

# GÉP

A GÉIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA

**Ember és gép  
összhangban van.**



**MACH-TECH**

INDUSTRI**A**UTOMATION



**2013. május 28–31.**



**hungexpokiállítás**  
programod van

**IPAR NAPJAI 2013 – ahol ember és gép találkozik.**

2013 májusában új üzleti lehetőségeket kínálva nyitja meg kapuit a **MACH-TECH** Nemzetközi gépgyártás- technológiai és hegesztéstechnikai szakkiallítás, valamint az **INDUSTRIAUTOMATION** Nemzetközi ipari automatizálási szakkiallítás a **HUNGEXPO Budapesti Vásárcsopont**ban. A kiállítás-együttes **komplex megoldásokat** kínál **kis-, közép- és nagyvállalatok számára.**

**Tervezett programok:** • német kamarai nap • GTE konferencia keretében: Manufacture – A járműipari fejlesztések hatása a gépipar versenyképességére • EDU-POINT (egyetemek bemutatkozója) • ingyenes pályázati tanácsadás • nagydíjas termékek bemutatója • kiállítói újdonság-bemutatók • Application Zone

**A kiállítás honlapján online regisztráció az ingyenes belépésért:**  
[www.mach-tech-hu/gte](http://www.mach-tech-hu/gte)

**Bővebb információ:** [www.mach-tech.hu](http://www.mach-tech.hu) • [www.industriautomation.hu](http://www.industriautomation.hu)

# CSAPHEGESZTÉS

- ▶ pontosan
- ▶ biztonságosan
- ▶ gyorsan

## Műszaki adatok:

Ismétlési pontosság: 0,2 mm

Hegesztési ütemidő: 20-30 db/perc

Adagolás: kézi/automata

Asztalméret: 700x600-tól 2500x1700 mm-ig

## Extra kiegészítők:

- Lézeres pozíció meghatározás
- Minőségbiztosítási modul
- Internetes távfelügyeleti modul
- Felületnedvesítő
- Pneumatikus lemezleszorító
- Adatimportáló modul



Vásári nagydíjas termék

made by **Qualiweld**

G pavilon 403A

**Qualiweld**  
Welding & Trade Kft.

H-8800 Nagykanizsa, Camping út 0404/1 hrsz.  
Tel.: +36 93/519-018 • Fax: +36/93/519-017  
E-mail: info@qualiweld.hu • www.qualiweld.hu

# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczeni 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. Czitan 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. Pálincás 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

### KEDVES OLVASÓ!

A HUNGEXPO Budapesti Vásárközpont területén 11. alkalommal megrendezendő MACH-TECH Nemzetközi Gépgyártástechnológiai és Hegesztéstechnikai Szakkiállítás megszervezésében jelentős szakmai szerepet vállalt a Gépipari Tudományos Egyesület. 2013. május végén új üzleti lehetőségeket kínálva nyitja meg kapuit a MACH-TECH, valamint az INDUSTRIAUTOMATION Nemzetközi ipari automatizálási szakkiállítás, amely kiállítás-együttes komplex megoldásokat kínál a kis-, közép- és nagyvállalkozások számára. Az Egyesület önálló standon jelenik meg és ad alkalmat arra, hogy a szolgáltatásaink iránt érdeklődő jogi tag vállalatok közvetlen felvegyék a kapcsolatot a vásáron jelen lévő képviselőinkkel, továbbá a kiállítás tematikájához igazodó szakmai konferencia megrendezésével is hozzá kívánunk járulni a kiállítók és a vásárlatógatók közötti kapcsolat elmélyítéséhez, az ipar és az alkalmazott kutatás közötti gyümölcsöző együttműködés megalapozásához.

A vásáron a rendezők elő kívánják segíteni, hogy a gépgyártástechnológia eszköz- és eljárás-rendszereivel foglalkozó felsőoktatási és más akadémiai intézményi kutatóhelyek, pl. az MTA SZTAKI, a jelentősebb nemzetközi szakkiállításokhoz hasonlóan itt is megjelenjenek azokkal az eredményekkel, amelyek erősíthetik a gazdaság, ezen belül az ipar és a felsőoktatási, valamint más intézményi kutatóhelyek kapcsolatát. A GTE Országos Elnöksége abban a reményben keresi meg az egyesület szakosztályainak tagjait, a vásárt látogató szakmai közönséget és a kiállítók jól felkészült szakértőit, hogy idén is, szakmai érdeklődési körüknek megfelelő programot tud ajánlani a MACH-TECH rendezvényeivel:

- a kiállításához kapcsolódó „Járműipari fejlesztések hatása a gépipar versenyképességére” című konferencián 2013. május 30.-án, a kiállítási pavilon területén, a magyar ipar által megvalósított technológiai jellegű kutatásokról számolnak be sikeres cégek szakemberei és az ország több egyetemének oktatói, valamint új pályázati lehetőségekről hallhatnak az érdeklődők tájékoztatást;
- A HUNGEXPO Zrt. ebben az évben is meg hirdette a „MACH-TECH Nagydíjat”, ezzel a szakkiállításon bemutatásra kerülő kiemelkedő tulajdonságú és újdonságot jelentő termékekre, eljárásokra, illetve műszaki szolgáltatásokra vonatkozó kiegészítő „kiállítási nagydíj”, megkülönböztető minőségjel viselésének jogát ítélte oda. A nagydíjak értékelésének szakmai zsűri-jét idén a GTE adta. A kiválósági elismerést szerzett termékek bemutatását a GÉP c. folyóirat szerkesztői vállalták.

A szervezők minden érdeklődőt szeretettel várnak elsősorban az alkatrész gyártó kis- és középvállalkozások területéről, akik gazdaságosabb, korszerűbb technológiát és szerszámozást kívánnak felhasználni. Mivel a kiállítás hatékony lehetőség a gazdaság és a kutatóhelyek kapcsolatának erősítésére, reméljük, hogy kezdeményezésünk találkozik elképzeléseikkel, és látogatóként számunk részvételükre és aktív közreműködésükre.

A GTE GÉP című szakfolyóirata célszámot jelent meg a szakkiállítás alkalmával, melyhez a kiállítók és érdeklődők a vásáron, a GTE standján juthatnak hozzá. A szaklap a vásári nagydíjasokat a konferencia előadásait, és fontos ipari és tudományos kutatásokról szóló cikkeket mutat be.

Engedjék meg, hogy a Gépipari Tudományos Egyesület nevében jó szívvel ajánljam e kiállítási célszámot valamennyi kedves olvasó kezébe. Tekintsék törekvésünket a megújulni kívánó tudásközösségek egyesületi szakmai munkája legújabb produktumának és fogadják olyan érdeklődéssel, amilyen elkötelezettséggel a szerkesztő bizottság munkatársai ezt előkészítették.

*Dr. Habil. Takács János  
egyetemi tanár, a GTE elnöke*

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, 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

1. Bodzás S.; Dudás I.:

**Kúpos csavarfelület előállítás  
változó köszörűkorong bedöntési  
szög korrekcióval..... 3**

Szerzők egy új köszörülési eljárást javasolnak, amely a köszörűkorong bedöntési szögének folyamatos korrekciójával kompenzálja a korongkopást. Példaként egy spirroid csiga köszörülését mutatják be.

2. Bauernhuber A.; Markovits T.:

**Lézersugaras fém-polimer  
hibrid kötés, mint új lehetőség  
a kötéstechikában..... 7**

A cikk egy új, fém-polimer közötti lézersugaras kötéstechológiát mutat be, amely a konkurens kötőeljárásokhoz képest számos előnnyel rendelkezik. A hibrid kötés minőségét elsődlegesen a hevítési idő, az összeszorító erő, a lézerteljesítmény és a felületi érdesség befolyásolja.

3. Hajdu D.; Inspurger T.:

**A Smith-prediktor időtartománybeli  
vizsgálata ..... 12**

A Smith-prediktort a szabályozástechnikában elsősorban stabilis folyamatokban lehet sikeresen alkalmazni. Szerzők bemutatják a Smith-prediktort leíró állapotegyenleteket. Egy egyszerű egyensúlyozási feladaton keresztül szemléltetik a zárt szabályozási kör paraméterérzékenységét.

4. Ladányi G.; Ladányi G.:

**Kalickás indukciós motor hibadiagnosztika  
rezgés és motoráram analízis együttes  
alkalmazásával ..... 16**

A kalickás indukciós motorok esetében az állapotalapú karbantartási stratégiák segítenek elkerülni a váratlan meghibásodásokat és csökkenteni az ennek következtében szükségessé váló leállások idejét. További előny, hogy a tervezett karbantartások közötti idő növelhető.

5. Tóth P.:

**Adaptív akusztikai forrásmodell  
mikrofontömb jelfeldolgozáshoz ..... 21**

Az akusztikai források helyének feltárására szolgáló mikrofontömbös mérés technika adatfeldolgozása sok számítást igényel. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszéke többek között ennek a mérési módszernek a fejlesztésével is foglalkozik. A mérés technika alkalmas axiális ventilátorok zajkutatóására is.

6. Vásárhelyi J.; Kovács L.:

**Információs rendszerek fogalomháló  
alapú osztályozási algoritmusának hardveres  
megvalósítása és vizsgálata ..... 26**

A cikk elemzi a sok adatot tartalmazó fogalomhálók hardvermegvalósítási lehetőségeit. Bemutatja a módszer előnyeit és potenciális hátrányait. A hardver alkalmazása felgyorsítja a fogalomháló létrehozását és a fogalomhálón való keresést.

7. Schwarzenberger J.; Juhász I.:

**5D-s megmunkálásra alkalmas  
eszterga-megmunkáló központok  
fejlesztése az Excel Csepel  
Szerszámgépgyártó Kft.-ben..... 34**

8. Szulim G., Scsukin V.; Turcsin I.; Timár I.:

**Radiálisan rétegezett henger  
kvázistatikus síkbeli hőrugalmas  
állapota aszimmetrikus hevítés esetén.. 36**

Bemutattuk a határfelületén nem tengelyszimmetrikusan hevített, radiálisan rétegezett henger síkbeli hőrugalmasságtani feladatának megoldását. A megoldást idő szerinti Laguerre-féle integrál transzformációval és a szögelfordulás szerinti Fourier-transzformációval határoztuk meg. Vizsgáltuk a külső felületen lokálisan hevített háromrétegű henger feszültségi állapotát.

# KÚPOS CSAVARFELÜLET ELŐÁLLÍTÁSA VÁLTOZÓ KORONGPROFIL MELLETT IS LEHETŐSÉG VAN A CSIGAPROFIL JELLEMZŐINEK MEGENGEDETT HATÁROK (TÚRÉSEK) KÖZÖTT TARTÁSÁRA [4]

## GENERATING OF CONICAL WORM SURFACE WITH CHANGING OF LEAD ANGLE CORRECTION

Bodzás Sándor\*, Dr. Dudás Illés\*\*

### ABSTRACT

Kúpos csavarfelület készürelésekor olyan megoldást kell választani, ahol a korong kopás miatt változó korongprofil mellett is lehetőség van a csigaprofil jellemzőinek megengedett határok (túrések) között tartására [4].

Egy új készürelési eljárással a tengelytáv változtatás függvényében a csiga menethossza mentén folyamatosan változtatjuk a készürelőkorong bedöntési szög korrekció értékét.

Az ismertett matematikai és gyártási eljárást egy új geometriájú, tengelymetszetben ívelt (ellipszis, kör, parabola, stb.) profilú spiroid csiga esetén alkalmazzuk [3].

### 1. BEVEZETÉS

A kúpos csavarfelületek készürelőkoronggal történő befejező megmunkálásokor alapvetően két probléma vetődik fel, amelyek a geometriailag helyes profil kialakítását szinte lehetetlenné teszik [1, 2]:

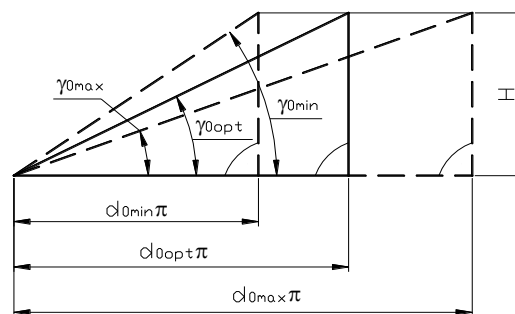
- a készürelés során a korong kopása miatt a korong profilja és átmérője is változik. Emiatt a generált csavarfelület profilja torzul az elméleti profilhoz, de az eredeti kiinduló állapothoz képest is;
- a kúpos csavarfelület tengely menti átmérőváltozása a csigaprofil állandó változását vonja maga után (a korongprofil állandósága esetén).

A problémát a Dudás Illés féle optimális szerszámprofil meghatározási módszerrel oldjuk meg [1], azaz meghatározzuk a gyártandó alakpontosság figyelembevételével azt a  $\varphi_1$  mozgáspáraméter optimális értékéhez ( $\varphi_{1opt}$ ) tartozó érintkezési görbe helyét a kúpos csavarfelületen, mely görbével, mint szerszámprofil görbével előállítva a kúpos csigát

a kapott csiga profilpontossága túréstartományon belüli lesz.

### 2. AZ OPTIMÁLIS SZERSZÁMPROFIL MEGVÁLASZTÁSA

A Dudás Illés féle optimális szerszámprofil meghatározási módszerrel meghatározzuk a  $\varphi_{1opt}$  értékhez tartozó osztókörátmérőt, majd az osztóköri emelkedési szöget ( $\gamma_{0opt}$ ). Ezen emelkedési szöggel kell a készürelőkorongot bedönteni megmunkáláskor.



1. ábra Az átmérő és az emelkedési szögváltozás állandó emelkedésű kúpos csigánál

A 1. ábrán látható, hogy az állandó axiális menetemelkedés biztosítása érdekében a kúpos csiga hosszmenti átmérőváltozása miatt változik a  $\gamma_0$  osztóköri emelkedési szög.

Egy új készürelési eljárással a tengelytáv változtatás függvényében a csiga menethossza mentén folyamatosan változtatjuk a készürelőkorong  $\pm B_2$  bedöntési szög korrekció értékét.

A korongot a  $\gamma_{0opt}$  emelkedési szögnek megfelelően döntjük be megmunkáláskor. A menetemelkedési hiba kiküszöbölése érdekében  $\gamma_{0opt} \pm B_2$  osztóköri emelkedési szög korrekciót végzünk a megmunkálás során (2. ábra).

\*főiskolai adjunktus, PhD hallgató, \*\*professzor emeritus

\* \*\*Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék

\* \*\*Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológiai Tanszék

Célunk a kúpos csavarfelület pontos köszörülésének kidolgozása.

### 3. KÚPOS CSAVARFELÜLET BEFEJEZŐ MEGMUNKÁLÁSÁHOZ SZÜKSÉGES KOORDINÁTA RENDSZEREK FELVÉTELE

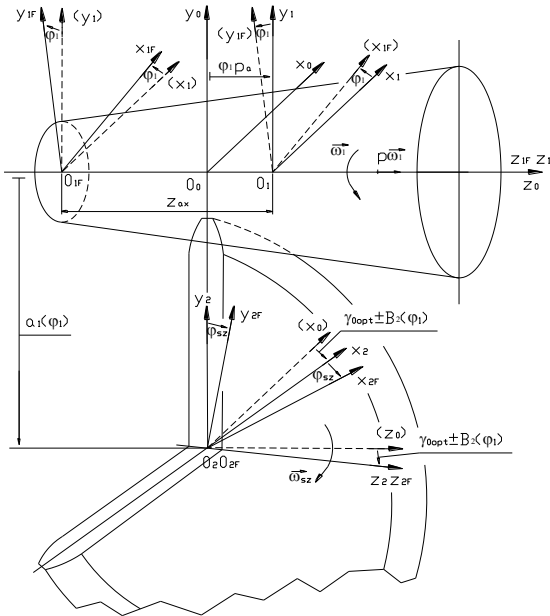
A megmunkálás mozgásviszonyait az 2. ábrán szemléltetett koordináta rendszerek és egymáshoz viszonyított helyzetük segítségével írhatjuk le.

A csiga legnagyobb osztókörátmérőnél lévő  $a_0$  tengelytávhoz állítjuk be a korongot a megmunkálás kezdetekor (3. ábra), azaz:

$$a_0 = \frac{d_{a\max}}{2} - \frac{h_w}{\cos \delta_1} + \frac{d_{akorong}}{2} \quad (1)$$

A  $\varphi_1$  szögelfordulás (burkolási paraméter) függvényében, ahogy halad a korong a kúpos csiga hossza mentén folyamatosan változik az  $a_1$  adott helyen lévő tengelytáv:

$$a_1 = a_0 - p_r \cdot \varphi_1 \quad (2)$$



2. ábra Koordináta rendszerek kúpos fej- és lábfelületekkel határolt csavarfelületek megmunkálásánál

Az fejkörátmérő egy tetszőleges helyen (1. és 4. ábra):

$$d_a = \frac{H}{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma_0} + 2 \cdot h_a \quad (3)$$

Egy tetszőleges osztókörátmérőhöz tartozó tengelytáv:

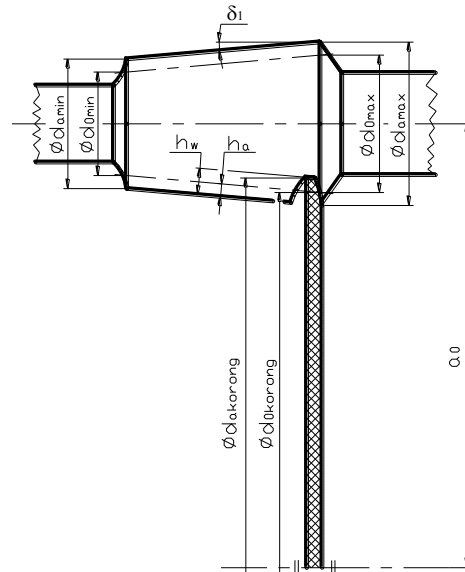
$$a_1 = \frac{d_a}{2} - \frac{h_w}{\cos \delta_1} + \frac{d_{akorong}}{2} \quad (4)$$

Behelyettesítve (2), (3)-t (4)-be:

$$a_0 - p_r \cdot \varphi_1 = \frac{\frac{H}{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma_0} + 2 \cdot h_a}{2} - \frac{h_w}{\cos \delta_1} + \frac{d_{akorong}}{2} \quad (5)$$

Kifejezve  $\gamma_0$ -t:

$$\gamma_0 = \gamma_{0opt} \pm B_2 = \arctan \left( \frac{H}{2 \cdot \pi \cdot \left[ a_0 - p_r \cdot \varphi_1 + \frac{h_w}{\cos \delta_1} - \frac{d_{akorong}}{2} \right] - h_a} \right) \quad (6)$$



3. ábra Az  $a_0$  kezdeti tengelytáv meghatározása

Az (6) kifejezésben a  $\varphi_1$  a változó, melynek függvényében bármely pontban számítható a  $\gamma_0$  osztóköri emelkedési szög a csiga menethossza mentén.

A (6)-nak megfelelően folyamatosan számítjuk a  $\gamma_0$  osztóköri emelkedési szöget és ezek alapján a  $B_2$  szöghorrekciót a csiga menethossza mentén, az alábbi módon:

- ha  $\gamma_{0opt} > \gamma_0$ , akkor:

$$-B_2 = \gamma_0 - \gamma_{0opt} \quad (7)$$

- ha  $\gamma_{0opt} < \gamma_0$ , akkor:

$$+B_2 = \gamma_0 - \gamma_{0opt} \quad (8)$$

### 3. ADOTT CSAVARFELÜLET MEGMUNKÁLÁSÁHOZ SZÜKSÉGES SZERSZÁM TERVEZÉSE

A koordináta rendszerek közötti transzformációs mátrixok ismeretében módunkban áll a  $K_{1F}$  koordináta rendszerben adott általános ponthoz, amelyet megadhatunk az

$$\vec{r}_{1F} = \vec{r}_{1F}(\eta, \vartheta) \quad (9)$$

kétparaméteres alakban, felületi pontként is, bármely másik koordináta rendszerben meghatározni a helyvektort [2].

Amennyiben a  $K_{1F}$  koordináta rendszerben adott  $\vec{r}_{1F} = \vec{r}_{1F}(\eta, \vartheta)$  felülettel kapcsolódó  $K_{2F}$  – hez kötött felületet keressük, kihasználhatjuk, hogy a két felület mozgása során egymást kölcsönösen burkolja, s figyelembe véve a

$$\varphi_{sz} = i_{sz1} \cdot \varphi_1 \quad (10)$$

ahol:

$$i_{sz1} = \frac{d_{a\min} - 2 \cdot \frac{h_a}{\cos \delta_1} + p_r \cdot \varphi_1}{d_{akorong} - 2 \cdot \frac{h_w - h_a}{\cos \delta_1}} \quad (11)$$

összefüggést, mondhatjuk, hogy a burkolás egy mozgásparaméterrel ( $\varphi_1$ ) leírható.

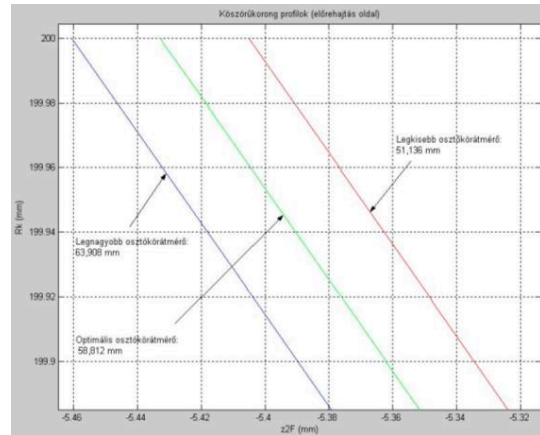
A relatív sebességvektor és a felületi normális ismeretében [2] a kapcsolódó tagok fogfelületein, mint egymást kölcsönösen burkoló felületeken lévő érintkezési vonal, a kapcsolódás I. törvényét kifejező

$$\vec{n}_{1F} \cdot \vec{v}_{1F}^{(12)} = \vec{n}_{2F} \cdot \vec{v}_{2F}^{(12)} = \vec{n} \cdot \vec{v}^{(12)} = 0 \quad (12)$$

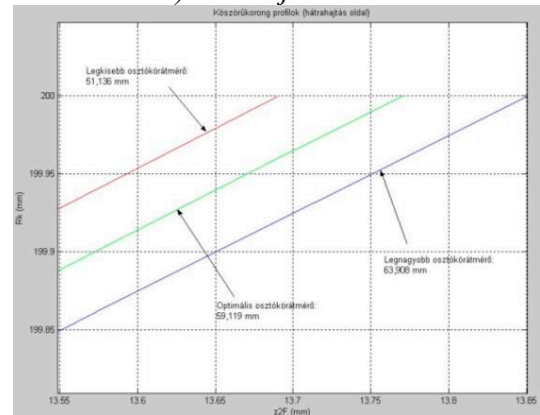
kapcsolódási egyenlet és a fogfelületet leíró vektor-skalár függvény egyidejű megoldásával határozható meg [2].

### 4. TENGYELMETSZETBEN KÖRÍV PROFILÚ KÚPOS CSIGA GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

Az ismertett kinematikai módszer alkalmazásával kúpos csiga befejező megmunkálását valósítottuk meg változó tengelytáv és korongbedöntési szög korrekció nélküli (4. ábra) és változó korongbedöntési szög korrekció esetekben (5. ábra, 1., 2. táblázat) ( $m_{ax}=5$  mm,  $d_{akorong}=400$  mm).



a) előrehajtás oldal



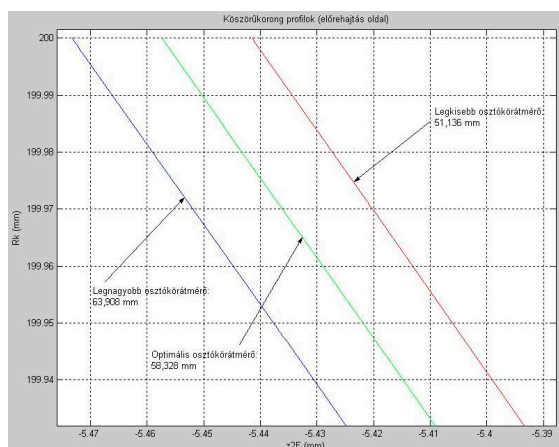
b) hátrahajtás oldal

4. ábra A tengelymetszetben körív profilú kúpos csiga köszörüléséhez szükséges korong profilok változó tengelytáv és korongbedöntési szög korrekció nélküli esetben

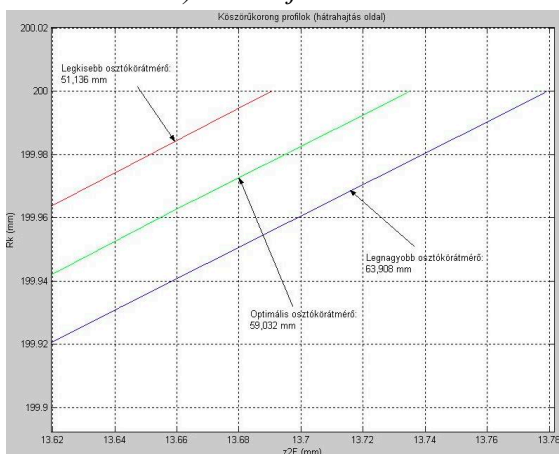
1. táblázat: Előrehajtás oldal		
$d_{0opte}=58,328$ mm, $\varphi_{1opte}=730,9^\circ$ , $\gamma_{0opte}=4,8995^\circ$		
Szögelfordulás $\varphi_1$ [°]	Tengelytáv $a_1$ [mm]	Emelkedési szög korrekció $B_2$ [°]
0	225,6420	-0,4233
180	224,9549	-0,3253
360	224,2678	-0,2229
540	223,5806	-0,1158
720	222,8936	-0,0037
$\varphi_{1opte}=730,9$	222,8520	0
900	222,2065	+0,1137
1080	221,5194	+0,2369
1260	220,8323	+0,3663
1440	220,1452	+0,5023
1583,2	219,5986	+0,6157

2. táblázat: Hátrahajtás oldal		
$d_{0opth}=59,032$ mm, $\varphi_{1opth}=600,962^\circ$ , $\gamma_{0opth}=4,841^\circ$		
Szögelfordulás $\varphi_1$ [°]	Tengelytáv $a_1$ [mm]	Emelkedési szög korrekció $B_2$ [°]
0	225,6420	-0,3648
180	224,9549	-0,2668
360	224,2678	-0,1644
540	223,5807	-0,0573
$\varphi_{1opth}=600,962$	223,3480	0
720	222,8936	0,0548
900	222,2065	0,1722
1080	221,5194	0,2954
1260	220,8323	0,4248
1440	220,1452	0,5608
1583,2	219,5986	0,6742



a) előrehajtás oldal



b) hátrahajtás oldal

5. ábra A tengelymetszetben körív profilú kúpos csiga köszörüléséhez szükséges korong profilok változó tengelytáv és változó korongbedöntési szög korrekció esetén

Előrehajtás oldal esetén a 4.a., és az 5.a. ábrák összehasonlításakor megállapítható, hogy a 4.a. ábrán korongbedöntési szög korrekció nélküli esetben a csiga legkisebb- és legnagyobb osztókörátmérőnél számított korongprofilok között 0,055 mm legnagyobb eltérés van. Ezzel szemben az 5.a. ábrán a változó korongbedöntési szög korrekció esetén a csiga legkisebb- és legnagyobb osztókörátmérőnél számított korongprofilok között 0,031 mm legnagyobb eltérés van. Az előrehajtás oldali optimális osztókörátmérőkhöz tartozó korongprofilokat megszerkesztve a két korongprofil közötti eltérés 0,024 mm.

