tanszék több mint hat évtizedes tervezési és gyártási tapasztalatai új tartalommal, hatékonyabb tervezési eljárásokkal párosulva közelednek a kiterjedt gép- és termékvilág igényeihez, megőrizve a mérnöki kreativitás erényeit és szabadságát. A cikk erre ad néhány példát.

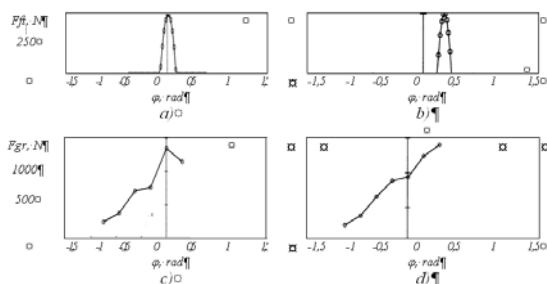
## 2. NAGY ÁTTÉTELŰ HAJTÁSOK

### 2.1. Fogaskerék-hullámhajtómű

A hullámhajtómű működésének alapja a terhelés hatására bekövetkező rugalmas alakváltozás, és a vele össze-  
függő ívhajlás, integrálás és a szélhajlás.



1. ábra. A hullámkerékre ható erők meghatározása



2. ábra. a) és b) A hullámkerék fogaira, c) és d) a generátor görgőire egy időben ható erők

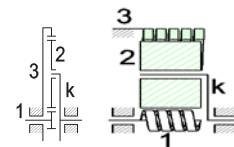
\*egyetemi tanár, ME Gép- és Terméktervezési Tanszék

A hullámhajtóműben a hajtóelem pár kapcsolata alak-, vagy erőzáró, az elem pár kerékpár, kerék-léc stb. A fogaskerék-hullámhajtómű alapelemei: egy belsőfogazatú kerékpár (ezek egyike vagy mind a kettő hajlékony), a fogaskerékpárt kapcsolatba hozó, a deformációt hullám-szerűen továbbító generátor, és a ház.

A projektben a hullámkerék alakját, a generátorra és a fogakra ható erőt a generátor – hullámkerék - gyűrűkerék lánc kialakítása és a hajtómű terhelése függvényében számításokkal (1. ábra) az elemek közötti játék, a hajtómű terhelése, lassító vagy gyorsító hajtómű üzemmód függvényében laboratóriumi mérésekkel vizsgáltuk. A számításokból és a mérésekből levonható következtetéseket az [1 és 2] - ben foglaltuk össze.

### 2.2. Dörzsolygómű

A mechanikai hajtások területén gyakori feladat a fordulatszám nagymértékű, jó hatásfokú módosítása. Ezeket az elvárásokat a fogaskerék-bolygóművek teljesítik, bizonyíték erre több évtizedes sikeres alkalmazásuk a kisebb és nagyobb fordulatszám- illetve teljesítménytartományban egyaránt. A bolygóművek területén idővel megjelentek a hajlékony eleműek – a hullámhajtóművek, többek között jelentős tömegcsökkenéssel gyarapítva a kedvező tulajdonságokat. Ha a pontos kinematikai áttétel nem követelmény, a dörzsolygóhajtás számottevően csökkentheti a gyártási költségeket. A jó hatásfokot és nagy teljesítmény-sűrűséget az új reopektikus viselkedésű kenőanyagok biztosítják. A súrlódó hajtások előfeszítést igényelnek, az átvitt nyomatékkal arányos összeszorító erőt mechanikus vagy hidraulikus szabályozással, külön szerkezeti elemek hozzájárulással, külön szerkezeti elemek hozzájárulással, E ki-egészítő elemek elhagyhatók, ha funkció-összevonással, a súrlódó alapelemek megfelelő kialakításával érjük el a jó hatásfok előfeltételét, a terheléssel arányos összeszorító erőt.

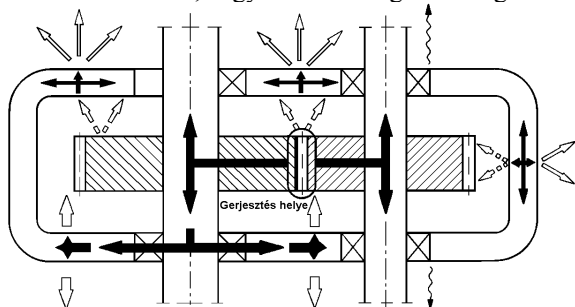


3. ábra. Alapelemek csavarrugóból

Az elmondottakra a 3. ábra közöl egy lehetséges elvi megoldást. Tekintsük az 1 jelű alapelemet, a napkereket.  $Q$  bolygókerék számot és  $n$  menetszámot feltételezve



jük, melynek modellje látható a következő ábrán. A kutatáshoz kapcsolódó disszertáció végső célja egy olyan számítási módszer, vagy tervezési segédlet megalkotása



8. ábra. Egylépcsős fogaskerekes hajtómű [10]

melynek segítségével már tervezés közben nagy hangsúly fordítható a környezeti/akusztikai terhelésre, illetve annak alacsony szinten való tartására.

## 5. A TERMÉSZETI ANALÓGIÁK SZEREPE A TERMÉKFEJLESZTÉSBEN

### 5.1. A természeti analógiák szerepe a gép- és terméktervezésben

A természetben fellelhető megoldások megfigyelése, alkalmazása alapvető emberi igyekezet, gondoljunk pl. Leonardo da Vinci szerkezeteire, melyekkel madarak módjára próbáltak repülni. A természet megoldásainak alkalmazása a huszadik század közepén akkor vett lendületet, amikor a megfigyelésre szolgáló eszközök korábban nem ismert részletek feltárását tették lehetővé, valamint a kutatók felismerték az emberi alkotómunka határait és a természet lehetőségeit, amit már nem „leigázni”, csak megismerni akartak.

A kutatómunkánk célja valamely feladat kidolgozása és ehhez keresünk természeti megoldást, vagy a természet megoldását ismerve keresünk feladatot. Természeti analógiát számos tudományterület keres és alkalmaz. A gépelemek, a gépek és az előbbieket is magukba foglaló termékek, valamint az élő és az élettelen természet közötti közvetlen kapcsolatkeresés durva egyszerűsítés, ezért hasonló feladatokat vagy megoldásokat keresünk, pl. energiaelnyelő elemeket alakítunk ki a bölény homlokcsontjának analógiájára, vagy képezünk alak-, vagy erőzáró kötéseket. Vizsgált gép pl. a robotmegfogó, amely ideális esetben az emberi kéz „másolata”. Az univerzális, ezért terjedelmes és drága megoldás helyett az ujj természetes mozdulatait vizsgálva alakítunk ki feladatorientált robotmegfogókat.

A természet alkotóelveit a látásra, a szaglásra, a hallásra, az ízlelésre és a tapintásra alapozva ismerhetjük meg. A terméktervezés során betartandó a „természettől ellesett” tagolás, az arány és az arányosság, a szimmetria vagy az aszimmetria, a rend, a rendezetlenség, vagy a ritmikus kialakítás, az irány, a kontraszt, és a felidőzés, a termékfunkció függvényében [11].

### 5.2. A természeti formák alkalmazása

Egy termék fejlesztésekor a formavilág meghatározása a tervezési folyamat egyre fontosabb részévé válik. A piac újdonságigényének kielégítése legtöbb esetben egy új formavilággal is elérhető, tehát nem mindig szükséges a bonyolult, idő- és költségigényes funkcionális fejlesztésbe kezdeni.

A formaterv kialakításakor stílusirányzattól függetlenül szinte minden esetben jó választás a „mindig divatos természet” valamilyen mértékű felidőzése. Az ily módon megtervezett termékek sikeressége abban rejlik, hogy a vásárlók tudatalattijában ezek a természeti formaalkotó elemek, mint jól bevált forma- és funkcióhordozók a megbízhatóságot képviselik és ezek olyan értékek, amit legtöbb felhasználó keres egy-egy termék megvásárlásakor.



9. ábra. Funkcionalitás és ergonómia a Hippius Handshoe Mouse mutatóvezérlő eszközénél

Ahogy a termékek funkcióinak tervezésekor figyelembe vesszük a felhasználók igényeit, testfelépítését vagy éppen a működtetéshez szükséges mozdulatokat (9. ábra) úgy lélektani szempontból is meg lehet közelíteni egy célcsoportot azáltal, hogy a terméket olyanná formáljuk, amellyel felhasználója akár már az első pillanatban azonosulni tud. A 10. ábrán bemutatott virágot formázó asztal anyagában és színeiben is a természetet idézi. Az asztal műszaki különlegessége, hogy öt egyforma elemből álló, bármiféle ragasztó vagy rögzítő elem nélkül összeillesztett fa tartószerkezete alkotja egy egyszerű üveg teherhordó felület alátámasztási pontjait.



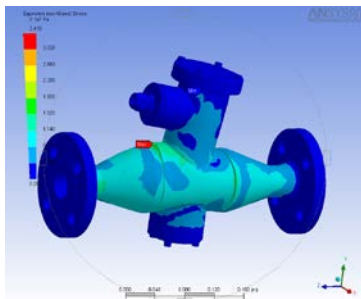
10. ábra. Üveg és fa asztal (Shige Hasegawa)

## 6. OPTIMALIZÁLÁSI LEHETŐSÉGEK A TERMÉKFEJLESZTÉSBEN

A számítástechnika fejlődése lehetővé tette a végeeselemes módszer, a szerkezetanalízis és az optimumszámítás tudományterületeinek nagyarányú elterjedését, széleskörű jelentős fejlődését. Ennek ered-

ményeként alakult ki a Multidiszciplináris Optimalás (MDO) tudománya.

Az optimalás alkalmazása a szerkezettervezésben jelentős előnyöket hozhat: növelhető a szerkezet teherbírási, csökkenthető a különböző veszteségek, javítható a megbízhatóság, csökkenthető a gyártási és anyagköltség, hatékonyabbá tehető a gyártási folyamat (pl. a selejthányad csökkentésével).



12. ábra. Gyűjtőkamra vizsgálata

A szerkezettervezésben elérhető előnyök érvényesíthetők a terméktervezés során is, ezért szükségessé válik a végelemes és numerikus módszerek, optimumkeresés és a Multidiszciplináris Optimalás beillesztése a terméktervezés és termékminősítés folyamatába. A termékszimuláció során még a tervezés során, a termék megtestesülése, legyártása előtt, anélkül, hogy akár prototípust hoznánk létre, lehetségessé válik a termék lényegesebb tulajdonságainak vizsgálata, minősítése, javítása és akár optimalása is, jelentősen csökkentve ezzel a járulékos költségeket.

A kutatás célja tehát az ilyen vizsgálati és optimaló módszerek rendszerezése, terméktervezés és termékminősítés folyamatába való beillesztése, alkalmazása. Ennek során főleg az RVA (Random Virus Algorithm) továbbfejlesztése, tesztelése, kalibrálása a fő tevékenység, mely több numerikus kísérlet, benchmark- feladat megoldását jelenti. Emellett fontos, hogy ez a tevékenység olyan fejlesztésekhez társuljon, melyeknek konkrét alkalmazásai, megvalósulási lehetőségei vannak, vagy külső felkérés alapján azonnali hasznosíthatóságot jelentenek.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

E kutatási eredmények a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósultak meg.

Köszönet a kutatóknak - Dr. Péter József, egyetemi docens; Németh Géza, adjunktus; Dr. Takács Ágnes, adjunktus; Sarka Ferenc, adjunktus; Dömötör Csaba, adjunktus; Dr. Szabó J. Ferenc, egyetemi docens- a cikk összeállítása során nyújtott segítségért.

## 7. IRODALOM

- [1] PÉTER, J.: Hajlékony elemes hajtómű elméleti és laboratóriumi vizsgálata. GÉP, LXIII. Évfolyam, 2012. pp 89-93.
- [2] PÉTER, J.: Hajlékony elemes hajtómű laboratóriumi vizsgálata II. GÉP, LXIII. Évfolyam, 2012. pp 94-98.
- [3] NÉMETH G., PÉTER J., DÖBRÖCZÖNI Á., NÉMETH N.: Helical Torsion Spring Improvement for Epicyclic Traction Drive, Gép (ISSN: 0016-8572) LXIII: (12) pp. 85-88. (2012)
- [4] NÉMETH G., PÉTER J., DÖBRÖCZÖNI Á.: Helical Springs in Epicyclic Traction Drives, Design of Machines and Structures (ISSN: 1785-6892) 2: (2) pp. 81-92. (2012)
- [5] NÉMETH G., PÉTER J., DÖBRÖCZÖNI Á.: Ensuring the Clamping Force in Epicyclic Traction Drive by a New Sun Wheel Design, Design of Machines and Structures (ISSN: 1785-6892) 2: (2) pp. 93-100. (2012)
- [6] OTTO, K.; WOOD, K.: Product Design – Techniques in Reverse Engineering and New Product Development, ISBN 9780130212719, Prentice Hall, 2008.
- [7] TAKÁCS, Á.: Számítógéppel segített koncepcionális tervezési módszer, doktori (PhD) disszertáció, Miskolc, 2010.
- [8] TAKÁCS, Á.: Environmentally Friendly Design Tools - Possibilities of Application, International Journal of Advanced Engineering, Vol. 6, No. ISSN 1846-5900, Croatia, 2012. november, pp. 111-118.
- [9] MSZ EN ISO 11688
- [10] SARKA F., DÖBRÖCZÖNI Á.: Directives Of Designing Machines With Low Noise Emission, International Journal of Advanced Engineering, Vol. 5, No. 2., ISSN 1846-5900, Croatia, 2012. november
- [11] DÖMÖTÖR Cs. - PÉTER J.: Természeti elvek az analógia alapú tervezésben, GÉP, Vol. 63, No. 12., ISSN 00168572, Miskolc, 2012. november, pp. 29-32.
- [12] PÉTER, J., NÉMETH G., DÖMÖTÖR, Cs.: Natural analogies. Creative principles of the nature and the product designer. International Journal of Advanced Engineering, Vol. 6, No. ISSN 1846-5900, Croatia, 2012. november, pp. 209-220.
- [13] SZABÓ, J. F.: Optimization possibilities and methods in product development and qualification. Design of Machines and Structures- A publication of the University of Miskolc, Vol. 2, No. 1. 2012. HU ISSN 1785-6892, pp. 63-72.

# HAJTÁSLÁNCOK FOGAZOTT ELEMEINEK KUTATÁSA ÉS FEJLESZTÉSE

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF TOOTHED ELEMENTS OF POWER TRAINS

Dr. Kamondi László, PhD \*

### ABSTRACT

During the past decades the toothed pairs of elements proved again their unchanged significant role in the power trains. Their functions are the accurate conversion of motion, the greatest load carrying capacity at the least sizes, the conformity to the environments. The paper shows geometric, dynamic and acoustic results on the research fields of gear coupling, free running clutch and pair of gears.

### 1. BEVEZETÉS

A klasszikus gépészeti hajtásláncok és elemeik, ezen belül a járműipari alkalmazások jelentős fejlődésen mentek keresztül. A fejlődés az alkalmazott elemek (alternatív energiaforrások, hajtóművek, tengelykapcsoló rendszerek, stb.) megoldás változataiban is megmutatkozott. Az egyes elemek térfogat- és tömeg csökkentése, a teljesítmény/tömeg arány javítása a kutatókat és fejlesztőket arra ösztönözte, hogy az új anyagok alkalmazása mellett más konstrukciós megoldásokban is gondolkodjanak. Ez a törekvés vezérelte azokat a kutatásokat is, amelyek a fogazott elempárú mozgásátvitelre irányultak azzal a céllal, hogy az átvitel pontosságát, a terhelhetőség növelését, a környezetre gyakorolt hatás csökkentését, a hibafelismerés lehetőségét biztosítani lehessen.

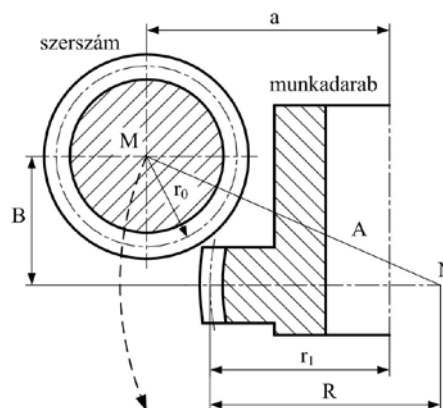
### 2. FOGASGYŰRŰS TENGE LYKAPCSOLÓK MOZGÁSÁTVITELE

A fogasgyűrűs tengelykapcsoló fő alkotó elemei: a belső fogazatú hüvely és a domborított fogazattal rendelkező agy. A két fogazott gépelem egy sajátos fogaskerékpárt alkot, ahol a fogszámok azonosak. A domborított fogazat révén a tengelykapcsoló képes kompenzálni az összekapcsolt tengelyek szögeltérését.

\* egyetemi docens, tanszékvezető, Miskolci Egyetem  
Gép- és Terméktervezési Tanszék

A tengelykapcsoló agy domborított fogazata lefejtő marással állítható elő, az 1. ábrának megfelelően.

A domborított fogfelület alakját befolyásolja a marószerszám átmérője és a mozgásparaméterek, de alapvetően a domborítás  $R$  sugarától függ (1. ábra).



1. ábra. A domborított fogfelület gyártásának elvi vázlatja

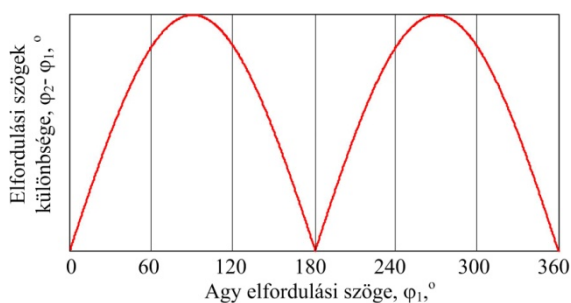
A domborított fogfelület leírására matematikai modellek készültek [1, 2]. Ezeket felhasználva elvégezhető a tengelykapcsoló érintkezési vizsgálata, a mozgásátvitel elemzése, melyhez kapcsolódva két fontos megállapítás tehető:

- az agy domborított fogfelülete miatt a két fogazott elem között a fogérintkezés pontszerű, ill.
- a tengelyek közötti szögeltérés esetén elméletileg egyszerre csak két fogpár van kapcsolatban.

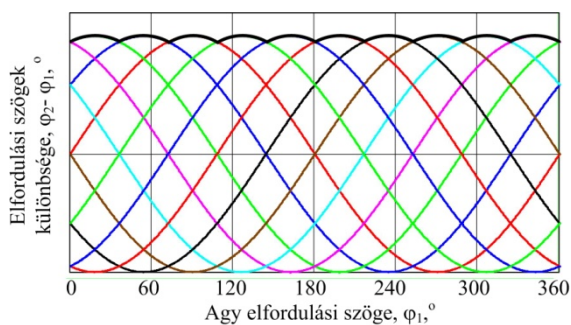
Szöghibával rendelkező hajtás esetén egyetlen fogpár kapcsolódását elemezve megállapíthatjuk, hogy az agy egyenletes forgatása mellett a belső fogazatú hüvely fordulatszáma változó lesz. A 2. ábrán látható, hogy a mozgásátvitel egyenletlenségét jellemző forgásszög különbség változása szinuszos jellegű.

Tekintettel arra, hogy a fogasgyűrűs tengelykapcsoló nem 1, hanem  $z$  számú foggal rendelkezik, a mozgástörvényt a  $z$  számú görbe egymást  $2\pi/z$  szöggel követő felső sűvegei szolgáltatják (3. ábra), mivel a metszés-

pontokban a következő fogpár átveszi a hajtást az előzőtől.



2. ábra. Egyetlen fogpár mozgásátvitele

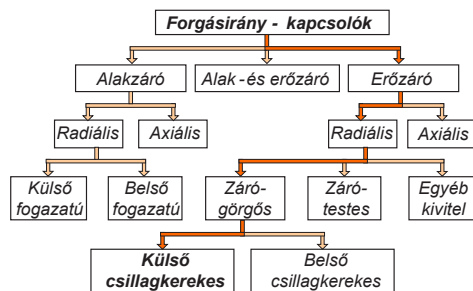


3. ábra. A tengelykapcsoló mozgástörvénye

A tengelykapcsoló szöghiba kompenzáló képességét az  $R$  domborítási sugár határozza meg. A szögeltérés egyetlen agy-hüvely párosítással kezelhető, azonban a gyakorlatban általában két elempárt építenek be. Ezzel az összekötött tengelyek sugárirányú egytengelyűségi hibájának a kiküszöbölése is lehetővé válik, továbbá az itt bemutatott egyetlen járás is kiküszöbölhető.

### 3. A GÖRGŐS SZABADONFUTÓK MINŐSÍTÉSÉNEK MÓDSZERTANI KÉRDÉSEI

Forgásirány-kapcsolón olyan tengelykapcsolót értünk, amelyik csak az egyik forgásirányban tud nyomatékot, illetve mozgást továbbítani. Az elemek összekapcsolása vagy szétválasztása automatikusan történik. Két lehetséges üzemiállapotuk van: a szabadonfutás és a kapcsolás.



4. ábra. Forgásirány-kapcsolók osztályozása

A forgásirány kapcsoló tengelykapcsolók a gépjármű- és repülőgépipar előretörésének köszönhetően váltak széles körben alkalmazottá. A sokféle kivitel visszavezethető néhány alapvető működési elvre, melyet a 4. ábra táblázata mutat be.

A gépjárműiparban a leginkább elterjedt típus a külső csillagkeres görgős szabadonfutó. Jellemüket tekintve ezek a szerkezetek tömör, zárt kialakításúak (5. ábra).



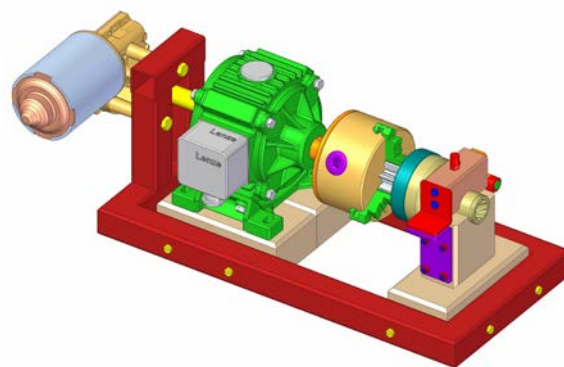
5. ábra. Külső csillagkeres görgős szabadonfutó

A szabadonfutók elhasználódásának fokát csak olyan mérőműszerekkel lehet meghatározni, amelyek érzékelői a szerkezeten kívül találhatóak. A külső sérülések szemrevételezéssel határozhatók meg, a belső hibaforrások feltáráshoz pedig az alábbi lehetőségek állnak rendelkezésre: zajmérés, rezgésmérés, súrlódó nyomaték mérése, melegedés mérése, ultrahang- és rezgés vizsgálat, röntgen vizsgálat.