Hátrahajtás oldal esetén a 4.b., és az 5.b. ábrák összehasonlításakor megállapítható, hogy a 4.b. ábrán korongbedöntési szög korrekció nélküli esetben a csiga legkisebb- és legnagyobb osztókörátmérőnél számított korongprofilok között 0,160 mm legnagyobb eltérés van. Ezzel szemben az 5.b. ábrán a változó korongbedöntési

szög korrekció esetén a csiga legkisebb- és legnagyobb osztókörátmérőnél számított korongprofilok között 0,088 mm legnagyobb eltérés van. A hátrahajtás oldali optimális osztókörátmérőkhöz tartozó korongprofilokat megszerkesztve a két korongprofil közötti eltérés 0,036 mm.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A változó tengelytáv és változó korongbedöntési szög korrekció egyidejű alkalmazása esetén az előre- és hátrahajtás oldali korongprofilok szóródásai a csiga legkisebb és legnagyobb osztókörátmérőinél számított korongprofilok között szűkebb tartományon belüliek (5. ábra), mint korongbedöntési szög korrekció nélküli esetben (4. ábra). Ebből adódóan a Dudás féle optimális szerszámprofil meghatározási módszerrel és a változó korongbedöntési szög korrekció alkalmazásával pontosabb szerszámprofilot kapunk, mint a korongbedöntési szög korrekció nélküli esetben.

A tengelymetszetben körív profilú kúpos csigahajtómű gyártása a DiFiCAD Mérnökiroda Kft.-nél (Miskolc, Szentpéteri kapu 5-7.) valósult meg. Ügyvezető igazgató: Dr. Dudás Illés.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A cikkben/előadásban ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

## IRODALOM

- [1] BÁNYAI, K., DUDÁS, I.: *Analysis of the spiroid drivings having new production geometry*, Production Process and Systems, A Publication of the University of Miskolc, Volume I., Miskolc University Press, 2002, pp. 177 – 184. (HU ISSN 1215 - 0851)
- [2] DUDÁS, I.: *Csigahajtások elmélete és gyártása*, Műszaki Könyvkiadó Kft., 2007., p. 334., ISBN 978-963-16-6047-0
- [3] DUDÁS I., BODZÁS S., DUDÁS I. SZ., MÁNDY Z.: *Konkáv menetprofilú spiroid csigahajtópár és eljárás annak köszörüléssel történő előállítására*, Szabadalmi iktatószám: P1200405, Szabadalmi bejelentés napja: 2012.07.04.
- [4] DUDÁS, I.: *Számjegyzérlésű köszörűkorong-profilozó berendezés, és eljárás annak szakaszos, illetve köszörülés közbeni folyamatos vezérlésére*. Találmány lajstromszáma: 207 963, 1988. 09. 21. (OTH)



# LÉZERSUGARAS FÉM-POLIMER HIBRID KÖTÉS, MINT ÚJ LEHETŐSÉG A KÖTÉSTECHNIKÁBAN

## NEW OPPORTUNITY IN JOINING TECHNOLOGY: THE LASER ASSISTED METAL-PLASTIC HYBRID JOINING

Bauernhuber Andor, \*Markovits Tamás\*\*

### ABSTRACT

The increase in the amount of plastics in our devices requires their joining with the henceforward essential metals. Thus, low-weight hybrid parts can be manufactured, which can simultaneously combine the benefits of different materials. In the course of this study, the authors joined PMMA plastic and steel in a pin to plate geometry by pulsed Nd:YAG laser. Tensile tests were carried out to investigate the effects of heating time, the laser settings, the surface roughness and the clamping force on the joining strength. Experimental results showed that the joining is feasible and using adequate settings the strength can be maximised.

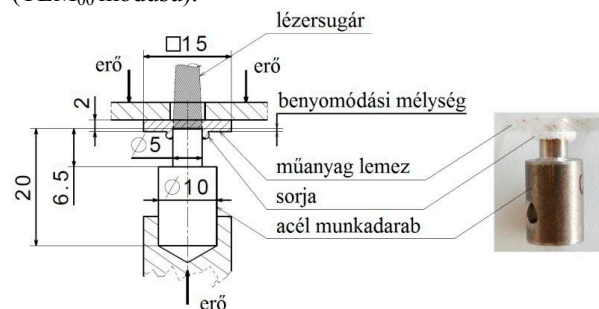
### 1. BEVEZETÉS

Az utóbbi évtizedben a tervezés és gyártás területén új szempontok kerültek előtérbe, mint a fenntarthatóság, környezetvédelem, és az ezekkel összefüggő tömegcsökkentés. Az említett elveknek az újabb konstrukciós megoldások mellett új, kis sűrűségű anyagok felhasználásával tudunk eleget tenni. Innen fakad a műanyagok bővülő alkalmazása, hiszen a tömegre vetített nagy szilárdság, a jó alakíthatóság, a kémiai ellenálló képesség és a jó elektromos- és hőszigetelő képesség olyan tulajdonságok, amelyekkel a műanyagok eleget tesznek az új elvárásoknak [1]. Mindemellett továbbra sem tudjuk nélkülözni a fémeket a szerkezeteink többségéből, ezért egyre gyakrabban kell műanyag és fém alkatrészek kötéséről gondoskodni. Így olyan alkatrészek készíthetők, ahol mindkét szerkezeti anyag előnyei egyidejűleg kerülhetnek előtérbe. Fémek és műanyagok kötésére számos megoldás fejlődött ki, de valamennyinek vannak hátrányai [2, 3]. Így pl. a mechanikai kötőelemek alkalmazása káros feszültségcsúcsot okozhat és nehezen automatizálható, míg a ragasztás adott esetben a ragasztó kikeményedése miatt lassú folyamat, a kötés hőállósága általában alacsony és a kipárolgó oldószerek veszélyesek lehetnek az egészségre is [4].

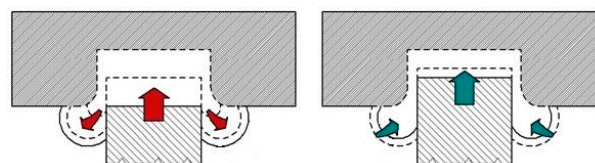
Kutatásunk célja egy olyan új, lézERSUGARAS hibrid kötéstechnológia kifejlesztése, ami a már létező technológiáknak versenytársa lehet, és kiküszöböli azok hátrányait. Cikkünkben bemutatjuk az új kötést és megvizsgáljuk a kötés létrejöttét és minőségét befolyásoló tényezőket, így pl. a hevítési idő, összeszorító erő, lézerteljesítmény és a felületi érdesség hatását.

### 2. KÍSÉRLETEK

A kutatás során acélsapokat kötöttünk össze műanyag lemezzel. Az acél anyag S235-ös szerkezeti acél, míg a műanyag poli(metil-metakrilát), vagyis plexi volt (Acriplex PMMA-XT). Az acélsap és a PMMA lemez geometriája, a kötés és a kísérleti összeállítás vázlatja, valamint a kész kötés és az 1. ábrán látható. Az acélsap átmérője 5 mm, a PMMA lemez vastagsága 2 mm, ill. 5 mm. Az alkalmazott lézERSUGAR-forrás LASAG SLS 200 típusú impulzusüzemű Nd:YAG szilárdtest lézer, a teljesítmény-eloszlás Gauss jellegű (TEM<sub>00</sub> módusú).



1. ábra. Kísérleti összeállítás és a kész kötés



2. ábra. A kötés kialakulása és a sorjaképződés

A mintát a műanyaglemez felől sugároztuk be a lézERSUGARRAL. A műanyag a lézERSUGAR hullámhosszán 90%-os áteresztőképességgel rendelkezik, ezért a

\* Tanársegéd, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárművek és Járműgyártás Tanszék  
e-mail: [bauernhuber@kgtt.bme.hu](mailto:bauernhuber@kgtt.bme.hu)

\*\* Egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárművek és Járműgyártás Tanszék

sugárzás a műanyagban áthaladva a fém felületén nyelődik el, és közvetlenül a fémot hevíti [5]. Az acél hevülése során a hő egy részét átadja a PMMA anyagnak, így a műanyagot közvetve hevítjük. A műanyag a hőmérséklet növekedésével lágyul és viszkózusan folyós állapotba kerül, ezért az acélcsap az alkalmazott nyomóerő miatt a műanyagba süllyed. Eközben a csap homlokfelülete előtt újabb és újabb anyagréteg hevül fel, ami a lágyulás után a csap palástja mentén, hátrafelé távozik, és a műanyag belépő felületén a csap körül sorját képezi. Az anyagok gyors lehűlése után, ami mindössze néhány másodpercet vesz igénybe, létrejön a kötés. A kötés kialakulásának lépéseit és a sorjaképződést a 2. ábra szemlélteti. A kísérletek során alapesetben használt beállítások: a nyomóerő értéke 3,2 N, az átlagos felületi érdesség  $0,5 \div 1,5 \mu\text{m}$ , a lézeres beállítások értékei pedig a következők voltak:  $f=100 \text{ Hz}$ ,  $t_p=0,5 \text{ ms}$ ,  $E_p=2 \text{ J}$ , ahol  $f$  az impulzusfrekvencia,  $t_p$  az impulzusidő és  $E_p$  az impulzusenergia.

A hevítési idő hatásának vizsgálatok a hevítési időt  $t_h=2 \text{ s}$  és  $t_h=11 \text{ s}$  közt módosítottuk.

A nyomóerő hatásának vizsgálatok az alkalmazott erőértékek  $F_{ny}=3,2 \text{ N}$ ,  $6 \text{ N}$ ,  $9,2 \text{ N}$  voltak.

A lemeztavastagság hatását  $2 \text{ mm}$ ,  $3 \text{ mm}$ ,  $4 \text{ mm}$  és  $5 \text{ mm}$  vastag PMMA lemezek alkalmazásával vizsgáltuk.

A lézerteljesítmény hatásának vizsgálatok az átlagteljesítményt a frekvenciaérték módosításával szabályoztuk, a frekvencia  $60 \text{ Hz}$  és  $100 \text{ Hz}$ , a teljesítmény  $P_a=120 \text{ W}$  és  $P_a=200 \text{ W}$  közt változott, a hevítési idő  $t_h=4 \text{ s}$  volt.

A felületi érdesség hatásának vizsgálatok az érdesség értékét  $R_a=0,5 \mu\text{m}$  és  $R_a=10 \mu\text{m}$  közt változtattuk, a hevítési idő  $t_h=6 \text{ s}$  volt.

Minden esetben  $4,75 \text{ l/perc}$  mennyiségű argon védőgázt használtunk.

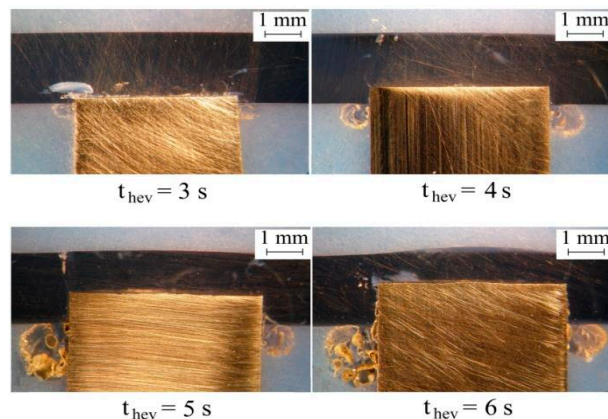
A kötőerő meghatározásához a mintákat elszakítottuk, az acélcsapot kitéptük a műanyaglemezről. A kötésiértékesítés és a szakítás közt  $24 \text{ óra}$  telt el.

### 3. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

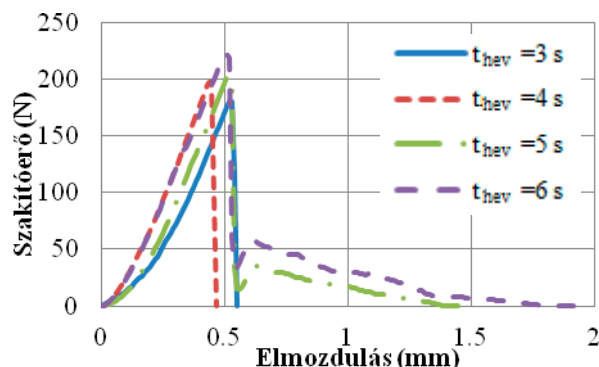
#### 3.1. A hevítési idő, a nyomóerő és a lemeztavastagság hatása

Elsőként a hevítési idő és a nyomóerő hatását vizsgáltuk a benyomódásra és a szakítóerőre. A különböző lemeztavastagságoknál alkalmazott hevítési idő minimális értéke általában  $t_h=3 \text{ s}$ , mert ennél rövidebb ideig történő hevítéskor a műanyag nem éri el a lágyuláshoz szükséges hőmérsékletet, míg az időmaximum a lemeztavastagságtól függ: a felső határ, aminél a nyomóerő hatására a csap a lemezt még éppen nem lyukasztja át. Ez  $2 \text{ mm}$ -es lemeznél  $t_h=7 \text{ s}$ , míg  $5 \text{ mm}$ -es lemeznél  $t_h=11 \text{ s}$ . Megfelelő hevítési idő megválasztásával elérhető, hogy a PMMA lemez felszíne nem deformálódik, így olyan kötés hozható létre, ahol a felület nem sérül, és nem is változtatja meg alakját. A 3. ábrán a kötések metszeteit, a 4. ábrán a

kötések szakítódiagramjait mutatjuk be. Látható a benyomódás változásából adódó eltérés a szakítódiagramokban. Rövid hevítési idők esetén ( $t_h=3 \div 4 \text{ s}$ ) az erő a maximum elérése után azonnal a 0 értékre esik vissza. Ebben az esetben csak a csap homlokfelülete vesz részt a kötésben. Ezzel szemben a hosszabb hevítési idők esetén ( $t_h=4 \div 7 \text{ s}$ ) a csap palástfelületének szerepe megnövekszik. Ekkor szakításkor az erő nem esik azonnal nullára, hanem van egy második, kisebb maximumérték is, amely valószínűleg a műanyag zsugorodásából és a felületen található érdességi csúcsok alakzárásából adódik. Ebben az esetben az erő fokozatosan csökken, ahogy a csapot az általa létrehozott üregből kihúzzuk, végül 0 értékre csökken.



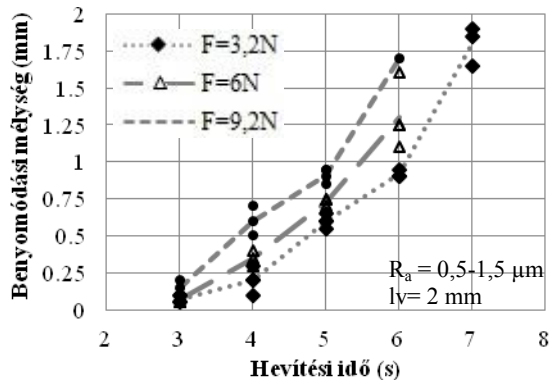
3. ábra. A kötések keresztmetszete különböző hevítési idők esetén,  $2 \text{ mm}$  vastag lemez esetén



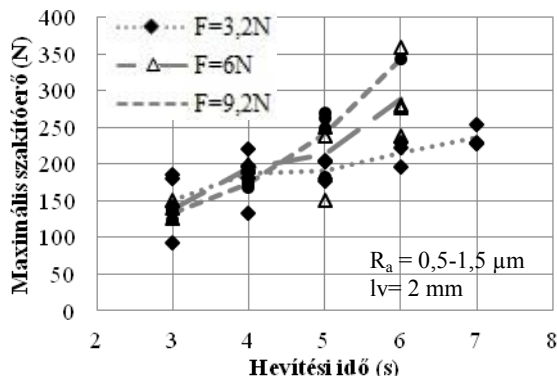
4. ábra. Eltérő hevítési idővel készült kötések szakítódiagramjai

Az 5. és 6. ábrán a hevítési idő és a nyomóerő hatását láthatjuk a benyomódásra és a maximális szakítóerőre. Ahogy azt a keresztmetszeti képekből is láthattuk, a növekvő hevítési idővel a benyomódás is nő, méghozzá gyorsuló ütemben (5. ábra). A várakozásoknak megfelelően a nagyobb nyomóerő azonos hevítési idő esetén nagyobb benyomódást hoz létre, azonban ezekben az esetekben  $t_h=7 \text{ s}$  hevítési idő alkalmazásakor a műanyag már átszakad. A maximális szakítóerő szintén növekszik a hevítési idő növelésével, de nem a benyomódással egyenesen arányosan. Látható, hogy  $F_{ny}=3,2 \text{ N}$  esetén a benyomódás a hevítési idővel gyorsuló ütemben nő, míg a maximális szakítóerő értéke

nő ugyan, de inkább degresszív módon. Feltűnő különbség továbbá, hogy a különböző nyomóerők az eltérő benyomódás ellenére is csak  $t_h=5$  s és ennél magasabb hevítési idők esetén okoznak eltérést a maximális szakítóerőben. Elmondható tehát, hogy a benyomódás és a szakítóerő egymással nem egyenesen arányos érték.

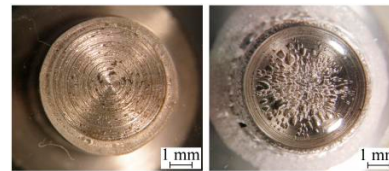


5. ábra. A hevítési idő és a nyomóerő hatása a benyomódásra

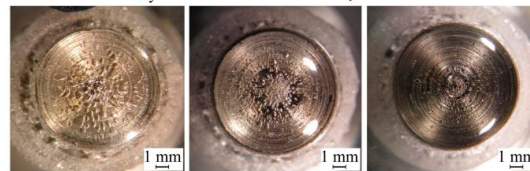


6. ábra. A hevítési idő és a nyomóerő hatása a maximális szakítóerőre

A leírt különbségek a kötést kísérő buborékképződéssel magyarázhatóak. Amikor a műanyag felhevül, a fém felületénél található anyagrészben buborékok jönnek létre, melyek száma és mérete azonos nyomóerő esetén a hevítési idő értékével nő, ill. azonos hevítési idő esetén a nyomóerő növekedésével csökken. A buborékok kialakulását a műanyag összetevőinek bomlása okozhatja a hevítés, ill. a lokális túlhevülés során, de a pontos okok még nem ismertek [6]. A leírt buborékok a két anyag határán anyagfolytonossági hibát jelentenek, és a kötést gyengítik. Ennek köszönhető, hogy nagyobb benyomódás esetén a szakítóerő kisebb, mint várnánk, hiszen a hosszabb hevítési idő alatt több és nagyobb méretű buborék fejlődik. A nyomóerőnek is csak akkor nő meg a szerepe, amikor a buborékképződés már intenzív, és azt a nyomóerő hatékonyan tudja csökkenteni, növelve ezzel a szakítóerőt. A hevítési idő és a nyomóerő hatását a buborékképződésre a 7. ábra mutatja be.



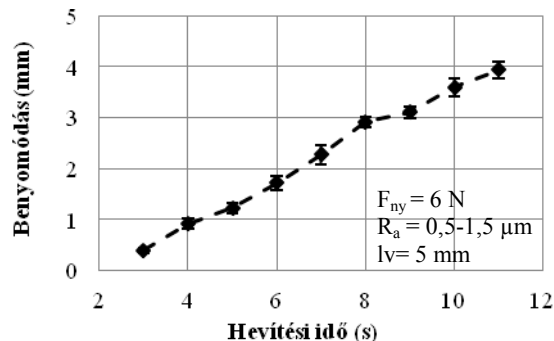
$t_{hev} = 3s, F_{ny} = 3,2N$        $t_{hev} = 7s, F_{ny} = 3,2N$



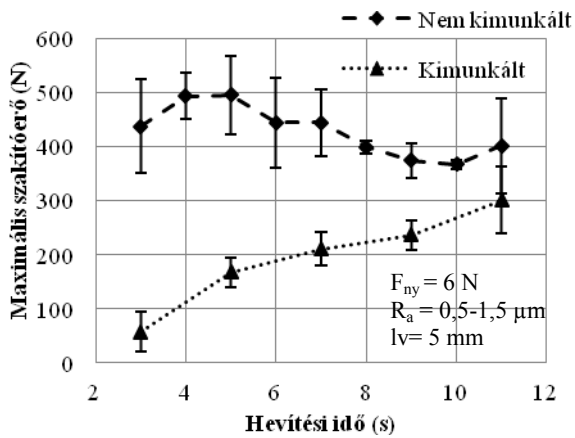
$t_{hev} = 6s, F_{ny} = 3,2N$        $t_{hev} = 6s, F_{ny} = 6N$        $t_{hev} = 6s, F_{ny} = 9,2N$

7. ábra. A hevítési idő valamint a nyomóerő hatása a buborékképződésre

A buborékok kötést gyengítő hatását a nagyobb benyomódás és az ebből adódó nagyobb kötési felület csak egy ideig tudja kompenzálni, így adott hevítési idő után a benyomódás hiába nő, a kötés szilárdsága csökken, a szakítóerő diagramjában egy maximum jelentkezik. A maximumot 2 mm-es lemezek esetén nem lehet kimutatni, mert a lemez már az optimumot jelentő hevítési idő előtt átszakad. Jól kimutatható viszont 5 mm vastag PMMA lemezek esetén, ahol a lemez nagy hevítési idők mellett ( $t_h=11$  s) sem szakad át. A 8. ábra a benyomódást, míg a 9. ábra a szakítóerőt adja meg a hevítési idő függvényében 5 mm lemezvastagság és  $F_{ny}=6$  N nyomóerő esetén. A  $t_h=3$  s, 5 s, 7 s, 9 s és 11 s hevítési idő mellett készült minták közül 3-3 darabon a csap homlokfelülete feletti anyagrést kimunkáltuk a műanyaglemezről, hogy a palást- és homlokfelület szerepét a kötésben szét tudjuk választani. Ekkor a kötésben csak a csap palástfelülete vett részt. A szakítás utáni eredményekből látható, hogy a buborékok gyengítő hatása elsősorban a homlokfelületen jelentkezik, mert a kimunkált minták esetén a szakítóerő monoton nő, míg a nem kimunkált minták esetén  $t_h=5$  s hevítési időt meghaladva csökkenni kezd. A növekvő szakítóerő a kimunkált minták esetén a palástfelület és a műanyag közt kialakuló kapcsolódási felület növekedésével magyarázható.

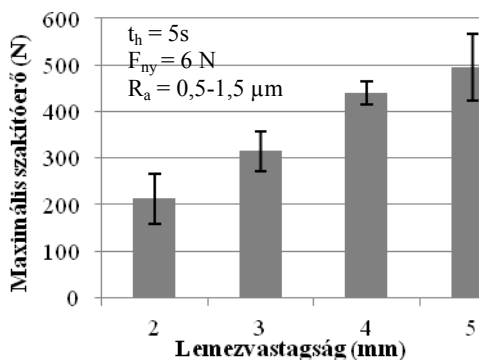


8. ábra. Benyomódás a hevítési idő függvényében, 5 mm vastag PMMA lemez esetén



9. ábra. A szakítóerő alakulása a hevítési idő függvényében, 5 mm vastag PMMA lemez, ill. homlokl felület felett kimunkált, és nem kimunkált, teljes minták esetén

Ha a 6. ábrán és a 9. ábrán megadott szakítóerő értékeit összehasonlítjuk  $F_{ny}=6$  N nyomóerő és tetszőleges hevítési idő mellett, megfigyelhető, hogy nagyobb lemezt vastagság alkalmazásával a szakítóerő növekszik. A jelenség magyarázata, hogy a műanyaglemez merevsége megnő, ha vastagsága nagyobb, ami a szakítás során nagyobb szilárdságot biztosít. A 10. ábrán azonos,  $t_h = 5$  s hevítési idő és  $F_{ny}=6$  N nyomóerő mellett, de eltérő vastagságú műanyaglemezrel készült kötések szakítóerő-átlagai láthatók, ahol jól megfigyelhető a nagyobb lemezt vastagság kötészilárdság növelő hatása.

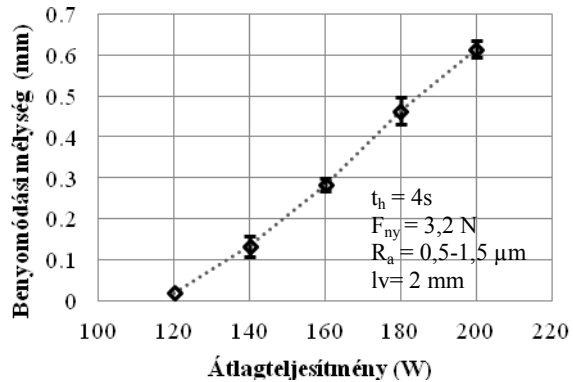


10. ábra A lemezt vastagság hatása a szakítóerőre

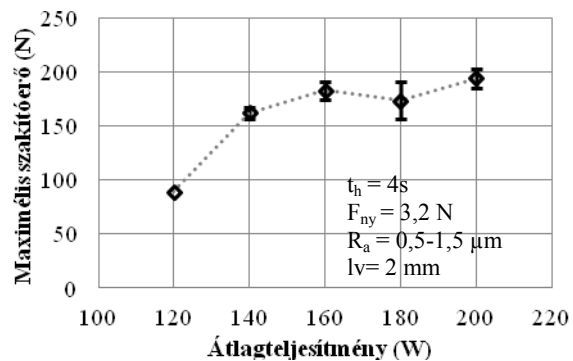
### 3.2. A lézerteljesítmény hatása

A 11. és a 12. ábrán az átlagos lézerteljesítmény hatását látjuk a benyomódásra és a maximális szakítóerőre, 2 mm vastag PMMA lemez és  $t_h=4$  s hevítési idő esetén. A teljesítményt az impulzusfrekvencia változtatásával szabályoztuk, míg az impulzusteljesítmény, az impulzusidő, és így az impulzusenergia is állandó maradt. Hasonló tendenciát figyelhetünk meg, mint a hevítési idő hatásának vizsgálata esetén: a növekvő átlagteljesítmény a

benyomódást és a szakítóerőt is növeli, a benyomódást közel egyenesen arányosan, míg a szakítóerőt csökkenő meredekséggel. Az eltérés magyarázata itt is a buborékokban keresendő: hiába hoz létre a nagyobb teljesítmény nagyobb benyomódást és növekvő kapcsolódási felületet, mert a növekvő hőmérséklet által okozott egyre intenzívebb buborékképződés a benyomódás hatását tompítja, lerontja.



11. ábra. Az átlagos lézerteljesítmény hatása a benyomódásra

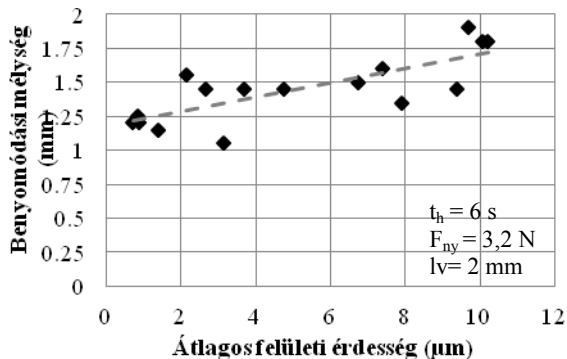


12. ábra. Az átlagos lézerteljesítmény hatása a legnagyobb szakítóerőre

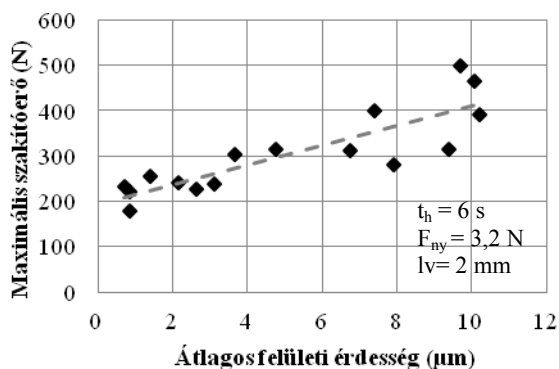
### 3.3. Az érdesség hatása

A 13. ábrán a felületi érdesség hatását mutatjuk be a benyomódásra és a 14. ábrán pedig a maximális szakítóerőre. A hevítési idő  $t_h=6$  s volt, hogy megfelelően mély benyomódást érzünk el, és a palástfelület is részt tudjon venni a kötésben. Látható, hogy a felületi érdesség növelésével nő a benyomódás és a szakítóerő is; a szakítóerő értéke  $R_a=1$   $\mu\text{m}$  helyett  $R_a=10$   $\mu\text{m}$  érdesség alkalmazása esetén 200 N-ról 400 N-ra, a kétszeresére nőtt. A növekvő benyomódás oka, hogy a nagyobb érdességű homlokl felület a lézert sugarat jobb hatásokkal nyeli el, így azonos hevítési idő esetén is jobban felhevül az acél és nő a benyomódás. A növekvő szakítóerő oka egyrészt a nagyobb benyomódásból adódó nagyobb kontaktfelület, másrészt pedig a mélyebb barázdák a palástfelületen. A

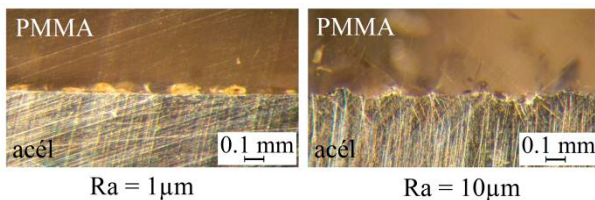
meglágyult műanyag felveszi a fémcsap alakját, az érdességi csúcsokat körbefolyja, így alakzárás jön létre a palástfelületen. Minél nagyobb az érdesség, vagyis a csúcsok mérete, annál erősebb az alakzáró hatás. A kötések metszetét  $Ra=1\ \mu\text{m}$  és  $Ra=10\ \mu\text{m}$  érdesség esetén a 15. ábra mutatja be.



13. ábra. Az átlagos érdesség hatása a benyomódásra



14. ábra. Az átlagos érdesség hatása a szakítóerőre



15. ábra. A kötések keresztmetszete eltérő érdességek mellett

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkben bemutatásra kerültek a főbb tényezők hatásai a kötés jellemzőire, úgy mint a benyomódás és a maximális szakítóerő, és leírtuk a kötést kísérő buborékosodás jelenségét, és annak hatását a kötés szilárdságára. Az eredményeinkből az alábbi következtetések vonhatók le:

- A lézerrel segített kötés acél és PMMA műanyag között létrehozható;
- A hevítési idő és az átlagteljesítmény növelésével a benyomódás és a maximális szakítóerő növelhető, de csak egy adott értékig,

további hevítési időnövelés a szakítóerőt csökkenti;

- A kötés létrejötte során buborékképződés figyelhető meg, melynek intenzitása a hevítési idő és az átlagteljesítmény növelésével nő. A buborékok anyaghibaként gyengítik a létrejött kötést, de a buborékok mennyisége az alkalmazott nyomóerő növelésével csökkenthető. A buborékok kötésgyengítő hatása elsősorban a csap homlokfelületén jelentkezik;
- A lemezzvastagság növelésével a kötés szilárdsága növelhető, mert a lemez merevsége megnő;
- A lézerteljesítmény hatása a hevítési idő hatásához hasonló: a teljesítmény növelésével a benyomódás és a szakítóerő is nő, de a kötésszilárdságot a fokozódó buborékképződés lerontja;
- A szakítóerő a felületi érdesség növelésével hatékonyan javítható, a javuló lézersugár-elnyelő képességgel és az érdességi csúcsok miatt kialakuló alakzárással magyarázható.

#### 5. IRODALOM

- [1] Jens HOLTkamp, Andreas ROESNER, Arnold GILLNER: *Advances in hybrid laser joining*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2010) 47: 923–930
- [2] Andreas ROESNER, Sven SCHEIK, Alexander OLOWINSKY, Arnold GILLNER, Uwe REISGEN, Markus SCHLESER: *Laser Assisted Joining of Plastic Metal Hybrids*, Physics Procedia 12 (2011) 373–380
- [3] Tamás MARKOVITS, Andor BAUERNHUBER, Márton GÉCZY: *Investigating the shape locking phenomenon in case of LAMP joining technology*, Physics Procedia 39 (2012) 100 – 107
- [4] A. FORTUNATO, G. CUCCOLINI, A. ASCARI, L. ORAZI, G. CAMPANA, G. TANI: *Hybrid metal-plastic joining by means of laser*, International Journal of Mater Forming (2010), Vol. 3 Suppl 1:1131 – 1134, Springer-Verlag France 2010
- [5] G. W. EHRENSTEIN: *Handbuch Kunststoff-Verbindungstechnik*, Karl Hanser Verlag, München, 2004
- [6] Seiji KATAYAMA, Yousuke KAWAHITO: *Laser direct joining of metal and plastic*, Scripta Materialia 59 (2008) 1247–125

# A SMITH-PREDIKTOR IDŐTARTOMÁNYBELI VIZSGÁLATA

## ANALYSIS OF THE SMITH PREDICTOR IN TIME DOMAIN

Hajdu Dávid\*, Insperger Tamás\*\*

### ABSTRACT

*Time domain representation of the original Smith Predictor is presented for systems with feedback delays. It is shown that if the parameters in the internal model of the predictor are not equal to the parameters of the real system, then the dimension of the closed loop system is double of the dimension of the open-loop system. Furthermore, it is shown that the original Smith Predictor can stabilize unstable plants for some extremely detuned internal model parameters. Thus the general concept that the Smith Predictor is not capable to stabilize unstable systems is technically not true.*

### 1. BEVEZETÉS

Zárt szabályozási körök stabilitási tulajdonságait jelentősen befolyásolhatja a kimenet és a bemenet megjelenése között eltelt holtidő [1,2]. A visszacsatolási időkézés kompenzálásának egyik leggyakrabban használt módszere a prediktív szabályozás, melynek a lényege az, hogy a szabályozott jellemzők aktuális értékét egy belső modell alapján megbecsüljük, és a szabályozót erre a becült értékre alkalmazzuk. Az egyik leggyakrabban hivatkozott prediktív szabályozó a Smith-prediktor [3]. Ismert, hogy a Smith-prediktort elsősorban stabilis folyamatokra lehet sikeresen használni [4]. Azonban stabilis folyamatok szabályozása esetén is a zárt szabályozási kör stabilitása érzékeny a szabályozó által használt belső modell paramétereinek pontosságára [5]. A Smith-prediktort általában hatásvázlatával illetve átviteli függvényével definiálják. A jelen cikkben megadjuk a Smith-prediktort leíró állapotegyenleteket, és egy egyszerű egyensúlyozási feladaton keresztül szemléltetjük a zárt szabályozási kör paraméterektől való érzékenységét. Megmutatjuk, hogy nagy paraméter eltérések esetén határátmenetben a Smith-prediktor egy PD szabályozóhoz tart, amellyel akár instabil folyamatot is stabilizálhatunk.

### 2. A SMITH-PREDIKTOR LEÍRÁSA FREKVENCIA TARTOMÁNYBAN

A Smith-prediktor blokk diagramja az 1. ábrán látható. A szabályozott szakasz átviteli függvénye  $P(s)$ ,

a szabályozó átviteli függvénye  $C(s)$ , az alapjel  $r$ , a módosított jellemző  $u$ , szabályozott jellemző  $x$  és a tényleges holtidő  $\tau$ . Ha a Smith-prediktor által használt belső modell átviteli függvénye  $\tilde{P}(s)$  és a prediktor által használt holt idő  $\tilde{\tau}$ , akkor a  $d$  zavaró jel és az  $x$  szabályozott jellemző között felírt átviteli függvény a következő alakban adható meg

$$W(s) = \frac{P(s)(1 + C(s)\tilde{P}(s) - C(s)\tilde{P}(s)e^{-\tilde{\tau}s})}{1 + C(s)\tilde{P}(s) - C(s)\tilde{P}(s)e^{-\tilde{\tau}s} + C(s)P(s)e^{-\tau s}}. \quad (1)$$

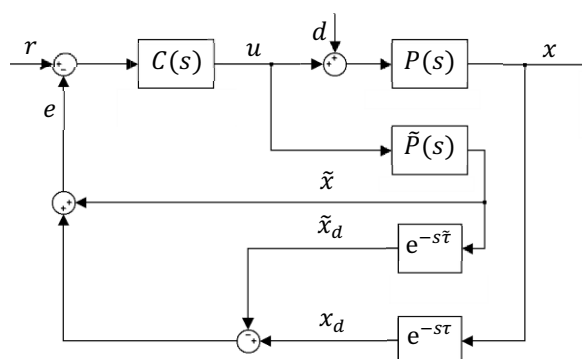
A szabályozott szakasz és a szabályozó átviteli függvényét tört alakban felírva az átviteli függvény az alábbi alakban adható meg

$$P(s) = \frac{B_1(s)}{A_1(s)}, \quad \tilde{P}(s) = \frac{\tilde{B}_1(s)}{\tilde{A}_1(s)}, \quad C(s) = \frac{B_2(s)}{A_2(s)}, \quad (2)$$

↓

$$W(s) = \frac{A_1(s)A_2(s)B_1(s) + B_1(s)\tilde{B}_1(s)B_2(s)(1 - e^{-\tau s})}{A_1(s)A_2(s)\tilde{A}_1(s) + A_1(s)B_2(s)\tilde{B}_1(s)(1 - e^{-\tau s}) + \tilde{A}_1(s)B_1(s)B_2(s)}. \quad (3)$$

Ebből az alakból látható, hogy ha  $\tilde{A}_1(s) = A_1(s)$ , akkor a nyitott rendszer pólusai megjelennek a zárt rendszer pólusai között. Ennek következménye, hogy pontos belső modell esetén a Smith-prediktor csak stabilis folyamatok esetén javasolt [5].



1. ábra A Smith-prediktor blokk diagramja

\* MSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tsz.

\*\* egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tsz.

### 3. A SMITH-PREDIKTOR LEÍRÁSA IDŐTARTOMÁNYBAN

A blokkdiagram alapján a Smith-prediktor állapotegyenlete a következő alakban adható meg

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t), \quad (4)$$

$$\dot{\tilde{\mathbf{x}}}(t) = \tilde{\mathbf{A}}\tilde{\mathbf{x}}(t) + \tilde{\mathbf{B}}\mathbf{u}(t), \quad (5)$$

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{D}(\mathbf{x}(t - \tau) - \tilde{\mathbf{x}}(t - \tilde{\tau}) + \tilde{\mathbf{x}}(t)), \quad (6)$$

ahol  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$  az állapot változók vektora,  $\tilde{\mathbf{x}} \in \mathbb{R}^n$  a Smith-prediktor által becsült állapot változók vektora,  $\mathbf{u} \in \mathbb{R}^m$  a módosított jellemzők vektora,  $\mathbf{A}$  és  $\mathbf{B}$  a rendszer illetve a bemeneti mátrix, míg  $\tilde{\mathbf{A}}$  és  $\tilde{\mathbf{B}}$  a rendszer és a bemeneti mátrixok Smith-prediktor által használt modellje. A  $\mathbf{D}$  mátrix tartalmazza a szabályozó erősítési tényezőit. A (6) egyenletet behelyettesítve a (4) és az (5) egyenletekbe adódik a Smith-prediktort leíró késleltetett differenciálegyenlet rendszer

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{D}(\mathbf{x}(t - \tau) - \tilde{\mathbf{x}}(t - \tilde{\tau}) + \tilde{\mathbf{x}}(t)), \quad (7)$$

$$\dot{\tilde{\mathbf{x}}}(t) = \tilde{\mathbf{A}}\tilde{\mathbf{x}}(t) + \tilde{\mathbf{B}}\mathbf{D}(\mathbf{x}(t - \tau) - \tilde{\mathbf{x}}(t - \tilde{\tau}) + \tilde{\mathbf{x}}(t)). \quad (8)$$

Ideális esetben  $\mathbf{A} = \tilde{\mathbf{A}}$ ,  $\mathbf{B} = \tilde{\mathbf{B}}$  és  $\tau = \tilde{\tau}$ , ekkor  $\mathbf{x}(t) = \tilde{\mathbf{x}}(t)$ , és a rendszer ekvivalens az  $n$ -dimenziós  $\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{D}\mathbf{x}(t)$  rendszerrel. Azonban ha a Smith-prediktor paraméterei nem egyeznek meg a valós rendszer paramétereivel, akkor a rendszert a (7)-(8) differenciálegyenlet-rendszer írja le, amelynek a dimenziója  $2n$ , azaz az eredeti rendszer dimenziójának kétszerese. A rendszer karakterisztikus egyenlete

$$\det \begin{pmatrix} s\mathbf{I} - \mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{D}e^{-\tau s} & -\mathbf{B}\mathbf{D}(1 - e^{-\tilde{\tau} s}) \\ -\tilde{\mathbf{B}}\mathbf{D}e^{-\tilde{\tau} s} & s\mathbf{I} - \tilde{\mathbf{A}} - \tilde{\mathbf{B}}\mathbf{D}(1 - e^{-\tau s}) \end{pmatrix} = 0, \quad (9)$$

melynek gyökei adják a zárt szabályozási kör pólusait. A rendszer stabilitását ezért a (9) egyenlet gyökeinek vizsgálatával határozhatjuk meg.

#### 4. MÁSODRENDŰ RENDSZER VIZSGÁLATA

Reflexkésést tartalmazó egyensúlyozási problémák egyik legegyszerűbb modelljét a következő másodrendű rendszer adja [6]

$$\ddot{\varphi}(t) + a\varphi(t) = -q(t - \tau). \quad (10)$$

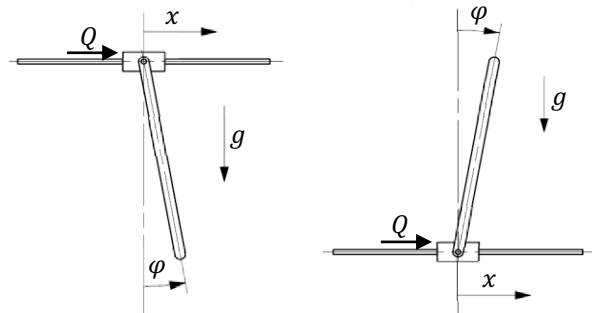
A 2. ábrán látható homogén inga modellek esetén  $\varphi$  jelöli az inga függőlegessel bezárt szögét. Az  $a$  rendszerparaméter hagyományos inga esetén  $a = 6g/l$ , az inverz inga esetén  $a = -6g/l$ , ahol  $l$  az inga hossza,  $g$  pedig a nehézségi gyorsulás. A fajlagos szabályozó

erő  $q(t) = 6Q(t)/(ml)$  alakban adható meg, ahol  $m$  az inga tömege,  $Q(t)$  pedig az aktuális szabályozó erő. Egy PD szabályozó esetén  $q(t) = p\varphi(t) + d\dot{\varphi}(t)$ , ahol  $p$  a propocionális és  $d$  a derivatív erősítési tényező. A megfelelő stabilitási térképeket a 3. ábra mutatja, ahol a stabil paramétertartományokat szürke színnel jelöltük, és az instabil gyökök számát is megadtuk. Ismeretes, hogy ha a holtidő nagyobb egy kritikus értéknél, akkor az instabil rendszer nem stabilizálható. PD szabályozó esetén a kritikus holtidő  $\tau_{krit} = \sqrt{-2/a}$ , ami az inverz inga esetén a  $\tau_{krit} = \sqrt{l/(3g)}$  összefüggést adja [6].

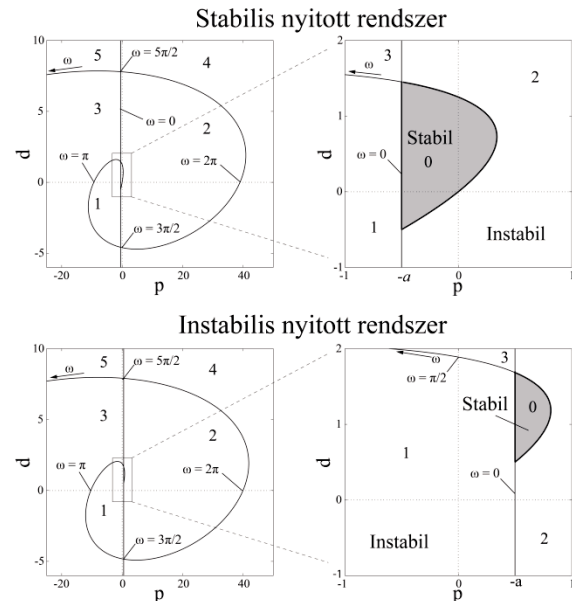
Bevezetve a

$$\mathbf{x}(t) = \begin{pmatrix} \varphi(t) \\ \dot{\varphi}(t) \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

jelölést, a (10) egyenlet átírható a (4) egyenlet alakjára. A Smith-prediktor ezek után a (8)-(9) egyenletekkel vizsgálható. A belső modell által használt paramétereket ( $\tilde{a}$  és  $\tilde{\tau}$ ) hullámmal jelöljük.



2. ábra A hagyományos és az inverz inga

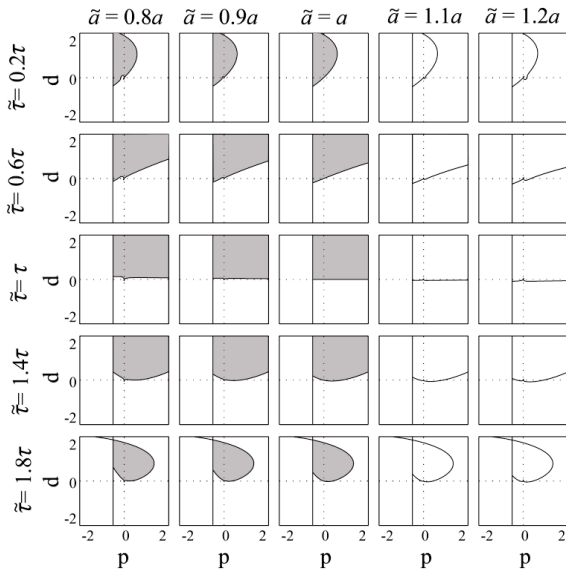


3. ábra PD szabályozóval szabályozott hagyományos inga (fent) és inverz inga (lent) stabilitási térképei  $\tau = 1$  esetén

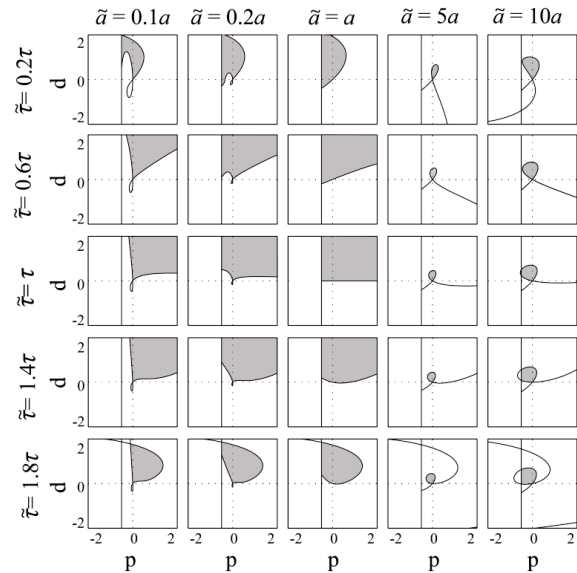
A 4. és az 5. ábra a Smith-prediktorral kompenzált stabilis nyitott rendszer stabilitási térképeit mutatja kis és nagy paraméter eltérések esetén. Látható, hogy az egyes tartományok stabilitása függ attól, hogy a belső rendszerparaméter alulról vagy felülről közelíti a valós értéket. Míg  $\tilde{a} < a$  esetén jól látható a stabil tartomány, addig  $\tilde{a} > a$  esetén majdnem eltűnik. A stabilitási térképek változását  $\tau = \tilde{\tau}$  esetén a 6. ábra mutatja, míg az  $\tilde{a} \rightarrow a$  határátmenet változásai a 7. ábrán láthatók. A 6. ábrán látható, hogy extrém nagy eltérések esetén ( $\tilde{a} = 50a$ ) a stabilis tartomány a késleltetett PD szabályozó stabilis tartományához tart. Ebben az

esetben az  $\tilde{\mathbf{x}}(t - \tilde{\tau})$  az  $\tilde{\mathbf{x}}(t)$  tagok a (7)-es és a (8)-as egyenletekben elhanyagolhatók az  $\mathbf{x}(t)$  taghoz képest. A 4. és az 5. ábrák azt is mutatják, hogy az időkésés modellezésének pontatlanságára (azaz  $\tilde{\tau}$ -ra) a rendszer már kevésbé érzékeny.

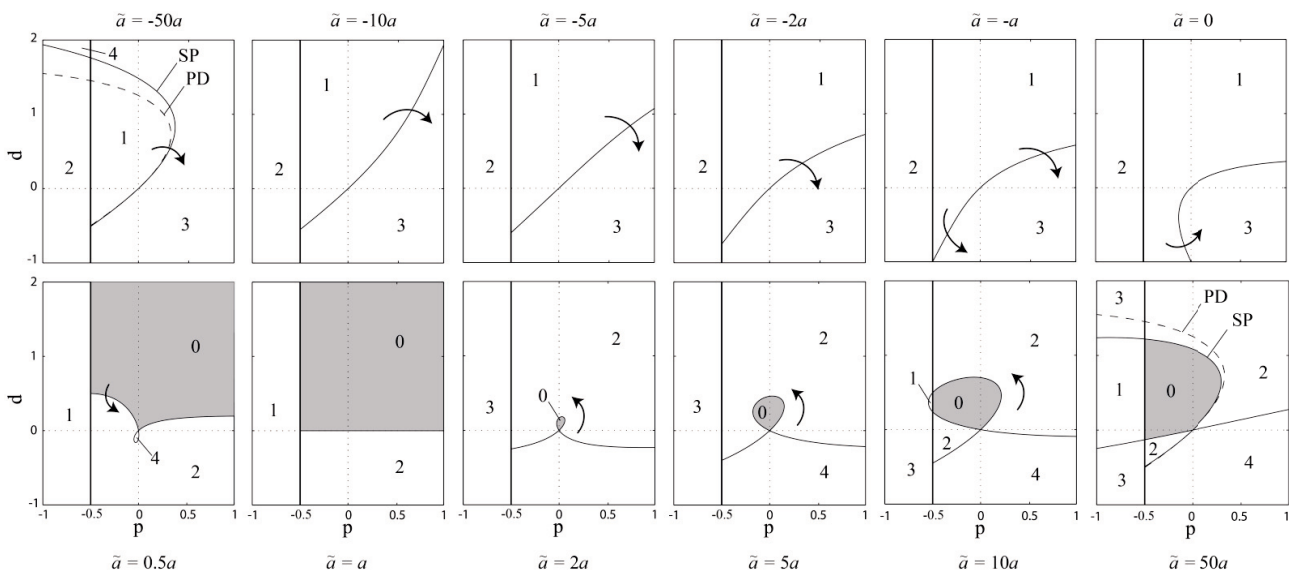
Instabilis nyitott rendszer esetén (inverz inga) a stabilitási térképeket a 8. ábra mutatja. Látható, hogy nagy és ellentétes értelmű paraméter eltérés esetén (pl.  $\tilde{a} = -2a$  vagy  $\tilde{a} = -5a$ ) létezik stabil tartomány. Ebben az esetben a rendszer lényegében PD szabályozóként működik. A 6., 7. és a 8. ábrákon feltüntetett számok az instabil pólusok számát jelölik.