A szabadonfutók a passzív szerkezetek csoportjába sorolhatók, amelynek a következő funkciókat kell ellátnia:

- Lehetővé kell tenni a vizsgált szerkezet gyors cseréjét, hogy azonos típusú, nagy számú szabadonfutó összehasonlító vizsgálata elvégezhető legyen.
- Biztosítani kell, hogy a meghajtó egység működtetése közben fellépő zavaró hatások (pl.: akusztikai mérésnél a hajtás rezgései) ne befolyásolják a mérés eredményeit, vagy a hatás valamilyen módon szűrhető legyen.
- Minden körülmények között biztosítani kell a mérés reprodukálhatóságát.

A 6. ábrán látható mérőpad kizárólag az akusztikai zavaró hatások kiküszöbölésére készült.



6. ábra. A mérőpad 3D-s modellje

#### 4. NEMSZIMMETRIKUS FOGASKEREK SZEREPE A HAJTÁSTECHNIKÁBAN

A fogaskerékes hajtóművek fejlesztésében az elmúlt évtizedek a szabványokban is rögzített szimmetrikus fogalaktól való eltérést eredményezték. Ennek egyik oka, hogy a hajtásláncokba közvetlen irányváltó elemeket építettek be, ezzel a fogazott elempároknál elmaradhatott a forgásirányváltás. A másik ok az a kényszer, hogy a fogak terhelhetőségét a szokásostól eltérően konstrukciós megoldással is növelni kellett. Ez az igény vezetett a nemszimmetrikus fogalak kialakítására [5], melynek már a gyártástechnológiai lehetőségei is megteremtődtek a CNC megmunkáló gépeken.

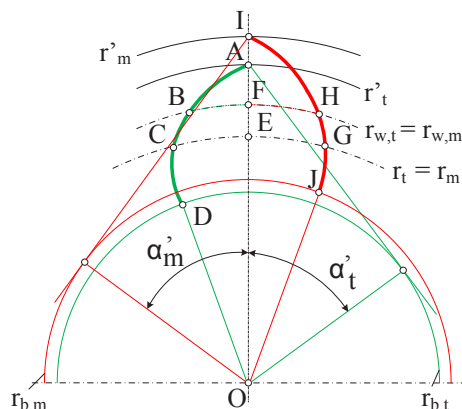
A fogaskerékpárok tervezésében a fogaloknak nagy jelentősége van. A jelentősége egyrészt a mozgásleképezés pontosságában, másrészt a terhelhetőség meghatározásában van.

A kinematikai mozgásleképezés mellett fontos szerepet bír a hajtás dinamikai viselkedése, melyet a fogmerekvesség változtatásával, valamint a foghézag szabályozásával lehet biztosítani. A szimmetrikus és a nemszimmetrikus alaprofil közötti különbséget [6] a működő és támasztó oldali paraméterek eltérése mutatja. Az ilyen alaprofillal generált fogak fogoldalainak ívelése és a fogtövek paraméterei változtathatók, ezzel befolyásolhatók az érintkezési- és fogtó feszültségek, ill. a kifáradási időtartamok (ciklusszámok).

A nemszimmetrikus *általános tengelytávú* fogkapcsolásban fontos az elméleti hézagmentesség biztosítása, melyre csak az [6] irodalomban mutattak be általánosan használható összefüggést. Ennek meghatározásához a gördülőköri fogvastagságok ismerete szükségesek, melyek általánosan a 7. ábra segítségével az alábbi összefüggésekkel írható fel.

$$s_w = f_{w,t} + f_{w,m},$$

$$f_{w,t} = m \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_w} \left( \frac{\pi}{4} + x \cdot \operatorname{tg} \alpha_t + \frac{z}{2} (\operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{w,t}) \right).$$



7. ábra. Fogvastagság értelmezése (BH ív)

A működő oldali fogvastagság rész az osztó és gördülőkörön ( $f_{w,m}$ ) hasonló módon írható fel, csak az inde-

xek jele változik meg. A két fogvastagság rész összege adja a tényleges fogvastagságot.

A fogaskeréken megvalósítandó profileltolás tényezőzők összege a hézagmentességi feltételből határozható meg

$$\sum_{i=1}^{i=2} x_i = x_1 + x_2 =$$

$$= \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\operatorname{inv} \alpha_m + \operatorname{inv} \alpha_t - (\operatorname{inv} \alpha_{w,m} + \operatorname{inv} \alpha_{w,t})}{\operatorname{tg} \alpha_m + \operatorname{tg} \alpha_t},$$

melyet ezt követően konstrukciós megfontolások alapján kell a kerekek között megosztani.

#### 5. A FOGHÉZAG HATÁSA A FOGASKERÉKKAPCSOLÓDÁS DINAMIKAI VISELKEDÉSÉRE

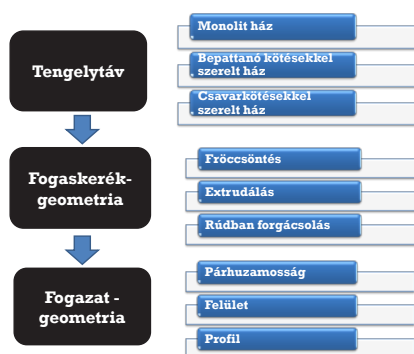
A fogaskerekek alkalmazásának fő oka, hogy számos a többi hajtásátvivő elemmel szembeni előnyös tulajdonsággal rendelkeznek, viszont a fogaskerekek működése során fellépő dinamikus hatások következtében néhány hátrányos tulajdonságuk is van, ezek közül a legfontosabbak a zaj és a lengés, ezért a fogaskerekekkel szemben támasztott elvárás a zajcsökkentés, mely szintén a fellépő dinamikus hatások csökkentését kívánja meg. A dinamikus hatások egy része a fogak rugalmas deformációjára, illetve az alaposztás- és a profilhibákra vezethető vissza. A nem-kívánt dinamikus hatások csökkentése érdekében a fogaskerék hajtások tervezésekor jelentőséggel bír a helyes foghézag megválasztása. A rosszul megválasztott foghézag akár a hajtás működésképtelenségét is okozhatja, de biztosan növeli a fellépő dinamikus hatásokat, és így a hajtás zajszintjét is.

A fogaskerekek vizsgálatok célszerű a kinematikai és dinamikai viszonyokat együtt kezelni, mivel maga a fogprofil, a tengelytáv, és e két tényező eredményeként a foghézag, valamint a terhelés következtében fellépő fogdeformáció hatással van a hajtás dinamikai viselkedésére. Ezért első lépésként a terhelés hatására létrejövő alakváltozást, majd a foghézag figyelembe vételével a kapcsolódási pontokat kell meghatározni. A kapcsolódási pontok ismeretében vizsgálható a hajtás dinamikai viselkedése [7]. A vizsgálat során a fogdeformáció meghatározásához a fogat egy változó keresztmetszetű tartóként modelleztük, míg a dinamikai vizsgálatok során a kapcsolódást egy rugóval (egyfogpár kapcsolódása során), illetve rugórendszerrel (több fogpár kapcsolódása), valamint egy sebességgel arányos csillapítással modelleztük. A fogaskerekek dinamikus viselkedését az előzőekben ismertetett modell alapján egy nem-lineáris differenciálegyenlettel lehet leírni [8]. Ezen mozgásegyenlet megoldásával a fogaskerék dinamikai viselkedése leírható, vizsgálható különböző terhelési esetek mellett. A mozgásegyenlet egy fontos paramétere a kapcsolódási merevség, mely a mozgásegyenlet nemlineáris jellegét is okozza. A kapcsolódási merevség leírásakor

figyelembe kell venni a foghézagot, valamint, hogy aktuálisan mely fogak vannak benne a kapcsolódásban. Fontos szempont a megfelelő lineárizálási módszer megválasztása, mivel az a kapott eredményeket nagyban befolyásolja.

## 6. KISMÉRETŰ MŰANYAG FOGASKEREK FEJLESZTÉSI KÉRDÉSEI

A teszt alapú fejlesztésnél is alapvető fontosságú, hogy a fogaskerékpár vagy fogaskerékcsoport a fejlesztés során meghatározott minőségi és szilárdsági jellemzőknek megfelelően reprodukálható legyen. Ennek alapfeltétele, hogy a fejlesztési folyamat során (8. ábra) ezeket a jellemzőket helyesen rögzítsék. A fejlesztési lépéseken végighaladva meg kell határozni a tengelytávtól befolyásoló tényezőket és a hozzájuk tartozó tűréseket. Ügyelni kell rá, hogy több részből álló műanyag házaknál a ház darabjainak összeszerelése után is módosulhat a ház pontatlanságaiból adódó befelezések vagy a kötőelemek előfeszítése miatt. A kerekek alapvető geometriájának tűréseit általában a technológia határozza meg.



8. ábra. A fejlesztési folyamat elemei

A fejlesztési folyamat során a legbonyolultabb feladat a fogazatgeometria jellemzőinek meghatározása. A kis méretek miatt az egyes fogak torzulásai nehezen ismerhetők fel, így azok az összefüggések is, hogy egyes torzulások mit okozhatnak. Fröccsöntésnél szinte bármilyen irányú torzulás és geometriai hiba elképzelhető. Ezek egy része kiszűrhető mérlegeléssel (anyaghiányok felismerése), a súlyos geometriai hibák átforgatási nyomtatók vizsgálattal, azonban a lokális melegekedést okozó fogfelületi hibák felismerése nehézkes lehet. Ilyenek főként a fogfelület tengellyel párhuzamos alkotóinak párhuzamossági hibái, a fogfelület hullámossága vagy a profil eltérése az evolvenstől stb.. A kutatásaink folytatásában az ilyen hibák összeszerelt eszközökben okozott hatásaival és azok vizsgálhatóságával kívánunk foglalkozni.

A foghézag hatásának vizsgálata a teljes, hosszútávú kutatómunka egy nagyon fontos része, mivel ezen paraméternek nagy hatása van a fogaskerekek működésé-

re, dinamikus viselkedésére. A foghézag helyes, terhelési viszonyoknak megfelelő megválasztásával kapcsolatban jelenleg kevés, a mérnöki gyakorlatban is jól használható útmutatás található az irodalomban. A hosszútávú, vizsgálatok eredményeként a fogaskerekek, valamint maga a hajtás az adott elvárásoknak megfelelően optimalizálhatóak. Tehát adott fogprofil terhelés mellett modellezhető, hogy milyen dinamikus hatások fellépése várható, valamint a foghézag megváltoztatása, hogyan befolyásolja a hajtás dinamikus viselkedését. Az optimalizáció eredményeként az adott célra, a gazdaságossági követelményeket is figyelembe vevő, leginkább megfelelő fogaskerék kiválasztása is lehetővé válhat. Vagyis ezen folyamat egy részeként az optimális foghézag értékére is ajánlást lehet adni, akár adott profil, illetve terhelés mellett.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A szerző köszöni továbbá kollégáinak (*Drágár Zsuzsa tanársegéd, Szűcs Renáta tanársegéd, Bihari János tanársegéd, Bihari Zoltán adjunktus, Kelemen László doktorandusz, Dr. Sente József egyetemi docens*) a cikk összeállításánál nyújtott segítségét.

## 7. IRODALOM

- [1] SZENTE J., KELEMEN L.: Domborított fogfelület előállítás kétparaméteres burkolással. *Gép.* LXIII. évf. 12. szám (2012). p. 57-60.
- [2] KELEMEN L., SZENTE J.: Analysis of gear meshing for gear couplings. *Advanced Engineering.* Vol. 6. No. 2. (2012). p. 171-182.
- [3] BERANEK, L. L.: Zajcsökkentés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
- [4] DÖMÖTÖR F.: Rezgésdiagnosztika I., Dunántúlváros, 2007.
- [5] A. KAPELEVICH: Geometry and design of involute spur gears with asymmetric teeth, *Mechanism and Machine Theory* 35 (2000) pp. 117-130.
- [6] DRÁGÁR ZS.; KAMONDI L.: Design questions of gears with non-symmetric teeth, pp. 329-332, 13th International Conference on Tools, ICT-2012, March 2012, Hungary, Miskolc.
- [7] KAMONDI L., SZÚCS R.: Bevezetés a fogaskerék kapcsolódás végeelem módszerrel történő vizsgálati lehetőségeibe, *GÉP*, LXII. évf. 2011/11. III. Köt., pp: 37-39.
- [8] R. SZÚCS, L. KAMONDI L.: Analytical model for determine meshing stiffness of spur gears. *Design of Machines and Structures, Volume 2, Number 2* (2012), pp: 123-135.
- [9] BIHRI J., KAMONDI L.: Kis méretű műanyag fogaskerekek vizsgálata, *GÉP*, LXII. évf. 2011/11. I. Köt., pp: 21-24



# HEGESZTETT T-BORDÁK ALKALMAZÁSA NÉGY SARKUKON TÁMASZTOTT CELLALEMEZEK MINIMÁLIS KÖLTSÉGRE VALÓ MÉRETEZÉSÉHEZ

## APPLICATION OF WELDED T-STIFFENERS IN THE MINIMUM COST DESIGN OF CELLULAR PLATES SUPPORTED AT FOUR CORNERS

Dr. Farkas József\*

### ABSTRACT

Cellular plates consist of two face plates and a grid of stiffeners welded between them. The cells produce a large torsional stiffness, thus, the cellular plates can be calculated as isotropic ones. In previous studies the author has designed cellular plates with halved rolled I-stiffeners. In the present study these rolled stiffeners are replaced by welded T-stiffeners. Constraints on stresses, deflection, stiffeners web buckling and fabrication are formulated. The cost function contains the cost of material, assembly, welding and painting. The optima are found by a systematic search using a MathCAD algorithm. Mass and cost savings can be achieved by using welded T-stiffeners instead of rolled ones.

$$B_{xy} = \frac{GI_y}{a_y}; B_{yx} = \frac{GI_x}{a_x}; G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4)$$

$$H = B_{xy} + B_{yx} + \frac{\nu}{2}(B_x + B_y) = \frac{E_1}{2} \left( \frac{I_y}{a_y} + \frac{I_x}{a_x} \right) \quad (5)$$

Négyzetszimmetrikus lemezekre

$$H = B_x = B_y \quad (6)$$

Tehát a cellalemezek csavarási merevsége megegyezik a hajlításival, ezért a cellalemezek izotropként számíthatók.

### 1. CELLALEMEZ HAJLÍTÁSI ÉS CSAVARÁSI MEREVSÉGE

Ortotrop lemezek Huber féle differenciálegyenlete síkjukra merőleges egyenletesen megoszló teher esetén

$$B_x w'''' + 2Hw'''' + B_y w'''' = p \quad (1)$$

ahol

$$H = B_{xy} + B_{yx} + \frac{\nu}{2}(B_x + B_y) \quad (2)$$

Az ortotrop lemez csavarási merevsége. Ebben

$$B_x = \frac{E_1 I_y}{a_y}; B_y = \frac{E_1 I_x}{a_x}; E_1 = \frac{E}{1-\nu^2} \quad (3)$$

cellalemezekre

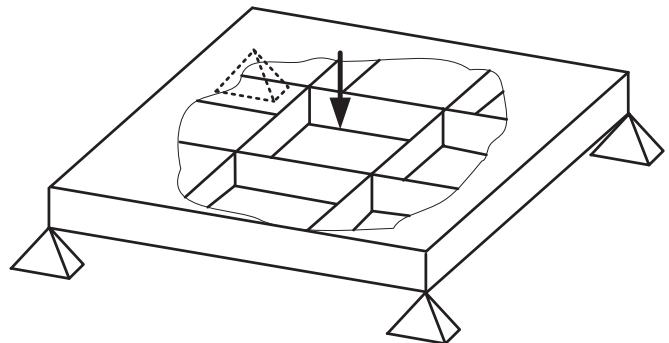
### 2. HAJLÍTÓ NYOMATÉKOK ÉS LEHAJLÁS

Lee és szerzőtársai [1] a (1) egyenletet polinóm függvényrel megoldották négy sarkukon alátámasztott lemezekre. Négyzetszimmetrikus lemezek legnagyobb hajlító nyomatéka

$$M_{max} = 0.15pL^2 \quad (7)$$

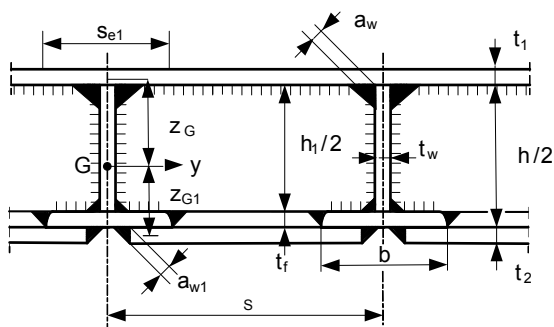
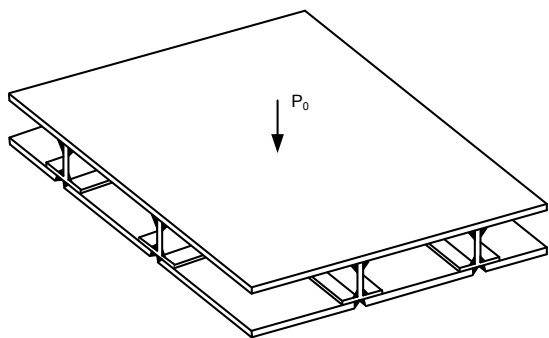
és legnagyobb lehajlása

$$w_{max} = 0.025p_0L^4/B_x \quad (8)$$



1. ábra. Négy sarkán támasztott cellalemez

\*professzor emeritus, Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszéke



2. ábra. Cellalemez és a hegesztett T-szelvényű bordák méretei

$L$  a lemez oldalhossza,  $p_0$  az egyenletesen megoszló teher biztonsági tényezővel szorzott intenzitása,  $p$  a teherintenzitás, melyben figyelembe vesszük a saját tömeget is.

Izotrop négyzetlemezre Timoshenko & Woinowsky-Krieger [2]  $\nu = 0.3$  esetére az alábbiakat vezette le

$$M_{max} = 0.1404pL^2 \quad (9)$$

$$w_{max} = 0.0249p_0L^4/B_x \quad (10)$$

Látható, hogy a számértékekben nincs nagy különbség.

### 3. GEOMETRIAI JELLEMZŐK

A hajlításból a cellalemez felső lemezrészében nyomás keletkezik. Ezek horpadását együttdolgozó lemezszélességgel küszöböljük ki. Az Eurocode 3 (2007) [3] szerint

$$s_e = \rho s, s = \frac{a}{n} \quad (11)$$

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0.22}{\lambda_p^2}, \lambda_p = \frac{s}{56.8\epsilon t_1}, \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (12)$$

$n$  a bordaosztások száma,  $f_y$  a folyáshatár.

Egy T-borda keresztmetszeti területe

$$A_s = \frac{h_1 t_w}{2} + b t_f, \quad h_1 = h - 2t_f \quad (13)$$

Egy lemez-szekcióra

$$A = s_e t_1 + a t_2 + A_s, \quad a = \frac{L}{n+1} \quad (14)$$

Súlyponti távolságok

$$z_G = \frac{1}{A} \left[ a t_2 \left( \frac{h}{2} + \frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2} \right) + b t_f \left( \frac{h_1 + t_1 + t_f}{2} \right) + \frac{h_1 t_w}{2} \left( \frac{h_1}{4} + \frac{t_1}{2} \right) \right] \quad (15)$$

$$z_{G1} = \frac{h + t_1 + t_2}{2} - z_G \quad (16)$$

Másodrendű nyomaték

$$I_y = s_e t_1 z_G^2 + a t_2 z_{G1}^2 + b t_f \left( \frac{h_1 + t_1 + t_f}{2} - z_G \right)^2 + I_{y1} \quad (17)$$

$$I_{y1} = \frac{h_1^3 t_w}{96} + \frac{h_1 t_w}{2} \left( \frac{h_1}{4} + \frac{t_1}{2} - z_G \right)^2 \quad (18)$$

Hajlítási merevség

$$B_x = \frac{E_1 I_y}{a}, \quad E_1 = \frac{E}{1 - \nu^2} \quad (19)$$

Az egyes gyártási fázisoknak megfelelő szerkezet-térfogatok

$$V_1 = L^2 t_1, V_2 = V_2 + (n+2)A_s L, V_3 = V_2 + (n+2)A_s L \quad (20)$$

$$V_4 = V_3 + L^2 t_2 \quad (21)$$

Teherintenzitás a saját tömeg figyelembe vételével

$$p = p_0 + \frac{\rho_0 V_4}{L^2} \quad (22)$$

### 4. MÉRETEZÉSI FELTÉTELEK

#### 4.1. Feszültségi feltételek

A külső teherből a felső lemezrészében helyi hajlító nyomatékok is keletkeznek. A kerületén befogott izotrop lemez legnagyobb hajlító nyomatéka Timoshenko & Woinowsky-Krieger [2] szerint

$$\sigma_p = 0.0513 \frac{p_0 a^2}{t_1^2 / 6} = 0.3078 \frac{p_0 a^2}{t_1^2} \quad (23)$$

A feszültségi feltétel a kétféle feszültség összegezésével

$$\sigma_2 = \frac{0.15 p L^2 z_G}{I_y} + \sigma_p \leq \frac{f_y}{1.1} \quad (24)$$

Az alsó fedőlemez feszültségi feltétele

$$\sigma_1 = \frac{0.15 p L^2 z_{G1}}{I_y} \leq \frac{f_y}{1.1} \quad (25)$$

A lehajlási feltétel

$$w_{\max} = \frac{0.025 p_0 L^4}{B_x} \leq w_{\text{allow}} = \frac{L}{300} \quad (26)$$

Nyírófeszültségi feltétel a támaszoknál

$$\tau = \frac{p L^2}{4 h_1 t_w} \leq \frac{f_y}{1.1 \sqrt{3}} \quad (27)$$

#### 4.2. A T-bordák gerinclemez-horpadási feltétele

Az Eurocode 3-1-5 [3] szerint lineárisan változó normálfeszültségekre

$$\frac{0.15 p L^2 z_G}{I_y} \leq C_x f_y \quad (28)$$

ahol

$$C_x = 1 \text{ ha } \bar{\lambda}_p \leq 0.673 \quad (29a)$$

$$C_x = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ ha } \bar{\lambda}_p \geq 0.673 \quad (29b)$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{h_1 / 2}{t_w} \frac{1}{28.4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} \quad (30)$$

ha  $-1 \leq \psi < 0$

$$k_\sigma = 7.81 - 6.29\psi + 9.78\psi^2 \quad (31)$$

$$\psi = -\frac{h_1 / 2 - z_G}{z_G} \quad (32)$$

#### 4.3. Gyártási feltételek

Lemezvastagság-korlátozás:  $t_{\min} = 4 \text{ mm}$ .

A bordagerincek hegesztésének megkönnyítése érdekében biztosítani kell a megfelelő szabad helyet a bordaövek között:

$$a - b \geq 300 \text{ mm} \quad (33)$$

## 5. VÁLTOZÓK

A bordák száma egy irányban (négyzetes szimmetria)  $n$  fedőlemezek vastagsága  $t_1$  and  $t_2$ , bordák magassága  $h/2$ .

## 6. SZÁMADATOK

$L = 18 \text{ m}$ ,  $p_0 = 150 \text{ kg/m}^2 = 0.0015 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_y = 355 \text{ MPa}$ , rugalmassági modulus  $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ , Poisson szám  $\nu = 0.3$ , acél térfogatsúly  $\rho = 7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ ,  $\rho_0 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$ .  $b = 30 \text{ mm}$  és  $t_f = t_2$ .