4. ábra Stabilitási térképek kis paraméter eltérések esetén ( $a = 0,5, \tau = 1$ ) - stabilis nyitott rendszer

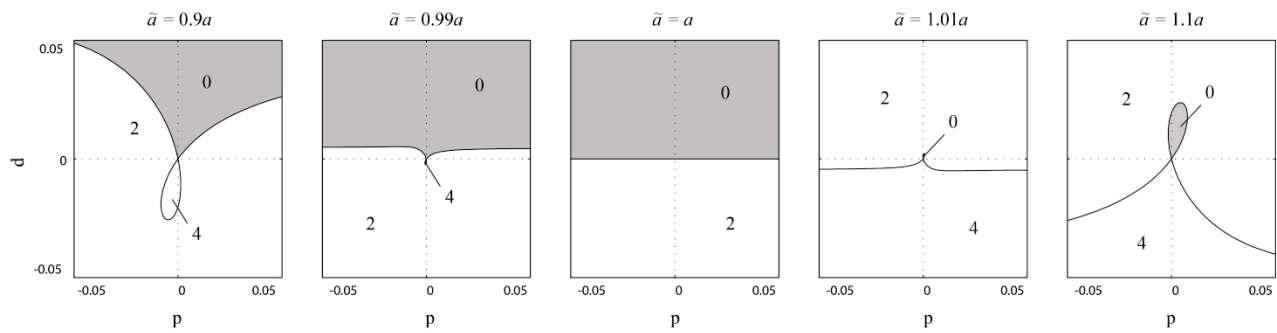


5. ábra Stabilitási térképek nagy paraméter eltérések esetén ( $a = 0,5, \tau = 1$ ) - stabilis nyitott rendszer

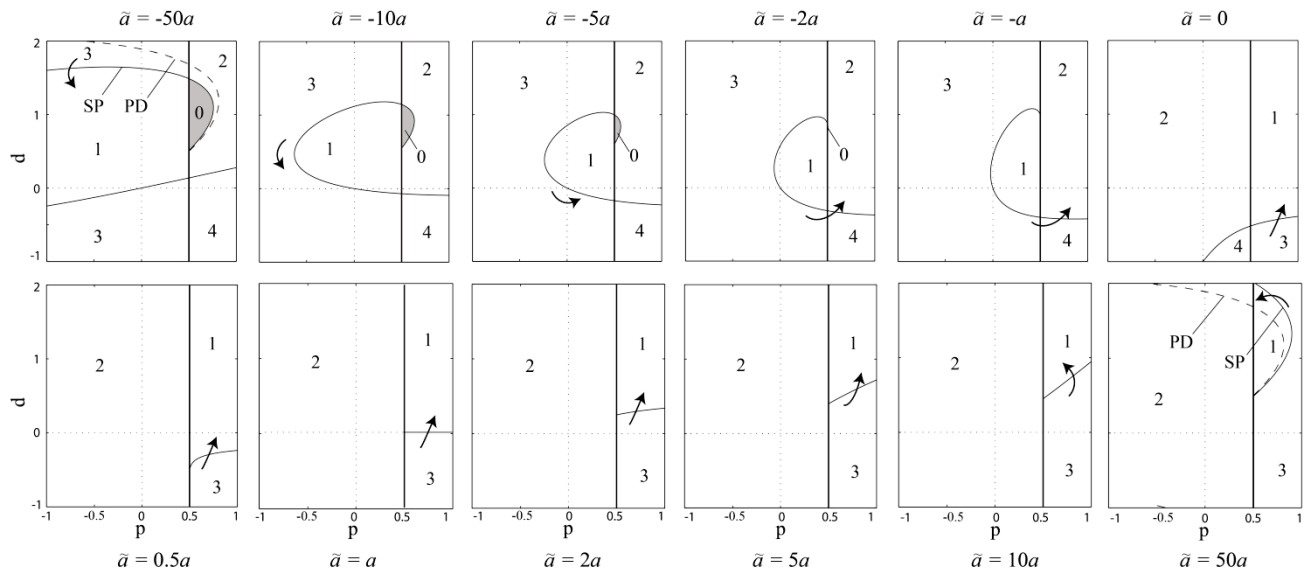


6. ábra Stabilitási térképek változása a rendszerparaméter eltérése esetén ( $a = 0,5, \tau = \tilde{\tau} = 1, PD = PD$  szabályozó  $\tau$  holtidővel;  $SP = Smith$ -prediktor) - stabilis nyitott rendszer





7. ábra Stabilitási térképek változása kis paraméter eltérések esetén ( $a = 0.5$ ,  $\tau = \tilde{\tau} = 1$ ) - stabilis nyitott rendszer



8. ábra Stabilitási térképek változása a rendszerparaméter eltérése esetén ( $a = -0.5$ ,  $\tau = \tilde{\tau} = 1$ , PD = PD szabályozó  $\tau$  holtidővel; SP = Smith-prediktor) - instabilis nyitott rendszer

## 5. ÖSSZEZÉS

A Smith-prediktorral kompenzált rendszer stabilitási tulajdonságait vizsgáltuk egy másodrendű rendszer (inverz inga és hagyományos inga) példáján keresztül. Megmutattuk, hogy a Smith-prediktort leíró állapotegyenletek dimenziója megegyezik a nyitott rendszer méretének kétszeresével. A rendszer stabilitását a karakterisztikus egyenlet vizsgálatával határoztuk meg. Stabilitási térképekkel demonstráltuk, hogy a Smith-prediktor mennyire érzékeny a modell paramétereinek a pontosságára. Megmutattuk, hogy irreálisan nagy és ellentétes értelmű paraméter eltérések esetén a Smith-prediktor alkalmazható instabilis folyamatokra is.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka az OTKA-K105433 jelű projekt részeként az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok támogatásával valósult meg.

## 7. IRODALOM

- [1] LANTOS B.: *Irányítási rendszerek elmélete és tervezése I*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001.
- [2] KEVICZKY L., BARS R., HETTHÉSSY J., BARTA A., BÁNYÁSZ CS.: *Szabályozástechnika*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007.
- [3] SMITH O.J.M.: Closer control of loops with dead time, *Chem. Engrg. Prog.*, Vol. 53, No. 5, (1957), pp. 217-219.
- [4] PALMOR Z. J.: Time-delay compensation: Smith predictor and its modifications. *The Control Handbook*, pp. 224-237, CRC and IEEE Press, 2000.
- [5] MICHIELS W., NICULESCU S.-I.: *Stability and Stabilization of Time Delay Systems - An Eigenvalue Based Approach*, SIAM Publications, Philadelphia, 2007.
- [6] STEPAN G.: Delay effects in the human sensory system during balancing, *Phil. Trans. Roy. Soc. A*, Vol. 367, (2009), pp. 195-1212.

# KALICKÁS INDUKCIÓS MOTOR HIBADIAGNOSZTIZÁLÁSA REZGÉS ÉS MOTORÁRAM ANALÍZIS EGYÜTTES ALKALMAZÁSÁVAL

## FAULT DIAGNOSIS IN SQUIRREL-CAGE INDUCTION MOTORS USING VIBRATION AND CURRENT ANALYSIS JOINTLY

Dr. Ladányi Gábor\* ; Ladányi Gergő\*\*

### ABSTRACT

*The squirrel-cage induction motors are typical power source in mining industry. The application of condition based maintenance strategies rely on specialized monitors to reliably provide a measure of the health of the drive system. Thus, unexpected failures and consequent downtime may be avoided and/or the time between planned shutdowns for planned maintenance may be increased. Maintenance and operational costs are thus reduced.*

### 1. BEVEZETÉS

Az aszinkron (indukciós) motorokat, mint erőgépeket szakmai berkekben szokták a villamos hajtások „igáslovának” is nevezni. Az elnevezés nem túlzás, ha figyelembe vesszük, hogy korunkban egy iparosodott nemzet villamos energiatermelésének kb. 45-50%-át aszinkron motoros hajtások használják el.[1] Ezt az elterjedtséget alapvetően a rövidrezárt (kalickás) forgórészű kivitel kedvező tulajdonságaival magyarázhatjuk. Ezen motorok működési elve ugyanis lehetővé teszi a nyomaték képződését pusztán az által, hogy csak az állórész tekercselését tápláljuk meg a szükséges többfázisú váltakozó feszültséggel, és nincs szükség a forgórész vezetőihez nagyáramú csúszó kontaktusokon keresztüli hozzáférésre. Ezen túlmenően, a tekercselt forgórész helyett, az un. kalickás forgórész alkalmazása méretcsökkenést és javuló határfokot eredményez. Mindezek alkalmassá teszik ezt a motor típust olyan zárt, strapabíró felépítés kialakítására, ami ráadásul üzemideje alatt viszonylag kevés gondozást igényel. Előbbiek, bányászati alkalmazások esetén az alapvető elvárások közé tartoznak. (Azért igyekszünk gyorsan hangsúlyozni, hogy a viszonylag kevés gondozás és a gondozás mentesség kifejezések által képviselt tevékenységek nem egyenértékűek!)

A tápláló hálózat frekvenciájához kötött szinkron fordulatszám merevsége korábban akadálya volt annak, hogy fordulatszám-szabályozott hajtásokat, egyenáramú gépek közbeiktatása nélkül, közvetlenül aszinkron motorok segítségével valósítsanak meg. A teljesítmény-félvezetők fejlődésének eredményeként azonban ma már a szabályozott villamos hajtások területén is egyre több helyen és egyre nagyobb teljesítmény tartományban alkalmaznak egyenáramú motorok helyett, kalickás aszinkron motorokat. Ilyen esetben a tápláló háromfázisú hálózat és a motor közé egy kapcsolóüzemű energia átalakító eszköz kerül, szokás ezt röviden csak

frekvenciaváltónak nevezni. Az utóbbi berendezés ára általában paritásban van magának a motornak az árával. Illetve alkalmazása felveti a tápláló hálózat felharmonikusokkal való szennyezésének lehetőségét.

A kalickás forgórészű motorok alkalmazási területe teljesítmény tekintetében is igen széles tartományt fed le. Az ipari termelés legkülönbözőbb szegmensében, néhány W-tól több MW-ig terjedő tartományban találkozhatunk ezzel a motor típussal. A kisebb, néhány száz wattos tartományban általában a szabályozatlan hajtási alkalmazásoknál találkozunk nagy számban ezzel a típussal, alapvetően olcsósága miatt. A precízen, pl. pozícióra szabályozott hajtásokban átvette szerepét a léptetőmotor. A több száz kW fölötti tartományban a meghibásodásuk miatti, váratlan kiesés gyakran igen komoly üzemviteli problémát, termelés kiesést, tehát anyagi kárt okozhat, és esetenként okoz is. Éppen ez volt az a kényszerítő erő, amely kikövetelte valamilyen diagnosztikai eszköz, esetleg eszközök kifejlesztését, annak érdekében, hogy egy motor, elsősorban villamos jellegű meghibásodását megelőző állapot, diagnosztizálható legyen.

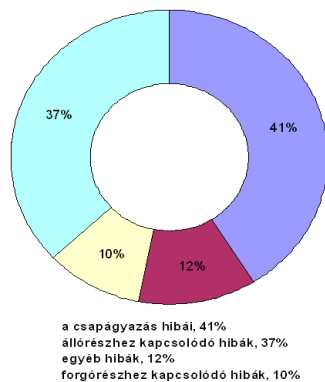
### 2. MEGHIBÁSODÁSOK

A motor típus fontosságának tudatában, az EPRI (Electric Power Research Institute) az ipar különböző területén üzemelő, közel 5000 meghibásodott motor adataiból készített statisztikát, amelyet 1985-ben publikált. A hibák megoszlását az 1. ábrán láthatjuk. A diagram mellé mindenképpen kiegészítés kívánkozik. Az adatok mellett, hogy az ipar különböző területén üzemelő motoroktól származnak, a motorok alkalmazási helye is szerteágazó volt. Ha szűkítjük a figyelembe vett területeket, pl. a minket jobban érdeklő bányászatra és kísérő ipágaira, a hibák megoszlása jelentősen módosul. [2] Megnövekedt ugyanis a forgórészhez köthető hibák részaránya, miközben főként a csapágyazás hibája miatt bekövetkező leállások hányada csökken. Szakmai körben ismert tény, hogy az egyes hibatípusok megjelenési gyakorisága erősen függ a motor alkalmazási helyétől, mert az, döntően befolyásolja a motor üzemviszonyait. Tehát egyáltalán nem mindegy, hogy szivattyút, szállítószalagot, őrlőmalmot, vagy egy forgácsoló gépet hajtunk egy adott motorral. Üzemidejük során gyakran indított motorok esetén az állórészhez és forgórészhez köthető hibák közel azonos gyakorisággal jelennek meg. Különösen igaz ez, ha az indítások között jelentős a teljes terheléssel végrehajtott indítások száma. A bányászatan üzemelő, pl. szállítóberendezések esetében sajnos

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem

\*\*okl. villamosmérnök, evosoft Hungary kft.

kifejezetten jellemző a teljesen terhelt állapotban szükséges indítás. Emellett általában több száz kW teljesítmény igényű berendezéseket hajtunk, mozgatunk kalickás motorokkal. Ezek meghibásodás miatti kiesése a csere időtartamára, gyakran okozza egyben az üzem termelésének kiesését is.



1. ábra Meghibásodási okok megoszlása  
(forrás: MCE TM Motor Testing)

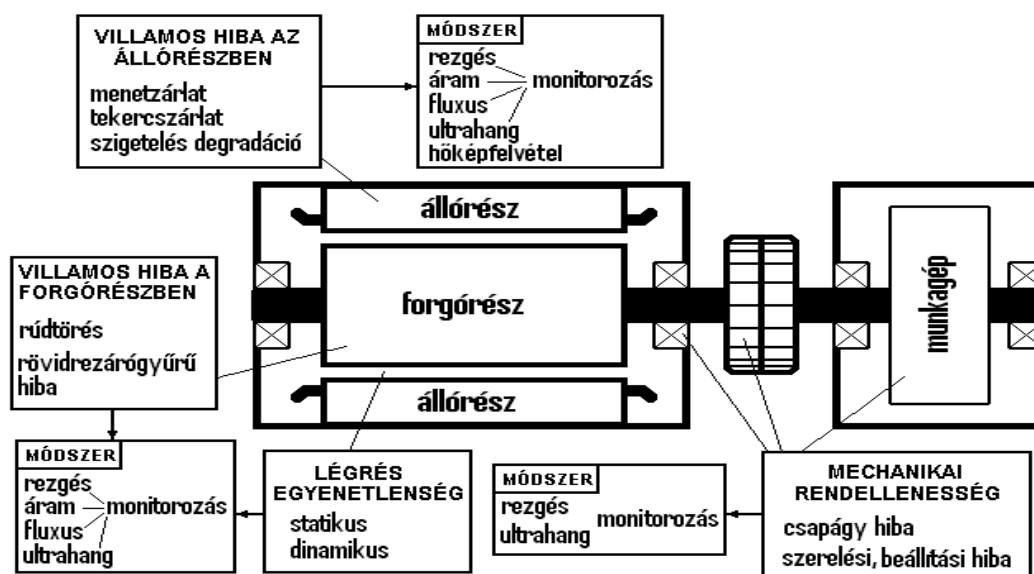
### 3. A DIAGNOSZTIKA ESZKÖZEI

A 80-as években elindult, majd a 90-es évek elejétől egyre nagyobb teret nyer hazánkban is a gépek állapotának megítélésére alapozott karbantartás. Ennek hatására a váratlan meghibásodások miatt keletkező károk észrevehető mértékben csökkentek. A 90-es évek második felétől újabb karbantartási koncepciók alakultak ki. Olyanok, mint az RCM (Reliability Centered Maintenance) és TPM (Total Productivity Maintenance) rövidítésekkel jelölt rendszerek. Ezen karbantartási rendszerek tárgyalása nem célja cikkünknek. (Ha a T. Olvasó meg szeretne ismerkedni ezek lényegi elemeivel, ajánljuk figyelmébe az irodalom listában a [3] és [4] jelű anyagot.) Mindkét rendszerre érvényes azonban, hogy a karbantartási igény eldöntése tekintetében alapoznak a gépnek, a működés során elért állapotára, és ennek megismeréséhez valamilyen diagnosztikai eszközt (eszközöket) alkalmaznak. Fenti rendszerek később kiegészültek azzal, hogy a felügyelt gépeket kockázatelemzés alá vonták, s ennek figyelembevételével alkották meg a megfigyelési stratégiát. A kockázatelemzés azt a felismerést juttatja érvényre, hogy egy negatív következményekkel járó esemény által hordozott kockázat a bekövetkezés valószínűségétől és az okozott kár nagyságától egyaránt függ. Tehát ott kell a legsűrűbben információt szerezni a felügyelt gép állapotáról, ahol mindkét tényező nagy. Vagyis a bekövetkezés valószínűségét és az okozott kár nagyságát kifejező mérőszámok szorzata a legnagyobb.

A kezdeti időkben a gép állapotának megítéléséhez szükséges információt elsősorban a géprezgésekből nyert adatok hordozták. Tehát a rezgésdiagnosztika, – hiszen ez a közismert neve – volt az első hatékony eszköz az állapotfüggő karbantartást alkalmazó üzemi szakemberek kezében. A kezdetek óta a rezgésdiagnosztika nyújtotta diagnosztikus képességek, sokat finomodtak. Elsősorban a különböző demodulációs technikák azok melyek megteremtik a lehetőséget egy-egy hiba kezdeti

felismeréséhez, de a szinkronizációval történő mérések is komoly támogatást adnak a különböző hibatípusok szétválasztásához. Emellett időközben megerősödtek a más mérési elvet használó információszerezési technikák is. Olyanok, – a teljesség igénye nélkül – mint pl. a termográfia, ultrahangos detektáció, olajdiagnosztika, illetve villamos gépek esetén a motoráram, vagy a fluxus analízis. Mindenképpen fontosnak tartjuk itt megjegyezni, hogy az előbb felsorolt módszereknél használt fizikai törvényszerűségek, illetve a feldolgozáshoz szükséges matematikai háttér alapjai már korábban is ismertek voltak. Nem állt viszont rendelkezésre az az elektronikai fejlettségi szint, amely mindennapos használatra alkalmas méretű és megfelelő számítási kapacitással rendelkező, megbízható eszközt adhatott volna a gyakorló szakemberek kezébe, olyan áron, amely lehetőséget teremt a tömeges elterjedésre. Mára az integrált áramkörök elemsűrűsége és a velük megvalósított áramkörök műveleti sebessége lehetővé teszi, hogy kéziműszer méretben olyan képességű eszközt használjunk, amit a 80-as években csak a nagyméretű, asztali készülékek tudtak. (Vagy még azok sem.) A fentebb felsorolt diagnosztikai módszerek alkalmazhatók önállóan is, de egymást kiegészítve működnek a leghatékonyabban. Az alkalmazott mérési elvekből fakad, hogy egy-egy diagnosztikus eszköz nem használható mindegyik gép esetében.

E tekintetben talán a rezgésdiagnosztika bír a legszélesebb alkalmazhatósági skálával. Leolvasható ez a 2. ábráról, amelyen összefoglalva láthatók a motorok esetében előforduló hibatípusok és a diagnosztikus eszközök, melyek segítségével a hibák detektálhatók. Az ábrán megfigyelhető, hogy rezgésméréssel az előforduló valamennyi rendellenesség észlelhető. Fontos itt megjegyezni azonban, hogy a különböző rendellenességek rezgésméréssel történő beazonosításának megbízhatósága erősen eltérő. Például a forgó gépeknél, így a motoroknál is előforduló leggyakoribb rendellenesség a kiegyensúlyozatlanság. Legyen az statikus, vagy dinamikus, rezgésméréssel jól beazonosítható, sőt a kiegyensúlyozatlanság mértéke jellemezhető számszerű adattal is. De a forgórészben előforduló olyan villamos hiba, mint a rúdtörés vagy más, a kalickában fennálló folytonossági hiba, detektálható ugyan, mint valamiféle hiba, de beazonosítása nehéz. A motor jelleggörbéje meredekségének csökkenése, tehát a karakterisztika lágyulása megerősítheti a forgórész körüli villamos probléma fennállásának lehetőségét. A lágyabb karakterisztika miatt megnő az üzemi szlip. Ez kevésbé zavaró, ha a szállítóberendezést csak egy motor hajtja. Komoly indítási probléma jelentkezhet azonban, ha több motorral hajtunk egy berendezést. A karakterisztika lágyulása a motorok között aszimmetrikus terheléeloszlást okoz, és ez főleg az indítási szakaszban fellépő többlet nyomaték igény szétosztásánál jelentkezik élesen. A nagyobb belső ellenállású motor kisebb nyomatékot képes szolgáltatni, mint az ép forgórészű, ezért az indítási folyamat időigénye megnő. (Rosszabb esetben a rendszer nem is képes felgyorsulni a névleges fordulatszámra.)



2. ábra Hibatípusok és diagnosztizálásuk eszközei

Ha tehát a rezgésmérés eredményéből levonható következtetés felveti a forgórész körüli villamos hiba lehetőségét, illetve üzem közben azt tapasztaljuk, hogy a motor szlipje megnőtt, miközben a motor terhelése nem haladja meg a szokásos értéket, célszerű kiegészíteni az ellenőrzést egy motoráram analízissel. Ennek során a motort tápláló hálózat legalább egy fázisában, – megbízhatóbb, ha mindháromban – áram-idő jelet érzékelünk és rögzítünk. Majd az időtartománybeli jelet DFT (Diszkrét Fourier Transzformáció) eljárás alá vonjuk. Az áramjel frekvenciatartománybeli képe alakulásából a motor álló-, és forgórész állapotára vonatkozó következtetések vonhatók le.

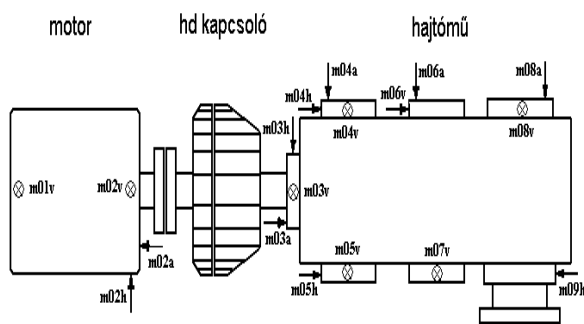
A motorok állapotának megítéléséhez a nemzetközi gyakorlatban kialakult és elfogadott normákat célszerű figyelembe venni. Ezek szerint a forgórész rúdjaiban fennálló bármilyen villamos aszimmetria, amit okozhat törés és/vagy az ellenállások különbözősége, aszimmetriát kelt a rotor forgó mágneses mezéjében. Az aszimmetria hatása a motort tápláló áram spektrumában is megmutatkozik, főként a hálózati frekvencia mellett megjelenő kétszeres szlipfrekvenciás komponensek jelenlétében. Az áramspektrumban ettől eltérő frekvencia tartományában mutatkozó jellegzetes összetevők más villamos hibára is utalhatnak, illetve mechanikus hibákat is jelezhetnek. Az előbbi lehet tipikusan az állórész tekercselésében fennálló, a menetzárlatot, vagy földzárlatot megelőző állapot. Az utóbbi pedig az álló- és forgórész közötti légrés egyenetlensége. fellépő menetzárlat miatt következik be, hanem azért mert a megelőző állapot viszonylag rövid ideig áll fenn. Ennek oka, hogy a bányászati A címben is szereplő bányászati alkalmazásoknál azonban az állórész zárlatot megelőző állapotának detektálása kisebb jelentőséggel bír, mint a már megfogalmazott forgórész körüli rendellenességeké. Nem azért, mert a motor váratlan kiesése által okozott anyagi veszteség kisebb, ha

a leállás, pl. az állórészben alkalmazott nagyobb teljesítményű (>100kW) motorok esetében a tápfeszültség általában 6kV. Ilyen feszültségszinten egy kezdődő, zárlatot megelőző állapot nem áll fenn sokáig. A legközelebbi terhelés alatti indítás alkalmával a nagy indítóáram miatti felmelegedés véglegesen lerontja a szigetelés állapotát a már sérült helyen, és bekövetkezik a zárlat. Így a hibamegelőző állapot detektálásának csak akkor van esélye, ha a motor folyamatos monitorozás alatt áll. Ez a bányászati iparágban nem csak Magyarországon, de a miénktől jelentősebb bányászati tevékenységet folytató országokban sem általános. Tengeri fűrőplatformokon üzemelő, gyakran több MW teljesítményű motoroknál találkozhatunk folyamatos felügyelettel. (Lásd a néhány bekezdéssel előbb, a kockázatelemzésen alapuló állapotfüggő karbantartásról mondottakat.)

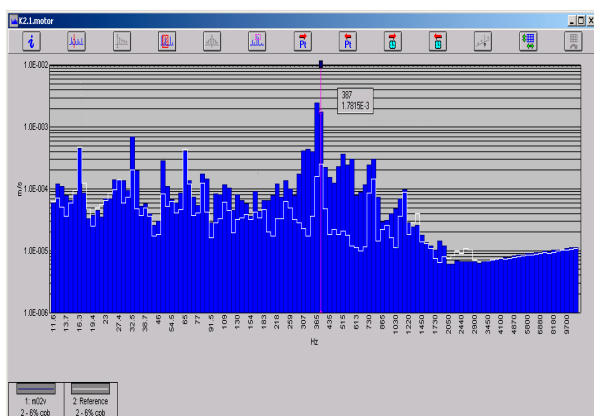
Ezen, bekezdésnyi kitérő után térjünk vissza a kétszeres szlipfrekvenciás komponensekhez. Ha ezek nagysága terhelt állapotban jelentősen meghaladja az üresjáratú értéket, és arányuk az alapharmonikushoz (50Hz) képest túl nagy, akkor van számottevő pulzáló összetevője a mágneses térnek és valószínűsíthető a forgórész körüli villamos aszimmetriája. Az áramok arányából levonható következtetéseket összefoglalva adja meg az 1. táblázat.