## 7. KÖLTSÉGFÜGGVÉNY

A költségfüggvényt a gyártási fázisoknak megfelelő sorrendben fogalmazzuk meg [4,5]

(a) A  $18 \times 18 \text{ m}$  méretű felső fedőlemez hegesztése 36 ( $6 \times 1.5 \text{ m}$  méretű) darabból  $\text{CO}_2$  hegesztésű tempavarratokkal

$$K_{w1} = k_w \left[ \Theta \sqrt{36 \rho V_1} + 1.3 C_1 t_1^{n1} 13 L \right] \quad (34)$$

A hegesztési költségtényező  $k_w = 1 \text{ \$/kg}$ , az összeállítás bonyolultsági tényezője  $\Theta = 3$ ,

$$\text{ha } t_1 < 15 \text{ mm } C_1 = 0.1939 \text{ és } n1 = 2 \quad (35a)$$

$$\text{ha } t_1 > 15 \text{ mm } C_1 = 0.1496 \text{ és } n1 = 1.9029. \quad (35b)$$

(b) Az  $n+2$  számú folytonos borda-gerinc hegesztése a felső fedőlemezhez az egyik irányban kettős  $\text{CO}_2$  sarokvarratokkal

$$K_{w2} = k_w \left[ \Theta \sqrt{(2n+5) \rho V_2} + 1.3 \times 0.3394 \times 10^{-3} a_w^2 4(n+2)L \right] \quad (36)$$

$$a_w = 0.4 t_w, \text{ de } a_{w\min} = 4 \text{ mm}.$$

(c) Az  $n+2$  számú megszakított borda-gerinc hegesztése a felső fedőlemezhez és a másik irányú borda-gerinchez kettős  $\text{CO}_2$  sarokvarratokkal

$$K_{w3} = k_w \left[ \Theta \sqrt{(2n^2 + 6n + 5) \rho V_3} + T_1 + T_2 \right] \quad (37)$$

$$T_1 = 1.3 \times 0.3394 \times 10^{-3} a_w^2 (h_1 + b) 2(n+1)(n+2) \quad (38)$$

$$T_2 = 1.3 C_1 t_f^{n1} 2b(n+1)(n+2) \quad (39)$$

(d) Az alsó fedőlemez-mezők hegesztése a bordák övéhez  $\text{CO}_2$  sarokvarratokkal

$$K_{w4} = k_w \left[ \Theta \sqrt{(n^2 + 2n + 2) \rho V_4} + 1.3 \times 0.3394 \times 10^{-3} a_{w1}^2 4L(n+1) \right] \quad (40)$$

$$a_{w1} = 0.4 t_2, \text{ de } a_{w1\min} = 3 \text{ mm}.$$

$$K_M = k_M \rho V_4, \quad k_M = 1 \text{ \$/kg}, \quad (41)$$

$$K_P = k_P \Theta_P S_P, \quad \Theta_P = 3, \\ k_P = 14.4 \times 10^{-6} \text{ \$/mm}^2 \quad (42)$$

$$S_P = 3L^2 + 2L(h_1 + b)(n + 2) \quad (43)$$

Teljes költség

$$K = K_M + K_{w1} + K_{w2} + K_{w3} + K_{w4} + K_P \quad (44)$$

## 8. OPTIMÁLÁS ÉS EREDMÉNYEI

Az optimalálás során keressük azokat a változókat, amelyek minimalják a térfogatot illetve költséget és megfelelnek a feltételeknek. A MathCAD algoritmus segítségével végzett szisztematikus keresés eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Az optimalálás eredményei: optimális méretek minimális térfogat illetve költség esetén. Az optimumokat vastagított betűk jelölik. Megengedett feszültség ( $\sigma_2$ ) 322 MPa, megengedett lehajlás  $w_{max} = 60$  mm. Méretek mm-ben

$h$	$n$	$t_1$	$t_2$	$t_w$	$\sigma_1$ MPa	$w$ mm	gerinchorpadás (28) MPa	$V \times 10^{-9}$ $\text{mm}^3$	$K \times 10^{-5}$ \\$
1400	4	7	4	6	309	12	187<201	4.492	1.075
1300	5	6	4	6	320	16	204<215	<b>4.247</b>	1.074
1200	3	9	4	6	321	16	206<232	4.877	1.073
1100	4	8	4	6	309	20	215<251	4.622	<b>1.068</b>
1000	5	7	4	7	317	24	232<310	4.469	1.070
900	4	9	4	5	311	26	237<258	4.720	1.070
800	5	8	4	7	322	37	258<375	4.622	1.072

Összehasonlítással a 2. táblázatban megadjuk a hengerelt bordás cellalemez optimális adatait.

2. táblázat. Félbevágott hengerelt I-bordás cellalemez optimális adatai.

$h/t_w$	$n$	$t_1$	$t_2$	$\sigma_1$ MPa	$w_{max}$ mm	$V \times 10^{-9}$ $\text{mm}^3$	$K \times 10^{-5}$ \\$
607.6/11.1	4	11	4	316	50	6.400	<b>1.224</b>
607.6/11.1	7	8	4	313	52	<b>6.197</b>	1.277

## 9. KÖVETKEZTETÉSEK

Az optimális méretek különböznek a minimális térfogat illetve a minimális költség esetén. Ennek a magas gyártási költségek az okai.

A hegesztett T-bordás cellalemez gazdaságosabb, mint a félbevágott hengerelt I-bordás, mert térfogata  $(6.197-4.247)/6.197 \times 100 = 31\%$ -kal kisebb és költsége  $(1.224-1.068)/1.224 \times 100 = 12\%$ -kal kisebb. A csökkenést az okozza, hogy hegesztett lemezbordák esetén sokkal kisebb lehet a bordák gerinclemez-vastagsága.

### Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A kutatás az OTKA 75689 program támogatásával készült.

## IRODALOM

- [1] LEE SL, KARASHUDI P, ZAKERIA M, CHAN KS.: Uniformly loaded orthotropic rectangular plate supported at the corners. Civil Engineering Transactions Institution of Engineering Australia 13 (1971) (2): 101-106.
- [2] TIMOSHENKO S, WOINOWSKY-KRIEGER S.: Theory of plates and shells. 2<sup>nd</sup> ed. New York-Toronto-London: McGraw-Hill, 1959.
- [3] Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements. ENV 1993-1-5. (2007)
- [4] VIRÁG Z., JÁRMAI K.: Bordázott lemezek fáradás vizsgálata különböző bordatípusokra, GÉP, Vol. LXIII, No. 2. 2012, pp. 41-44.
- [5] JÁRMAI, K., IVÁNYI, M.: Acélszerkezetek tűzvédelmi tervezése, Bevezetés az acélszerkezetekkel kapcsolatos európai szabványokba és alkalmazásukba. Gazdász-Elasztik Kft. Miskolc, 259 old. 2008.

# SZÁLERŐSÍTÉSES MŰANYAG KOMPOZITTAL ERŐSÍTETT ACÉLSZERKEZETEK

## FIBRE REINFORCED PLASTIC STRENGTHENED STEEL STRUCTURES

Dr. Kovács György\*

### ABSTRACT

*Fibre reinforced plastic (FRP) composites are often used in light-weight civil engineering applications due to their unique advantages including their high strength-to-weight ratio and excellent corrosion resistance. In particular, many possibilities of using FRP in the strengthening of concrete, wood and steel structures have been explored.*

*The main aim of the current study is to show the types of FRP strengthening systems, strengthening modes of steel structures and possible failure modes of strengthening systems.*

### 1. BEVEZETÉS

A szálerősítéses műanyag kompozitok (fibre reinforced plastic - FRP) alkalmazási köre és felhasznált mennyisége az elmúlt két évtizedben rohamosan nőtt. Ezt egyedülálló tulajdonságaiknak köszönhetik, melyek például a nagy szilárdság, kis sűrűség, korrózióval és vegyi anyagokkal szembeni ellenállás, kedvező hajlítási merevség, jó rezgéscsillapítás és esztétikus megjelenés.

A kompozitokat, mint szerkezeti anyagokat – fenti tulajdonságaikból adódóan – jelenleg is számos iparágban (úrkutatás, hadiipar, járműipar, építőipar, gépipar, vegyipar, egészségügy) alkalmazzák [1,2,3].

A kompozitok egy újabb felhasználási köre a már meglévő vasbeton, fém vagy fa szerkezetek utólagos megerősítése [5, 6, 8, 9].

### 2. A SZÁL-KOMPOZITOK

A szál-kompozitot két vagy több különböző anyag alkotja [1, 4]: egy alap mátrix (beágyazó anyag), és egy erősítő fázis (töltő anyagok és szálak).

A szál-kompozit tehát:

- többfázisú, összetett (több anyagból álló) szerkezeti anyag, amely
- erősítőanyagból (tipikusan szálerősítésből) és
- befoglaló (beágyazó) anyagból (mátrixból) áll,

és az jellemzi, hogy

- a nagy szilárdságú és rendszerint nagy rugalmassági modulusú (szálas) erősítőanyag és a
- rendszerint kisebb szilárdságú, de szívós mátrix között
- kitűnő kötőerő (adhézió, tapadás) van, amely nagy deformáció és igénybevétel esetén is tartósan fennmarad.

A szálak általában nagy szilárdságúak és nagy rugalmassági modulusúak, fő teherviselő elemként szolgálnak. A szálak széles választéka áll rendelkezésre a kompozitokban való felhasználásra. A különféle típusú szálak felhasználási aránya a következő: üvegszál (40%); szén- és grafit-szál (34%); aramid szál (23%); egyéb szálak (3%). A szálas erősítő anyagok a mátrixba beágyazva fejtik ki hatásukat, általában a kompozit húzó-, és hajlítószilárdságát növelik. Ezek a szálak sokféle formában használhatók fel, lehetnek folytonos szálak, szőtt rétegek vagy darabolt szálak.

A mátrix feladata a szálak kívánt helyzetben és irányban való tartása, elválasztva azokat egymástól, elkerülve ezzel a kompozit deformálódása közbeni kölcsönös súrlódást. A mátrix a szálak közötti terhelésátadó közegként is funkcionál. A szálak környezeti károsodástól való védelmeként is szolgál a kompozit előállítás előtt, közben és után is. A mátrix anyagok polimer-, fém-, vagy kerámia- mátrixok lehetnek.

### 3. FRP ERŐSÍTŐ RENDSZEREK

A szerkezetek utólagos külső megerősítésére alkalmas FRP rendszerek a következők lehetnek [5]:

- előkeményített rendszerek: sajtolással, vagy rétegezéssel előállított szerkezeti elemek, melyek közvetlenül az erősítendő szerkezeti elemre kerülnek felragasztásra. Ezen erősítő rendszerek általában 50-70%-os száltérfogat tartalmú kompozitok, hosszirányú szálelrendezéssel;

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék

- nedves rétegezett rendszerek: egy- vagy többirányú szálakból gyanta hozzáadásával összeállított FRP rétegek vagy szövetek;
- gyanta kötőanyaggal előre impregnált rendszerek (prepreg): egy, vagy többirányú szálak rétegek vagy szövetek, melyeket már a gyártás során átítatják gyantával, melyet újabb gyanta réteg segítségével ragasztanak az erősítendő szerkezeti elem felületére.

Acél szerkezeti elemek utólagos erősítésére leggyakrabban a prepreg formában lévő FRP erősítő rendszereket alkalmazzák, melyek feltekereselt göngyöleg formában beszerezhetők. Az előimpregnált (kb. 0,15 mm vastag) réteg rugalmas, nedves felületű, a végleges mechanikai tulajdonságait hőkezelés után éri el.

#### 4. AZ FRP ERŐSÍTŐ RENDSZEREK TERVEZÉSI ALAPELVEI

Az FRP erősítő rendszereket a már meglévő és károsodott beton, vasbeton, fém vagy fa szerkezetek utólagos megerősítésére eredményesen használják. Ezen szerkezetek erősítésének célja, hogy a szerkezetet érő igénybevételek hatására bekövetkezett károsodások, vagy várhatóan bekövetkező kockázatok pontos beazonosítását követően a megfelelő erősítő anyagot, annak típusát és az erősítés helyét meghatározva elvégezzük az erősítő rendszer felhelyezését. Az erősítő rétegek felhelyezése nagy szakértelmet és speciális gyártási technológiát igényel. Az FRP erősítést az erősítendő szerkezet azon felületére helyezik fel, ahol a húzó igénybevétel fellép. Az FRP erősítő rendszerek tervezése során az előírt szilárdsági, alkalmazhatósági és élettartam követelményeket egyaránt szem előtt kell tartani.

#### 5. ACÉL SZERKEZETEK UTÓLAGOS MEGERŐSÍTÉSE FRP RÉTEGGEL

Az acél szerkezetek alkalmazása igen széleskörű, például épületek-, hidak-, ipari berendezések tartószerkezeteiként, szerkezeti elemeiként használják. Ezen szerkezetek a tervezési hibákból, a megengedettnél nagyobb mechanikai igénybevételekből, a nem megfelelő karbantartásból, vagy a környezeti káros hatásokból adódóan károsodhatnak, melyeket korrigálni kell. Számos esetben a legmegfelelőbb, vagy egyetlen javítási lehetőség az FRP erősítő rendszerek alkalmazása.

Az erősítési technikák alkalmazásának lényege, hogy a szerkezetek teherviselő képességét fenntartsuk, vagy növeljük.

A fém szerkezetek FRP erősítésének célja [6]:

- a húzó szilárdság növelése vagy megőrzése,
- a hajlítószilárdság növelése vagy megőrzése, és
- a fáradási szilárdság növelése.

Az acél szerkezeti elemeknél leggyakrabban alkalmazott erősítő módszer az acéllemezek utólagos felhegesztése, vagy felcsavarozása. Ennek azonban számos hátránya is lehet, például, hogy az erősítő lemez újabb járulékos többletterhelést a szerkezeten, továbbá szintén hajlamos a korrózióra és a fáradásra, illetve sok esetben nehéz a felhegesztése az erősítendő hordozó anyagra.

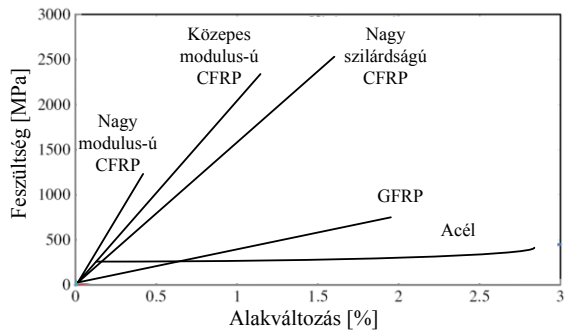
Ezzel szemben az FRP anyagok alkalmazása megoldást jelenthet a hagyományos erősítési technikák és anyagok alkalmazásából adódó nehézségek leküzdésére.

Az FRP erősítő rétegek alkalmazása az acéllemezek hegesztése helyett a következő előnyökkel jár [9]:

- az FRP erősítés alkalmazása esetén kedvezőbb a szilárdság/súly arány;
- a szál-erősítés nem korrodál, valamint jobb a rezgéscsillapító képessége is;
- a fáradási ellenállás növelése céljából az FRP rétegek felragasztásának előnye, hogy újabb, a hegesztésből adódó maradék feszültség nem keletkezik az erősítendő szerkezeti elemekben;
- számos területen (pl. olajtartályok, vegyi anyagok környezetében, ...), ahol tűz- és robbanásveszély áll fenn, a szerkezetek megerősítésére az FRP erősítési technológia a legmegfelelőbb, illetve sok esetben az egyedüli lehetőség;
- nagy szilárdságú acélokhoz képest a hegesztés során bekövetkező nagy hőmérséklet negatív hatása is kiküszöbölhető FRP erősítés alkalmazásával.

A leggyakrabban alkalmazott FRP anyagok a karbon- (CFRP) és grafit- (GFRP) erősítő szálak műanyagok. Acél tartók szilárdság-növelésénél elsősorban a CFRP anyagokat alkalmazzák, a jóval nagyobb rugalmassági modulus-uknak köszönhetően. Az 1. ábra a leggyakrabban használt erősítő anyagok feszültség-alakváltozás diagramját mutatja [7].

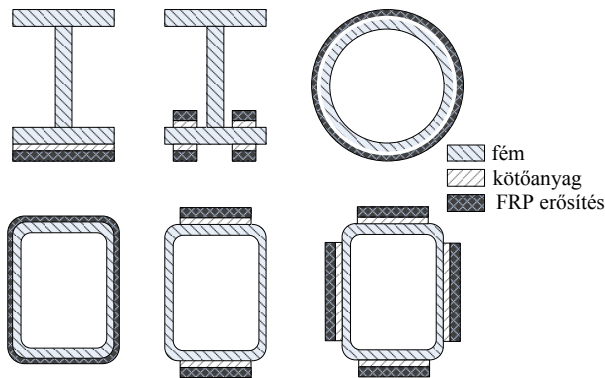
Az FRP erősítés rögzítése kötőanyag segítségével történik az erősítendő hordozó fémhez [3]. A kötőanyagok feladata a két felület közötti megfelelő kötőerő létrehozása. A természetes és a szintetikus kötőanyagoknak számos típusát alkalmazzák (elasztomerek, hőre lágyuló műanyagok, egy- vagy kétkomponensű hőre keményedő gyanták), azonban a leggyakrabban az epoxi gyantákat használják.



1. ábra. Különböző erősítő anyagok feszültség-alakváltozás diagramja

A kötőanyag helyes megválasztása, valamint a ragasztandó felületek megfelelő előkészítése nagymértékben meghatározza az acél és az FRP réteg közötti kötés erősségét, ezzel az egész erősített szerkezet mechanikai tulajdonságait.

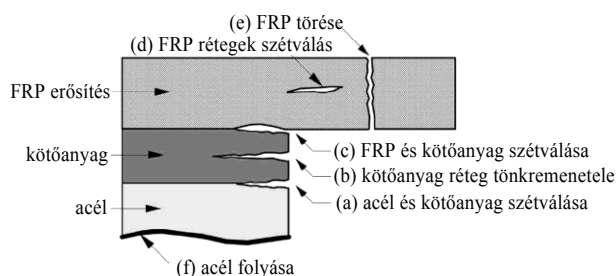
A 2. ábra néhány acél profil lehetséges erősítési módját mutatja [9, 11, 12, 13, 16].



2. ábra. Acél profilok lehetséges erősítési módjai

Egy FRP erősítéses acél szerkezeti elem lehetséges tönkremeneteli módjai az alábbiak lehetnek (3. ábra) [6, 10, 11, 14]:

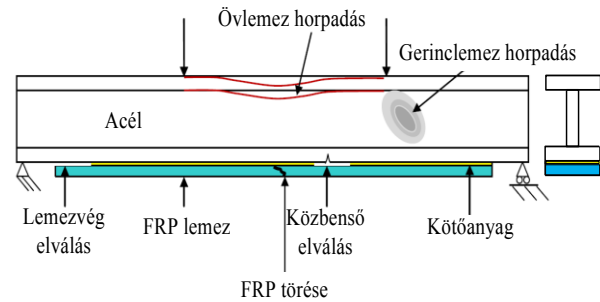
- az acél hordozóanyag és a kötőanyag szétválása,
- a kötőanyag tönkremenetele,
- az FRP és a kötőanyag elválása,
- az FRP rétegeinek szétválása,
- az FRP törése,
- az acél hordozóanyag folyása.



3. ábra. Lehetséges tönkremeneteli módok

A 4. ábra acél I tartó húzott övének FRP lemezzel való erősítését mutatja [9, 15]. A felragasztott FRP réteg nemcsak a tartó húzó merevségét növeli, hanem annak hajlító merevségét is.

Hajlított tartók esetén például a lehetséges meghibásodási módok az alábbiak lehetnek: hajlítási törés, kihajlás, lemezvég elválás, helyi repedésekből eredő közbenső rétegelválás, nyomott öv helyi horpadása, gerinc lemez helyi horpadása. A tervezés során tehát ezeket a méretezési feltételeket kell figyelembe venni.



4. ábra. Acél I tartó FRP lemezzel való erősítése

Meg kell jegyezni, hogy azoknál a tartóknál, ahol az erősítést megelőzően a helyi horpadási tönkremeneteli módok nem voltak aktívak, az FRP erősítés után ezen módok kritikussá válhatnak. Mivel az erősítés a húzott övet erősíti, a nyomott övnek és a gerincnek kell a nagyobb igénybevételt viselni addig, amíg valamely tönkremeneteli mód be nem következik.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kompozitok több szempontból fontos anyagok a mérnöki gyakorlatban, a műszaki célú szerkezeti anyagok legkorszerűbb családját képezik. A tulajdonságok olyan széles skálájával rendelkeznek, melyek más anyagokkal elérhetetlenek, mint például a nagy szilárdság, kis sűrűség, korrózióval és vegyi anyagokkal szembeni ellenállás, kedvező hajlítási merevség, jó rezgéscsillapítás, esztétikus megjelenés. A kompozitokat – ezen tulajdonságaiknak köszönhetően – jelenleg is számos iparágban (űrkutató, hadiipar, járműipar, építőipar, gépipar, vegyipar, egészségügy) alkalmazzák szerkezeti anyagként.

A kompozitok egy újabb felhasználási köre a már meglévő vasbeton, fém vagy fa szerkezetek utólagos megerősítése.

A dolgozat bemutatja az acélszerkezetek utólagos külső megerősítésére alkalmas FRP erősítési rendszerek típusait, valamint a főbb tervezési alapelveket. Továbbá kiemeli ezen erősítési technika előnyeit, alkalmazási körét. Végül egyszerű példákon keresztül bemutatja az

FRP erősítés szerkezeti elemek lehetséges tönkremeneteli módjait.

## KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok támogatta az OTKA T 75678 számú projekt keretében.

## 7. IRODALOM

- [1] KOVÁCS GY.: Szálerősítéses műanyag profilos tartók és cellalemezek vizsgálata, optimális méretezése, PhD értekezés, Miskolc, 2005. Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék
- [2] KOVÁCS, GY., GROENWOLD, A., A., JÁRMAI, K., FARKAS, J.: Analysis and optimum design of fiber reinforced composite structures, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Springer Verlag, Wien-New York, Vol. 28. No. 2-3. 2004, pp. 170-179. ISSN 1615-147X,
- [3] BARBERO E. J.: Introduction to composite materials design, USA: Taylor & Francis, 1999.
- [4] VINSON J. R.: Sandwich structures, *Appl. Mech. Rev.* 2001., 54 No. 3, pp.: 201-214.
- [5] Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures: Materials, RC and PC structures, masonry structures, National Research Council, CNR-DT 200/2004, tanulmány, p.: 154.
- [6] Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures: Metallic structures, National Research Council, CNR-DT 202/2005, tanulmány, p.: 53.
- [7] Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures: Timber structures, National Research Council, CNR-DT 201/2005, tanulmány, p.: 58
- [8] Guide for the Design and Construction of Fiber-Reinforced Concrete Structures, National Research Council, CNR-DT 204/2006, tanulmány, p.: 54.
- [9] TENG J.G., YU T., FERNANDO D.: Strengthening of steel structures with fiber-reinforced polymer composites, *Journal of Constructional Steel Research* 2012/78, pp.: 131-143.
- [10] LINGHOFF D., HAGHANI R., EMRANI M.: Carbon-fibre composites for strengthening steel structures, *Thin-Walled Structures*, 2009/47, pp.: 1048-1058.
- [11] ZHAO X.L., ZHANG L.: State-of-the-art review on FRP strengthened steel structures, *Engineering Structures*, 2007/29, pp.: 1808-1823.
- [12] ZHAO X.L., DILUM F., RIADH A. M.: CFRP strengthened RHS subjected to transverse end bearing force, *Engineering Structures*, 2006/28, pp.: 1555-1565.
- [13] PELLEGRINO C., MAIORANA E., MODENA C.: FRP strengthening of steel and steel-concrete composite structures: an analytical approach, *Materials and Structures*, 2009/42, pp.: 353-363.
- [14] LINGHOFF D., HAGHANI R., EMRANI M. A.: Carbon- Fibre composites for strengthening steel structures, *Thin-Walled Structures*, 2009/47, pp.: 1048-1058.
- [15] STRATFORD T., CADEI J.: Elastic analysis of adhesion stresses for the design of a strengthening plate bonded to a beam, *Construction and Building Materials*, 2006/20, pp.: 34-45.
- [16] HARRIES K. A., PECK A. J., ABRAHAM E. J.: Enhancing stability of structural steel sections using FRP, *Thin-Walled Structures* 2009/47, pp.: 1092-1101.