A forgórész kalicka állapota	Áram összetevők aránya [dB]	Megjegyzés
kiváló	≥ 60	
jó	54-60	
elfogadható	48-54	Ciklikus megfigyelés ajánlott
figyelmeztetés	42-48	Sérült forgórészrúd, és/vagy több nagyellenállású kontaktus
riasztás	< 42	Törött forgórészrúd, és/vagy több nagyellenállású kontaktus

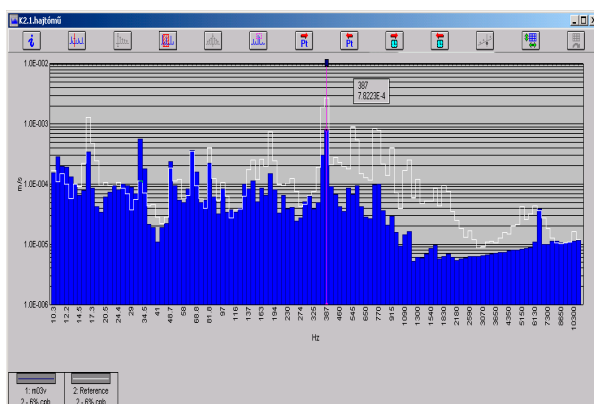
1. táblázat



3. ábra A szállítószalag hajtásegység elrendezési vázlatja



4. ábra Rezgésspektrum, a tengelykapcsoló motor oldalán



5. ábra Rezgésspektrum, a tengelykapcsoló hajtómű oldalán

A Megjegyzés oszlopban található következtetéseken túl, a törött rudak számának becslésére is találunk összefüggést az irodalomban. Jelen cikknek azonban nem célja a témakör ilyen mélységű tárgyalása. Miközben a táblázat középő oszlopában feltüntetett áramarány-értékeket tanulmányozzuk, hasonló kiegészítés megtétele szükséges, mint az 1. ábra esetében. A határértékek nagyszámú, különböző teljesítményű és felépítésű kalickás motoron végrehajtott mérés eredményeiből levont következtetéseket tükröznek. A bányászati berendezéseket mozgó motorok túlnyomó többsége kétkalickás, tehát külön indító és üzemi kalickával szerelt forgórészsel rendelkezik. A szerzők tapasztalata szerint ezeknél a gépeknél az 1. táblázat értékei elsősorban az indító kalicka állapotának megítélésénél vehetők figyelembe.

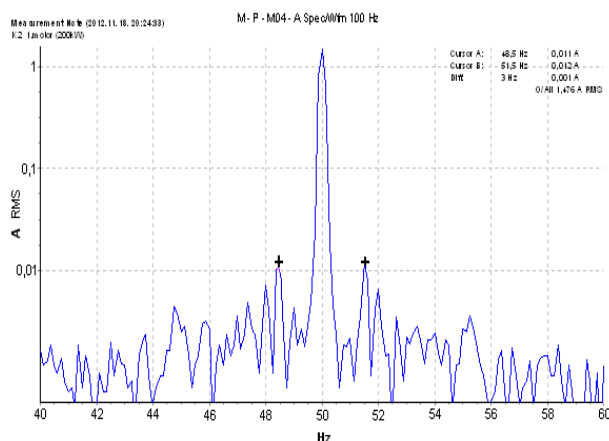
#### 4. ESETTANULMÁNY

A szerzők több éve végeznek diagnosztikai méréseket a Vértesi Erőmű Márkushegyi Bányauzemének berendezésein, többek között a szállítórendszert mozgó villamos motorokon, melyek 160-400kW teljesítmény tartományba tartozó lég-, egy-egy esetben vízhűtéses motorok. A szállítószalagokat általában kétdobos hajtások mozgatják, többnyire egy-egy hajtásegységgel. Ott, ahol a pálya teljesítmény igénye ezt megköveteli, három hajtásegységgel van szerelve a két hajtódob. A szállító rendszer alapvető tulajdonsága a soros felépítés, tehát bármely egység kiesése bénítja a szállítási tevékenységet. Ezért a bánya szakemberei a szállítószalagok hajtásegységeit rendszeres rezgésdiagnosztikai ellenőrzés alatt tartják. A pályák közül az egyik, a helyi jelölés szerint K2-es szállítópálya, amelynek két azonos felépítésű hajtásegysége van, hajtásegységi vázlatuk a 3. ábrán látható. A motorok névleges teljesítménye 200kW, névleges fordulatszáma 985 ford/perc.

A 4. és 5. ábra az 1. hajtásegység ütemezett ellenőrzése során készült rezgésspektrumok közül mutat kettőt, amelyek a hidrodinamikus tengelykapcsoló két oldalán található mérőpontokon (m02v és m03v) kerültek rögzítésre. Az ellenőrzés időpontjáig az 1. motor már több mint két éve futott ebben a hajtásegységben. A 4. ábra spektrumát tanulmányozva látható, hogy a kiegyensúlyozatlanság alacsony és a többi saját komponens is 1mm/s alatt van.

Felmerült azonban a gyanú, hogy a motoron kiemelkedő 387Hz-es komponens – ezen áll a kurzor – a hajtóműtől származik, mert ez a frekvencia a hajtómű első fogaskerék-párjának fogkapcsolódási frekvenciájához nagyon közeli érték. (Hajtóművek esetében a kúperék kapcsolat mindig jelentős energiájú rezgésforrás, még akkor is, ha a kapcsolódó kerekek fogfelülete nincs elhasználódva és a hézagolás is megfelelő.) Ugyanezen mérési ponton a szélessávú rezgéssebesség effektív értéke 3,5-7,2mm/s tartományban mozgott, függően attól, hogy mérés közben mennyire változott a terheltségi szint. Egy ilyen teljesítményű egységénél a 7,2mm/s már jelentős érték. Ezért egyben figyelmeztető is, mert olyan rezgésenergiát képvisel, ami lerövidíti, főként a csapagvak élettartamát. De a motorban más helyen is okozhat problémát, pl. az állórész tekercselésénél. A tekercselésben fellazíthatja ugyanis a vezetők rögzítését, és az egymással érintkező huzalfelületek egy-egy kritikus helyén ledörzsölődik a szigetelés. Ami szintén a motor élettartamának rövidülését okozza. Az sem általános, ha a terhelés változását ilyen mértékben követi a rezgés energiaszintjének változása. Egy „egészséges” motornál az 50-100% közötti terhelésváltozás nem okozza a rezgés effektív értékének megduplázódását. Az 5. ábrán az is megfigyelhető, hogy ezen, a hajtómű kúperék kapcsolódásának közelében levő mérési ponttól (m03v) származó spektrumon csak 0,78mm/s, míg a motoron 1,78mm/s nagyságú a 387Hz-es összetevő. Ha a forrás a kúperék-pár lenne, akkor a forráshoz közelebbi helyen, tehát a hajtóműnél kellene mutatkoznia nagyobb energiával ennek a komponensnek, nem pedig a motoron. Elmondottak miatt, a bánya szakembereivel egyetértve, motoráram analízist is végeztünk a K2-es pálya érintett motorján. A terhelés alatt üzemelő motor áramának 50Hz

körül, nagy felbontással készült spektrumát a 6. ábra mutatja. Az áram frekvenciatartománybeli képe igazolta a rezgésmérések által megfogalmazott gyanút. A kétszeres szlipfrekvenciás komponensek – ezeken áll a két kurzor – által képviselt áramhányad jelentős. Az 50Hz-es alapfrekvenciához képesti viszonyuk ~42dB. Az 1. táblázat besorolása szerint ilyen szlipfrekvenciás áramszint esetén már biztos, hogy vannak a kalickában törött rudak – tehát több is – és az üzem közben fellépő egyenetlen hőterhelés miatt a kötések sok helyen átkristályosodtak. E tekintetben leginkább veszélyesek azok a helyek, ahol a pálcák kapcsolódnak a rövidrezáró gyűrűkhöz. Itt ugyanis kevésbé érvényesül a forgórész vastestének hőelvezető, hűtő hatása, és a hősokk miatt fellépő mechanikai feszültség idővel törést okoz. Ez jól látható a 7. ábrán, amely a szétszerelt motor forgórészének egy részletét mutatja. A karikázott részleteknél egyértelműen beazonosíthatók a rövidrezáró gyűrűkből kitért pálcavégékek.



6. ábra A vizsgált motor áramspektruma

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

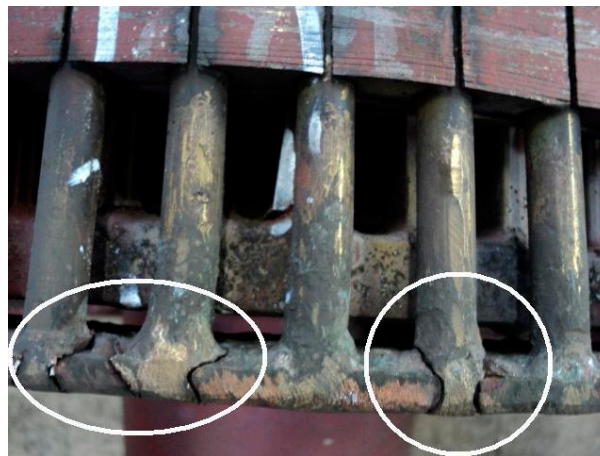
A bemutatott eset megerősíti azt a korábban már megfogalmazott megállapítást, hogy több diagnosztikai módszer együttes alkalmazása jelentősen megnöveli egy ismeretlen hiba beazonosításának valószínűségét. Indukciós motorok esetében, mint láttuk, jól kiegészíti egymást a rezgés és motoráram analízis.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOM

- [1] W.T. Thomson, R.J. Gilmore: Motor Current Signature Analysis to Detect Fault in Induction Motor Drives – Fundamentals, Data interpretations, and Industrial Case Histories; Proceedings of the Thirty-second turbomachinery symposium, 2003
- [2] O.A.Thorensen, M.Dalva: A Survey of Fault on Induction Motors in Offshore Oil Industry, Petrochemical Industry, Gas Terminals, and Oil Refineries; IEEE Transaction on Industry Applications; Vol.31.; No.5. Sept/Oct 1995



7. ábra Forgórész, a rövidrezáró gyűrűkből kitért pálcavégékekkel

Ezen utóbbi módszer, bányászati alkalmazásoknál különösen javasolt. Nem igényel ugyanis komoly előkészületet. A motorok mérés közbeni terhelése többnyire biztosítható, mert a mozgatott berendezések üzemidejük nagyobb részét nem üresjáratban futják. A szóban forgó teljesítmény tartományba tartozó motorok tápláló hálózata pedig úgy van kiépítve, hogy a motort kiszolgáló rendszerben kijelzik, estenként regisztrálják is a motorok áramát. Az ehhez beépített áramváltó szekunder oldalán minden nehézség nélkül mérhetünk, betartva természetesen a szükséges biztonsági szabályokat.

Másrészt megerősíti azt a gyakorlatot is, amelyet a Márkushegyi Bányászati szakemberei már több éve folytatnak, az üzem termelését jelentősen befolyásoló gépek felügyelete tekintetében. A szerzők tisztában vannak azzal, hogy a berendezések korábitól hosszabb, váratlan hibáktól mentes üzeme, vagy legalább egy ezt megközelítő állapot csak úgy érhető el, ha a diagnosztika és az üzemi szakember, aki a géphez legjobban ért szorosan együtt dolgozik, felismerve a közös érdeket. Ezért ezúton is megköszönik azt a nyitott hozzáállást és segítséget, amit a Márkushegyi Kollégák a mérések előkészítése és végrehajtása közben, majd a mérések kiértékelése alatt tanúsítottak.

- [3] Péczeli Gy.: Korszerű karbantartási rendszerek, hazai eredmények, A.A.Stádium kft.
- [4] Péczeli Gy.: Miért magasabb rendű a „T” az „R”-nél? Lezárt kérdés a karbantartási rendszerek fejlődésében, A.A.Stádium kft.
- [5] W.T. Thomson: A review of on-Line condition monitoring techniques for three phase squirrel-cage induction motors, past present and future
- [6] P.J.Tamer; J.Penman: Condition monitoring of electrical machines, Research studies press Ltd. Wiley, New York

# ADAPTÍV AKUSZTIKAI FORRÁSMODELL MIKROFONTÖMB JELFELDOLGOZÁSHOZ

## ADAPTIVE ACOUSTIC SOURCE MODEL FOR MICROPHONE ARRAY SIGNAL PROCESSING

Tóth Péter\*

### ABSTRACT

*The phased array microphone measurement is an acoustic source localization technique commonly used in various acoustics laboratories. The Department of Fluid Mechanics of BME is utilizing this technique for fan noise research and development, by implementing a rotating source beamforming methodology. The efficiency of this underlying processing algorithm is an important factor in the everyday application of this acoustics measurement technique. The present paper shortly describes the used processing algorithm, and then introduces an adaptive source model which is a computationally more efficient way of choosing model source points than the techniques, which can be found in the literature. A demonstration is presented with the measurement of acoustic sources of an axial fan.*

### 1. BEVEZETÉS

A mikrofontömbös mérés technika, egy az akusztikai források helyének feltérképezését szolgáló módszer [1]. A gépészeti berendezések akusztikai szempontból való tervezése, fejlesztése céljából fontos a legerősebb zajforrások azonosítása, amely alapján a gép, gépcsoport zaja célirányos áttervezéssel, akusztikai zajcsökkentő elemek beiktatásával csökkenthető. Ez a forrás lokalizációs módszer, bár akusztikai laboratóriumi mérések gyakori eszköze (például [2] mérés), az általános gépészeti diagnosztikában jelenleg még nem terjedt el. A módszerhez nagyszámú, költséges mikrofonra és ezekhez tartozó szinkronizált adatgyűjtő rendszerre van szükség. A sokcsatornás digitális adatgyűjtő rendszerek elterjedése és olcsóbb elektret mikrofonok alkalmazása jelentősen csökkenti a rendszer költségeit [3], így várható, hogy a módszer a mindennapos gépészeti diagnosztikában is elérhetővé válik a közeljövőben.

A mikrofontömbös akusztikai mérés talán legfontosabb eleme a nagymennyiségű adatfeldolgozására használt szoftver, mely sok esetben célszoftver, tehát egy adott speciális mérési esetre, például mozgó források detektálására használható. [4].

A feldolgozó algoritmusok egyéb tulajdonságaik mellett jelentősen különböznek számítási erőforrás igény szempontjából is. [5].

A BME Áramlástan Tanszéke axiális ventilátor zajának kutatásában használja a mikrofontömbös mérési módszert. A mérés során felvett akusztikai jelet egy előre definiált akusztikai forrásmodell alapján dolgozzuk fel, így mind az álló mind pedig a ventilátor járókerékkel együtt forgó elemek zaját vizsgálhatjuk. A feladathoz az Áramlástan Tanszéken jelfeldolgozó programkód került implementálásra irodalmi források alapján [6]. Ennek lényege, hogy a mikrofonokhoz képest egy adott tengely körül forgó modellforrásokat veszünk fel és a mért mikrofonjelek alapján a modellforrás amplitúdókat megállapítjuk. A modellforrások amplitúdója mutatja a valós akusztikai források amplitúdóját. A módszer számítási kapacitásigénye jelentős, függ az elemezni kívánt jel hosszától és a modellforrások számától. Gyakran több napos számítási idő is előfordulhat egy átlagos asztali számítógépen.

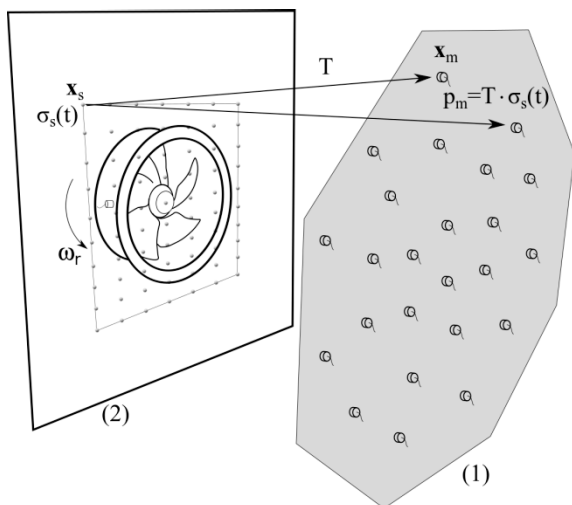
A modellforrások száma jelentősen befolyásolja a számítási időt és ezzel együtt a módszer alkalmazhatóságát. A jelenleg használatos általános módszerek gyakran egyenletes osztású rácson felvett modellpontokat használnak [1]. Ilyen esetben felhasználói közbeavatkozás nem szükséges, csak a keresési zóna méretét kell előre kijelölni. Egyes szerzők azonban javasolják, hogy a pontokat a várható akusztikai forrásképnek megfelelően a felhasználó sűrítse rá a fontosnak ítélt tartományokra [7]. Mások a hálópontok harmonikus függvény szerinti osztását használják, így szögtartományban konstans forrás felbontást kaphatunk [8].

A jelenlegi cikk egy adaptív módszert mutat be a forrásmodell felvételéhez, amely segítségével az algoritmus a keresési tartomány megadása mellett automatikusan, az eredmények függvényében meghatároz egy optimális modellpont elosztást. Ezzel a kiértékelés számítási igénye jelentősen csökkenthető felhasználói közbeavatkozás nélkül. A módszer alkalmazását egy ventilátor mérés eredményeit felhasználva mutatom be.

\*tanszéki mérnök, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszék  
e-mail cím: toth@ara.bme.hu

## 2. MIKROFONTÖMBÖS MÉRÉSTECHNIKA

Az akusztikai mérési elrendezés vázlatát az 1. ábra mutatja be. Az ábrán látható a mikrofontömb (1), amely egy merevnek tekinthető síklapból és a lapba épített mikrofonokból áll.



1. ábra Ventilátor mikrofontömbös mérési elrendezése

Az ábrán látható a mérési kívánt berendezés, esetünkben ventilátor vázlat (2), illetve a forgórész síkjában felvett forrásmodell, amely egyenletesen elosztott modellforrásokból áll. A mikrofonok pozícióját  $\mathbf{x}_m$ ,  $m=1 \dots M$  a modellforrások pozícióját  $\mathbf{x}_s$ ,  $s=1 \dots N$  vektorokkal definiáljuk. A mikrofonok száma  $M$  a modellforrások száma  $N$ . A modellforrások erőssége a  $\sigma_s(t)$  forrás időjel négyzetes középértéke, amelyet a mikrofonjelek alapján szeretnénk meghatározni. A ventilátor járókerék pozícióját egy index jeladó segítségével követjük, így a modellpontokat a járókerékkel együtt forgatjuk. A modellforrások és a mikrofonok között szabadtéri hangterjedési modellt felhasználva egy adott modellforrás és minden mikrofonjel közötti kapcsolat felírható. Az irodalomban [6] leírt módon a modellforrások pozíciójának időbeni változását figyelembe véve, a források időjele  $\sigma_s(t)$  felírható:

$$\sigma_s(t) = \frac{p_m(t_m)}{T_m(t_m, t)} \quad (1)$$

ahol,

$$T_m(t_m, t) = \frac{1}{4\pi c \left( t_m - t - \frac{1}{c^2} Q \right)} \quad (2)$$

$$Q = \mathbf{x}'_s(t) \cdot [\mathbf{x}_m - \mathbf{x}_s(t)] \quad (3)$$

ahol,  $c$  a hangsebesség,  $\mathbf{x}'_s(t)$  a modellforrások sebességvektora, a skaláris szorzást pedig pont jelöli. Továbbá  $t_m$  az  $m$  mikrofon jeléhez tartozó idő:

$$t_m = t + \frac{|\mathbf{x}_m - \mathbf{x}_s(t)|}{c} \quad (4)$$

A gép és a mikrofontömb közötti terjedés számítása során a közeg áramlását nem vesszük figyelembe. A mikrofonok jelét azonos időpillanatokban mintavételezzük, de a térbeli pozíció különbsége miatt ahhoz, hogy  $\sigma_s(t)$  értékét minden mikrofonjelből kiszámolva ezek azonos  $t$  időpillanatokhoz tartozzanak, a mikrofonjeleket interpolálni szükséges [6]. Ezt lineáris interpoláció segítségével végezzük el, amely a vizsgált frekvenciánál jóval nagyobb mintavételezési frekvenciát alkalmazva nem jelentős torzulást a frekvenciaspektrumban.

Egy adott modell forrás jelének  $\sigma_s(t)$  minden mikrofonjelből történő visszazámítása után a jelek feldolgozását a nyalábformálás módszerével folytatjuk. A módszert frekvenciatartományban végezzük el a mikrofonjelekből számolt forrás időjelek kereszt spektrum mátrixát  $C(\omega)$  felhasználva, amelynek elemei:

$$C_{m,n}(\omega) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \hat{\sigma}_{s,m}^k \hat{\sigma}_{s,n}^k \quad (5)$$

ahol  $m, n = 1 \dots M$ ,  $\hat{\sigma}_{s,m}^k$  az  $m$  mikrofonjelből számolt időjel  $k$ -adik blokkjának Fourier-transzformáltja az  $s$  forrás esetén,  $K$  az egymástól független átlagolandó idő blokkok száma. A kereszt spektrumok átlagolása a csatornák közötti nemkoherens zajok csökkentésében segít. Ezt követően a nyalábformálás összefüggése az alábbi formában írható (auto spektrum nélkül).

$$\hat{\sigma}_s(\omega, \mathbf{x}_s) = \frac{1}{M(M-1)} \sum_{n=1}^M \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^M C_{m,n} \quad (6)$$

Eredményül kapjuk a modellforrás komplex amplitúdóját, amelynek modulusa abban az esetben, ha a modell forrás helyén valós akusztikai forrás is található megegyezik a valós forrás amplitúdójával, ha a mérési zajoktól eltekintünk. Az összes modellforrás amplitúdót egy szintvonalas, vagy színárnyalatú térképen ábrázolva kapjuk a forrástérképet.



### 3. FORRÁSMODELL

#### 3.1. Alapvető követelmények

A modellforrások felvételénél alapvető szempont, hogy elég közel legyenek egymáshoz ahhoz, hogy minden lehetséges, a módszer által megkülönböztethető valós forrást megkapjunk a vizsgált frekvenciákon. A nyalábformálás módszerének elméleti felbontása [7]

$$d \cong 1.25 \frac{\lambda L}{D} \quad (7)$$

ahol  $d$  azt a minimális forrástávolságot jelöli, amely még éppen megkülönböztethető a forrástérképen. Az összefüggésben  $\lambda$  a vizsgált hullámhossz,  $L$  a modellforrás sík és mikrofontömb távolsága,  $D$  a mikrofontömb átmérője. A gyakorlatban, a forrástérkép kellő részletességgel történő kiszámításához maximálisan mindkét irányban  $d/6$ ,  $d/7$  távolságra elhelyezett modellforrásokat célszerű használnunk.

A modellforrások felvétele az elemzést végző személy illetve szoftver feladata. Cél, hogy a lehető legkevesebb modellforrást alkalmazzuk, a számítás költségének csökkentése miatt. A gyakorlati alkalmazások esetén a modellforrások összeséhez viszonyítva csak néhány valós forrást tartalmazó mérési eseteket tapasztalunk. Ezért az egyenletes hálópont elosztás számítási kapacitásigény szempontjából nem optimális. Célszerűbb egy, az adott forrásgeometriához illeszkedő modellpont elosztást választani. Ezen elv vezet az adaptív forrásmodell ötletéhez, amely előzetes eredmények figyelembevételével határozza meg a végleges modellforrás elosztást.

#### 3.2. Adaptív forrásmodell

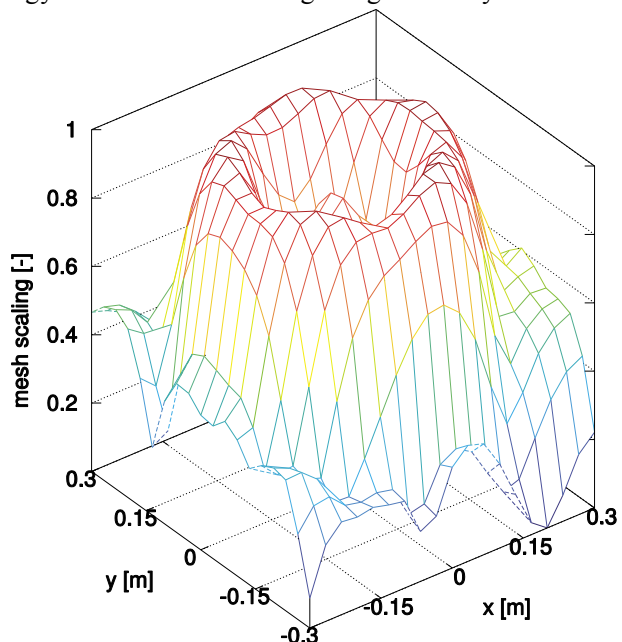
Jelen cikkben egy olyan adaptív forrásmodell alkalmazást mutatok be, amely egy előzetes, minimális pontból álló egyenletes elosztású forrásmodell eredményeit felhasználva a valószínűsíthető valós források közelében automatikusan megnöveli a modellforrások számát, figyelembe véve a szükséges elméleti felbontóképességet. Eredményképpen az egyenletes elosztású rácshoz képest jóval kevesebb modellpont felhasználásával kiszámolható a végleges forrástérkép.

### 4. ALKALMAZÁS

Az 1. ábra szerint kialakított ventilátormérés példáján mutatom be az adaptív forrásmodell generáló eljárást. A mért ventilátor egy 5 lapátos gép. A hajtó villamos motor a ventilátor agyrészébe van integrálva. A ventilátor egy rövid ( $0.4D$ ) csőből szív, a nyomó

oldalon pedig a szabadba fúj. A mérés során a BME Áramlástan Tanszékének Optinav Array 24 típusú mikrofontömbös mérőrendszerét használtam [9]. A rendszer a 23 db mikrofon illetve az optikai elven működő indexjeladó jelét szinkronizáltan mintavételezi. A mérés során 5 s (116 járókerék fordulat) hosszú időjelt dolgoztam fel, amelyet 44100 Hz mintavételezési frekvenciával rögzítettem. Az eredményeket a 6300 Hz középfrekvenciájú terc sávban mutatom be.

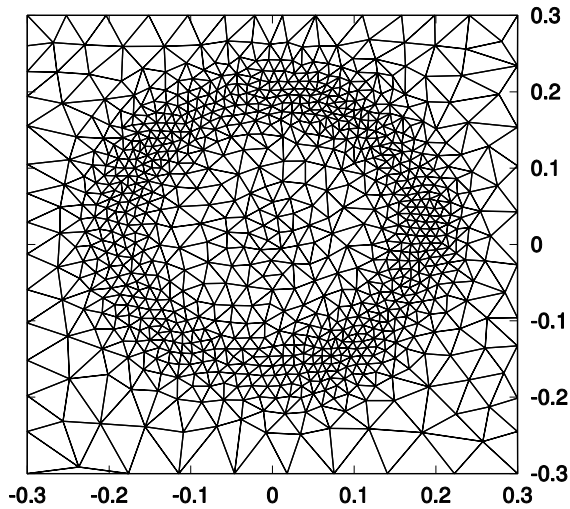
Az adaptív forrásmodell létrehozása egy kezdeti egyenletesen elosztott modellforrásokból álló forrástérkép kiszámításával kezdődik, az elméleti felbontás alapján. Jelen esetben ez  $N = 19 \times 19$  kezdeti modellforrást jelent. A forrástérképet mozgóátlag módszerrel simítjuk, majd a felület gradienseinek logaritmusára alapítjuk, a 2. ábrán látható simított felületet használjuk a modellforrások relatív távolságfüggvényeként. A távolságfüggvény nagy értéke azt jelenti, hogy ott a modellforrások sűrűbben, egymástól kisebb távolságra fognak elhelyezkedni.



2. ábra: Az előzetes számítás alapján meghatározott távolságfüggvény az adaptált ponteloszlás készítéséhez.

A felület alapján az 1-hez közeli értékek mutatják, hogy a forrástartomány közepén egy gyűrű alakú forráscsoportot különböztet meg a módszer. Ezen gyűrű közelében a hálófelbontást az elméletileg szükséges érték közelébe fogja beállítani a hálózó algoritmus. Ez a távolságfüggvény a végleges modellforrások számával együtt a bemenő paramétere a triangularizáción alapuló hálózó algoritmusnak, amely leírását a [10] publikációban találhatjuk. Ahhoz, hogy a megkövetelt pontsűrűséget elérjük a forrás helyeken, illetve, hogy az összpontszám az előírt közelében maradjon, iteratív módon többszöri újrahálózással jutunk el a végleges

hálého, amelyet a 3. ábrán láthatunk. A módszer a [10] hálého algoritmusban maximum 28 iterációt használ, illetve a bemenő paraméterek 10 %-on belüli megközelítéséig végzi az újrahálózást



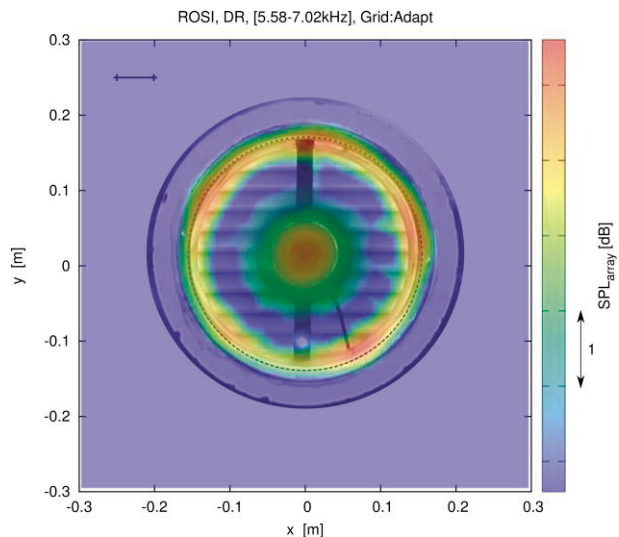
3. ábra: Az adaptív módszerrel készült modellpontok triangularizációja.

A 3. ábrán a triangularizált hálót láthatjuk, melynek csomópontjaiban helyezzük el a végleges nyalábformálás során használt modellforrásokat. Megfigyelhető, a távolságfüggvény szerint kialakított gyűrű alakú jól felbontott tartomány.

Az adaptált modellpontokkal kapott forrástérképet a 4. ábrán láthatjuk. A háttérkép a forgó ventilátorról készült, amelyen a lapátok kontúrja a hosszú expozíciós idő miatt nem látható. Az ábrán 5 dB dinamika tartományt ábrázoltam. Megfigyelhető a gyűrű alakú erős forrás a lapátok külső kerülete mentén. Ezek a gép 5 db lapátja által a lapát résben létrehozott akusztikai források. A forrástérkép közepén található egy gyengébb forrás is, amely felehetően a villamosmotor illetve csapágyazás zaját mutatja. Ez a forráskép megegyezik azzal, amit egyenletes eloszlású modellpontok használata mellett kaphatunk, a forrás amplitúdók minimális különbségétől eltekintve (maximális amplitúdó esetében az eltérés <math><0.1\text{ dB}</math>).

Az 1. táblázatban látható az egyenletes modellpont elosztást használó algoritmus és az adaptív algoritmus összehasonlítása számítási erőforrásigény szempontjából egy Intel i7-2600K@4200MHz számítógépen. Látható, hogy az adaptív módszerrel körülbelül 5.6-szer gyorsabban tudjuk kiszámítani a forrástérképet. Az adaptív módszer 6.5-ször kevesebb modellpontot használ a végleges háló esetén, azonban az adaptív algoritmus esetén figyelembe kell venni az előzetes forrástérkép kiszámításának költségét (361 modellpont), illetve az újrahálózás költségét. Ezért a számítás sebességnövekedése nem lineáris módon

skalázódik a modellpontok számával. Sok modellpont esetén az újrahálózás költsége jelentős is lehet, amely a hálého algoritmus nem optimális implementációjára is utal [10]. Megjegyzem, hogy hasonlóan jó eredményt lehet elérni az adaptív módszerrel kevesebb összpontszámhasználatával is, így a számítás költségei tovább csökkenthetőek.



4. ábra: Nyalábformálás eredménye 5 lapátos ventilátor mérési adatsorán az adaptív módszerrel készült modellpontok alapján. A háttérkép nagy expozíciós ideje miatt a forgó lapátok kontúrja nem látható a képen. A bal felső sarokban illusztrált távolság a módszer elméleti felbontását jelenti.

1. táblázat: Számítási idők

	N	gépidő sebesség	
	[db]	[perc]	növekedés
			[-]
egyenletes	5929	163	1
adaptív	906	29	~5.6

A felhasználó számára irányelv, hogy a modellforrás pontok ne csoportosuljanak kizárólag a feltételezett források köré, tehát a legkisebb és legnagyobb ponttávolság aránya ne legyen nagyobb, mint 30. (Ettől esetenként el lehet térni, például jóval lokalizáltabb forráspontok használhatóak, ha a felhasználó tudja, hogy hány forrásra számíthat a forrástérképen.) Megjegyzem, hogy az adaptív módszer sebesség növekedése magasabb frekvenciákon jelentősebb, mivel az egyenletes forráselosztás a tartomány egészére vonatkozó sűrítést eredményez, amely az irányonkénti pontszám négyzetével növeli a költségeket, míg az adaptív módszer esetén az összpontszámot csak jóval kisebb mértékben szükséges növelni. Növekvő frekvenciával a nyalábformálás felbontása növekszik, így egy adott forráshoz szükséges modellpontszám jó

közelitással nem változik. Ezért ha a források száma nem nő jelentősen a frekvenciával a pontszámot sem szükséges növelni. Azonban meg kell jegyezni, hogy nagyobb frekvenciák felé haladva általában egyre több forrást detektálunk, ezért a modellforrások számának kismértékű növelése szükséges lehet.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a munkában áttekintettem a BME Áramlástan Tanszékén implementált forgógépekhez használható akusztikai nyalábformáló algoritmust [6], amelyet a tanszék ventilátor zaj vizsgálatok során használt. Az algoritmus továbbfejlesztéseként bemutattam egy az általános mikrofontömbös akusztikai mérés technikához is használható, automatikus modellforrás eloszlást készítő algoritmust. A módszer egy előzetes, kevés számú modellforrást tartalmazó forrástérképet és a nyalábformálás kritériumait felhasználva adaptív módon létrehoz egy modellforrás eloszlást, amely az egyenletes eloszlású modellforrásokhoz képest jóval kevesebb pontot tartalmaz. Így a nyalábformálás számítási igénye jelentősen csökkenthető, az eredmények romlása nélkül. A bemutatott esettanulmányon a módszer 5.6 szoros gyorsulást eredményezett az eredeti egyenletes modellpont eloszláshoz képest. A módszer használata során nemszükséges felhasználói közbeavatkozás, csak a végleges forráspont számot szükséges megadni, amely egyben a számítási kapacitásigényt is meghatározza.

## 6. SUMMARY

In this paper the rotating source beamforming method [6] is overviewed, which is implemented for investigating fan noise at the Department of Fluid Mechanics of BME. An extension of the method, which can be used for general purpose beamforming is presented, where the model sources are chosen by an automatic adaptive methodology. The applied method chooses the final model points by considering the results of a preliminary calculation on a coarse source model and the theoretical criterions of the beamforming method. In this way the required number of model sources is significantly reduced, as compared to the uniformly distributed source model, without the degradation of the results. In the presented fan noise case study, the speedup for the adaptive method is 5.6. The method requires only the specification of the number of the final model points, which also indicates the required computational resources.

## 7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk elkészítését az OTKA K83807 projektje támogatta.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben” c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 program támogatja.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” című projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.1/B-09/11/KMR-2010-0002 programja támogatja.

## 8. IRODALOM

- [1] THOMAS J. MUELLER, CHRISTOPHER S. ALLEN, WILLIAM K. BLAKE, ROBERT P. DOUGHERTY, DENIS LYNCH, PAUL T. SODERMAN, JAMES R. UNDERBRINK.: *Aeroacoustic Measurements*. Springer, 1 edition, 2002
- [2] PODBOY G., HORVÁTH CS.: Phased array noise source localization measurements made on a Williams International FJ44 engine, *15th Aeroacoustics Conference*; 2009
- [3] TÓTH P.: *Beamforming development for open jet wind tunnel configuration*, von Karman Institute for Fluid Dynamics, 2010
- [4] SIJTSMA P.: Circular harmonics beamforming with multiple rings of microphones, *18th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*, 2012
- [5] DOUGHERTY ROBERT P.: Extensions of DAMAS and Benefits and Limitations of Deconvolution in Beamforming, *11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*, 2005
- [6] SIJTSMA P., OERLEMANS S., HOLTHUSEN H.: Location of rotating sources by phased array measurements, *7th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*, 2001
- [7] KOOP L.: *Experimental Aeroacoustic* von Karman Institute for Fluid Dynamics, 2006
- [8] DOUGHERTY ROBERT P.: Improved generalized inverse beamforming for jet noise. *International Journal of Aeroacoustics*, Vol. 11, No. 3-4, (2012), doi:10.1260/1475-472X.11.3-4.259
- [9] BENEDEK T.: Mikrofontömbös akusztikai mérési módszerek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszékén, *XX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó OGÉT*, 2012
- [10] PERSSON P.-O., STRANG G.: A Simple Mesh Generator in MATLAB. *SIAM Review*, Vol. 46, No. 2, (2004), pp. 329-345

# INFORMÁCIÓS RENDSZEREK FOGALOMHÁLÓ ALAPÚ OSZTÁLYOZÁSI ALGORITMUSÁNAK HARDVERES MEGVALÓSÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA

## HARDWARE IMPLEMENTATION ANALYSIS OF CONCEPT LATTICE AS CLASSIFICATION TOOL IN INFORMATION SYSTEMS

Vásárhelyi József\*, Kovács László\*\*

### ABSTRACT

*The increasing interest on application of concept lattices in the different information systems results in several implementations and algorithm proposals and representation tools. The concept lattice is mainly for representation of the concept generalization structure but it can apply as a classification tool too. A key component of practical applications is the efficient implementation of lattice building. This paper analyses the implementation possibilities in FPGA hardware. It tries to give an answer for the implementation limits and advantages. The hardware implementation allow the speed up of the lattice construction and search for generated concepts.*

### 1. BEVEZETÉS

Az adat osztályozási algoritmusok alkalmazása széles területet ölel fel, megtalálhatók az internetes adatbányászattól kezdve egészen az ipari alkalmazásokig. Az osztályozási algoritmusok közül a fogalomháló hierarchikus felépítése alkalmassá tesz ezen algoritmusokat gyors osztályozási, keresési feladatok megvalósítására. A fogalomháló alkalmazása az 1980-as években kezdődött, majd napjainkban széles körben elterjedt eszköz az információ kinyerésére [1]. A szakirodalomban különböző fogalomháló alkalmazásokra találhatunk példákat, azonban a legjellemzőbb alkalmazás az adatbányászat területén található. Ebben az esetben a szabálybázisok létrehozásában van nagy szerepük [3]. Ezen területen a nagymennyiségű strukturált adathalmazok elemzése a jellemző. Egy másik jellemző alkalmazás a termelés/gyártás tervezés területén található [11]. Mivel a fogalomháló összeállításának költségei az adatbázis méretével lineárisan növekednek, a hatékonyság növelése fontos követelmény. [12].

Fogalom háló összeállítása két általában különálló fázisból tevődik össze. Első lépésben a fogalmak létrehozása a cél. A háló összeállítása a második

lépésben történik az első lépésben létrehozott fogalom halmaz felhasználásával. A szakirodalomban található leírásokat a fogalomháló létrehozásának lépésenkénti vagy kombinált optimalizálásának a megvalósításáról.

Az optimalizálási módszereket alapul véve a fent említett két fázis megvalósítási költségei nagyjából egyformák. A közös aszimptotikus költség általában három paraméter függvénye: az objektumok száma, az attribútumok száma és a kapcsolatok száma. A fogalomháló létrehozásában a szakirodalom két módszert ismer. Az első módszer kötegelt módban dolgozik, feltételezve, hogy minden elem szerepel a hálóban – Ganter módszer [1]. A másik módszert Godin mutatta be. Ezen módszerrel a háló létrehozását inkrementálisan valósítjuk meg és a fogalmak bővülésével azonnal bővítjük a hálót [2].

Jelen cikk célja bemutatni az eddigi szoftveres megoldások helyett, bemutatni egy hardveres fogalomháló megvalósítást. Cikkünkben elemezzük a sok adatot tartalmazó fogalomháló hardvermegvalósítási lehetőségét. Bemutatjuk a módszer előnyeit és esetleges hátrányait. A továbbiakban egy leírást adunk a fogalomhálókról általában, majd egy példán keresztül szemléltetjük a fogalomhálón történő keresést, végül elemzünk egy lehetséges megvalósítást és az elért eredmények alapján megpróbálunk következtetéseket levonni a nagyobb méretű háló megvalósításához.

### 2. FOGALOM HÁLÓK ELEMZÉSE

A fogalomháló részletes leírását Ganter végezte el [1]. Jelen fejezet egy részletes áttekintést kíván adni a formális fogalom hálókról.

A  $K$  kontextust a  $K(G, M, I)$  hármas jellemezi, ahol  $G$  és  $M$  halmazok és  $I$  a két halmaz közötti relációt adja meg. A  $G$  halmazt az *objektumok* halmazának, míg  $M$ -et az *attribútumok* halmazának nevezünk. A fogalmak leírását a  $T$  táblázat kontextus  $K(G, M, I)$  mátrixával

\* Miskolci Egyetem, Automatizálási és Kommunikáció-technológiai Tanszék, Miskolc, Magyarország egyetemi docens;

\*\* Miskolci Egyetem, Általános Informatikai Tanszék Magyarország egyetemi docens,

adjuk meg, amelyben az  $I$  relációt az alábbi képlettel határozzuk meg:

$$t_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } g_i I a_j \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases} \quad (1)$$

ahol  $g_i \in G$ ,  $a_j \in M$ .

Bármely  $\forall A \subseteq G$ , meghatározzunk egy „*derivation operator*” úgy, hogy:

$$A' = \{ a \in M \mid g I a \text{ for } \forall g \in A \} \quad (2)$$

és  $\forall B \subseteq M$  estében

$$B' = \{ g \in G \mid g I a \text{ for } \forall a \in B \} \quad (3)$$

Ebben az esetben a  $C(A,B)$  fogalompár hálót képez  $K$  kontextussal, amennyiben az alábbi azonosságok igazak:

$$\begin{aligned} A &\subseteq G \\ B &\subseteq M \\ A' &= B \\ B' &= A \end{aligned} \quad (4)$$

Az  $A$  halmaz a  $B$  halmaz extenziójának nevezzük, míg a  $B$  halmaz a  $A$  háló intenziója. Bebizonyítható, hogy  $\forall A_i \subseteq G$ , igaz:

$$(\cup_i A_i)' = \cap_i A_i' \quad (5)$$

hasonlóan  $\forall B_i \subseteq M$ ,

$$(\cup_i B_i)' = \cap_i B_i' \quad (6)$$

igaz.

Ha  $\Phi$  halmaz jelenti az összes fogalmat  $K$  kontextusra nézve, akkor meghatározható egy *rendezési reláció* a fogalomhálón a következő képen:

$$C_1 \leq C_2 \text{ if } A_1 \subseteq A_2 \quad (7)$$

ahol  $C_1$  és  $C_2$  tetszőlegesen választott fogalmak.

Bebizonyítható, hogy bármely  $(C_1, C_2)$  fogalompár esetében érvényes a következő szabály:

$$(C_1 \wedge C_2 \in \Phi) \text{ és } (C_1 \vee C_2 \in \Phi). \quad (8)$$

Alapul véve a fenti tulajdonságot a  $(\Phi, \leq)$  egy fogalomhálót képez. A fogalomhálók alaptétele alapján  $(\Phi, \leq)$  egy teljes fogalomhálót képez. Azaz, minden fogalomháló esetében létezik infimum és supremum. Az alábbi tulajdonságok pedig minden fogalompárra igazak:

$$\begin{aligned} \vee_i (A_i, B_i) &= (\cap_i A_i, (\cup_i B_i)') \\ \wedge_i (A_i, B_i) &= ((\cup_i A_i)', \cap_i B_i) \end{aligned} \quad (9)$$

ahol  $A''$  jelenti a lezárt halmast (!) és az  $A$  halmast a származtatott halmaz származtatott halmazaként határoztuk meg:

$$A'' = (A')' \quad (10)$$

Egy fogalomhálót általában a *Hasse diagrammal* szoktunk ábrázolni. A Hasse diagram egy speciális irányított gráf. A gráf/diagram csomópontjai a fogalmak és az élek jelentik a fogalom szomszédokkal való relációját. Ha  $C_1, C_2$  fogalmak, amelyekre igaz a következő állítás:

$$\begin{aligned} C_1 &< C_2 \\ \neg \exists C_3 \in (\Phi, \leq) : C_1 &< C_3 < C_2 \end{aligned} \quad (11)$$

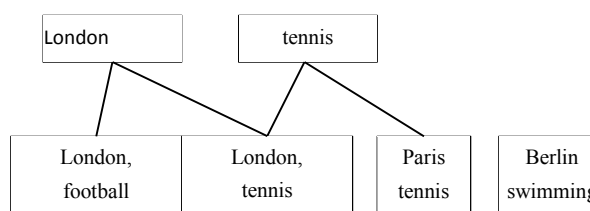
akkor létezik a Hasse diagramban egy irányított csomópont  $C_1$  és  $C_2$  között. Ebben az esetben  $C_1$  és  $C_2$  fogalmak *szomszédosak*.  $C_1$  a kisebb szomszédja  $C_2$ -nek és  $C_2$  nagyobb szomszédja  $C_1$ -nek.

A Hasse diagramot nemcsak a fogalomháló leírására, hanem egy adatrendszerben lévő rejtett fogalmak felfedésére, a fogalmak közötti általános relációk megállapítására, és osztályozási célra is lehet használni. A fogalomhálók részletes leírása megtalálható többek között a [2]-ben.

### 3. PÉLDA FOGALOM HÁLÓRA

Legyen négy dokumentum, mint objektum halmaz az következő attribútumokkal: D1(London, football), D2(London, tenis�/tennis), D3(Paris, tenis�/tennis) and D4 (Berlin, úszás/swimming). A lehetséges attribútum keresztmetszeteket csupán két dokumentum esetében találunk: D5(London) és D6(tenis�). Az ebből létrehozott háló az 1. ábrán látható.

Az így létrehozott hálóban az információ nagy része elvész, mert a dokumentumok attribútumai között kevés a közös elem. A létrehozott fogalomháló szerint a D3 és D4 keresztmetszete üres halmaz.



1. ábra. Fogalomháló példa

Másrészt találhatunk közös attribútum elemeket a két dokumentum között; például mindkét város európai fővárost jelöl, ahol sportolnak.

#### 4. HARDVER MEGVALÓSÍTÁS

Az internet bevezetése óta eltelt időben az elektronikusan tárolt információ mennyisége exponenciálisan növekedett. Időben megtalálni a tárolt információ mennyiségben a keresési feltételeknek megfelelő adatot a megvalósított szoftveres keresési eljárás hatékonyságának függvénye.

A nagymennyiségű információ kezelése fogalomháló segítségével nagyteljesítményű számítógépeket igényel. A mikroprocesszoros rendszerek fogalomháló kezelésében nem hatékonyak, mivel az algoritmusok végrehajtását szekvenciálisan végzik. Az előzőekben fogalomháló algoritmus párhuzamosítható. A párhuzamosan végrehajtott algoritmusok kedveznek a programozható logikai kapumátrixokkal történő megvalósításoknak (Programozható logikai kapumátrix = Field Programmable Gate Array – FPGA). Azonban a megvalósításban korlátok is fellépnek, amelyek a logikai erőforrások végességéből adódnak. Ennek ellenére a fogalomhálóban történő keresés megvalósítható, mint egy számítógépes rendszer társprocesszora.

Az irodalomban Covington és társai [10] ismertetnek egy osztályozási algoritmus megvalósítást rekonfigurálható hardverrel. A cikkben Covington és társai beszámolnak egy teljesen hardver alapú implementációról amely egy K-mean clustering algoritmust valósít meg, amely 512k dokumentumot osztályoz.

A fogalomháló implementációjának bemutatásához az 2. ábrán bemutatott fogalomhálót használtuk. A megvalósítást egy Spartan 3E FPGA áramkörre szimuláltuk. A 2. ábrán bemutatott szimulációs eredmény a keresés végső állapotát mutatja, ahol a keresett csomópontot (London, sport), a következő képen értelmezzük:

A kimeneti változó telep\_sport ábrázolja a fogalomháló keresett csomópontját. A 16 bites ábrázolásnak a következő értelmezést adtuk:

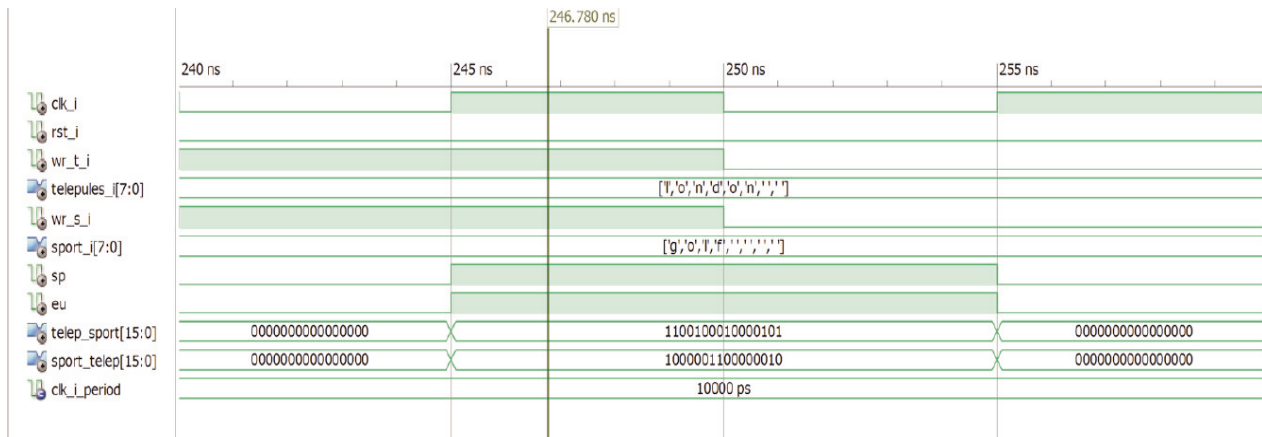
bit 15:	a város Európában van;
bit 14:	a település főváros;
bit 13..8	főváros kód
bit 7	a városban sportolnak;
bit 6..0	sport kód

Az általunk megadott értelmezés szerint a szimuláció eredményének a következő értelmezést adhatjuk: van egy London nevű városunk Európában, amely főváros és a városban a „tenisz” és „football” nevű sportokat űzik. A szimuláció tartalmaz egy másik változót is (sport telep), amely megmutatja a sport és telep attribútum párokat példánkban történetesen London-golf a jellemző csomópont.

A szimuláció vezérlési frekvenciája 100MHz. Az áramkör erőforrás igénye a példa megvalósításában 1% alatti. A felhasznált erőforrások főleg az algoritmus megvalósításában vettek részt és csupán nagyon kevés elem végzi a tárolást. Természetesen egy nagyméretű adatbázis esetében, amikor az attribútumok száma nagy az adattárolással nagyon hamar bekövetkezik az erőforrások (BlockRAM) felhasználása. Tehát le kell vonnunk a következtetést, hogy tízezres nagyságrendű adatmennyiség esetében a társ processzorként használt FPGA áramkör direkt hozzáférésű memória vezérlőt is meg kell valósítanunk. Ebben az esetben a rendszer erőforrásait még a felhasznált 32 bites „soft” processzor is csökkenti. Bár igazoltuk, hogy a fogalomháló megvalósítható FPGA áramkörökkel, társ processzorként való felhasználásukhoz a National Instruments által forgalmazott PCI RIO kártyát javasoljuk.

A megvalósítással szemben a következő követelmények érvényesek:

- szükség esetén a fogalomháló bővíthető legyen;
- a háló építése az univerzumtól kezdődjön azaz jellemezhető legyen az „11..11” vektorral; minden új beillesztett elem, amely különbözik a létező fogalmaktól beillesztésre kerül a háló megfelelő csomópontjában. Ez a követelmény a hardveres megvalósítás szempontjából hátrányos lehet, hiszen az egész fogalomhálót újból kell generálnunk.
- minden beillesztett új elem dinamikusan növeli a háló méretét.
- a fogalom hálóban történő keresés a lehetőségekhez mérten párhuzamos legyen. Ha az adatmennyiség nem engedi meg az intenzív párhuzamos keresést, akkor a fogalomhálót alhálókra kell bontanunk.



3. ábra Szimulációs eredmények: a keresés a fogalomhálóban

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

A cikkben bemutatásra került egy kevés elemet tartalmazó fogalomháló FPGA-n történő megvalósítása. A felhasznált erőforrások (1% alatti) mennyiségéből nem következethetünk egyértelműen nagymennyiségű adathalmazokból képzett fogalomháló erőforrás igényére, legfőképpen ha ezeket az FPGA áramkör memóriájában tároljuk, hiszen ezen áramkörök integrált memória kapacitása alacsony. Amennyiben társprocesszorként akarjuk üzemeltetni a fogalomháló keresést abban az esetben ajánlott a DMA használata.