# WEB ALKALMAZÁS FEJLESZTÉSE JAVA FX KÖRNYEZETBEN OPTIMÁLÁSI PROBLÉMÁK MEGOLDÁSÁRA

## DEVELOPING A WEB APPLICATION IN JAVA FX ENVIRONMENT TO SOLVE OPTIMIZATION PROBLEMS

*Marcusák Gábor Zoltán\**

### ABSTRACT

*Despite the rapid progress of computer technology, there are still a lot of problems that cannot be solved only by raw computational power. The Travelling salesman problem is a bright example of the nonlinear programming, NP problem class. The utilization of informed search (so-called "heuristic") algorithms is a possible solution in these situations. On the one hand, compared to non-heuristic algorithms, heuristic strategies require much less computation in order to find potential solutions. In many cases, very difficult problems can be solved with them. On the other hand, they have a disadvantage. There is no guarantee that the optimal solution was found. My goal was to develop an advanced web application, which is a standalone collection of modern heuristic algorithms.*

### 1. BEVEZETÉS

A számítógépek rohamos fejlődése ellenére még mindig sok olyan feladat ismert, mely nem megoldható pusztán a számítási teljesítményre alapozva. Az utazó ügynök problémája egy ékes példája az NP-nehéz bonyolultságú problémaosztálynak. Adott egy ügynök, illetve városok halmaza. Az ügynök körutat szeretne tenni oly módon, hogy minden várost pontosan egyszer érintve az útiköltség minimális legyen. A megoldás során a problémát az okozza, hogy a városok számának növekedésével a különböző lehetséges körutak száma faktoriálisan növekszik. Már viszonylag kevés, 120 darab város esetén is megközelítőleg  $6,69 \cdot 10^{198}$  lehetséges megoldásból kell kiválasztani az optimálist. Nyilvánvaló, hogy nagy számú város esetén az összes lehetséges permutáció vizsgálata a tudomány jelenlegi állása szerint belátható időn belül nem kivitelezhető.

A megoldást az informált kereső, úgynevezett heurisztikus algoritmusok jelentik. Előnyük, hogy a lineáris módszerekhez viszonyítva jóval kevesebb számítással képesek eljutni a megoldáshoz. Nagy

bonyolultságú feladatoknál is sok esetben sikerrel alkalmazhatók. Legfontosabb hátrányuk azonban, hogy nem garantálható teljes bizonyossággal az optimális megoldás megtalálása [1]. A különböző heurisztikus algoritmusok a tudomány számos területén korábban megoldhatatlannak vélt problémák megoldásával bizonyították létjogosultságukat. A célom egy olyan korszerű web alkalmazás kifejlesztése volt, mely egyedülálló gyűjteménye a modern heurisztikus algoritmusoknak.

### 2. A JAVA FX KERETRENDSZER

A heurisztikus algoritmusok gyűjteményéhez mindenképp egy keretrendszert kellett fejlesztenem, mely tárolja, rendszeri azokat. A program tervezésekor több fontos szempontot vettem figyelembe.

- Egy, az Interneten bárki számára könnyen és gyorsan hozzáférhető web alkalmazást szerettem volna létrehozni, amit nem kell külön telepíteni, böngészőből használható.
- A legtöbb heurisztikus algoritmus implementációja sokkal egyszerűbb modern, objektum orientált paradigmát követő programozási nyelvek segítségével. Annak ellenére, hogy a nem informált kereső eljárásokhoz viszonyítva kevesebb számítás árán jutnak eredményre, bonyolult problémák esetén fontos a választott technológia futási sebessége.
- Alapvető követelmény a könnyen kezelhető, informatív felhasználói felület. A beépített heurisztikus algoritmusok története, elméleti leírása és pszeudokódja egyaránt elérhető kell legyen. A működésük megértése azonban gyakorlati példákkal szemléltetve sokszor egyszerűbb, ehhez is ki kellett dolgoznom a megfelelő programrészeket.
- Fontos volt továbbá, hogy az algoritmusok gyűjteményét könnyen bővíteni lehessen. A keretrendszer ennek megfelelően egyfajta moduláris struktúrát követ. Az új tartalom ezáltal könnyen illeszthető a már meglévőhöz.

\* logisztikai mérnök MSc hallgató, Miskolci Egyetem

A fent vázolt szempontok figyelembevételével a viszonylag újnak számító JavaFX technológiát választottam a megvalósításhoz. Egyik legfontosabb előnye a Java technológiából eredő platformfüggetlenség, mely lehetővé teszi használatát Windows, Mac OS X és Linux rendszereken. A közeljövőben várhatóan az Android és iOS mobil operációs rendszerek is támogatottá válnak, ezzel lehetővé téve a technológia használatát okostelefonokon és táblagépeken. A Java egy széles körben elterjedt programozási nyelv, mely megbízható, jól dokumentált és gazdag beépített függvénykészlettel rendelkezik. A JavaFX programok asztali alkalmazásként és web alkalmazásként egyaránt képesek működni, a két mód között pedig nincs szignifikáns sebességbeli különbség, mivel futtatásukról ugyanaz a Java Virtuális Gép (JVM) gondoskodik.

### 3. BEÉPÍTETT HEURISZTIKUS ALGORITMUSOK

Újabban előtérbe kerültek azok a heurisztikus algoritmusok, melyek működési elve valamilyen természeti jelenségen alapul, például Darwin evolúciós elméletén. A különböző élőlények adott helyzetben való viselkedésmintájából merítve jó eredményeket lehet elérni, ennek analógiájára dolgozták ki többek között a madár és halrajok mozgásán (Particle Swarm), baktérium (Bacterial Foraging) és hangyakolóniák (Ant Colony) táplálkozásán, vagy a szentjánosbogarak fényjelenségein (Firefly) alapuló módszereket. A cikk írásakor három természeti jelenségen alapuló evolúciós algoritmus érhető el az alkalmazásban, Java nyelven implementált forráskódjuk szintén megtekinthető, letölthető.

#### 3.1. Particle Swarm algoritmus

A Particle Swarm (részecske-csapat) algoritmust 1995-ben dolgozták ki. Működését a madár és halrajok mozgása inspirálta. A nagyszámú egyed mozgásában egyfajta rendezettség figyelhető meg. Érzékelik egymás helyzetét, bizonyos mértékben pedig emlékeznek a korábbi pozíciókra. A keresés adott számú részecske létrehozásával kezdődik, amik véletlenszerű kiindulási pontokban helyezkednek el. A részecskék tisztában vannak aktuális és addigi legjobb pozíciójukkal, valamint a részecske csapat addigi legjobb pozíciójával. Hogy az adott pozíció mennyire jó az adott keresés szempontjából, mindig egy fitness függvénnyel határozható meg. Az iterációk során az alábbi képletek alapján számítható ki a részecskék új pozíciója (1), (2):

$$V_{id} = w \times V_{id} + c_1 \times rand() \times (p_{id} - x_{id}) + c_2 \times rand() \times (p_{gd} - x_{id}) \quad (1)$$

$$x_{id} = x_{id} + V_{id} \quad (2)$$

$V_{id}$  részecske sebessége  
 $w$  gyorsulás konstans  
 $c_1$  egyéni súlyozás konstans  
 $c_2$  szociális súlyozás konstans  
 $p_{id}$  részecske eddigi legjobb pozíciója  
 $p_{gd}$  csapat eddigi legjobb pozíciója  
 $x_{id}$  részecske aktuális pozíciója

Az iterálás addig folytatódik, míg nem teljesül valamilyen leállási feltétel. Evolúciós algoritmusok esetében sokszor nem egyszerű egyértelműen jó leállási feltételt találni. A Particle Swarm módszerrel a feltétel többek között lehet megszabott számú iteráció végrehajtása, vagy ha a csapat legjobb pozíciója bizonyos számú iteráció után sem változott meg [2].

#### 3.2. Differential Evolution algoritmus

A Differenciális Evolúció az élőlények genetikus öröklődésén, mutációján alapul. A részecske-csapat módszerhez hasonlóan először adott számú (N) kiinduló egyedeket hoz létre. Az iterációk során adott generáció ( $G$  index) minden tagjának egy új leszármazott egyed ( $G+1$  index) hoz létre keresztezéssel az alábbi képlet alapján:

$$x_{i,G+1} = x_{r_1,G} + F(x_{r_2,G} - x_{r_3,G}) \quad (3)$$

$x_{r_1}, x_{r_2}, x_{r_3}$  véletlenszerűen kiválasztott egyedek  
 $F$  mutációs konstans

Ezután összehasonlítja az eredeti és a leszármazott egyed rátermettségét az adott probléma szempontjából. A rátermettséget a fitness függvény alapján határozzuk meg. A kedvezőbb megoldást adó egyed lesz tagja a következő generációnak [3].

#### 3.3. Bacterial Foraging algoritmus

A 2002-ben megjelent algoritmus viszonylag újnak számít a természeti jelenségeken alapuló metaheurisztikus stratégiák családjában. Az E. coli baktériumkolóniák táplálékkereső és reprodukciós viselkedésmintáin alapul a működése. Az Escherichia Coli az ostoros baktériumok családjába tartozik. Ostoros végtagjai, az úgynevezett flagellumok segítségével képes az önálló úszásra. Ez a mozgás a kemotaxis, mely során a fő cél a tápanyagban gazdag helyek elérése.

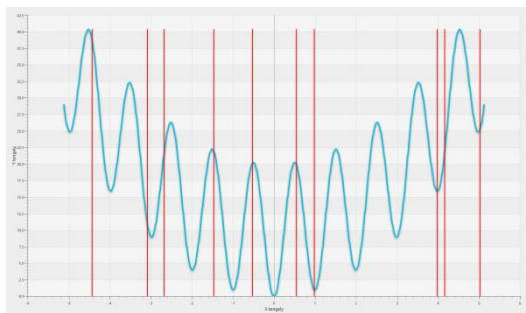
A Bacterial Foraging lényegében ezt a kemotaxis másolja a keresés során. A kolóniához tartozó baktérium egyedek a Particle Swarm algoritmushoz hasonlóan kommunikálnak egymással, ismerik a kolónia által megtalált legjobb pozíciót. Szintén evolúciós algoritmusról van szó, az egyedek meghatározott élettartammal rendelkeznek. Minél jobb pozícióban vannak az adott probléma szempontjából, annál kevésbé csökken az élettartamuk. Minden iteráció során az

algoritmus rendezzi az egyedeket élettartam szempontjából, majd a halmazt középen ketté bontva az idősebb baktériumok helyére átmásolja a fiatalabb példányokat, ezzel szimulálva az osztódást. A három ismertett heurisztikus algoritusból véleményem szerint a Bacterial Foraging a legbonyolultabb. A módszer részletes matematikai leírása megtalálható a [4], [5] forrásművekben.

#### 4. FÜGGVÉNYEK GLOBÁLIS SZÉLSŐÉRTÉKÉNEK KERESÉSE

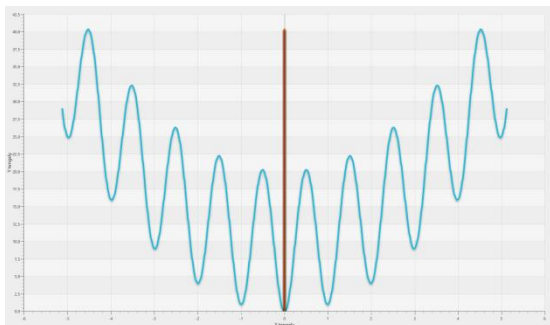
A heurisztikus algoritmusok működésének gyakorlati szemléltetésére egy és kétváltozós függvényeken végezhető globális minimum és maximum keresést építettem a programba. A felhasználó választhat az öt beépített tesztfüggvény (De Jong's, Rosenbrock's valley, Rastrigin's, Schwefel's, Easom's) közül, vagy sajátot is definiálhat [6].

Egyváltozós függvény esetén a keresés egy grafikonon követhető nyomon. Az 1. ábrán Particle Swarm algoritmussal, 10 darab részecske segítségével végeztem minimum keresést a Rastrigin's tesztfüggvény egyváltozós változatán. A függvény abszolút minimuma az  $x=0$  pontnál van. Az algoritmus első lépése a részecskék létrehozása véletlenszerű pozíciókban.



1. ábra Particle Swarm keresés indítása

Leállási feltételként 200 darab iteráció végrehajtását határoztam meg. Az eredmény a 2. ábrán látható.



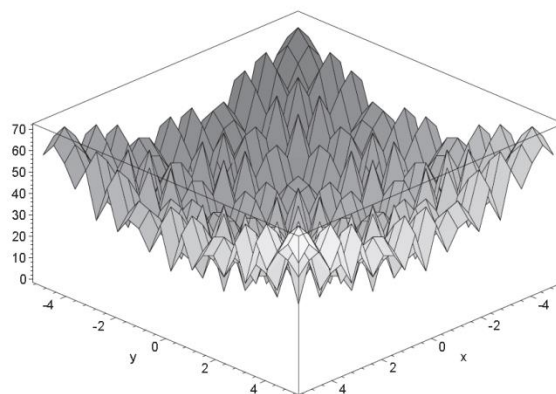
2. ábra Particle Swarm keresés vége

Az algoritmusok működési paramétereit a felhasználó minden részletre kiterjedően állíthatja a megfelelő vezérlők segítségével.

Kétváltozós függvények esetében bonyolultabb a keresés szemléltetése, mivel az ábrázoláshoz 3 dimenziós felület leképezése, vagy speciális grafikon szükséges. A program továbbfejlesztésének egyik fő iránya ezen funkció megvalósítása lesz.

#### 5. AZ ALGORITMUSOK TESZTELÉSE

Az algoritmusok teszteléséhez a Rastrigin's tesztfüggvény kétváltozós változatát választottam, mely a 3. ábrán látható:



3. ábra A kétváltozós Rastrigin's függvény [6]

A tesztfüggvénynek az  $x=0,0$ ,  $y=0,0$  helyen van globális minimuma, melynek értéke 0.0. A teszt célja a következő kérdések megválaszolása volt:

- Milyen hatékonysággal találják meg az algoritmusok az optimális megoldást?
- Ha mindhárom algoritmus esetén azonos számú populációt adok meg, valamint leállási feltételként is ugyanazon iterációs korlátot kapják, akkor megállapítható, hogy melyik algoritmus működik a leggyorsabban. A leggyorsabb működés természetesen nem feltétlenül jelent egyúttal leghatékonyabbat is.
- Fejlettebb leállási feltétel definiálásával milyen mértékben növelhető a hatékonyság?

	Idő [ms]	x	y	Fitness
PSO	26	$-7,92 \cdot 10^{-10}$	$2,27 \cdot 10^{-11}$	$1,40 \cdot 10^{-9}$
PSO*	18	$3,82 \cdot 10^{-10}$	$-6,94 \cdot 10^{-10}$	$8,25 \cdot 10^{-9}$
DE	30	$5,17 \cdot 10^{-6}$	$-1,25 \cdot 10^{-7}$	$4,43 \cdot 10^{-6}$
BFO	43	$3,41 \cdot 10^{-6}$	$2,18 \cdot 10^{-5}$	$9,63 \cdot 10^{-5}$

1. táblázat Teszteredmények

A tesztelés során minden esetben 100-as nagyságú populációkkal dolgoztam. Leállási feltételként egy kivételtől (PSO\*) eltekintve a 400 iterációs határt szabtam meg. Minden keresést háromszor ismételt meg, majd a feljegyzett eredmények átlagát tüntettem fel a táblázatban.

Az algoritmusok hatékonyságának elemzéséhez először meg kell határozni, hogy milyen pontosságra van szükségünk. Ha négy tizedesjegy pontosság megfelelő, akkor megállapítható, hogy mindegyik algoritmus megtalálta az optimális megoldást. Ellenben ha például nyolc tizedesjegy pontosságú keresésre van szükség, akkor a Differenciális Evolúció és a Bacterial Foraging esetében kiválóan megfigyelhető a heurisztikus algoritmusok gyenge pontja. Nagyon közel vannak az optimális megoldáshoz, de nem azt találták meg. Vélhetően nagyobb populáció vagy iterációs szám javítana a pontosságon.

A leggyorsabb működést a Particle Swarm produkálta, tehát iterációnként a PSO-nak van a legkisebb számításgénye a vizsgált algoritmusok közül. Érdekes módon egyben a leghatékonyabb algoritmus is a részecske-csapat volt az adott tesztkörülmények között.

A táblázatban szereplő PSO\* esetében leállási kritériumként iterációs határ helyett a feltétel az volt, hogy valamennyi részecske legjobb pozíciója egyezzen meg a globális legjobb pozícióval. Ez átlagosan 307 iteráció után következett be. A táblázatból leolvasható, hogy a 400 iterációs határhoz képest ez 23,25%-al kevesebb számítást jelent, ami pontosan megmutatkozik a futási időkben is.

A heurisztikus algoritmusok tesztelése egy igen nehéz és összetett folyamat, mivel a sok paraméter és nagyszámú változó gyakorlatilag végtelen variációs lehetőséget jelent.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkemben a heurisztikus optimáló algoritmusok működését, és a használatukban rejlő sokszínű lehetőségeket vizsgáltam. Véleményem szerint a tudomány és technológia fejlődésével számos új területen merül majd fel az igény a nagy bonyolultságú, hagyományos eszközökkel megoldhatatlannak tűnő számítási feladatok elvégzésére. Ez az a problémakör, ahol a metaheurisztikus optimáló algoritmusok a leginkább erősek.

Célom, hogy tovább bővítsem a web alkalmazásba épített algoritmusok számát, valamint olyan új gyakorlati példákkal szemléltethessem működésüket, mint az utazó ügynök probléma megoldása, különböző szerkezetoptimalizálási, logisztikai, operációkutatási feladatok. A web alkalmazás a <http://users.iit.uni-miskolc.hu/~marcsak/> címen érhető el.

## 7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"

## 8. IRODALOM

- [1] JÁRMAI K., IVÁNYI M.: Gazdaságos fém szerkezetek analízise és tervezése, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2001. ISBN 963 420 674 3
- [2] HU X., EBERHART R.: Solving Constrained Nonlinear Optimization Problems with Particle Swarm Optimization. In Proceedings of the 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2002), volume 5. Orlando, USA, IIIS, July 2002.
- [3] STORN R.: On the Usage of Differential Evolution for Function Optimization, 1996 Biennial Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS 1996), Berkeley, pp. 519–523. IEEE, New York, NY, USA.
- [4] DAS S., BISWAS A., DASGUPTA S., ABRAHAM A.: Bacterial Foraging Optimization Algorithm: Theoretical Foundations, Analysis, and Applications <http://tutorial.softcomputing.net/bfoa-chapter.pdf>
- [5] LIU Y., PASSINO K. M.: Biomimicry of Social Foraging Bacteria for Distributed Optimization: Models, Principles, and Emergent Behaviors JOURNAL OF OPTIMIZATION THEORY AND APPLICATIONS: Vol. 115, No. 3, pp. 603–628, December 2002
- [6] MOLGA M., SMUTNICKI C.: Test functions for optimization needs, 2005, <http://www.zsd.ict.pwr.wroc.pl/files/docs/functions.pdf>

# SZABVÁNYOS KÖR KERESZTMETSZETŰ TÖBBTÁMASZÚ TARTÓK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE

## OPTIMUM DESIGN OF STANDARD SIZED CIRCULAR CONTINUOUS GIRDERS

Dr. Virág Zoltán\*, Dr. Jármai Károly\*\*

### ABSTRACT

Nowadays the optimum design is widely used in engineering practice. The economic crises always remind of saving. That is why it is important to aim at the best price or just material saving. In the minimum cost design the characteristics of the optimal structural version are sought which minimize the cost function and fulfil the design constraints. Further advance of the optimum design is that it gives a true base to compare the different structure versions. In this study only the material cost is minimised.

The aim of the present study is to apply the optimum design principle for continuous girders.

amivel a gazdaságosságot a számunkra legmegfelelőbb módon elérhetjük. [1]

Az egyes szerkezetekről az évek során összegyűlt elméleti és kísérleti ismeretek, tervezési, gyártási és üzemeltetési tapasztalatok lehetővé teszik, hogy mindezek figyelembevételével keressük az optimális megoldást. A minden szempontból optimális megoldáshoz az összes követelménynek megfelelő, elegendő számú adattal kell rendelkezniünk. Az optimális megoldás megtalálását tovább bonyolítja a többféle szerkezeti kialakítások lehetősége, hol nem csak az egyes elemeket lehet optimalni, hanem az egész szerkezetnek a felépítését is. Ennek egyik iskolapéldája a hidak tervezése (1. és 2. ábra).

### 1. BEVEZETÉS

Az optimalás a jobb megoldások keresése, amelyek jobban megfelelnek a követelményeknek. A teherviselő mérnöki szerkezetek fő követelményei: a terhelhetőség, a biztonság, a gyárthatóság és a gazdaságosság.