A szimulációs eredmények alapján azonban a megvalósított párhuzamos keresés sokkal gyorsabb, mint a szekvenciális szoftveres megvalósítás. A 2. ábrán látható, hogy 100 MHz-es órajelet használva az eredmény 5 ns alatt rendelkezésre áll.

### 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"

"This research was carried out as part of the TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project with support by the European Union, co-financed by the European Social Fund."

### IRODALOM

- [1] B. Ganter, "Finger Exercises in Formal Concept Analysis", Dresden ICCL Summer School, June/July 2006 <http://www.math.tu-resden.de/~ganter/psfiles/FingerExercises.pdf>
- [2] R. Godin, R. Missaoui, H. Alaoui, "Incremental Concept Formation Algorithms Based On Galois (Concept) Lattices", Computational Intelligence, 11 DOI:10.1111/j.1467-8640.1995.tb00031.x, 1995, pp. 246-267.
- [3] K. Hu, Y. Lu, C. Shi: "Incremental concept formation algorithms based on Galois lattices", *Proceedings of PAKDD99*, Beijing, 1999, pp.109-113.
- [4] Sheng-Yong Qiao, Shuo-Pin Wen, Cai-Yun Chen, Zhi-Guo Li, "A Fast Algorithm for Building Concept Lattice" IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, ISBN: 0-7803-8131-92003, DOI: 10.1109/ICMLC.2003.1264463, 2003, pp. 163- 167.
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Formal\\_concept\\_analysis](http://en.wikipedia.org/wiki/Formal_concept_analysis)
- [6] <http://www.upriss.org.uk/fca/>
- [7] Villerd J., Ranwez S., Crampes M., Carteret D., "Using Concept Lattice for Visual Navigation Assistance in Large Databases: Application to a Patent Database." in CLA 2007, <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/conf/cla/cla2007.html>
- [8] Tsopzé N., Nguifo E. M., Tindo G., Clann, "Concept Lattice-based Artificial Neural Network for supervised classification", in CLA 2007, <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/conf/cla/cla2007.html>
- [9] L. Kovács "Concept Lattice Structure with Attribute Lattice"
- [10] G. Adam Covington, Charles L.G. Comstock, Andrew A. Levine, John W. Lockwood, Young H. Cho "High Speed Document Clustering In Reconfigurable Hardware" *Proceedings of IEEE FPL 2006*, 28-30 Aug. 2006, paper 189, 2006, pp.1-7.
- [11] S. Radeleczki, T. Tóth: *Fogalomháló alkalmazása a csoporttechnológiában*, OTKA kutatási jelentés, Miskolc, Hungary, 2001
- [12] L. Nourine., O. Raynaud: *A Fast Algorithm for Building Lattices*, Information Processing Letters, 71, 1999, p. 197-210
- [13] C. Lindig: *Fast Concept Analysis*, Proceedings of the 8<sup>th</sup> ICCS, Darmstadt, 2000.
- [14] G. Stumme., R. Taouil, Y. Bastide, N. Pasquier., L. Lakhal: *Fast Computation of Concept Lattices Using Data Mining Techniques*, 7<sup>th</sup> International Workshop on Knowledge Representation meets Databases (KRDB 2000), Berlin, 2000.
- [15] P. Njiwoua, E.M. Nguifo: A Parallel Algorithm to build Concept Lattice, Proc. Groningen Int. Inf. Techn. Conf., 1997, pp. 103-107
- [16] Vásárhelyi J., Kovács L. Parallel Algorithms for Concept Lattice In: Proceedings of SISY2012 (IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics). Szabadka, Szerbia, 20-22. 09. 2012., pp. 99-102

# KÖSZÖNTJÜK A 70 ÉVES DR. DR. H.C. PROF. H.C. /MULT/ DUDÁS ILLÉST A MŰSZAKI TUDOMÁNY (MTA) DOKTORÁT

Akadémiai Díjas, Akadémiai Szabadalmi Nívódíjas

Professzor emeritust



Nyírkarászon született 1942-ben itt is végezte általános iskolai, majd Kisvárdán a Bessenyei György Gimnázium reáltagozatán középiskolai tanulmányait. Gépészmérnöki oklevelét 1966-ban szerezte a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen. Pályáját a Diósgyőri Gépgyárban kezdte, ahol a „Gyártmánytervezési Főosztály Húzógép szerkesztési Osztályán” önálló konstruktőrként dolgozott. Tevékenysége a drót húzógépek, csévlőgépek, huzalkarika leemelők berendezések (daruk), hajtóművek, mechanizmusok tervezéséhez kapcsolódott. 1974-ben kutatócsoport vezetője lett, ahol a korszerű csigahajtások konstrukciós fejlesztésével, minősítésével foglalkozott. Ezen időszakra esett a tengelymetszetben ívelt profilú csiga kifejlesztése (szabadalom) amely a későbbi disszertációk alapjait képezte. Majd 1976-ban az újonnan alapított „Gyár-

tástervezési és Fejlesztési Osztály” osztályvezetőjévé nevezték ki. E munkakörben a gyártástervezéssel, gyártásfejlesztéssel, a gyártási folyamatok illetve gyártórendszerek kidolgozásával, telepítésével, üzemszervezési kérdésekkel foglalkozott. Ez visszatükröződik megjelent gépgyártástechnológia könyvsorozatában is.

Az egyetemi oktatásban 1967 óta vesz részt, kezdetben meghívott gyakorlatvezető illetve előadó, később mellékfoglalkozású tanársegéd, majd adjunktus, 1983-tól főállású docens. 1992. január 1-től 2007-ig a Gépgyártástechnológiai Tanszék vezetője, 1989-1991-ig a Gépészmérnöki Kar dékán helyettese /moduláris oktatás-, ipari és tudományos kapcsolatok erősítése fejlesztése, hallgatói ügyek stb./, 1992. július 1-től egyetemi tanár.

Tanszékvezetőként a számítástechnika, gyártásinformatika, az NC – CNC technika, valamint az idegen nyelvismeret fokozását tűzte ki célul és beindult a modul rendszerű oktatás korszerűsítése, majd a B.Sc. ill. M.Sc. fejlesztése is. Több új korszerű laboratórium jött létre pl. CAD/CAM, CAQ, CÍM, Rapid Proto-typing, stb.

Vezetésével a Tanszék az alkatrészyártás a szereléstechnológia, a minőségbiztosítás, a gyártóeszköz tervezés és gyártás valamint a gyártási folyamatok-gyártási rendszerek, oktatásának kutatásának - hazai és nemzetközi vonatkozásban is - elismert tanszéke lett.

Nagy gondot fordított a Tanszék technikai és a tudományos színvonalának az emelésére, hiszen a tanszék átvételénél 1992-ben 2 fő ( 1 D.S.c és 1 fő C.S.c ) és a tanszék átadásakor 2007-ben 7 fő ( 2 db DS.c és 5 fő C.S.c /Ph.D ) volt a minősített oktatók



száma. Közel 11000 egységből álló könyvtár segítette ez időben a tanszék munkáját.

A Tanszék átfogó kutatási témacsoportjai ebben az időszakban:

- megmunkálás eljárások;
- gyártási folyamatok és rendszerek;
- szerelő eljárások eszközei és rendszerei;
- minőségellenőrzés, minőségbiztosítás, minőségszabályozás;
- Magyar Tudományos Akadémia Gépgyártástechnológiai Tanszéki Támogatott Kutatócsoport 1996-1998; Társult Kutatócsoport 1998-2002.

A témacsoportokon belül kutatás folyt többek között a precíziós és ultraprecíziós megmunkálások, a szuperkemény szerszámok alkalmazása és a minőségbiztosítás témákban. De kiemelkedő jelentőségű volt a „Rugalmas gyártórendszerek” és a „Bonyolult geometriájú alkatrészek gyártása” és a „Technológiai adatbankok” kutatása is. Jelentős szabadalmak és know-how született a csavarfelületek, csigahajtások terén.

1996-tól megkezdte munkáját vezetésével az MTA Támogatott Kutatóhelyeként a „Gépgyártástechnológiai Tanszéki Kutatócsoport”, átlagosan 3 fő közreműködésével. „A gépipari technológiák komplex analízise, különös tekintettel a bonyolult geometriai alakzatok gyártásgeometriájának, valamint a gépgyártástechnológia számítógéppel segített módszereinek területére” témacímen.

Az eredmények számos publikációban dokumentálásra kerültek: folytatódott a „Nemzetközi Szerszámkonferenciák” (VI – XII.) és a „microCAD G szekciók” tanszéki megszervezése. Kínai és japán egyetemek után a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén került megrendezésre a főként mérés technológiával és intelligens eszközök tématerületekkel foglalkozó, „4th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments” (ISMTII'98) elnevezésű világkonferencia, melynek az elnöke Dudás Illés volt. Ennek előzménye,

hogyan Dudás professzort 1996-ban Tokióban az ICMI (The International Committee on Measurements and Instrumentation) elnökévé választották.

A nyugati – elsősorban német, osztrák, angol, portugál, kanadai, japán és amerikai – intézményekkel történt kapcsolatfelvétel új korszak kezdetét jelentette a Tanszék életében. Együttműködési kapcsolat létesült – többek között – Magdeburg, Braunschweig, Dortmund, Aachen, Hannover, Chemnitz, Huddersfield, Bécs, Graz, Belfast, Liszabon, Toronto, Chicago és Los Angeles Műszaki Egyetemével, valamint az aacheni és a magdeburgi Fraunhofer Intézettel. Emellett megmaradtak, illetve bővültek a kelet-európai – lengyel, román (erdélyi), cseh, szlovák, bolgár, orosz, ukrán – kapcsolatok is.

Több mint 30 külföldi egyetemmel tartott fent kapcsolatot a Tanszék ebben az időben.

A nemzetközi kapcsolatokra jellemző, hogy a Tanszék javaslatára 9 nemzetközileg elismert professzor kapott Dr. h. c és 4 fő Prof. h.c. kitüntető címet.

Fő kutatási területei:

gépgyártástechnológia, gyártásgeometria, gyártórendszerek hajtóművek, tengelymetszetben ívelt profilú -, spiróid -, és más csigahajtások, gyártóeszközök, minőségbiztosítás, környezetbarát technológiák, CAx technikák, Rapid Prototyping, orvosi implantátumok előállítása, stb.

Munkája során kiemelkedő tudományos eredményeket ért el többek között a gyártásgeometria, hajtóműfejlesztés, csigahajtások terén. A szabadalmaiban megfogalmazott gépészeti fejlesztésekért „Akadémiai Szabadalmi Nívódíjat” kapott 2004-ben.

A Gépészmérnöki Kar Sályi István Doktori Iskola alapító tagja, és vezetője a „Gépészeti anyagtudomány, gyártási rendszerek és folyamatok” alprogramnak. 1973-ban Dr. techn., 1982-ben a műszaki tudomány kandidátusa, 1991-ben a műszaki tudományok (MTA) doktora fokozatot szerzett.

Kiemelkedő a fogazás területén végzett iskolateremtő tevékenysége, melyet a világ

egyetemein elismernek „Csigaiskola” jött létre a tanszéken.

Nagy munkabírással vesz részt több tudományos és nemzetközi bizottság (MTA, MAB, GTE, IMECO, ICMTII stb.) munkájában. Tagja szakmai folyóiratok szerkesztőbizottságainak és nemzetközi konferenciák programbizottságának vezetője, tagja.

Tudományos közéleti tevékenysége mellett kiemelendő, hogy a Magyar Professzorok Világtanácsának tudományos titkárként jelentős szerepet vállalt a Kárpát-medencében és szórványban élő magyar professzorok kapcsolatainak erősítésében. Ma a Magyar Professzorok Nemzetközi Szövetségének alapító és elnökségi tagja.

Több kitüntetés birtokosa, amely közül kiemelendő a Japánban kapott Életműdíj valamint a Miskolci Egyetemen kapott Miskolci Egyetemért Érdemérem illetve a hallgatóktól kapott Tiszteletbeli Évfolyamtárs.

Több egyetem így a „Harkovi Műszaki Egyetem, a Kolozsvári Műszaki Egyetem, a Szent István Egyetem tiszteletbeli professzora (Prof. h.c.) és a Kolozsvári Műszaki Egyetem tiszteletbeli doktora (Dr. h.c.).

Kutatási tevékenységének eredményeiről eddig 8 db szakkönyvben, 4 db HEFOP jegyzetben, 7 db könyvfejezetben, valamint 7 db szerkesztett könyvben több mint 500 db megjelent szakcikkből illetve konferencia közleményben, kutatási jelentésben, továbbá kb. 250 tudományos előadás, valamint 13 szabadalom know-how és bevezetett újítás keretében adott számot. Közülük kiemelendő, „The Theory & Practice of Worm Gear Drives” című könyve, amelyet 2000-ben Angliában, 2004-ben az Amerikai Egyesült Államokban is kiadtak. A könyvben megfogalmazott általános matematikai modellért Akadémiai Díjat kapott 2010-ben. Ezen munkája magyarul 2007-ben jelent meg „Csigahajtások elmélete és gyártása” címen. A Miskolci Egyetem, ill. a Műszaki Könyvkiadó gondozásában megjelent Gépgyártástechnológia I–V. kötetében foglalta össze a gépgyártástechnológia korszerű ismereteit legfőbb területeit igyeke-

zett lefedni. Az általa kifejlesztett matematikai modell a gépgyártástechnológia minden területére kiterjeszhető, alkalmazható.

Tizenhét évig az iparban dolgozott, s amit tervezett, azt le is gyártották és csak az volt eredmény, ami működött. A kutatások mellett természetesen az is fontos számára, hogy az ismereteit, a tapasztalatait továbbadhassa. Egy ma 98 éves USA-ban élő, F.L. Litvin professzor a világhírű mérnök-matematikus írt előszót az, angolul megjelent könyvéhez, amiben úgy fogalmaz, hogy „az a legnagyobb jutalom egy tudós számára, ha követői vannak és én Magyarországon sok követőt találtam. Az örömet hogy követőim lehetnek talán Henry Wadsworth Longfellow A nyílvesző és a dal című verséből vett idézet fejezi ki a legjobban

„ Kilőttem egy nyilat a levegőbe  
Azt sem tudom hol, leesett a földre,  
(...)

És (de, F.L.) a dalt , mi úgy szólt, mint régen,

Megtaláltam újra egy barát szívében”

Remélem, hogy ez a rövid bevezető megmagyarázza, miért vagyok hálás a lehetőségért, hogy előszót írhatok Dudás professzor nagyon értékes könyvéhez.”

Ez egy igen nagyszerű elismerése Dudás professzor munkájának.

Nagy tisztelettel ápolja elődeinek emlékét így kezdeményezésére Bálint Lajosnak a Gépgyártástechnológia professzorának szobrot állítottak 1999-ben az Egyetem Aulájában, valamint „Pro Scientia Technologiae - A Technológiatudományért” Emlékéremet alapított a Tanszék, fennállásának 50. jubileuma alkalmából. Emlékfüzetet írt, Bálint Lajos és Fridrik László tanszékvezetőknek, alapítványt hozott létre a hallgatók támogatására a „Jövő Gépészmérnökeiért” néven. A tanszék 1996-ban emlékkiállítás szervezett Bálint Lajos és Fridrik László korábbi elhunyt tanszékvezetőknek

Ma professzor emeritusként dolgozik a Gépgyártástechnológiai tanszéken, párhuzamosan a Nyíregyházi Főiskolán. 2001-től

a Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszékén, oktatóként és Záró Vizsga Bizottságok elnökeként. 2005-től részfoglalkozású egyetemi tanár. 2010-2012-ig kutató professzor a Főiskolán.

Kutatócsoportot hozott létre, melynek eredményeképp két új kutatási területen a környezetbarát technológiák és a csavarfelületek értek el kimagasló eredményeket a Nyíregyházi Főiskola Gépgyártástechnológia és Műszaki Alapozó Tanszékén.

Jelentős labor fejlesztés következett be az általa gondozott Baross Gábor pályázat keretében illetve új tudományos iskola alapjait rakta le.

Ma Professzor Emeritusként a korábbi előadásai közül a Kari közös Gépgyártástechnológia Alapjai c. tárgyat és a Gépgyártástechnológia II. és a Gyártás,- és Gyártórendszerek tervezése tárgyakat adja elő a Miskolci Egyetemen és a Megmunkálási eljárások és a Gyártórendszerek tervezése című tárgyakat a Nyíregyházi Főiskolán.

A Ph.D képzésben továbbra is „Gépeszeti anyagtudomány, gyártási rendszerek és folyamatok” tématerület- felelősként a Sályi István Doktori Iskolában, mint alapító professzor dolgozik, jelenleg 4 fő doktorandusza van (Bányai Károly, Bodzás Sándor, Mándy Zoltán, Monostoriné Hörcsik Renáta), akiket szinte naponta konzultál.

Az utóbbi években a DifiCAD Mérnökiroda Kft. nevű cégénél kedvenc kutatási témájának a csigahajtásoknak a korszerű fejlesztési lehetőségeit alakította ki. 70. Születésnapján a doktoranduszaival és a fiával együtt szabadalmi bejelentést tett és ennek a megvalósításában is dolgoznak az említett kis cégnél.

Dudás Professzort tisztelettel köszöntik a Kar munkatársai tanítványai, kívánunk a nagyszerű kiváló tudósnak, professzornak 70. születésnapja alkalmából további sikeres oktató, kutató munkát, és mindehhez jó egészséget, felesége, 3 gyermeke és 2 unokája családi körében is.

*Dr. Illés Béla  
tanszékvezető egyetemi tanár  
ME Gépészmérnöki és Informatikai kar  
dékánja*

# 5D-S MEGMUNKÁLÁSRA ALKALMAS ESZTERGA-MEGMUNKÁLÓ KÖZPONTOK FEJLESZTÉSE AZ EXCEL CSEPEL SZERSZÁMGÉPGYÁRTÓ KFT.-BEN

## DEVELOPMENT OF LATHES MACHINING CENTRES AT EXCEL CSEPEL SZERSZÁMGYÁRTÓ KFT. ( EXCEL CSEPEL TOOL MANUFACTURING LTD.) CAPABLE OF 5D MACHINING.

Schwarzenberger József\* – Juhász István\*\*

### MACH-TECH 2013 NAGYDÍJ (A pavilon 103B)

A világ szerszámgéppiaci telített hagyományos, valamint az egyszerűbb kivitelű két, három, illetve négytengelyes esztergák területén. Hasonló a helyzet az alapkivitelűnek számító három és négytengelyes, kisebb munkaterű megmunkáló központok piacán is. Ezen piaci szegmensekben az ázsiai gyártók (japán, tajvani, koreai, kínai, stb.) egyre növekvő dominanciája érvényesül.

Ugyanakkor, elsősorban az igényes járműipar, az olajipari gépgyártás, az energetikai ipar területén óriási igény jelentkezik nagy bonyolultságú, ugyanakkor precíziós pontosságú alkatrészek egy felfogásban történő megmunkálására, a műveletek nagyfokú koncentrálására. A hagyományos értelemben vett gépfelosztás újragondolásra került, vagyis az esztergák és a marógépek közötti különbségek fokozatos eltűntek. Megjelentek a fűrészi, marási funkciók az esztergápeken, a fűrés-maró megmunkáló központokat pedig kiesztalgáló fejekkel, valamint egyéb speciális technológiai kiegészítőkkel szerelték fel az egy felfogásban való teljes megmunkálás érdekében. A korszerű, minden piacon jól értékesíthető berendezés már egyszerűen megmunkáló gép, amelyen egyaránt végezhető esztalgálási, marási, fűrészi, esetenként még további speciális megmunkálások is.

Ezt a folyamatot támogatták fejlesztéseikkel a CNC vezérlőgyártók is, akik a korábbi T/L (turning, lathe), valamint M (milling) kivitelek helyett, olyan általános típusúval jelentek meg, amely mindkét megmunkálásra (forgó munkadarab és álló szerszám, illetve álló munkadarab és forgó szerszám) egyaránt alkalmasak.

A csepeli szerszámgépgyártás jelentős hagyományokkal rendelkezik a speciális kivitelű, munkadarab orientált esztergák és marógépek fejlesztésében és gyártásában, ugyanakkor a precíziós, nagy pontosságú gyártás területén is vannak igen jelentős tapasztalatai. Erre a két pillérre támaszkodva, pályázati források bevonásával került sor a TMB-5D-710 típusú gép kifejlesztésére, amellyel a gyár szeretné a világ szerszámgéppiacán elért pozícióit megtartani és tovább erősíteni.

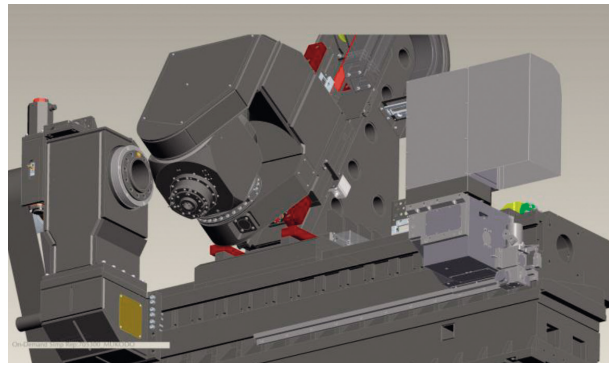
\*\*\* vezető tervezők

Az Excel Csepel Szerszámgépgyártó Kft. már a kilencvenes években foglalkozott a bonyolult felületek nagy pontosságú megmunkálásával, ami elsősorban a szerszámpiac területéről jelent meg feladatként. Ma már hasonló igényeket támasztanak a járműipar, olaj- és gázipar, energetikai ipar, vagy a mezőgazdasági gépgyártás területéről is. Az elmúlt 15-20 évben rendkívül sikeres, piacképes SLT-630 típusjelű gépet fejlesztettük tovább a piac megváltozott igényeinek megfelelően. Az új típus kifejlesztése is alapvetően ennek a gépcsaládnak a továbbfejlesztésére épült: a munkaterű növelése, az 5D-s megmunkálás lehetőségének megteremtése, a megmunkálás pontosságának javítása, valamint a megmunkálás kedvezőtlen környezeti hatásainak csökkentése.

- A munkaterű növelésének érdekében egy lényegesen merevebb, szélesebb szánvezeték alátámasztással rendelkező gépágyat terveztünk. Az új gépágy megfelelő merevséget biztosít a korábbinál nagyobb teljesítményű főhajtás fogadására is, lehetővé teszi a főorsó közép kiemelését, ezáltal a ágy és a szánvezeték fölött elforduló munkadarab átmérő növelését. Az ágy merevségét tovább javítja a speciális összetételű vizes betonnal történő kiöntés is.
- A gépen belül kiemelt fejlesztési irány volt egy új, többtengelyes szánrendszer megtervezése, amely az igényeknek megfelelően két (X,Z), három (X,Y,Z), valamint négy (X,Y,Z,B) tengellyel építhető.
- A négytengelyes kivitelhez egy nagy teljesítményű, orsómotoros marófej került megtervezésre. A B tengelyhez egy hézagmentes csiga-csigakerék hajtást terveztünk. A megmunkálás alatt egy csillapító fém bekapcsolásával csökkenthetőek a remegések, javítható a megmunkált felület minősége. Az egyélű szerszámmal való megmunkáláshoz a maróorsó Hirth fogazású tárcsával, adott szöghelyzetben rögzíthető.

- A megmunkálás pontosságának javítása céljából minden lineáris tengely mentén nagyfelbontású, abszolút rendszerű optikai mérőlécek kerültek beépítésre.
- A nagysebességű, precíziós megmunkáláshoz a legkorszerűbb Fanuc Europe CNC vezérlőt építjük be, amely teljes körűen támogatja az 5D-s megmunkálást. A tengelyek mozgatására nagy dinamikával rendelkező, nagyfelbontású mérőrendszerrel szerelt szervó motorokkal történik. Az 5D-s megmunkáláshoz a CNC vezérlők képesek nagyszámú mondatok előreolvasására, ami elengedhetetlen feltétele az átmeneteknél a precíz felületek létrehozásának. A marófejbe beépített integrált főmotor, az optimálisan megtervezett hűtéssel együtt, alkalmassá teszi a gépet nagy teljesítményű marás és fúrás elvégzésére is.
- Az esztergáláshoz, valamint a fúráshoz és maráshoz szükséges szerszámok elhelyezésére egy 40 férőhelyes szerszámotár is megtervezésre került. Az automatikus szerszámcsere-t egy kényszerpályás megoldású szerszámcsereelő végzi.
- A gép teljesen zárt munkatér burkolatát úgy tervezzük át, hogy alkalmas legyen a nagyobb teljesítményű megmunkáláshoz szükséges hűtőfolyadék összegyűjtésére, a keletkező nagy mennyiségű forgács elvezetésére, a keletkező pára elszívására páraelszívó egység is csatlakoztatható a géphez. A hűtőfolyadék tisztítására, a kenőolaj kiválasztására, valamint a hűtőfolyadék esetleges hűtésére szintén tervezzük segédberendezéseket. A burkolatba integrált villamos berendezés egy klímatisztított kapcsolószekrényben nyert elhelyezést. A bonyolult egységek kábelezéséhez helyi hálózatokat (Profibus) építünk ki

Pályázati támogatás felhasználásával valósult meg és került kiállításra a TMB-710 5D típus jelű 5 tengelyes eszterga, 3D-s felületek kialakítására. A gép jellemzője a konkurens gyártókkal szemben az igen erős, merev öntvény rendszer, box vezetékek alkalmazása és egy az átlagnál nagyobb, több mint 300 Nm nyomatékkal rendelkező marófej tervezése, kivitelezése.



*TMB-5D-710 típusú gép*



# RADIÁLISAN RÉTEGEZETT HENGER KVÁZISZTATIKUS SÍKBELI HŐRUGALMAS ÁLLAPOTA ASZIMMETRIKUS HEVÍTÉS ESETÉN

## THE QUASISTATIC PLANE PROBLEM OF THERMOELASTICITY FOR RADially LAYERED CYLINDER WITH ASYMMETRIC HEATING

*Szulim Georgiy \*, Scsukin Valentyin \*\*, Turcsin Igor \*\*\*, Timár, Imre \*\*\*\**

### ABSTRACT

*The paper presents a solution for the plane problem of quasistatic thermoelasticity for the radially layered cylinder with non-axisymmetric heating on its boundary surfaces. The solution of the considered problem is constructed with the help of Laguerre integral transform with respect to time variable and Fourier transform with respect to angular displacement. The stresses are presented for the three layered cylinder under local heating on the outer surface.*

### 1. BEVEZETÉS

A szerkezetileg inhomogén és rétegzett szerkezetekben lejátszódó instacio-nárius folyamatok vizsgálata az alakváltozó szilárd testek mechanikájának aktuális feladata mind elméleti, mind gyakorlati szempontból.