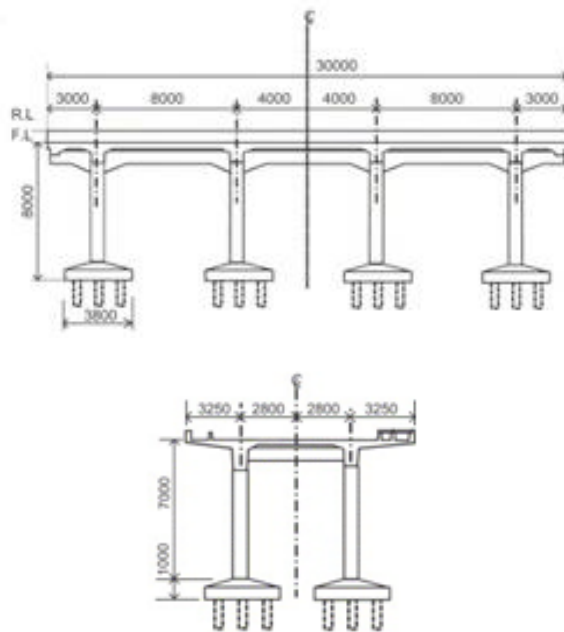


1. ábra Shinkansen gyorsvasúti híd Japánban

Az elemzés szintjén meg kell fogalmazni a tervezési és gyártási feltételeket, valamint azt a költségfüggvényt,

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Geotechnikai Berendezések Intézeti Tanszék

\*\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék



2. ábra Tipikus többtámaszú Shinkansen gyorsvasúti híd geometriája [2]

Ezért igen nagy jelentősége van az optimális méretezésre való törekvésnek abban, hogy az adatok, ismeretek rendszerezésére készlet, kiderül, hogy hol

vannak még elemzésre váró kérdések (például hiányosak esetleg a stabilitásra vonatkozó mérések, vagy kevés a gyártási költségadat stb.). Az optimális méretezés további előnye, hogy reális alapot (és általában egyszerű kifejezéseket) ad az egyes konstrukció-változatok összehasonlítására, ami a tervező számára rendkívül hasznos segítséget jelent.

Korábbi tanulmányokban már számos szerkezet optimális tervezését végeztük el [3, 4, 5], melyek megerősítették a szerkezetek optimalizálásának fontosságát. Az eredményeket jelentősen befolyásolja a figyelembe vett feltételek kiválasztása.

## 2. PÉLDA TÖBBTÁMASZÚ TARTÓK OPTIMÁLÁSÁRA

Mint az a bevezetésből is kitűnik a többtámaszú tartók vizsgálata egy nagyon régi széleskörű mérnöki feladat. Számítási példa ezek közül egy mostanában egyre inkább fontossá váló feladattal a káros gázok emissziójának csökkentéséhez kapcsolódó földfeletti többtámaszú csővezetékek optimalizálásával foglalkozik.



3. ábra Földfeletti többtámaszú csővezeték

Az ilyen nagy nyomású csővezetékek méretezésénél három feltételt kell figyelembe venni, melyek a feszültségi feltétel, a lehajlási feltétel és a karcúsági feltétel. Ezek teljesülésével kapható meg az a külső átmérő és falvastagság páros, amely az adott szerkezet legkisebb tömegét eredményezi.

### 2.1. Feszültségi feltétel

A feszültségi feltételt a különböző terheléseknek a összegzéseként számíthatjuk. Figyelembe kell vennünk az alap szerkezet önsúlyából adódó terhelésből számítható feszültséget és a csőszerkezet belső túlnyomása során keletkező feszültséget.

A megoszló terhelés

$$p = (1,2A\rho_a + 1,1A_{cs}\rho_g)g$$

ahol  $A$  csőszerkezet keresztmetszete,  $\rho_a$  a szerkezeti acél sűrűsége,  $A_{cs}$  csőszerkezet belső keresztmetszete,  $\rho_g$  a szállított nagynyomású gáz sűrűsége.

A szerkezet analízis során a Clapeyron egyenlet alkalmas arra, hogy háromtámaszú tartóknál a belső támasznál fellépő nyomatékokat meghatározza.

Legyen  $A, B, C$  a három támasz jele,  $l$  pedig az  $AB$  támasz távolsága,  $l'$  pedig a  $BC$  támasz távolsága.  $w$  és  $w'$  az egyes elemek egységnyi tömege. A hajlítónyomatékok meghatározhatók az egyes támaszoknál  $M_A, M_B, M_C$  a következő módon

$$M_A l + 2M_B(l + l') + M_C l = \frac{6a_1 x_1}{l} + \frac{6a_2 x_2}{l'}$$

ahol  $a_1$  a nyomatéki ábra alatti terület a függőleges terhelések hatására az  $AB$  szakaszon,  $a_2$  a nyomatéki ábra alatti terület a  $BC$  szakaszon,  $x_1$  az  $A$  támasz és a nyomatéki ábra súlypontjának távolsága az  $AB$  szakaszon,  $x_2$  a  $C$  támasz és nyomatéki ábra súlypontjának távolsága a  $BC$  szakaszon.

Ezáltal a hajlítónyomaték a Clapeyron formulával a következő a középső támasznál

$$M_2 = \frac{2,5pL^2}{4}$$

ahol  $L$  a támaszok közötti távolság.

A feszültség

$$\sigma_1 = \frac{M_2}{K_x}$$

ahol

$$K_x = \frac{(D^4 - d^4)\pi}{32D}$$

ahol  $D$  a csőszerkezet külső átmérője és  $d$  a belső átmérő.

A kazán formulából számítható feszültség értéke

$$\sigma_2 = \frac{p_b d}{2t}$$

ahol  $p_b$  a belső nyomás és  $t$  a falvastagság. A redukált feszültség

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \sigma_1 \sigma_2$$

A megengedett legnagyobb feszültség

$$R_{adm} = \frac{f_y}{n_e}$$

ahol  $n_e$  a biztonsági tényező, melynek értékét 1,2-re vehetjük és  $f_y$  a folyáshatár.

Ezek ismeretében a feszültségi feltételt végleges alakja

$$\sigma_R \leq R_{adm}$$

## 2.2. Lehajlási feltétel

A csőszerkezet lehajlását korlátoznunk kell, hogy egy bizonyos deformációt a szerkezet már ne haladjon meg, ami már káros hatással lenne. A lehajlás mértékét a támaszok között a következő egyenlettel számíthatjuk

$$w = \frac{pL^4}{284EI_x}$$

ahol  $E$  a rugalmassági modulus és az inercianyomaték pedig

$$I_x = \frac{(D^4 - d^4)\pi}{64}$$

A lehajlás értékét a támasztávolság 300-ad részében maximalizálhatjuk

$$w \leq \frac{L}{300}$$

## 2.3. Stabilitási feltétel

A stabilitás az egyik legfontosabb probléma a fémszerkezetek tervezésében, mert az instabilitás sok esetben okoz meghibásodást vagy tönkremenetelt. A feltétel ez esetben a csőszerkezet külső átmérő és a falvastagság hányadosától függ

$$\frac{D}{t} \leq 90\varepsilon^2$$

ahol

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235\text{MPa}}{f_y}}$$

## 2.4. KIINDULÓ ADATOK

A vizsgálat célja megtalálni a legkisebb folyóméter tömeget egy adott terhelés esetére. Az alapozás és megtámasztás költségeit állandónak vettük mivel a feszítáv adott, nem változik. Ahhoz, hogy megtaláljuk az

optimális szerkezetet, ismernünk kell a gyakorlatban használt csőszerkezetek külső átmérőit és a falvastagságokat. Ezeket a gyakorlatban alkalmazott geometriákat az EN 10220 [6] tartalmazza. Ezek közül kell kiválasztani azokat az alkalmazott méret kombinációkat, amelyek kielégítik a tervezési feltételeket. A számpéldában a csőszerkezetben levő terhelést 82 m<sup>3</sup>/s térfogatáramú széndioxid biztosítja, mely térfogatáram előfordul a Weyburn csővezeték rendszerben [7]. A támaszközök nagysága  $L = 20$  m nagyságban rögzített. A szélesebb körű összehasonlítás érdekében a csőszerkezet alapanyagának folyáshatárát két értékben  $f_y = 355$  MPa és 448 MPa választottam meg.

## 2.5. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK

A számítás során a különböző külső átmérőkhöz választottam a lehető legkisebb, a tervezési feltételeknek még megfelelő falvastagságot, amely párosítás így a lehető legkisebb folyómétertömeget eredményezi. Az optimális eredményeket dőlt számokkal jelölték az 1. és 2. táblázatban.

1. táblázat. Eredmények  $f_y=448\text{MPa}$  folyáshatárú alapanyagra

külső átmérő [mm]	falvastagság [mm]	folyóméter tömeg [kg/m]
508	12,5	153
457	12,5	137
406,4	14,2	137
355,6	14,2	120
323,9	16	121

2. táblázat. Eredmények  $f_y=355\text{MPa}$  folyáshatárú alapanyagra

külső átmérő [mm]	falvastagság [mm]	folyóméter tömeg [kg/m]
610	12,5	184
508	14,2	173
457	14,2	155
406,4	16	154
355,6	20	166

## 2.6. KÖVETKEZTETÉSEK

Az adott külső átmérők értékét csökkentve juthatunk el az optimumhoz, minden esetben keresve a lehető legkisebb falvastagságot. Nagy külső átmérők esetén a falvastagság csökkentésének stabilitási feltétel szab határt, kisebb külső átmérők esetén pedig a feszültségi feltétel válik először aktívvá. Ezeknek a feltételeknek a hatása az, hogy a külső átmérő csökkentése egy bizonyos szint után már nem eredményez folyómétertömeg csökkenést és az érték már növekedni

fog. Ez a változó tendencia igazolja, hogy a különböző feltételek aktívvá válása befolyásolja az optimális szerkezet végleges geometriáját.

Az 1. és 2. táblázatból látható, hogy a  $f_y = 448$  MPa folyáshatáru alapanyagra a 355,6 mm külső átmérőjű és 14,2 mm falvastagságú csőszerkezet lett a legkedvezőbb folyóméter tömegű szerkezet, míg az  $f_y = 355$  MPa folyáshatáru alapanyagra számolva a 406,4 mm külső átmérőjű és 16 mm falvastagságú csőszerkezet.

Az optimalás során kapott eredményekből látható, hogy a tervezési tapasztalatoknak megfelelően a magasabb folyáshatáru alapanyagú szerkezet optimumának folyóméter tömege lett a kedvezőbb, jelen példában 34 kg/m-rel, ami 22%-os csökkenést eredményez.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A különböző szerkezetek optimális tervezése nagyon jelentős megtakarításokat hozhat mind a felhasznált alapanyagok, mind a ráfordított költségek tekintetében. Számos tanulmány igazolja, hogy a tervezés során figyelembevett feltételek pontos megválasztása nagyon fontos szerepet játszik az optimális szerkezet végleges geometriájában.

Kör keresztmetszetű többtámaszú tartók méretezésében a feszültségi feltétel, a stabilitási feltétel és a lehajlási feltétel játszhat jelentősebb szerepet. Csőszerkezeteknél úgy juthatunk el a lehető legkisebb folyóméter tömegekhez, hogy a feltételeket figyelve csökkentjük a külső átmérőket és a hozzájuk tartozó falvastagságokat. Nagy külső átmérők esetén a falvastagság csökkentésének stabilitási feltétel szab határt, míg kisebb külső átmérők esetén pedig a feszültségi feltétel válik aktívvá, így szabva határt a tömeg csökkentésének.

A számított eredmények e szerkezet optimális tervezésénél is megmutatják, hogy bizonyos méret csökkentés már nem hoz további végeredmény javulást. Ezért ebben az esetben is igazolható az optimális méretezés létjogosultsága és fontossága.

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A kutatómunka támogatást kapott az OTKA 75678 projekt által.

### 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] FARKAS, J., JÁRMAI, K.: Analysis and optimum design of metal structures. Rotterdam-Brookfield, Balkema, 1997.
- [2] HIROKAZU, T., BIAN, X. C.: Shinkansen high-speed train induced ground vibrations in view of viaduct-ground interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 27, Issue 6, pp. 506–520, 2007.
- [3] FARKAS, J., JÁRMAI, K., VIRÁG, Z.: Optimum design of a belt-conveyor bridge constructed as a welded ring-stiffened cylindrical shell, Welding in the World, Vol.48, N° 1/2, pp. 37-41., 2004.
- [4] VIRÁG, Z.: Optimum design of stiffened plates, Pollack Periodica, Vol. 1, No. 1, pp. 77-92, HU ISSN 1748-1994, 2006.
- [5] VIRÁG, Z.: Determination of optimum diameter of a welded stiffened cylindrical shell, Pollack Periodica, Vol 4. No.1, pp. 41-52, HU ISSN 1788-1994, 2009.
- [6] EN 10220:2002. Seamless and welded steel tubes - Dimensions and masses per unit length
- [7] IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 442, 2005.

## KÖSZÖNET A LEKTOROKNAK

A GÉP jelen számában szereplő cikkek lektoráltak. Ezúton is köszönetet mondunk a lektoroknak a szakmai segítségükért, Wagner Györgynek és Dr. Kota Lászlónak a kötet összeállításánál nyújtott segítségükért.

#### Lektorok:

Borsody Tamás, Dr. Csernák Gábor, Dr. Döbröczöni Ádám, Dr. Kamondi László, Dr. Kovács György, Ludman Csaba, Németh István Gergely, Dr. Orbán Ferenc, Dr. Rácz Pál, Dr. Timár Imre, Dr. Tolvaj Béla, Dr. Török Imre, Dr. Varga Gyula, Dr. Virág Zoltán



# KEVERŐS REAKTOROK VIZSGÁLATA

## ANALYSIS OF STIRRED TANK REACTORS

Bokros István<sup>\*</sup>, Dr. Siménfalvi Zoltán<sup>\*\*</sup>, Dr. Szepesi Gábor<sup>\*\*\*</sup>, Venczel Gábor<sup>\*\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

This paper details the examination of continuous stirred tank reactors (CSTR) for use in the chemical industry. We investigated the effect of the Bayonet type heat exchanger which is inside of CSTR to the power number and the heat transfer coefficient. We made scale up model to adapt the measured and CFD data to industrial size equipment.

### 1. BEVEZETÉS

Eddigi kutatásaink során kettősköpenyű keverős készülékek (autoklávok, reaktorok) fűtésének/hűtésének intezifikálásával foglalkoztunk. A hőátvitel növelésére plusz hőcserélő (Field- vagy Bayonet csöves hőcserélő) elemeket építünk be a készülékebe. Ezek a hőcserélő szerkezetek áramlástörő szerepet is betöltenek, így az eredeti kevertési állapot megváltozik. Jelen cikkben röviden ismertetjük kisminta kísérletek és a számítógépes szimulációk eredményeit, majd a méretnövelés módszerével adaptáljuk azokat ipari méretű berendezésre.

### 2. A VIZSGÁLT BERENDEZÉS

A vizsgált berendezés félgömb fenekű, álló hengeres reaktor, középvezetékben keverő berendezéssel. A keverő három darab kétkarú karos keverő elemből áll, amelyek egymásra merőlegesen helyezkednek el. A geometriai méretarányokat az 1. ábra szemlélteti.

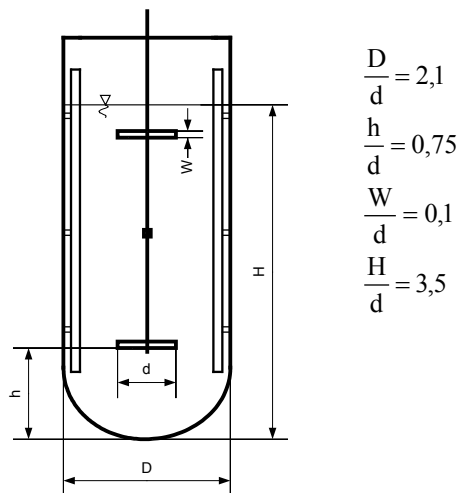
Összeállításra került a berendezés 1:20 méretarányú (geometriai arányaiban hasonló) kisminta modellje, amelyben beépítendő a Field-csőves hőcserélőket négy darab – ugyanolyan átmérőjű – hengeres betéttel helyettesítettünk. A mérések elvégzéséhez a rendszert úgy alakítottunk ki, hogy a keverő motor fordulatszáma és nyomatéka folyamatosan mérhető és regisztrálható.

<sup>\*</sup> mérnök tanár, ME Vegyipari Gépek Tanszéke

<sup>\*\*</sup> egyetemi docens, tanszékvezető ME Vegyipari Gépek Tanszéke

<sup>\*\*\*</sup> egyetemi docens, ME Vegyipari Gépek Tanszéke

<sup>\*\*\*\*</sup> tanársegéd, ME Vegyipari Gépek Tanszéke



1. ábra. A vizsgált berendezés modellje

A keverő tengelyén mért nyomaték ( $M$ ) ismeretében az (1) összefüggéssel meghatározható az adott fordulatszámhoz ( $n$ ) tartozó keverési teljesítmény szükséglet ( $N$ ).

$$N = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad (1)$$

### 3. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

A szakirodalom alapján a keverő ellenállás-tényezője a keverésre vonatkozó módosított Reynolds-szám függvényében meghatározható. A módosított Reynolds-szám a (2) összefüggés alapján számítható.

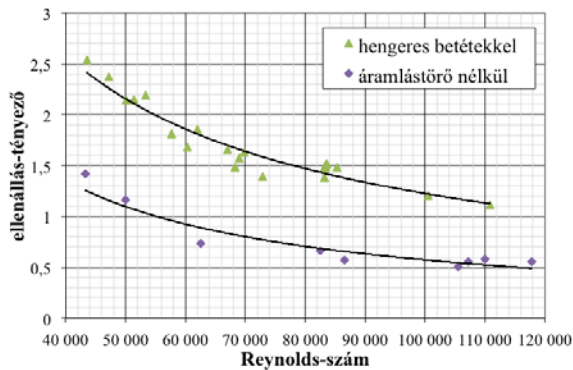
$$Re_m = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\eta} \quad (2)$$

A szakirodalomban ajánlott diagramok és nomogramok csak szabványos keverő elemekre érvényesek, az adott keverős készülékre vonatkozó függvényeket nem találtunk. A kisminta kísérletek alapján kiszámított keverési teljesítmény szükséglet ismertében azonban meghatározható a keverő ellenállás-tényezője. Egy  $d$  átmérőjű és  $n$  fordulatszámú keverő hajtáshoz szükséges teljesítmény az alábbi képlettel számolható:

$$N = \xi \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \rho \quad (3)$$

ahol  $\xi$  a keresett ellenállás-tényező.

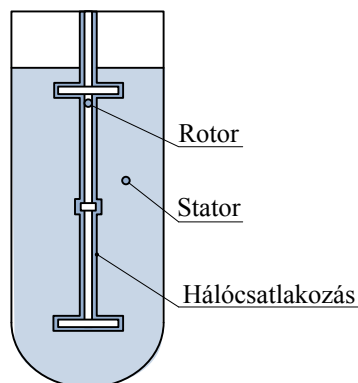
A modellkísérletek során vizet kevertünk áramlástörő nélkül majd 4 db hengeres áramlástörő betéttel különböző fordulatszámokon. Az így meghatározott ellenállás-tényező függvényeket a 2. ábrán látható diagram tartalmazza. Az eredmények átszámíthatósága megköveteli, hogy a keverő ellenállását a módosított Reynolds-szám függvényében adjuk meg.



2. ábra. Méréssel meghatározott ellenállás-tényező

#### 4. A SZIMULÁCIÓS ELJÁRÁS ISMERTETÉSE

A vizsgált kisminta geometriai modelljét Solid Edge környezetben készítettük el, mely az általunk alkalmazott véges térfogatok módszerét használó CFD szoftver (SC/Tetra V9) egy segédprogramja (SCTPrime) az előfeldolgozó számára megfelelő geometriát alakít ki. A szokásos eljárásnak megfelelően az előfeldolgozóban alakítjuk ki a perem- és kezdeti feltételeket, az áramlásra jellemző egyéb paramétereket (pl. turbulencia modell), majd az egyenletrendszer megoldása után az utófeldolgozóban jelenítjük meg a szimuláció eredményeit.



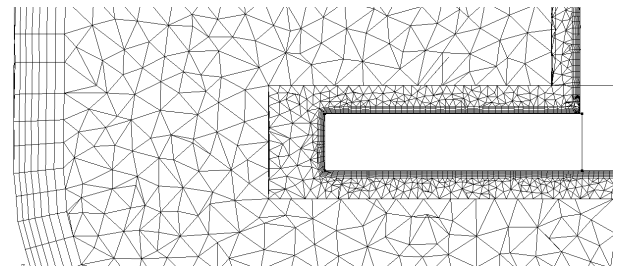
3. ábra. A szimuláció során alkalmazott modell

Az SC/Tetra lehetőséget ad arra, hogy a vizsgált teret két különálló elemként kezeljük, ami azt is jelenti, hogy a két térrészt egymástól teljes mértékben különböző méretű és felépítésű hálóból készítsük el. A feladat megoldása során a forgó (keverőtengely, keverőlapátok) illetve állórész (folyadéktér, mely csak a kezdeti pillanatban tekinthető állónak) külön elemként kezeltük.

A 3. ábrán látható, hogy a forgást végző tengelyt és keverőelemeket egy kontrolltérfogattal vettük körül, melyben a háló méretét finomítottuk. A szimulációt tranziensnek (instacioner) tekintettük.

Az időlépték meghatározása nagyon fontos paraméter mozgás-szimulációknál. Általános szabály, hogy egy időlépés alatt a forgó mozgást végző elem maximum  $3^\circ$ -ot fordulhat el, ellenkező esetben a konvergencia felborulhat.

Abban az esetben, ha a számítás során figyelembe vesszük a szabad folyadékfelszínt, az időlépték a  $10^{-4}$  értéket veszi fel [2].



4. ábra. Hálókialakítás a keverőelem és a készülékfal környezetében

A feladat szempontjából fontos, hogy megfelelő turbulenciamodelt alkalmazzunk. A legerterjedtebb kétváltozós turbulenciamodellek közé tartozik a k- $\epsilon$  modell, azonban több szerző is megállapította, hogy sok esetben alulbecsülheti [1] a szükséges teljesítményszükségletet. Az ideális megoldást a DNS, azaz a direkt numerikus szimuláció jelentené, mely során nem alkalmazunk turbulenciamodelt, a mozgásegyenletet direkt módon oldjuk meg. Ez végtelen finom háló meglétét feltételezi, aminek következménye, hogy az eljárás nagyon költséges. Szintén költséges eljárás a LES (Large Eddy Simulation), azaz a nagy örvényszimulációk módszere, mely kevert terek leírásához alkalmazható [4]. Az általunk alkalmazott eljárás az SST k- $\omega$  modell mely Menter [5] nevéhez fűződik. A modell alkalmazásához a konvergencia érdekében szükséges a falak melletti prizmatikus rétegek számát megnövelni 5-7 rétegűre [2]. A számításaink során a szilárd és folyadék elemek között hétrétegű prizmatikus hálót használtunk. Az áramlás tér többi pontjában tetraéder hálót használtunk. Összességében a rotorral jelzett térrész kb. 800 ezer elemből állt, míg a statorral jelzett térrész 700 ezer

tetraéder és prizmatikus elemből épült fel. A bemutatott eredmények hálófüggetlenek.

A megoldás során kezdeti feltételként a folyadékot állónak tekintettük, valamint a hőmérséklete 60°C. Peremfeltételként a készülék falát illetve a kör keresztmetszetű terelőlemezeket állandó falként (stationary wall) kezeltük. A készülékfal külső pontját 20°C-osnak vettük fel. A mozgásszimulációhoz a nem-folytonos háló opciót (Discontinuous mesh) használtuk. Peremfeltételként a kapcsolódási felületeket szükséges volt megadni (3-as ábra, Hálócsatlakozás).

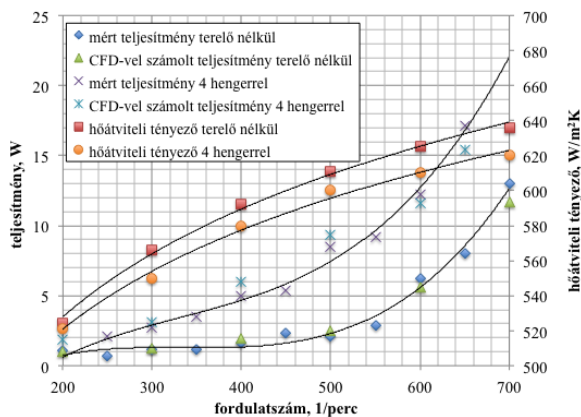
A szimuláció végrehajtásához a mozgásegyenletet, energiaegyenletet, a turbulenciamodellel egyenleteit valamint a nyomáskorrekciós összefüggést (módosított SIMPLEX) oldottuk meg.

## 5. EREDMÉNYEK

A keverő fordulatszámának helyes megválasztásának jelentős szerepe van egyrészt a keverés hatékonyságánál, másrészt a keveréshez szükséges teljesítménynél. Jelen esetben a keverés elsődleges célja a szuszpendáltatás, amelyhez meghatározható egy minimális fordulatszám, további célja a hőátvitel elősegítése.

A keverési teljesítmény szükséglet tekintetében a CFD szimulációval kapott eredmények igen jó hasonlóságot mutatnak a méréssel meghatározott eredményekkel.

Mivel a CFD szimuláció alkalmas hőtani számítások elvégzésére is, ezért a vizsgálatainak kibővítettük a reaktorfalra jellemző kevert tér oldali hőátadási tényező meghatározásával. Ezzel megvizsgálható, hogy a készülékbe helyezett Field-csöves szerkezetek milyen hatással vannak a reaktorfalon történő hőátvitelre. A szimuláció során a külső oldali hőátadási tényezőt valamint a falra jellemző hővezetési tényezőt állandónak vettük.

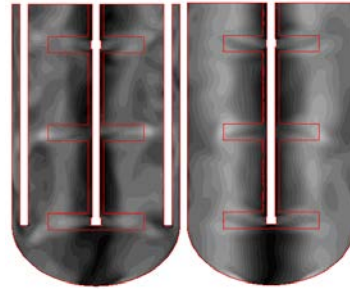


5. ábra. Teljesítmény szükséglet és hőátviteli tényező értéke a fordulatszám függvényében

A kapott eredményeket a 5. ábrán vázolt diagramban mutatjuk be. A diagramon jól látható, hogy a teljesítmény görbe a fordulatszám növelésével köbösen növekszik, míg a hőátviteli tényező növekedési görbéje ellaposodik.

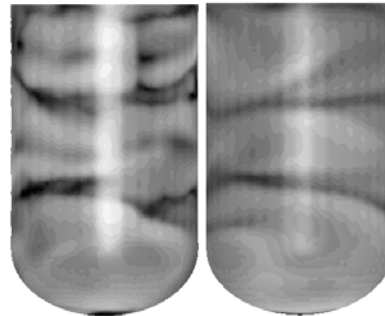
Adódik tehát egy optimális fordulatszám, ahol a teljesítmény szükséglet még nem növekszik drasztikusan, illetve a hőátvitel hatékonysága megfelelő. Ez az érték kisminta modellünk esetében kb. 500 1/perc fordulatszámra adódik. Az adott koncentrációjú szuszpenzió szuszpendáláshoz szükséges minimális  $n_{sm}=200$  1/perc fordulatszámot kisminta készülékben korábbi modellkísérleteink során megállapítottuk, így a meghatározott optimális fordulatszám elfogadható.

A CFD-vel meghatározott sebességeloszlást mutatja be a 6. ábra, amelyből látható, hogy a Field-csöves esetben (bal oldali ábra) a fal környezetében erőteljesebb turbulencia alakul ki.



6. ábra. Sebességeloszlás síkmetszetben

A turbulencia hatással van a felületi hőátadási tényezőre, melynek lokális eloszlását a 7. ábrán tüntettük fel.



7. ábra. Hőátadási tényező eloszlása a palást belső oldalán

## 6. MÉRETNÖVELÉS

A fordulatszám helyes megválasztása nemcsak a keverés hatásossága (esetünkben a polimerizáció megfelelő sebességének biztosítása, a szuszpenzió állapot fenntartása és a hőátvitel segítése), hanem a teljesítményszükséglet miatt is fontos. Miután kisminta

kísérletekkel már meghatároztuk a legkedvezőbb alakot, típust, fordulatszámot, következik az ipari méretű keverő fordulatszámának és más egyéb paramétereinek kiszámítása. A fő nehézség abban áll, hogy egyszerre több szempontot lehet és kell is figyelembe venni.

Az egyes keverőtípusokra ajánlott geometriai méretarányokat a tapasztalatok alapján célszerű betartani, ezért az ipari méretű berendezés és a kisminta egymással geometriailag teljes mértékben hasonló. A méretnövelés másik fontos kritériuma azon a felismerésen alapszik, hogy a hatékony keveréshez szükséges időtartam közelítőleg arányos az  $N/V$  értékkel, azaz a térfogategységre vonatkoztatott teljesítményszükséglet azonosságát is biztosítani kell.

$$\frac{N}{V} = \frac{N_m}{V_m} \quad (4)$$

ahol az  $m$  index a kismintára utal.

A méréssel meghatározott ellenállás-tényezőt (2. ábra) hatványfüggvénnyel közelítettük

$$\xi = A Re_m^b = A \left( \frac{nd^2\rho}{\eta} \right)^b \quad (5)$$

ahol  $A$  és  $b$  a közelítő függvény állandói.

A méretnövelés mértékét  $k$ -val jelölve ( $k=d/d_m$ ) és figyelembe véve az 1. ábrán látható geometriai arányokat a kevert térfogatok kifejezhetők a keverőelemek átmérőjével:

$$V = cd^3 \text{ és } V_m = cd_m^3 \quad (6)$$

ahol  $c$  a  $D/d$  és  $H/d$  arányok alapján meghatározható állandó.

A (4) egyenletbe behelyettesítve az egyszerűsítések elvégzése után

$$n^{3+b} d^{2+2b} \rho^{1+b} \eta^{-b} = n_m^{3+b} d_m^{2+2b} \rho_m^{1+b} \eta_m^{-b} \quad (7)$$

A kisminta kísérleteknél alkalmazott mérőközeg, valamint az ipari berendezés töltetének sűrűsége, dinamikai viszkozitása és a méretnövelés értéke természetesen ismert, így az ipari méretű keverő optimális fordulatszáma a fenti egyenletből meghatározható. A modellkísérleteink során meghatározott  $n_m = 500$  1/perc optimális fordulatszám alapján az ipari méretű berendezést  $n = 223$  1/perc fordulatszámon célszerű üzemeltetni. Az ehhez szükséges keverő teljesítmény igénye a (3) egyenlet alapján  $N=66,2$  kW.

Természetesen minden jellemző paraméter szempontjából a hasonlóság nem biztosítható, ezért célszerű megvizsgálni ezek miként változnak a

méretnövelésnél. Az anyagjellemzők, a fordulatszám és a geometriai adatok változása miatt a keverőelem kerületi sebességében, az áramlástörő meghatározó  $Re$ -számban, valamint a közeg és a reaktorfal közti hőátadási tényezőben is bekövetkeznek eltérések a kísérleti mérésekhez képest. Ugyancsak megvizsgálandó, hogy a szuszpenzió fenntartásához szükséges minimális fordulatszám (8) fölött működik-e az ipari méretű berendezés. [6]

$$n_s = n_{sm} \left( \frac{d_m}{d} \right)^{0,5} = 44,7 \frac{1}{\text{perc}} \quad (8)$$

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben bemutatásra került, hogy egy keverős készülékbe helyezett hőcserélő szerkezet milyen hatással van az eredeti kevertési állapotra. Vizsgáltuk továbbá a hőátadási tényező értékének és a keveréshez szükséges teljesítménynek a változását. Bemutattuk a kisminta kísérletek és a számítógépes szimulációk eredményeit, majd adaptáltuk azokat az ipari méretű berendezésre.

### Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 8. IRODALOM

- [1] J. AUBIN, D.F FLETCHER, C. XUEREB: Modeling turbulent flow in stirred tanks with CFD: the influence of the modeling approach, turbulence model and numerical scheme, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 28, Issue 5, April 2004, pp 431-445.
- [2] SC/Tetra V9 User's Guide, Operation Manual, Software Cradle Co., Ltd. (2011)
- [3] VENCZEL G., ORTUTAY M.: A keverés teljesítményszükséglete áramlástörő betétek alkalmazása esetén, GÉP 2004/10-11 LV. évf. pp. 168-170
- [4] J. REVSTEDT, L. FUCHS, C. TRÄGHÁRD: Large eddy simulations of the turbulent flow in a stirred reactor, Chemical Engineering Science, Volume 53, Issue 24, December 1998, pp 4041-4053.
- [5] MENTER, F. R.: Zonal Two Equation  $k-\omega$  Turbulence Models for Aerodynamic Flows, AIAA Paper 93-2906, 1993
- [6] FEJES G., TARJÁN G.: Vegyipari Gépek és műveletek, Tankönyvkiadó, Budapest, 1979, pp 445-478.

# VEGYIPARI KÖRNYEZETVÉDELMI KUTATÁSOK A MISKOLCI EGYETEMEN

## ENVIRONMENTAL CHEMICAL RESEARCH AT THE UNIVERSITY OF MISKOLC

*Dr. Mannheim Viktória\**

### ABSTRACT

*The environmental protection takes a main place in the processes of the chemical industry. There are green chemistry methods and some other processes for decreasing the quantity of the organic industrial waste. This paper summarises the research work of the Environmental chemical research team at the University of Miskolc. In the past 18 months the research group can set up new information and research results. The Life Cycle Assessment (LCA), the BAT and the green chemistry can play an important role in this research.\**

### 1. BEVEZETÉS

A vegyipari környezetvédelem kérdéseivel foglalkozó kutatások száma napjainkban nem igazán kiemelkedő, annak ellenére, hogy a vegyipart több oldalról is folyamatos támadások érik a nyers- és alapanyagként használt vagy termékként előállított kémiai anyagok, illetve a keletkező hulladékok lehetséges környezetszennyező mivolta miatt. A vegyipari technológiák elkerülhetetlenül hulladékok, maradékanyagok és melléktermékek képződésével járnak, amelyek a környezetben felhalmozódva hosszú időre fejtik ki káros hatásaikat, így hagyományos értelemben a vegyipar környezetszennyezésre hajlamos iparágnak számít. A környezetvédelmi előírások a vegyipar számára szigorúak és jelentősen megnövelik a termelési kiadásokat, ezért a vegyipari környezetvédelem nemcsak technológiai, kémiai és biológiai probléma, hanem gazdasági kérdés is. Ugyanakkor vállalati stratégiát átalakító tényező (még ha ezt sokan nehezen is ismerjük fel), hiszen a vállalatok versenyképességének egyik fontos tényezője tevékenységük környezetbarát jellege. Egy vegyipari technológia környezetbarát jellegének eldöntése igen összetett feladat és csak körültekintő elemzés után jelenthetjük ki egy technológiáról, hogy környezetbarát. A kérdés összetettségét jól jellemzi a PVC-gyártásról kialakult ellentmondás, mi szerint alapanyagaként a nátronlúgyártásnál keletkező és súlyos környezeti

problémát okozó klórt hasznosítja, de ugyanakkor a poli-vinil-klorid egy nehezen lebontható műanyag, monomere mérgező. A vegyipari technológiák/termékek fejlesztése következtében csökken a felhasznált anyagmennyiség és energiaigény, illetve az előállított termékek és a keletkezett hulladékok kevésbé károsítják környezetünket, ezért a költségnövekedéssel járó technológiai innováció érdeke kell, hogy legyen minden vegyipari vállalatnak.

### 2. ELÉRHETŐ LEGJOBB TECHNIKA ÉS ZÖLD KÉMIA A VEGYIPARBAN

Az integrált hulladékgazdálkodás jegyében a vegyipar területén is a hulladékképződés megelőzésére és a veszélyesség csökkentésére kell törekednünk. Keletkező mennyiségük csökkentése érdekében, a „zöld kémia”, a környezetbarát segédanyagok, illetve az elérhető legjobb technika alkalmazása a legcélszerűbb. Az IPPC egyik alapvető követelménye a BAT (Best Available Techniques) technikák bevezetése. Ez magába foglalja azokat a hatékony és fejlett eljárásokat és módszereket, amelyek lehetővé teszik a szennyezés kibocsátás elkerülését, amennyiben ez nem lehetséges akkor a minimalizálást. BAT referencia dokumentum (BREF) a nagy volumenű szerves vegyi anyagok ágazatban már publikált az EU által, ami megadja azokat a speciális technikákat, amelyek a környezeti problémák megoldására irányulnak. A veszélyes vegyipari hulladékok kezelésénél növelni kell a hasznosítás mértékét, és csökkenteni kell a lerakóhelyre kerülő veszélyes hulladékok mennyiségét. Az ártalmatlanítást illetően alapvetően korszerűsítési kérdések várnak megoldásra. Mivel a vegyipari hulladékok ártalmatlanítása elsősorban égetéssel történik, ezért a keletkezett hő hasznosítása kerülhet előtérbe. A vegyipari eredetű oldószertartalmú hulladékok hasznosítási aránya is növelhető. Hosszútávon a környezetbarát technológiák a leggazdaságosabbak a vegyipar területén is. Környezetbarát technológiák kiszélesedésével a vegyipari vállalatok jobb teljesítményt nyújtanak valamennyi célterületen. Gondoljunk csak az Európai Vegyipari Tanács (CEFIC) Responsible Care (Felelős Gondoskodás) programjára,

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Vegyipari Gépek Tanszéke

amelyhez Magyarország 1992-ben csatlakozott. A vegyipar egészség, biztonság és környezetvédelem melletti elkötelezettségét jelképező program résztvevői egy folyamatosan bővülő adatbázist hoztak létre, amely segítségével a vállalatok és más szervezetek megismerhetik az iparágban alkalmazott legjobb gyakorlatokat, és összehasonlíthatják működésüket más cégek teljesítményével. A vegyipar ma már a gyáripáron belül az egyik legbiztonságosabb ágazat Európában. Az RC programban részt vevő vállalatok mérhetően jobb teljesítményt nyújtanak a környezetvédelmi célterületeken is. A vállalati környezetvédelmi feladatok egyrészt a vállalati stratégia kidolgozásával vannak összefüggésben, másrészt mindennapi feladatok. Teljes hulladégmentes technológiák megvalósítása a vegyipar területén is lehetetlen feladat, azonban nem mindegy, hogy a kiindulási anyagokból milyen mértékben „gyártunk” vagy a keletkezett melléktermékekből milyen mértékben hasznosítjuk a hulladékot. Fentiekkel összefüggésben, a legfontosabb környezetvédelmi cél a vegyipar területén a hulladékcsoökkentési eljárások alkalmazása. Számos lehetséges mód kínálkozik e téren: nyersanyag tisztítása/helyettesítése, segédanyagok kiváltása, hulladékok visszavezetése, katalizátorcseré, más reakció utak, berendezések megbízható kiválasztása, változtatások a kiszolgáló környezetben stb.. A hulladékcsoökkentési folyamatokra szolgáló tervezést, hierarchikus folyamattervezésnek nevezzük, ami új, környezetbarát technológiák tervezése/kialakítása (elsődleges technológia) és a rendelkezésre álló technológiák fejlesztése (csövégi technológia) kapcsán alkalmazható. Új, környezetbarát üzemek építése sokszor könnyebb feladat, mint a „csövégi megoldás”. A vegyipar területén fontos szerepet kell kapjon a „zöld kémia” is, amelynek célja a termékekhez és az eljárásokhoz kapcsolódó veszélyek csökkentése. A „zöld kémiai kutatások” (COST zöld kémiai program) eredményeképpen van lehetőség környezetbarát vegyi anyagok, szintézisek és eljárások kialakítására, akár úgyis, hogy ezek gazdaságilag is kedvezőek legyenek.

#### Környezetbarát megoldások a zöld kémia jegyében:

- Vegyipari alapanyagok kiválasztása megújuló nyersanyag-forrásokból (lignocellulóz etanol gyártáshoz, gabona, cukornövények, olajos növények, terpenoidok stb.).
- Környezetbarát segédanyagok és oldószerek alkalmazása.
- Modern analitikai módszerek alkalmazása azonnali elemzési és folyamat ellenőrzési lehetőségekkel.
- Katalitikus reakciók nem-katalitikus reakciók helyett.
- Biomimetikus katalizátorok és biomimetikus szintézis.
- Atomszelektivitás. Alternatív reagensek.

### **3. VEGYIPARI KÖRNYEZETVÉDELMI KUTATÓCSOPORT KUTATÁSI CÉLJAI**

A Miskolci Egyetem Vegyipari Gépek Tanszékén a 2011 júniusában létrehozott „Vegyipari környezetvédelmi kutatócsoport” célja olyan vegyipari technológiák kidolgozása, amelyek a környezetterhelés csökkentésére, a keletkező hulladékok mennyiségének csökkentésére/biztonságos ártalmatlanítására, valamint a veszélyes anyagok felhasználásának/előállításának visszaszorítására irányulnak a zöld vegyipar és a fenntartható fejlődés tükrében. A kutatócsoport tagjai: Dr. Siménfalvi Zoltán tanszékvezető egyetemi docens, Szamosi Zoltán PhD hallgató, Bodnár István PhD hallgató, Sipos László MSc hallgató; a kutatócsoport vezetője: Dr. Mannheim Viktória egyetemi docens. A kutatócsoport kutatásainak elsődleges célja, olyan innovatív és környezetbarát technológiák kidolgozása, amelyek megoldást nyújthatnak a vegyipari környezetvédelem időszerű problémáira, az energiahatékonyság és a gazdaságosság folyamatos hangsúlyozása mellett. Adott vegyipari folyamatra a kitűzött célok megvalósítása komplex módon, az alábbi részfeladatok együttes figyelembevételével lehetséges:

- Rendelkezésre álló hazai és nemzetközi szakirodalmi és jogszabályi háttér alapos áttekintése az adott vegyipari technológia kapcsán.
- Adott technológia részletes áttekintése és vizsgálata. A folyamatok során felhasznált anyagáramok (alapanyagok, segédanyagok, keletkezett melléktermékek, hulladékok és maradékanyagok) és energiaáramok részletes jellemzése. A lejátszódó kémiai folyamatok, környezetre hatást gyakorló paraméterek pontos meghatározása. A képződő hulladékok környezeti hatásainak felmérése.
- Környezetterhelést csökkentő környezetbarát technológiák (maradékanyagok visszaforgatása, felhasznált veszélyes anyagok korlátozása, nyersanyag- és az energiafelhasználás mérséklése stb.) kidolgozása.
- Megoldást nyújtó környezetbarát technológia/technológiák környezeti, energetikai-technológiai és gazdaságossági vizsgálata.
- Rendelkezésre álló technológiák környezeti hatásainak csökkentése. A keletkezett anyagok és környezet közti kölcsönhatások megismerése. A technológia során keletkezett/későbbiekben keletkező hulladékok optimális kezelése.

- Lehetőségek ismert reagensek helyettesítésére környezetbarát segédanyagokkal, zöld kémiai kutatásokkal.

A kutatások során fontos szerepet kap a „zöld kémia” is, amelynek célja a termékekhez és az eljárásokhoz kapcsolódó veszélyek csökkentése. Hosszútávon elsősorban olyan műszakilag megalapozott, innovatív és környezetbarát technológiák jelenthetik a leggazdaságosabb megoldást, amelyek egyszerre szolgáltatnak a környezetvédelmi elvárásoknak megfelelő, jól kezelhető és piacképes termékeket. A kutatások rövidtávú céljai között elsősorban a kutatócsoport szakmai kompetenciájának növelése, illetve a K+F+I területén történő költséghatékonyság és gazdaságosság növelése foglal helyet.

#### A kutatások hosszú távú céljai:

- Meglévő ipari kapcsolatok bővítése és új ipari kapcsolatok kialakítása.
- K+F+I intenzitás növelése.
- A vegyipari környezetvédelem, mint szakterület ismeretanyagának bővítése.
- Kutatási eredmények szerepeltetése a tantárgyi tematikákban, oktatási segédletekben, ismertetése az oktatásban.

#### **4. A KUTATÓCSOPORT ELÉRT ÉS VÁRHATÓ EREDMÉNYEI**

A kutatócsoport központi kutatási területe az elmúlt időszakban elsősorban a vegyipari technológiák POP (perzisztens szerves szennyezők) tartalmú hulladékainak problémájára irányult. Az elmúlt 18 hónapban végrehajtott tevékenységeit, teljesített feladatait és kutatási eredményeit az 1. táblázat foglalja össze röviden, három kutatási periódusra történő bontásban. Napjainkban nagy szerepet kap az egyes technológiák ún. „környezetkonformitása” is. Mivel egy új, környezetbarát technológia bevezetése és a már rendelkezésre álló technológiák fejlesztése kapcsán nő a gazdasági termelékenység, ezért az alkalmazandó technológiák között prioritásokat kell megfogalmaznunk. Ez egy döntéstámogató-értékelési rendszer kidolgozásával és a műszaki, ill. gazdasági feltételek változásainak párhuzamos vizsgálatával segíthető. A kidolgozásra kerülő döntéstámogató-értékelési módszer új döntéshozatali irányt képezhet a vegyipari környezetvédelem jövőjében is.

A következő kutatási időszakban a kombinált termikus ártalmatlanítási technológiák további vizsgálata és a termikus hulladékkezelési technológiák környezetgazdaságtani értékelése mellett így fontos kutatási célt jelent a fentiekben röviden vázolt döntéstámogató-értékelési rendszer komplex kidolgozása is.

#### *1. táblázat. Kutatási időszakok eredményei*

<b>I. kutatási időszak</b> <b>2011. június 8. – 2011. november 30.</b>
POP tartalmú hulladékokra vonatkozó környezetvédelmi jogszabályok, irányelvek tanulmányozása. Mennyiségi és minőségi felmérés, elemzés, adatgyűjtés. Növényvédő szerek agrokémiai hátterének áttekintése, csoportosítása, vonatkozó követelmények. Magyarországon leggyakrabban vásárolt növényvédő szerek hatóanyagai, azok környezetre gyakorolt hatása. Növényvédő szerek előállítási technológiáinak részletes vizsgálata az EU tagországaiban. Gyártási folyamat reakcióegyenletei, input-output egyenletek. Felhasznált segédanyagok és keletkezett melléktermékek jellemzése. REACH áttekintése. Zöld kémiai alapelvek és COST zöld kémiai program elemzése. Zöld kémia jegyében elkészült kutatások feldolgozása. Életciklus-elemzés teljes szakirodalmi hátterének feldolgozása. Modernebb LCA elemzést megvalósító GaBi5 szoftver megrendelése. Napjainkban rendelkezésre álló hulladékkezelési lehetőségek feldolgozása a növényvédő szerek és csomagolási hulladékait illetően, különös tekintettel a termikus ártalmatlanítási technológiákra. Négy főbb termikus eljárás (hagyományos égetés, pirolízis, gázosítás és plazmatechnológia) rendszerezett összehasonlítása. Termikus hulladékkezelési eljárások energiahatékonysági, környezetterhelési és gazdaságossági szempontjaira vonatkozó komplex vizsgálati modell kidolgozása és bemutatása.
<b>II. kutatási időszak</b> <b>2011. december 1. – 2012. május 31.</b>
Részvétel GaBi5 LCA-tréningen elsajátítása. GaBi 5 LCA szoftver használatának elsajátítása. Növényvédő szerek hatóanyagainak részletes feldolgozása táblázatos formában. Növényvédőszer-gyártás technológiájának összetett életciklus-elemzés vizsgálatához szükséges input-output energia- és anyagáramok begyűjtése. Melamin gyártásának elemzése a szoftver segítségével. Termikus ártalmatlanítási technológiákra vonatkozó input-output anyag- és energiaáramok adatainak összegyűjtése és feldolgozása a rendelkezésre álló szakirodalmak és ipari technológiák alapján.
<b>III. kutatási időszak</b> <b>2012. június 1. – 2012. november 30.</b>
Termikus ártalmatlanítási technológiák teljes körű LCA elemzése és komplex kiértékelése energiahatékonysági és környezetterhelési szempontból, a rendelkezésre álló input-output anyag- és energiamérlegek felhasználásával, különös tekintettel a plazmatechnológiára. Új súlyozási rendszer kidolgozása a termikus technológiák kapcsán az elméleti matematikai modell és az LCA elemzések birtokában. Termikus ártalmatlanítási technológiák prioritási sorrendjének felállítása. Kombinált termikus ártalmatlanítási technológiák vizsgálata energiahatékonyság és gazdaságosság szempontjából.

## 5. ÉLETCIKLUS-SZEMLÉLET A VEGYIPARI KÖRNYEZETVÉDELEMBEN

A 2013-ban hatályba lépett új hulladékgazdálkodási törvényben kiemelkedő szerepet kap az életciklus-szemlélet, ami ez által a környezetvédelem szerves részévé vált. Az életciklus-értékelés elsősorban az egymást helyettesítő termékek és eljárások esetén a legigéretesebb és legcélravezetőbb. Vitathatatlan, hogy a termék életét a kezdetektől a legvégsőig (amíg hulladék keletkezik belőle vagy akár ezt követően is) követő életciklus elemzés a környezet védelmét szolgálja. Életciklus-elemzések (LCA) birtokában lehetőségünk nyílik az egyes vegyipari technológiák környezeti hatásának vizsgálatára. A környezetmenedzsment egyik legjobban teret hódító rendszereszközének alkalmazása során számszerűsíthető és megbecsülhető az, hogy egy termék teljes élettartama során (előállítás, annak elosztás, felhasználás át a belőle képződő hulladék ártalmatlanításáig) milyen környezeti terheléseket okoz, illetve milyen és mennyi természeti erőforrást használ fel (beleértve az energiakiadásokat is). A környezeti hatások értékelésénél (ISO 14044:2006 szabvány szerint) az egyes folyamatok input és output áramait környezeti hatáskategóriákba soroljuk, az előző szakasz leltáreredményeinek hozzárendelésével. Minden egyes környezeti hatáskategóriára vonatkoztatva meghatározunk egy referencia egységet, majd súlyozzuk őket a rendelkezésre álló hatásvizsgálati módszer segítségével. Az életciklus teljes anyag-, ill. energiamérlegének ismerete a kívánt eredmény eléréséhez elengedhetetlen. A vegyipari környezetvédelem során alkalmazott életciklus-értékelés kapcsán mérlegelhető a feladásra kerülő input-output anyag- és energiaáramok, a felhasználásra kerülő energiaforrások (fosszilis vagy alternatív), illetve a keletkezett végtermékek mértéke és felhasználási köre. Az értékelést valamennyi szempont (környezetterhelési, energiahatékonysági és gazdaságossági aspektusok) párhuzamos figyelembevételével végezhetjük el. Azaz, az LCA az alkalmazásra kerülő technológiák közötti mérlegelést teszi lehetővé. A különböző LCA szoftverek alkalmazásával egy új és a jövőben eredményesen alkalmazható megoldási-döntési irányvonal adható meg a vegyipari környezetvédelem területén is.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A vegyipari környezetvédelmi kutatási területek folyamatos bővítést igényelnek, amelynek eredményei nagymértékben hozzájárulnak a vegyipari szektor és a környezetvédelem szakterületének további

fejlesztéséhez. A vegyipari környezetvédelem területén működő kutatócsoport elért és jövőbeli eredményei várhatóan nagymértékben hozzájárulnak a rendelkezésre álló vegyipari technológiák környezetvédelmi innovációjához, amely által a vállalatok versenyképessége, környezeti menedzsmentje és környezeti vállalati stratégiája fejleszthető. A kutatási eredmények a vegyipar teljesebb elkötelezettségét jelenthetik az egészség és a környezetvédelem mellett, amelynek hasznélvezői elsősorban az európai polgárok, a vegyipar, a mezőgazdaság (elsősorban a környezetbarát növényvédő szerek és segédanyagok alkalmazása által), a közlekedés és a kereskedelem. További hasznélvezők azok a hatóságok, szolgáltatók, ipari vállalkozások, területek, amelyeket a vegyiparba integrált környezetvédelem és a környezetvédelmi jogszabályok által diktált kötelezettségek érintenek. Nem utolsósorban környezetünk, környezeti biztonságunk, egészségünk és életünk.

### Köszönetnyilvánítás

*A kutatói tanulmány a TÁMOP- 4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.*

## 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KÓSI K., VALKÓ L.: Környezetmenedzsment, Typotex Kiadó, 2006.
- [2] SZÜCS E., BUDAI I., MATKÓ A.: Környezetmenedzsment, Pannon Egyetem - Környezetmérnöki Intézet, 2011.
- [3] MANNHEIM V.: Life Cycle Assessment (LCA) a hulladékgazdálkodásban. Hulladékgazdálkodási Tanácsadó Kézikönyv. 9. rész/ IV. sz. melléklet. Verlag Dashöfer Szakkönyv Kft., Budapest. 48. aktualizálás, 2011. november. pp. 187-198.
- [4] MANNHEIM V.: Komplex modell bevezetése POP tartalmú hulladékok termikus ártalmatlanítási technológiáinak mérlegelésére. GÉP. LXIII. évf. 2 (2012) pp. 45-48.
- [5] MANNHEIM V.: Termikus kezelési technológiák vizsgálata veszélyes hulladékokra, életciklus-elemzés módszerrel. *Energiagazdálkodás*. 53. évf. 5 (2012) pp. 2-5.
- [6] MANNHEIM V., BODNAR I.: Súlyozási rendszer kidolgozása termikus ártalmatlanítási eljárások összehasonlítására vonatkozóan. GÉP. LXIII. évf. 10 (2012) pp. 37-40.



# MEZŐGAZDASÁGI HULLADÉKOK PÖRKÖLÉSÉRE ALKALMAS BERENDEZÉSEK ÉS AZOK ÜZEMI PARAMÉTEREI

## PRESENTATION OF THE EQUIPMENT WHICH CAN DO THE TORREFACTION OF THE AGRICULTURAL RESIDUES AND ITS OPERATIONAL PARAMETERS

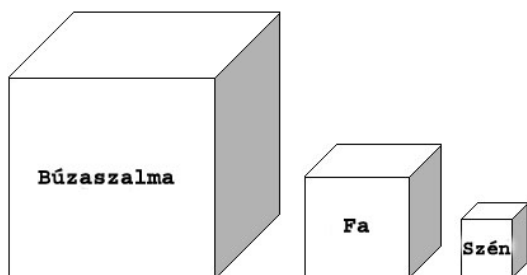
Szamosi Zoltán\*, Dr. Siménfalvi Zoltán\*\*

### ABSTRACT

The next article's aim is to present those equipments which are suitable for the torrefaction. The torrefaction is one of the innovative technologies in biomass pre-treatment. The energy density of the agricultural residues is low, comparing other fuels. The energy density means the energy content referenced to the volume or mass. If we increase that physical property of the biomass we can make economical the transportation and the usage of these materials.

### 1. BEVEZETÉS

A következő cikkem azon berendezések bemutatásával foglalkozik melyek képesek a mezőgazdasági hulladékok pörkölését a megfelelő kihozattal elvégezni. A mezőgazdasági hulladékok, és általában a biomassza használatának egyik akadályozója az energiasűrűség kicsiny volta. Az energiasűrűség egységnyi tömegre vagy térfogatra vonatkoztatott energiatartalom, mely növelésével gazdaságossá illetve gazdaságosabbá tehető a biomassza szállítása és felhasználása. A mezőgazdasági hulladékok, de főleg a búzaszalma, a fa és a kőszén energiasűrűségének különbségét mutatja a következő ábra.



1. ábra. Egyenlő energiatartalmú anyagok térfogat szerint nagyságrendbe állítva

\* doktorandusz, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

\*\* egyetemi docens Miskolci Egyetem Vegyipari Gépek Tanszéke

A vizsgálandó berendezések a hemi-cellulóz tartalmú anyagok térfogatát csökkentik, úgy, hogy az energiasűrűség megnő 10-15%-kal. Ez a százalékos érték a faforgács, illetve a fűrészpor pörkölésének eredményét mutatja. Ezt a pörkölési technológiát egyelőre kizárólag fűrészpor kezelésére használják, mivel a fa a mezőgazdasági hulladékokhoz képest „tisztá” anyag. Nem tud felhalmozódni annyi ásványi anyag, mint az egynyári növényekben, folyamatosan kiürül a fás szárú, élő növényekből. Ezen anyagok káros hatását az [1]-es közleményben mutattam be.

### 2. PÖRKÖLÉSRE ALKALMAS BERENDEZÉSEK ÜZEMI PARAMÉTEREI

Ezt a technológiát, ahogy említettem fűrészporra már alkalmazzák. A következőkben szeretném bemutatni, hogy milyen berendezések képesek, elméletben, ezt a kezelést megvalósítani. A főbb paraméterek, melyeket meg kell tudni valósítani a következők:

1. táblázat. A megvalósítandó üzemi paraméterek

Paraméter	Érték
Hőmérséklet	250 - 300 °C
Nyomás	0,1 bar <sub>a</sub> -1,1 bar <sub>a</sub>
Tartózkodási idő	30-60 min

Tegyük fel, hogy a kísérleti berendezésben 1 kg búzaszalmát szeretnénk felhevíteni 290 °C-ra, ahol már a hemi-cellulóz nagy része elszénesezik, akkor a [2]-es irodalom alapján meghatározott fajhővel, a közölt hő:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

az egyenletbe behelyettesítve:

$$Q = 1 \text{ kg} \cdot 1,8286 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (290^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \quad (1a)$$

megkapjuk a következő eredményt:

$$Q = 493,722 \text{ kJ} . \quad (1a)$$

Ahol,

$c$ , [kJ/(kg°C)] a szalma fajhője,  
 $m$ , [kg] a szalma tömege,  
 $\Delta T$ , [°C] a hőmérséklet különbség.

Mivel az (1)-es egyenletbe 1 kg tömeget helyettesíttem, így a megkapott energiamennyiséget tekinthetjük fajlagos eredménynek is, azaz a számított eredmény, az a hőenergia amennyi szükséges kilogrammonként a búzaszalma elszénesítéséhez.

$$q = 493,722 \text{ kJ} / \text{kg} . \quad (1b)$$

### 3. TÚLNYOMÁSOS TECHNOLÓGIA

A másik nagyon fontos paraméter a nyomás értékének megválasztása. Amennyiben túlnyomással dolgozunk, mivel oxigénmentes környezetet kell biztosítani, szükségünk van egy olyan inert gázra, mely tulajdonságai: nem mérgező, nem robbanóképes, nem oxidáló, nem korrozív és persze olcsó. Ilyen gázok a CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar és He gázok.

Amennyiben Nitrogént vagy Argont használunk gáz állapotban nem szükséges különleges tömítőanyag, elegendő a berendezést teflon (PTFE), poliamid (PA), polipropilén (PP), nitril- vagy műkaucsukokkal tömíteni.

Szén-dioxid és Hélium alkalmazása esetén a szokásos tömítőanyagok a polimonoklorotrifluoretilén (PCTFE), a PTFE, a polyvinilidén fluorid (PVDF), a PA és a PP [3]. Ezeknek a többsége nem túl drága, kereskedelmi forgalomban kapható, melyek használatával, beépítésével nem drágítjuk túlságosan a berendezést.

A túlnyomásos rendszer hátránya az egyszerűsége mellett a képződő gázok keveredése az inert gázzal. Mivel gazdasági előnyt jelent az inert gázt többször felhasználni, így a kezelés után szükséges a gázkeveréket tisztítani. A 2. táblázatban található azon gázok listája melyek a fa pörkölése közben felszabadulnak.

Amennyiben a választott inert gáz szén-dioxid lesz, azért javaslom ezt használni, mert a pörkölés során ez a gáz is képződik, elvileg a technológiát, úgy is felépíthetjük, hogy a kilépő gázokat egyszerűen egy fáklyán elégetve megsemmisítjük azokat.

Ez energetikai szempontból nem szerencsés, mert a hulladékhőt nem hasznosítjuk. Környezetvédelmi szempontból megfelelő, mivel a képződő éghető, mérgező és erősen környezetszennyező anyagokat ártalmatlanítjuk. Viszont az elgondolásom szerint ezt a hőt, amennyiben hasznosítani lehet, a pörkölés

energiaigényét tudjuk csökkenteni. De túlnyomásos technológia, mivel plusz szén-dioxidot használunk, kiszorítva az oxigént, és ezzel a légkör szén-dioxid tartalmát növeljük, így ennyivel csökkentjük a megújuló energia voltát a pörkölt biomasszának. Azaz már nem nevezhetjük teljesen megújulóknak.

2. táblázat. A pörkölés során képződő anyagok

Gáz fázis	Folyadék fázis	Szilárd fázis
H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> , aromások	Savak, ketonok, furánok, alkoholok, terpének, fenolok, water	Szén, kátrány, új szerkezetű cukrok és polimerek, hamu

Amennyiben nem elégetjük a kiáramló gázokat, mert az inert gázt regenerálni szeretnénk, akkor szükség van egy gáztisztító berendezésre. Szén-dioxidot egy abszorpciós-deszorpciós berendezésben tudjuk szétválasztani. De nehéz olyan anyagot találni, melyben a gázkeverék közül csak a szén-dioxid nyelődik el.

Léteznek már olyan korszerű technológiák melyekkel a széndioxidot megkötjük egy különleges anyaggal, a californiai egyetem kutatói [4] fejlesztettek ki egy ún. szén-dioxid csapdát. Kvarclisztet vontak be polietilénammal, A kvarcliszt nagy fajlagos felülettel rendelkező örlemény, mely teljes felületét, ha bevonjuk, akkor egy nagy aktív felületű nagy elnyelő-képességű anyagot kapunk. Ennek egy hátránya van csupán, hogy rendkívül drága.

### 4. VÁKUUM TECHNOLÓGIA

Az oxigén kizárását megoldhatjuk vákuummal is, melyhez egy erre alkalmas vákuumszivattyú szükséges. A berendezés részleteinek kidolgozása nem ennek a cikknek a feladata. A vákuum mértéke attól függ, hogy a beadagolt nyersanyag mennyi oxigéntől kap lángra, mennyi levegőtől oxidálódik.

A vákuumos rendszer tömítéstechnikai szempontból bonyolultabb feladat, viszont nagy előnye ennek a technológiának, hogy a képződő gázok nem keverednek semmilyen másik inert gázzal, azaz nem kell tisztítani a gázkeveréket. Továbbá az elszívott gázok közvetlenül a hőhasznosítóba kerülhetnek, ahol ez a hulladékhő is hasznosítható, ami az energetikai mérleget nagyban javítja.

A hőátadás itt, mivel nincs hőátadó közeg, csak sugárzással és hővezetéssel valósul meg. A hővezetéssel végbemenő hőtranszportot a Fourier I. törvény alapján tudjuk méretezni. A sugárzással átadott hő meghatározása bonyolult termodinamikai folyamat, melynek számítására Dr. Fáy Árpád: Hőszugárzás című kézírata ad jó iránymutatást.

## 5. A BERENDEZÉSEK BEMUTATÁSA

A következőkben szeretném bemutatni azokat a berendezéseket, melyek alkalmasak mezőgazdasági hulladékok pörkölésének elvégzésére.

Az első berendezés, melyet be szeretnék mutatni az egy forgódobos kemence. Ennek a berendezésnek legfontosabb tulajdonsága, hogy kiforrott technológia, méretezése és üzemeltetése ismert, legnagyobb előnye ez, illetve a berendezésben direkt és indirekt módon is meg tudjuk valósítani a hőközlést. Továbbá alkalmas túlnyomásos és vákuumos technológia megvalósítására is.



2. ábra. Egy forgódobos kemence

Hátrányuk ezeknek a berendezéseknek a rossz hőátadási tényező, bonyolult a hőmérséklet-szabályzást megvalósítani, a csúszó tömítés, a méretléptékezés még nem megoldott, nehezen nagyíthatók és kicsinyíthetők a berendezések [5].

A következő konstrukciós megoldás az ún. mozgó ágyas reaktor. Ez olyan, mint a fluidágyas kazán vagy reaktor, illetve a fizikai-kémiai háttere a fluidizáció, de a szemcsék nem emelkednek fel. Előnye, hogy egyszerű szerkezeti kialakítású, illetve, nagy hőátadási tényezővel valósítható meg a hőátadás.



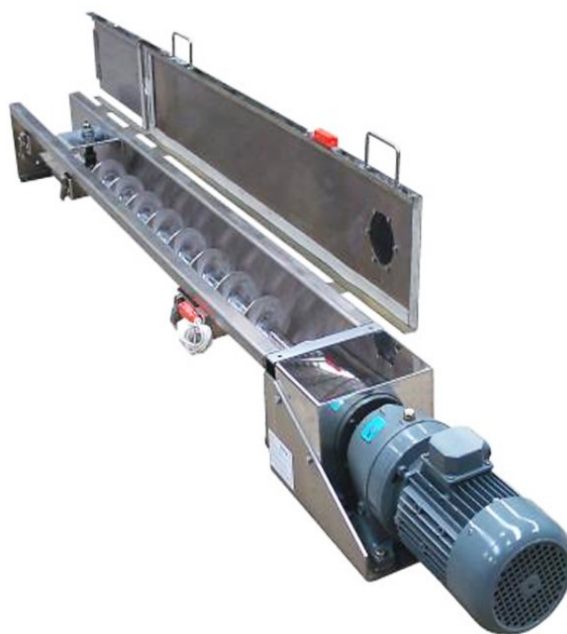
3. ábra. Mozgó ágyas reaktorra

A 3. ábra egy olyan berendezés elvi ábráját mutatja, melyben a biomassza teljesen redukálódik, ami azt jelenti, hogy a fás szárú növények alkotói (lignin, cellulóz, hemi-cellulóz) teljesen lebomlik. A

lebomlás során gyakorlatilag teljes egészében, a gőzkihozatal 90% körüli, azaz tulajdonképpen csak gőz képződik, melyet egy kondenzátorban folyékonyra tesznek. Ez az ún. faszesz, melyet motorhajtóanyagként hasznosítanak. A technológia neve gyors pirolízis, mert a biomassza tartózkodási ideje néhány perc összesen. A pörkölés során, a pirolízist tulajdonképpen megállítjuk 300 °C-on.

Ezen berendezések hátránya, hogy nehéz megvalósítani a hőmérsékletszabályzást a forgódobos kemencéhez hasonlóan, továbbá, ha nem megfelelő a levegő befűvási sebesség, akkor a befűjt gáz csatornában távozik, nem megfelelően érintkezve a biomasszával. Nem tudunk indirekt hőközlést megvalósítani, csak az átáramló gázzal, illetve vákuumos technológiát sem tudunk megvalósítani ezen berendezés használatával.

A 4. ábrán látható berendezés a csigás reaktor, ami tulajdonképpen egy szállítócsiga, mely külső fala fűtött, esetleg a csiga szerkezet belülről. Indirekt hőközlés valósítható meg, illetve ezen berendezések méretezése ismert. További előnye, hogy a biomassza folyamatosan, rendezetten áramlik, dugószerűen, mely lehetővé teszi a jó kontaktfelületet a reakció megfelelő lezajlásához.

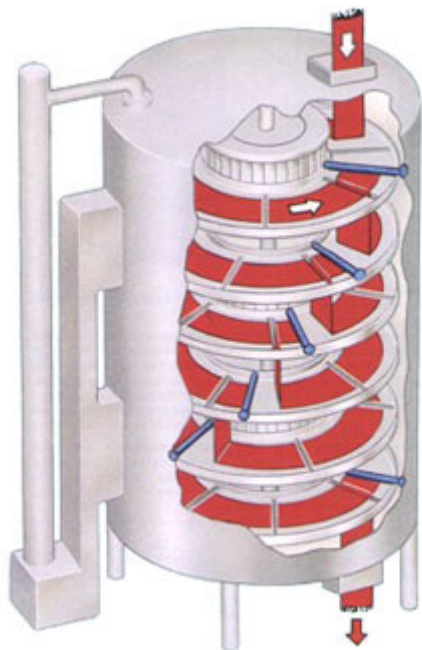


4. ábra. Csigás rendszerű reaktor

Hátránya a csigás reaktornak, hogy alacsony hőátadási tényezővel tudjuk a hőközlést megvalósítani, illetve, mivel egy, tengelyen lévő csiga szállítja a beadagolt mezőgazdasági hulladékot, így gondoskodni kell a tengely megfelelő tömítéséről is.

A következő berendezés az ún. összetett hőátadási zónával rendelkező reaktor. Ez egy függőleges tengelyen elhelyezett tálcás reaktor (5. ábra). A beadagolt biomassza mire végig ér a tálcákon a benne lévő hemi-cellulóz elszenesedik, tehát úgy kell megválasztani a méreteket, hogy a tartózkodási idő

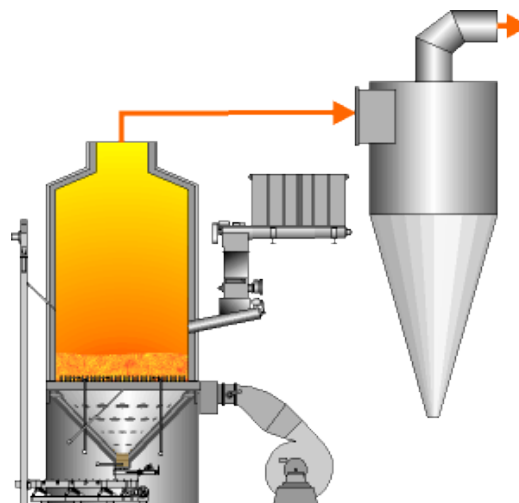
megfelelő legyen. Ebből adódik az egyik hátránya, még hozzá az, hogy fajlagosan nagy méretűre kell tervezni a reaktort, másik hátránya, hasonlóan a csigás rendszerű reaktorhoz, a forgó tengely tömítése. Előnye, hogy nagyon jó hőátadást tudunk biztosítani, ha túlnyomásos technológiát alkalmazunk, azaz direkt módon hevítjük a hemi-cellulóz tartalmú biomasszát. A hőmérséklet szabályzást jól meg lehet valósítani, zónákra osztottan tudjuk a hőmérsékletet beállítani, ezért hívják összetett zónás reaktornak.



5. ábra. Összetett zónás reaktor

Az utolsó berendezés, melyet be szeretnék mutatni a fluidágyas reaktor (6. ábra). Fluidizációról akkor beszélünk, mikor a reaktorba, kazánba beadott tölteten, úgy áramoltatunk át egy gázt, hogy a szemcséket megemeli, de nem ragadja el, azaz nem hordja ki a reaktorból.

Előnye, hogy a technológiát más iparágakban használják, így a méretek nagyítása kicsinyítése megoldott. Mivel az átáramló gáz az aprított szemcséket megemeli és lebegteti a hőátadás és a kontaktfelület tekintetében ez a technológia a legjobb. Hátránya, hogy vákuumos technológiát nem tudunk alkalmazni, továbbá a fluidizáció megfelelő méretű szemcseméretet igényel, így a feladott szemcseméretet optimális méretűre kell aprítani, mely költség-növekményt jelent a többi technológiához képest.



6. ábra. Fluidizációs reaktor

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben igyekeztem összegyűjteni azokat a berendezéseket melyek szóba jöhetnek a kísérleti berendezés megépítéséhez. A fent felsorolt gépek, illetve technológiák közül kell egy optimális üzemű feltételekkel rendelkezőt választani. Gazdasági szempontokat is figyelembe véve, illetve elvi lehetőséget kell biztosítani egy olyan berendezésre melyet ipari méretűre, lehet nagyítani.

## 7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] SZAMOSI Z.: The torrefaction, GÉP LXIII. évfolyam, 2012. 10. szám pp. 45-48.
- [2] CAO Y., LI G., ZHANG Z., CHEN L., LI Y., ZHANG T.: The specific heat of wheat, 10th International Working Conference on Stored Product Protection, Academy of State Administration of Grain, Beijing, P.R. of China
- [3] Messer Hungarogas Kft. ajánlásai: elérhető: [http://www.messer.hu/Infotar/Ipari\\_Gazok\\_Katalogusa/6\\_ipari\\_gazok\\_tulajdonsagai\\_beszerzesi\\_es\\_felhaszn/index.html](http://www.messer.hu/Infotar/Ipari_Gazok_Katalogusa/6_ipari_gazok_tulajdonsagai_beszerzesi_es_felhaszn/index.html)
- [4] A. GOEPPERT, M. CZAUN, R. B. MAY, G. K. S. PRAKASH, G. A. OLAH, S. R. NARAYANAN: Carbon Dioxide Capture from the Air Using a Polyamine Based Regenerable Solid Adsorbent, J. Am. Chem. Soc., 2011, 133 (50), pp 20164–20167
- [5] ANTAL B. J.: Szilikát- és vegyipari kemencék III. Tankönyvkiadó Budapest, 1971.

# CONTENTS

Kocsisné B. M., Frigyk G., Kuzsella L., Kuzsella Lné Koncsik Zs., Szilágyiné Bíró A., Kerekes G.

**1. Trends and plans in heat treatment and surface engineering..... 3**  
The TÁMOP project of the University of Miskolc” was launched for creating special scientific schools in different engineering topics. One of such is focused on “Innovative materials processing”, including four R&D groups: three groups are dedicated for various technological processes like welding, heat-treatment and metal forming, while the fourth group focuses on computer aided design and modelling in materials processing technologies. In this paper the research work done in Heat Treatment and Surface Engineering R & D group will be overviewed.

Prém L., Balogh A.

**2. Different types of energy input for resistance spot welding of automotive mild steel sheets ..... 7**  
During the last twenty years the advanced and ultra high strength steels came to the front in automotive industry. In spite of that fact, mild steel sheets have been applied in a modern car fabrication in proportion of 25 to 30%. The unalloyed steel elements are exposed to cold forming, which technology influences the weldability of this material. This paper presents some different types of energy input, when these mild steel sheets are spot welded.

Tisza M., Gál G., Kiss A., Kovács P., Lukács Zs.

**3. Computer aided engineering methods in metal forming..... 11**  
Within the TÁMOP project a special scientific school is created with the title “innovative materials processing”. There are four R & D groups within the innovative materials processing: three groups in various technological processes like welding, heat-treatment and metal forming, as well as a fourth group on computer aided design and modelling in materials processing technologies. In this paper the research work done in this latter group will be overviewed.

Pálmai Z.

**4. The dynamic examination of an anomaly during the large, fast deformation of steel..... 15**  
It may occur occasionally during turning that a metallic deposit, the so-called built-up edge (bue) is formed that dilapidates the surface of the workpiece and shortens tool life. We have observed its effect on chip formation with microscopic techniques and have developed a mathematical model for the process. The laboratory experience confirms the numeric solution of the time delayed autonomous differential equations. This model can be applied to other technologies as well where the undeformed chip thickness varies.

Pálmai Z., Szűcs J.

**5. Assessment of cutting tool life by measurement control in series production.. 19**  
We aimed at utilizing the data gained during the check of the workpiece size to observe the wear of the tool in series production. We have processed AS2 free cutting steel originating from two production charges by P20 uncoated carbide tool on automatic lathe. We designed the workpiece specifically for this purpose and we have measured the deviation from the nominal measure in the case of each piece. These were converted to wear of corner of the cutting edge and we have assessed their wear curve from which the tool life can be calculated. The results of control measurements of flank wear were in accordance with the calculated data of the wear of the corner of the cutting edge.

Szabó O.

**6. Examination of material removal process in honing..... 23**  
The paper examines the possibilities of increasing of material removal rate of honing in case of use of superhard tools. Tool having superhard grains significantly increases performance of chip removal, technological process becomes more stable and increase of tool life is meaningful. The author experimentally examined the effects of increase of grain size, cutting speed, tool pressure on changing of cutting time. The result of this is a two stage honing, in which the first stage assures removing of increased allowance, and the second stage is the final or fine stage which assures the realization of the prescribed accuracy and surface roughness.

Hajdú S., Czibere T., Kalmár L.

**7. Flow pattern analysis in runner of banki turbine..... 27**  
The small capacity turbine supplied with double-flow runner by Donat Banki is still being developed and manufactured worldwide which implies that the design problems of the cross-flow turbine still have topicality. The present paper concentrates on two computational methods. The one is to determine the the central streamline of flow within the runner and the other realizes the mapping of the runner blade onto a straight cascade.

Kalmár L., Hellmann R., Régert T., Vigh V.

**8. Investigation of heat transport procedure in uv led module..... 31**  
The paper deals with CFD analysis of the heat transport process caused by High Powered LED (Light Emitting Diode) in UV LED Module. This project is a R&D topic including both the laboratory measurements and the CFD simulations of UV LED Module. This project is the result of the several year- long joint research activities between the University of Aschaffenburg and the University of Miskolc. First, the Module – included one UV LED – is introduced, than the measurement after that main steps of the numerical simulation are discussed. Finally the results of measurement and simulation are compared.

Nagy J., Tolvaj B., Szabó Zs.

**9. The effect of shield condenser pitch on the energy consumption of refrigerators..... 35**  
A shield condenser is an increasingly common component in refrigerators and freezers. Starting from the differential equation of conduction of heat, the article examines how to determine the optimum condenser tube pitch, where the energy consumption is at its minimum.

Döbröczöni Á.

**10. Some questions on the development of technical products..... 39**  
The developing of the machines as systems and their parts is a complex activity. This article gives some of the results on the fields of the planetary gear drives, eco-design, natural analogies and optimization.

Kamondi L.

**11. Research and development of toothed elements of power trains ..... 43**  
During the past decades the toothed pairs of elements proved again their unchanged significant role in the power trains. Their functions are the accurate conversion of motion, the greatest load carrying capacity at the least sizes, the conformity to the environments. The paper shows geometric, dynamic and acoustic results on the research fields of gear coupling, free running clutch and pair of gears.

Farkas J.

**12. Application of welded t-stiffeners in the minimum cost design of cellular plates supported at four corners..... 47**  
Cellular plates consist of two face plates and a grid of stiffeners welded between them. The cells produce a large torsional stiffness, thus, the cellular plates can be calculated as isotropic ones. In previous studies the author has designed cellular plates with halved rolled I-stiffeners. In the present study these rolled stiffeners are replaced by welded T-stiffeners Constraints on stresses, deflection, stiffeners web buckling and fabrication are formulated. The cost function contents the cost of material, assembly, welding and painting. The optima are found by a systematic search using a MathCAD algorithm. Mass and cost savings can be achieved by using welded T-stiffeners instead of rolled ones.

Kovács Gy.

**13. Fibre reinforced plastic strengthened steel structures ..... 51**  
Fibre reinforced plastic (FRP) composites are often used in light-weight civil engineering applications due to their unique advantages including their high strength-to-weight ratio and excellent corrosion resistance. In particular, many possibilities of using FRP in the strengthening of concrete, wood and steel structures have been explored. The main aim of the current study is to show the types of FRP strengthening systems, strengthening modes of steel structures and possible failure modes of strengthening systems.

Marcusák Gábor Z.

**14. Developing a web application in JavaFX environment to solve optimization problems..... 55**  
Despite the rapid progress of computer technology, there are still a lot of problems that cannot be solved only by raw computational power. The Traveling salesman problem is a bright example of the NP problem class. The utilization of informed search (so-called „heuristic”) algorithms is a possible solution in these situations. On the one hand, compared to non-heuristic algorithms, heuristic strategies require much less computation in order to find potential solutions. In many cases, very difficult problems can be solved with them. On the other hand, they have a disadvantage. There is no guarantee that the optimal solution was found. My goal was to develop an advanced web application, which is a standalone collection of modern heuristic algorithms.

Virág Z., Jármai K.

**15. Optimum design of standard size circular continuous girders ..... 59**  
Nowadays the optimum design is widely used in engineering practice. The economic crises always remind of saving. That is why it is important to aim at the best price or just material saving. In the minimum cost design the characteristics of the optimal structural version are sought which minimize the cost function and fulfil the design constraints. Further advance of the optimum design is that it gives a true base to compare the different structure versions. In this study only the material cost is minimized. The aim of the present study is to apply the optimum design principle for continuous girders.

Bokros I., Siménfalvi Z., Szepesi G., Venczel G.

**16. Analysis of stirred tank reactors..... 63**  
This paper details the examination of continuous stirred tank reactors (CSTR) for use in the chemical industry. We investigated the effect of the Bayonet type heat exchanger which is inside of CSTR to the power number and the heat transfer coefficient. We made scale up model to adapt the measured and CFD data to industrial size equipment.

Mannheim V.

**17. Environmental chemical research at the University of Miskolc ..... 67**  
The environmental protection takes a main place in the processes of the chemical industry. There are green chemistry methods and some other processes for decreasing the quantity of the organic industrial waste. This paper summarises the research work of the Environmental chemical research team at the University of Miskolc. In the past 18 months the research group can set up new information and research results. The Life Cycle Assessment (LCA), the BAT and the green chemistry can play an important role in this research.

Szamosi Z., Siménfalvi Z.

**18. Presentation of the equipments which can do the torrefaction of the agricultural residues and its operational parameters ..... 71**  
The next article’s aim is to present those equipments which are suitable for the torrefaction. The torrefaction is one of the innovative technologies in biomass pre-treatment. The energy density of the agricultural residues is low, comparing other fuels. The energy density means the energy content referenced to the volume or mass. If we increase that physical property of the biomass we can make economical the transportation and the usage of these materials.

# GÉP

## INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám  
**President of Editorial Board**

Vesza József  
**General Editor**

Dr. Jármai Károly  
Dr. Péter József  
Dr. Szabó Szilárd  
**Deputy**

Dr. Barkóczy István  
Bányai Zoltán  
Dr. Beke János  
Dr. Bercsey Tibor  
Dr. Bukoveczky György  
Dr. Czitán Gábor  
Dr. Danyi József  
Dr. Dudás Illés  
Dr. Gáti József  
Dr. Horváth Sándor  
Dr. Illés Béla  
Kármán Antal  
Dr. Kulcsár Béla  
Dr. Kalmár Ferenc  
Dr. Orbán Ferenc  
Dr. Pálkás István  
Dr. Patkó Gyula  
Dr. Péter László  
Dr. Penninger Antal  
Dr. Rittinger János  
Dr. Szabó István  
Dr. Szántó Jenő  
Dr. Tímár Imre  
Dr. Tóth László  
Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

### DEAR READER,

The research project, which elaborated in the 4th Centre of Excellence, entitled *Innovative Mechanical Engineering Design and Technologies* at the University of Miskolc is made in the framework of the TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project supported by the European Union and co-funded by the European Social Fund is going to finish. The Centre aim was to develop the research potential by research in which innovative modelling, design and technological processes are implemented. This is in line with the European Union's drive to encourage innovation in the most efficient way, using environmentally friendly technologies and improve them.

The Centre of Excellence is divided into seven Scientific Workshops, which are department related. These are: Mechanical Technology, Production Engineering, Fluid and Heat Engineering, Chemical Machinery, Mechanics, Machine and Product Design and Materials Handling and Logistics Departments. The teachers involved BSc, MSc and PhD students into the research, so that they provide a good opportunity to young people to familiarize themselves with the scientific work. During the nearly two years of operation of the Centre of Excellence, several students already provided outstanding performance and quality of so called TDK (Science Student Team) works and PhD thesis.

The scientific topics covered by the Scientific Workshops are very complex and interdisciplinary in nature. Within the design themes there can be found a new design and modelling procedures, which are developed to model the structures more efficiently and reliably and to give a better design solution. Dealing with optimization of structures and systems several optimization techniques employed. To examine the product life cycle, technical systems, powertrain architecture, principles of environmental and alternative fuel use is related to research, as well as flow and thermal laboratory and numerical modelling is linked to a number of studies. The engineering of environmentally friendly technologies, organic chemistry, as well as continued testing technologies and Energy rationalization occurs. Mechanical material tests and modelling are significant for the professional and technical computer-aided process design, as well as the precision finishing manufacturing of high strength steels. We have highlighted only some of the research topics from the different disciplines.

The question arises that where the results can appear, where the results so far made use of? Within the Scientific Workshops there are twenty R & D topics, which are very diverse. Some of them approached the basic research, while others are more applicable in practice, some results were already visible, while others promise long-term results. In order to make these achievements to professional audiences available a considerable number of publications produced by researchers and reported in national and international conferences, national and international professional journals., The results are incorporated into the education of course. These articles in this journal serve the purpose showing the Scientific Centre of Excellence Workshops' latest scientific results.

Prof. Dr. Károly Jármai  
leader of the Center of Excellence

Managing Editor: Vesza József, Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.  
Postage-address: 3501. Pf. 55. Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1027 Budapest, Fő u. 68.  
Postage-address: 1371, Bp, Pf. 433  
Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Internet: www.gte.mtesz.hu  
Responsible Publishere: Dr. Igaz Jenő Managing Director

<http://www.gepujsag.hu>  
Printed by Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67.  
Price per month: 1260 Ft.  
Distribution in foreign countries by Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat H-1389  
Budapest, Pf. 149. and Magyar Média H-1392 Budapest, Pf. 272.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

## 4. TM Innovatív gépészeti termékfejlesztés

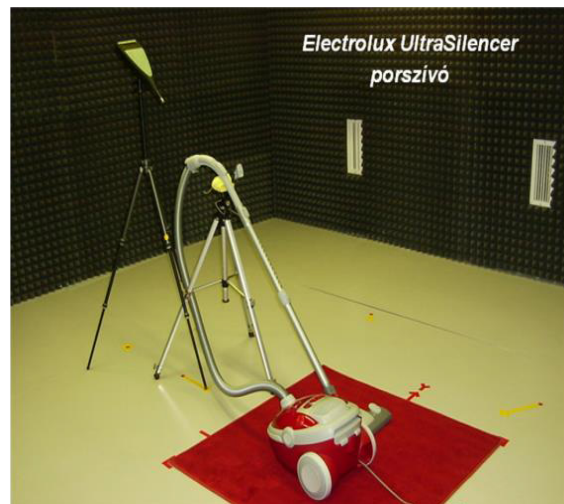
A tudományos műhely vezetője: **Dr. Kamondi László**  
e-mail: [machkl@uni-miskolc.hu](mailto:machkl@uni-miskolc.hu)  
tel: +3646 565 111, 1272 m.

Az innovatív gépészeti termékfejlesztés tudományos műhely kutatási tevékenységét a termékek fejlesztésmetodikájára, funkcióinak megvalósítására és a termék megfelelésnek részbeni ellenőrzésére fókuszálja. Ennek területei:

1. Tervezési algoritmusok fejlesztése, a környezettudatos tervezés irányelveinek kutatása.
2. Természeti analógiák alkalmazása a termékfejlesztésben.
3. Műszaki termékek energialáncát fentartó hajtásláncok pl. szabadonfutók, fogazott tengelykapcsolók tervezésmetodikájának fejlesztése, megfelelést biztosító mérések kidolgozása.
4. A hajtásláncok mozgásleképező elemeinek, pl. foghézaggal rendelkező fogazott elem párok kinematikai és dinamikai vizsgálata, nem szimmetrikus fogazatok alkalmazhatóságának szilárdsági viselkedésének kutatás, műanyag fogaskerekek méretezési elveinek és vizsgálatának kutatása, a nagy attételű hajtóművek (hullám és dörzs) fejlesztése.
5. Virtuális- és valós termékek optimalizálási elveinek és módszereinek kutatása, alkalmazási lehetőségek bemutatása.



Görgős teljesítménymérő fékgép



Akusztikai labor

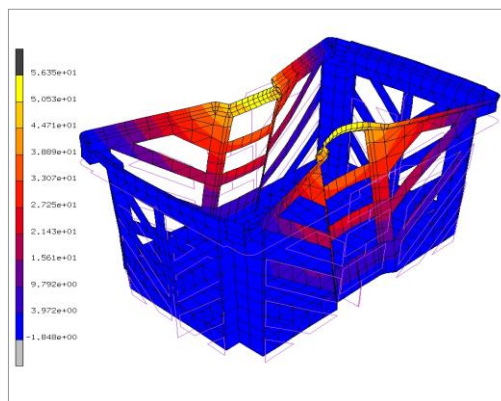
## Végeselemes modellezés és szimuláció

A tudományos műhely vezetője: **Dr. Bertóti Edgár**  
e-mail: [edgar.bertoti@uni-miskolc.hu](mailto:edgar.bertoti@uni-miskolc.hu)  
Tel.: +36 46 565 162

A Miskolci Egyetem Mechanikai Tanszékén működő tudományos műhely elméleti és alkalmazott mechanikai kutatásokat folytat többek között az alábbi témákban:

- szerkezeti elemek (acél, műanyag, kompozit, gumi) szilárdsági és dinamikai analízise;
- érintkezési, kopási problémák modellezése és végeselemes megoldása;
- talaj- és közetmechanikai folyamatok numerikus szimulációja és végeselemes modellezése;
- új modellek és számítási eljárások kidolgozása.

A numerikus szimulációk során részben saját fejlesztésű, részben kereskedelmi szoftvereket alkalmazunk.



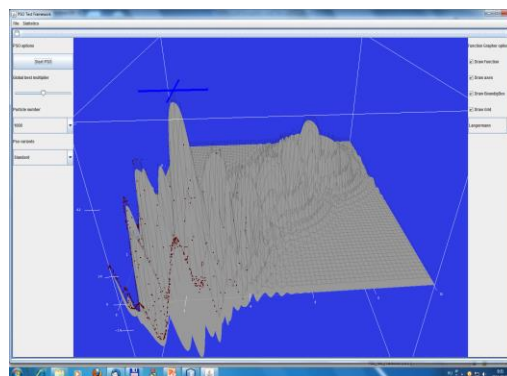
Vékonyfalú szerkezetben terhelés hatására kialakuló deformáció és feszültségeloszlás

## 6. TM Fém szerkezetek optimális modellezése, új algoritmusok alkalmazása

A tudományos műhely vezetője: **Dr. Jármai Károly**  
 e-mail: [altjar@uni-miskolc.hu](mailto:altjar@uni-miskolc.hu)  
 tel: +3646 565 111, 2028 m.

A Fém szerkezetek optimális modellezése, új algoritmusok alkalmazása tudományos műhelyben folyó kutatások fő célkitűzései röviden az alábbiakban foglalhatók össze.

1. Hegesztett szerkezetek analízise és optimalása: bordázott lemezek, bordázott héjak, cellalemezek, rácsos tartók, keretszerkezetek (hegesztett, csavarozott), hajlított-nyírt tartók.
2. Alkalmazások: rácsos szalaghidak optimalása, keretek optimalása földrengésre, présgépek, állványok tervezése, silók, bunkerek, kandalló tűzterek, hőcselők méretezése. Méretezés tűzvédelemre.
3. Rezgés- és zajcsökkentés hegesztett szerkezeteknél. Számítások és mérések a rezgésalak, a sajátfrekvenciák, a rezgéscsillapítási tényező meghatározására (Brüel & Kjaer műszercsalád).
4. Optimaló algoritmusok fejlesztése, költség-számítások hegesztett szerkezeteknél. Topológiai optimalás.



A részecskecsoport optimaló módszer futása



A Brüel & Kjaer műszercsalád közepén a mérőasztallal

## Innovatív környezetbarát technológiák fejlesztése és az energiahatékonyság növelése a vegyiparban

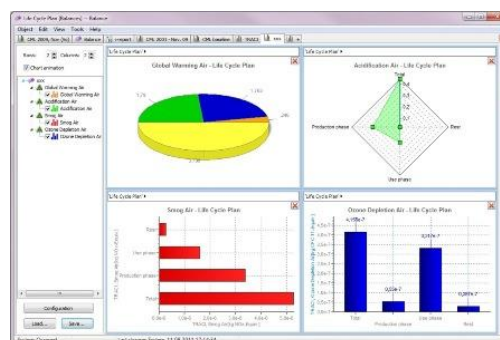
A tudományos műhely vezetője: **Dr. Siménfalvi Zoltán**  
 e-mail: [simenfalvi@uni-miskolc.hu](mailto:simenfalvi@uni-miskolc.hu)  
 tel: +3646 565 168

Az innovatív környezetbarát technológiák fejlesztése és az energiahatékonyság növelése a vegyiparban tudományos műhelyben és Vegyipari Gépek Tanszékén folyó főbb kutatási területek az alábbiak:

- Innovatív környezetbarát technológiák és zöld kémia alkalmazása a vegyipar területén
- Energiahatékonyság növelése a vegyiparban
- Vegyipari műveletek
- Por- és gázrobbanási jelenségek vizsgálata, robbanás elleni védelem tervezése, rendszerbiztonságtechnika, veszélyanalízis, túlnyomás elleni védelem
- Nyomástartó edények, csővezetékek, tárolótartályok tervezése, vizsgálata analitikai, szabványi és szimulációs eszközökkel
- Kompresszor vezetékben kialakuló akusztikus lengések vizsgálata
- Vegyipari hulladékok kezelése, POP tartalmú hulladékok ártalmatlanítását megvalósító technológiák vizsgálata
- Környezetmenedzsment
- Életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment) a környezetvédelem és a hulladékgazdálkodás területén



Por- és gázrobbanás vizsgáló cella



GaBi 5 LCA elemző szoftver