A legújabb szakirodalmakban a kompozit testekben és közegekben a fizikai-mechanikai mezők legelterjedtebb vizsgálati módszere a tulajdonságaik egy vagy néhány koordináta szerinti homogenizálása majd ezt követően a viselkedésük tanulmányozása elméletileg homogén szerkezetet feltételezve [3]. Az ilyen megközelítés lehetővé teszi a feladat általános megfogalmazásának egyszerűsítését és a fizikai-mechanikai mezők ismert vizsgálati módszereinek alkalmazását homogén testekben.

Ennek ellenére ilyen megközelítésben gyakran nem sikerül megbízhatóan tanulmányozni magában a kompozitban az inhomogenitás okozta folyamatok minőségi és mennyiségi jellemzőit.

A másik megközelítési mód, amelyik figyelembe veszi a kompozit egyes alkotói-nak belső inhomogenitását és kölcsönhatását, minden egyes kompozitelemre vonatkozóan külön feladatok vizsgálatát igényli az illesztési feltételek figyelembevételével. E megközelítési mód keretén belül, például a [2], [4], [5] irodalomban és más szerzők munkáiban sikerült figyelembe venni minden egyes réteg reális állapotát és meg lehetett határozni a határoló felületeken a fizikai-mechanikai mezők átalakulásának jellemzőit. Napjainkra elég alaposan tanulmányozták az ilyen testekben lejátszódó stacionárius folyamatokat, ennek ellenére a szakirodalomban gyakorlatilag hiányoznak azok a szintetizáló analitikus módszerek, amelyek lehetőséget adnának a hasonló problémák megoldására instacionér folyamatok esetén a matematikai modellezésből kiindulva egészen a megbízható mennyiségi és minőségi vizsgálatig.

Célunk, hogy analitikus módszert dolgozzunk ki a radiálisan rétegzett testek kvázisztaikus síkbeli hőrugalmasságtani feladatának megoldására. A megoldás alapján vizsgálni kívánjuk a szögkoordináta mentén lokálisan hevített, radiálisan rétegzett testek hőfeszültségi állapotát.

\* egyetemi tanár, Ivan Franko Nemzeti Egyetem, 79000 Lviv, Universitetska 1, Ukrajna

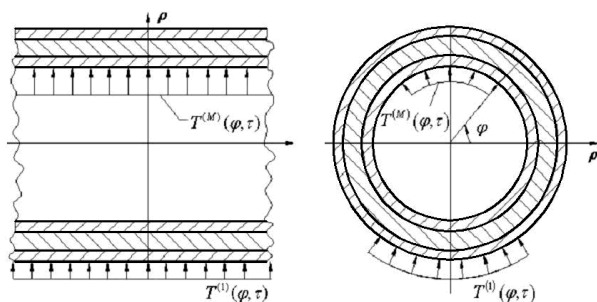
\*\* tudományos főmunkatárs, Ukrán Tudományos Akadémia, Matematikai Modellezési Központ, 79005 Lviv, Dudajev u. 15

\*\*\* egyetemi docens, Ivan Franko Nemzeti Egyetem, 79000 Lviv, Universitetska 1, Ukrajna

\*\*\*\* egyetemi tanár, Pannon Egyetem, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10

## 2. A HŐVEZETÉSI PROBLÉMA

A továbbiakban egy olyan kompozitot vizsgálunk, amelyik  $M$  darab különböző vastagságú és különböző fizikai-mechanikai jellemzőkkel rendelkező egymásba helyezett hengerből áll (1. ábra). Az 1-es index a kompozit külső hengeres rétegét jelöli, míg az  $M$  a belsőt. A kompozitban az instacionér hőmérsékletmező forrásaként a határfelületein fellépő lokális hőmérséklet változást tekintjük.



1. ábra. A rétegzett cső

A kompozitban az instacionér hőmérsékletmezőt a kezdetiperemérték feladat megoldása révén határozzuk meg:

$$\rho^{-1} \partial_{\rho} (\rho \partial_{\rho} T^{(i)}) + \rho^{-2} \partial_{\varphi\varphi}^2 T^{(i)} = \tilde{a}_i \partial_{\tau} T^{(i)}, \quad i = \overline{1, M}; \quad (1)$$

$$T^{(1)}(1, \varphi, \tau) = T_c^{(1)}(\varphi, \tau),$$

$$T^{(M)}(\rho_M, \varphi, \tau) = T_c^{(M)}(\varphi, \tau),$$

$$T^{(i)} = T^{(i+1)}; \quad \tilde{\lambda}_T^{(i)} \partial_{\rho} T^{(i)} = \tilde{\lambda}_T^{(i+1)} \partial_{\rho} T^{(i+1)},$$

$$\rho = \rho_i, \quad i = \overline{1, M-1}$$

$$T^{(i)}(\rho, \varphi, 0) = 0, \quad i = \overline{1, M},$$

ahol  $T^{(i)}(\rho, \varphi, \tau)$  – az  $i$ -edik henger hőmérséklet mezeje,  $T_c^{(1)}(\varphi, \tau)$  és  $T_c^{(M)}(\varphi, \tau)$  – a kompozit külső és belső felületének hőmérséklete,  $(\tau = at / R_0^2)$ ,  $\lambda_r^i$ ,  $a_i$  – az  $i$ -edik réteg hővezetési és hőmérsékletvezetési tényezője ( $\tilde{a}_i = a / a_i$ ,  $\tilde{\lambda}_T^i = \lambda_r^i / \lambda_T$ ),  $\lambda_T, a$  – a hővezetési és hőmérsékletvezetési tényező vonatkoztatási alapja (valamelyik anyagé),  $R_0, R_M$  – a kompozit külső és belső felületének sugara ( $\rho_i = R_i / R_0$ ),  $\rho = r / R_0$  – a

dimenziótlan radiális irányú változó,  $R_i$  ( $i = \overline{1, M-1}$ ) – a rétegek közti érintkezési sugarak.

A hővezetési egyenlet analitikus megoldása céljából az (1) - es egyenletre vonatkozóan alkalmazzuk a  $\tau$  változó szerinti Laguerre-féle integrál transzformációt. A zérus kezdeti feltételek figyelembevételével (4) a következő feladatok sorozatához jutunk

$$\rho^{-1} \partial_{\rho} (\rho \partial_{\rho} T_n^{(i)}) + \rho^{-2} \partial_{\varphi\varphi}^2 T_n^{(i)} = \lambda \tilde{a}_i \sum_{m=0}^n T_m^{(i)},$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, \quad i = \overline{1, M} \quad (5)$$

ahol  $T_n^{(i)}(\rho, \varphi) = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda\tau) T^{(i)}(\rho, \varphi, \tau) L_n(\lambda\tau) d\tau$  – a Laguerre-féle transzformáció, melynek inverziós összefüggése a következő sor:

$$T^{(i)}(\rho, \varphi, \tau) = \lambda \sum_{n=0}^{\infty} T_n^{(i)}(\rho, \varphi) L_n(\lambda\tau). \quad (6)$$

$L_n(\cdot)$  - a Laguerre polinomok,  $\lambda$  - az un. léptéktényező, ami a  $\tau$  változó kis és nagy értékeinél lehetőséget nyújt a (6) alatti sor numerikus összegzési eljárásának optimalizálására.

Az (5)-ös egyenletekre vonatkozóan alkalmazzuk a  $\varphi$  szögváltozó szerinti Fourier-transzformációt. Az  $n$  indexű tagnak a jobb oldalról a bal oldalra történő átvitele után a közönséges differenciálegyenletekre vonatkozóan peremérték feladatok sorozatát kapjuk:

$$\rho^{-1} d_{\rho} (\rho d_{\rho} \bar{T}_{n,m}^{(i)}) - (\beta_i + m^2 \rho^{-2}) \bar{T}_{n,m}^{(i)} = \beta_i \sum_{k=0}^{n-1} \bar{T}_k^{(i)},$$

$$n = 0, 1, 2, \dots; \quad m = 0, 1, 2, \dots; \quad i = \overline{1, M} \quad (7)$$

A megfelelő peremfeltételekkel (2) és illesztési feltételekkel (3):

$$\bar{T}_{n,m}^{(i)}(1) = \bar{T}_{c,n,m}^{(1)}, \quad \bar{T}_{n,m}^{(M)}(\rho_M) = \bar{T}_{c,n,m}^{(M)}(\xi), \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \bar{T}_{n,m}^{(i)} &= \bar{T}_{n,m}^{(i+1)}; \quad \tilde{\lambda}_T^{(i)} d_\rho \bar{T}_{n,m}^{(i)} = \tilde{\lambda}_T^{(i+1)} d_\rho \bar{T}_{n,m}^{(i+1)}, \\ \rho &= \rho_i, \quad i = \overline{1, M-1} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{Itt } \bar{T}_{n,m}^{(i)}(\rho) = \int_{-\pi}^{\pi} e^{im\varphi} \left[ \int_0^{\infty} e^{-\lambda\tau} T^{(i)}(\rho, \varphi, \tau) L_n(\lambda\tau) d\tau \right] d\varphi$$

– a Laguerre és Fourier transzformáció,  $\beta_i = \lambda \tilde{\alpha}_i$ .

A (7)-es sorozat általános megoldását algebrai konvolúció formájában lehet felírni:

$$\bar{T}_{n,m}^{(i)}(\rho) = \sum_{j=0}^n \left[ A_{n-j,m}^{(i)} G_{j,m}(\rho) + B_{n-j,m}^{(i)} W_{j,m}(\rho) \right]. \quad (10)$$

Az  $A_{n-j,m}^{(i)}$ ,  $B_{n-j,m}^{(i)}$  – függvények, melyek (8)-as és (9)-es átalakított feltételekből határozhatók meg, a  $G_{j,m}(\rho)$  és  $W_{j,m}(\rho)$  - a (6) alapmegoldásainak lineárisan független sorozatai, melyeket a következő formában lehet előállítani:

$$\begin{aligned} G_{j,m}(\rho) &= \sum_{p=0}^j a_{j,p} \frac{(\beta_i \rho)^p I_{p+m}(\beta_i \rho)}{2^p p!}, \\ W_{j,m}(\rho) &= \sum_{p=0}^j a_{j,p} \frac{(-\beta_i \rho)^p K_{p+m}(\beta_i \rho)}{2^p p!}, \end{aligned}$$

ahol  $I_p(\cdot)$ ,  $K_p(\cdot)$  - a módosított Bessel függvények, az  $a_{j,p}$  értékek kielégítik az alábbi rekurziós összefüggéseket

$$a_{j,p+1} = \sum_{k=p}^{j-1} a_{k,p}; \quad j=1, 2, \dots; \quad p = \overline{0, j-1}.$$

A (8)-as peremfeltételekből és a (9)-es illesztési feltételekből az  $A_n^{(i)}$  és  $B_n^{(i)}$  ismeretlenek szerinti lineáris egyenlet-rendszerek sorozatait kapjuk:

$$\begin{aligned} (b_{k,l}^m) \{ A_{n,m}^{(1)}, B_{n,m}^{(1)}, \dots, A_{n,m}^{(M)}, B_{n,m}^{(M)} \}^T &= \{ c_{n,m,k} \}^T, \\ n &= 0, 1, 2, \dots; \quad m = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (11)$$

A  $(b_{k,l}^m)$  mátrix együtthatói nem függenek az  $n$  rendszámától, de struktúrája lehetővé teszi,

hogy viszonylag egyszerűen lehessen háromszög mátrixszá alakítani és így módon tetszőleges  $M$ -re vonatkozóan lehetőség nyílik a (11)-es egyenletrendszer rekurziós megoldásának előállítására.

A (11)-es egyenletrendszerből az  $A_{n,m}^{(i)}$  и  $B_{n,m}^{(i)}$  ismeretlenek meghatározása után az (1)-(4)-es feladat megoldása a (6)-os összefüggés és az inverz Fourier transzformáció alapján az alábbi kettős sor alakjában írható fel

$$T^{(i)}(\rho, \varphi, Fo) = \frac{\lambda}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} L_n(\lambda Fo) \sum_{m=-\infty}^{\infty} \bar{T}_{n,m}^{(i)}(\rho) e^{-im\varphi}. \quad (12)$$

### 3. A KOMPOZIT ALAKVÁLTOZÁSI ÉS FESZÜLTSGÉGI ÁLLAPOTA

A (12)-es hőmérsékletmező által előidézett alakváltozási és feszültségi állapot meghatározása céljából, figyelembe véve, hogy az összetett henger határfelületei feszültségmentesek, meg kell határozni a hőrugalmas közeg egyensúlyi egyenlet-rendszerének a  $\theta^{(i)}(\rho, \varphi, Fo) = \rho^{-1} \partial_\rho(\rho u^{(i)}) + \rho^{-1} \partial_\varphi v^{(i)}$  és  $\omega^{(i)}(\rho, \varphi, Fo) = \rho^{-1} \partial_\rho(\rho v^{(i)}) - \rho^{-1} \partial_\varphi u^{(i)}$  kulcsfüggvények szerinti megoldásait, ahol  $u^{(i)}$  és  $v^{(i)}$  a  $\rho$  és  $\varphi$  tengely irányú elmozdulásvektor komponensei:

$$\kappa^2 \partial_\rho \theta^{(i)} - \rho^{-1} \partial_\varphi \omega^{(i)} = \beta_T^{(i)} \partial_\rho T^{(i)}, \quad i = \overline{1, M}; \quad (13)$$

$$\kappa^2 \rho^{-1} \partial_\varphi \theta^{(i)} + \partial_\rho \omega^{(i)} = \beta_T^{(i)} \rho^{-1} \partial_\varphi T^{(i)}, \quad i = \overline{1, M} \quad (14)$$

a következő zérus kezdeti feltételek

$$\theta^{(i)}(\rho, \varphi, 0) = \omega^{(i)}(\rho, \varphi, 0) = 0, \quad i = \overline{1, M};$$



valamint peremfeltételek

$$\begin{aligned}\sigma_{\rho\rho}^{(1)}(\rho_0, \varphi, F_0) &= \sigma_{\rho\rho}^{(1)}(\rho_0, \varphi, F_0) = 0, \\ \sigma_{\rho\rho}^{(M)}(\rho_M, \varphi, F_0) &= \sigma_{\rho\rho}^{(M)}(\rho_M, \varphi, F_0) = 0\end{aligned}\quad (15)$$

és a rétegek illesztési feltételei (ideális mechanikai érintkezési feltételek) esetén

$$\begin{aligned}u^{(i)}(\rho_i, \varphi, F_0) &= u^{(i+1)}(\rho_i, \varphi, F_0), \quad i = \overline{1, M-1} \\ v^{(i)}(\rho_i, \varphi, F_0) &= v^{(i+1)}(\rho_i, \varphi, F_0), \quad i = \overline{1, M-1} \\ \sigma_{\rho\rho}^{(i)}(\rho_i, \varphi, F_0) &= \sigma_{\rho\rho}^{(i+1)}(\rho_i, \varphi, F_0), \quad i = \overline{1, M-1} \\ \sigma_{\rho\varphi}^{(i)}(\rho_i, \varphi, F_0) &= \sigma_{\rho\varphi}^{(i+1)}(\rho_i, \varphi, F_0), \quad i = \overline{1, M-1}\end{aligned}\quad (16)$$

ahol  $\lambda^{(i)}$ ,  $\mu^{(i)}$ , – az  $i$ -edik henger anyagának Lamé állandói,  $\kappa_i^2 = (\lambda^{(i)} + 2\mu^{(i)}) / \mu^{(i)}$ ,  $\beta_T^{(i)} = (3\kappa_i^2 - 4)\alpha_T^{(i)}$ ,  $\alpha_T^{(i)}$  – a lineáris hőtágulási együttható,  $\nu_i$  – a Poisson tényező.

A (13), (14)-es egyenletre alkalmazzuk a Laguerre-Fourier integrál transzformációt, így a következő eredményt kapjuk

$$\begin{aligned}\bar{\theta}_{n,0}^{(i)}(\rho) &= A_{n,0}^{(i)} + \beta_T^{(i)} \kappa^{-2} \bar{T}_{n,0}^{(i)}, \\ \bar{\theta}_{n,m}^{(i)}(\rho) &= A_{n,m,1}^{(i)} \rho^m + A_{n,m,2}^{(i)} \rho^{-m} + \beta_T^{(i)} \kappa^{-2} \bar{T}_{n,m}^{(i)}, \\ m &= 1, 2, \dots\end{aligned}\quad (17)$$

$$\begin{aligned}\bar{\omega}_{n,0}^{(i)}(\rho) &= \tilde{A}_{n,0}^{(i)}, \\ \bar{\omega}_{n,m}^{(i)}(\rho) &= i\kappa^2 A_{n,m,1}^{(i)} \rho^m - i\kappa^2 A_{n,m,2}^{(i)} \rho^{-m}, \quad m = 1, 2, \dots\end{aligned}\quad (18)$$

A  $\bar{\theta}_{n,m}^{(i)}(\rho)$  (17), valamint a  $\bar{\omega}_{n,m}^{(i)}(\rho)$  (18) figyelembevételével, továbbá a  $P_{n,m}^{(i)}(\rho)$  és  $Q_{n,m}^{(i)}(\rho)$  függvények segítségével meg lehet határozni az  $\bar{u}_{n,m}^{(i)}(\rho)$ , és  $\bar{v}_{n,m}^{(i)}(\rho)$  elmozdulások transzformáltjait

$$\begin{aligned}\bar{u}_{n,m}^{(i)}(\rho) &= \partial_\rho P_{n,m}^{(i)} - in\rho^{-1} Q_{n,m}^{(i)} \\ \bar{v}_{n,m}^{(i)}(\rho) &= -in\rho^{-1} P_{n,m}^{(i)} - \partial_\rho Q_{n,m}^{(i)},\end{aligned}\quad (19)$$

a  $P_{n,m}^{(i)}(\rho)$  и  $Q_{n,m}^{(i)}(\rho)$  függvények az alábbi egyenletekből határozhatók meg:

$$\rho^{-1} \partial_\rho (\rho \partial_\rho P_{n,m}^{(i)}) - n^2 \rho^{-2} P_{n,m}^{(i)} = \bar{\theta}_{n,m}^{(i)} \quad (20)$$

$$\rho^{-1} \partial_\rho (\rho \partial_\rho Q_{n,m}^{(i)}) - n^2 \rho^{-2} Q_{n,m}^{(i)} = -\bar{\omega}_{n,m}^{(i)} \quad (21)$$

A (20), (21)-es egyenletek megoldása után kapjuk, hogy

$$\begin{aligned}P_{n,0}^{(i)} &= \tilde{B}_{n,0}^{(i)} + B_{n,0}^{(i)} \ln(\rho) + A_{n,0}^{(i)} \rho^2 / 4 + \beta_T^{(i)} \bar{T}_{n,0}^{(i)} / (s\kappa^2) \\ P_{n,1}^{(i)} &= B_{n,1,1}^{(i)} \rho + B_{n,1,2}^{(i)} \rho^{-1} + A_{n,1,1}^{(i)} \rho^3 / 8 + \\ &+ A_{n,1,2}^{(i)} \rho \ln(\rho) + \beta_T^{(i)} \bar{T}_{n,1}^{(i)} / (s\kappa_i^2)\end{aligned}\quad (22)$$

$$\begin{aligned}P_{n,m}^{(i)} &= B_{n,m,1}^{(i)} \rho^m + B_{n,m,2}^{(i)} \rho^{-m} + A_{n,m,1}^{(i)} \rho^{m+2} / 4(m+1) + \\ &+ A_{n,m,2}^{(i)} \rho^{-m+2} / 4(1-m) + \beta_T^{(i)} \bar{T}_{n,m}^{(i)} / (s\kappa_i^2), \quad m = 2, 3, \dots \\ Q_{n,0}^{(i)} &= \tilde{C}_{n,0}^{(i)} + C_{n,0}^{(i)} \ln(\rho) - \tilde{A}_{n,0}^{(i)} \rho^2 / 4 \\ Q_{n,1}^{(i)} &= C_{n,1,1}^{(i)} \rho + C_{n,1,2}^{(i)} \rho^{-1} - i\kappa_i^2 A_{n,1,1}^{(i)} \rho^3 / 8 + \\ &+ i\kappa_i^2 A_{n,1,2}^{(i)} \rho \ln(\rho)\end{aligned}\quad (23)$$

$$\begin{aligned}Q_{n,m}^{(i)} &= C_{n,m,1}^{(i)} \rho^m + C_{n,m,2}^{(i)} \rho^{-m} - i\kappa_i^2 A_{n,m,1}^{(i)} \rho^{m+2} / 4(m+1) + \\ &+ i\kappa_i^2 A_{n,m,2}^{(i)} \rho^{-m+2} / 4(1-m), \quad m = 2, 3, \dots\end{aligned}$$

és a (19)-es összefüggéseknek megfelelően

$$\bar{u}_{n,0}^{(i)} = B_{n,0}^{(i)} \rho^{-1} + A_{n,0}^{(i)} \rho / 2 + \beta_T^{(i)} \partial_\rho \bar{T}_{n,0}^{(i)} / (s\kappa_i^2) \quad (24)$$

$$\begin{aligned}\bar{u}_{n,1}^{(i)} &= B_{n,1,1}^{(i)} - B_{n,1,2}^{(i)} \rho^{-2} + (3 - \kappa_i^2) A_{n,1,1}^{(i)} \rho^2 / 8 + \\ &+ A_{n,1,2}^{(i)} (1 + (1 + \kappa_i^2) \ln(\rho)) / 2 - iC_{n,1,1}^{(i)} - \\ &- iC_{n,1,2}^{(i)} \rho^{-2} + \beta_T^{(i)} \partial_\rho \bar{T}_{n,1}^{(i)} / (s\kappa_i^2)\end{aligned}\quad (25)$$

$$\begin{aligned}\bar{u}_{n,m}^{(i)} &= nB_{n,m,1}^{(i)} \rho^{m-1} - nB_{n,m,2}^{(i)} \rho^{-m-1} + \\ &+ (2 + (1 - \kappa_i^2)m) A_{n,m,1}^{(i)} \rho^{m+1} / 4(m+1) + \\ &+ (2 - (1 - \kappa_i^2)m) A_{n,m,2}^{(i)} \rho^{-m+1} / 4(1-m) - \\ &- imC_{n,m,1}^{(i)} \rho^{m-1} - imC_{n,m,2}^{(i)} \rho^{-m-1} + \\ &+ \beta_T^{(i)} \partial_\rho \bar{T}_{n,m}^{(i)} / (s\kappa_i^2), \quad m = 2, 3, \dots\end{aligned}\quad (26)$$

$$\bar{v}_{n,0}^{(i)} = -C_{n,0}^{(i)}\rho^{-1} + \tilde{A}_{n,0}^{(i)}\rho/2 \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \bar{v}_{n,1}^{(i)} = & -iB_{n,1,1}^{(i)} - iB_{n,1,2}^{(i)}\rho^{-2} + i(3\kappa_i^2 - 1)A_{n,1,1}^{(i)}\rho^2/8 - \\ & -i + A_{n,1,2}^{(i)}(\kappa_i^2 + (1 + \kappa_i^2)\ln(\rho))/2 - C_{n,1,1}^{(i)} - \\ & -C_{n,1,2}^{(i)}\rho^{-2} - i\beta_T^{(i)}\bar{T}_{n,1}^{(i)}/(s\kappa_i^2) \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \bar{v}_{n,m}^{(i)} = & -inB_{n,m,1}^{(i)}\rho^{m-1} - inB_{n,m,2}^{(i)}\rho^{-m-1} + \\ & + i(2\kappa_i^2 - (1 - \kappa_i^2)m)A_{n,m,1}^{(i)}\rho^{m+1}/4(m+1) - \\ & - (2\kappa_i^2 + (1 - \kappa_i^2)m)A_{n,m,2}^{(i)}\rho^{-m+1}/4(1-m) - \\ & - mC_{n,m,1}^{(i)}\rho^{m-1} + mC_{n,m,2}^{(i)}\rho^{-m-1} - \\ & - im\beta_T^{(i)}\bar{T}_{n,m}^{(i)}/(s\kappa_i^2), \quad m = 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (29)$$

A transzformált peremfeltétek (15) és a réteghatár felületekre vonatkozó feltételek (16) kielégítésével algebrai egyenletrendszer kapunk:

$$\begin{aligned} (h_{k,m,l}) \{A_{n,m,1}^{(1)}, A_{n,m,2}^{(1)}, B_{n,m,1}^{(1)}, \dots, B_{n,m,2}^{(M)}, C_{n,m,1}^{(M)}, C_{n,m,2}^{(M)}\}^T = \\ = \{f_{n,m,k}\}^T \end{aligned} \quad (30)$$

A  $4M \times 4M$  méretű egyenletrendszer (30) hővezetési feladatok esetén is lehetővé teszi tetszőleges  $M$ -re vonatkozó rekurziós megoldás felírását és így módon a (13)-(16)-os feladat zárt alakú analitikus megoldásának előállítását Laguerre polinomok szerinti sorként

$$u^{(l)}(\rho, \varphi, \tau) = \frac{\lambda}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} L_n(\lambda\tau) \sum_{m=-\infty}^{\infty} \bar{u}_{n,m}^{(l)}(\rho) e^{-im\varphi}, \quad (31)$$

$$\sigma_{\varphi\varphi}^{(l)}(\rho, \varphi, \tau) = \frac{\lambda}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} L_n(\lambda\tau) \sum_{m=-\infty}^{\infty} \bar{\sigma}_{\varphi\varphi,n,m}^{(l)}(\rho) e^{-im\varphi}. \quad (32)$$

## 4. NUMERIKUS VIZSGÁLAT

A továbbiakban megvizsgáljuk a táblázatban megadott fizikai mechanikai jellemzőkkel rendelkező, kerámiából ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) és alumínium ötvözetből készült háromrétegű kompozit hőmérséklet és feszültség-eloszlását.

1. táblázat. A kompozit elemek fizikai-mechanikai jellemzői

	Al. ötvözet	$\text{Al}_2\text{O}_3$
$a_i$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]	$90.6 \times 10^{-6}$	$11.9 \times 10^{-6}$
$\lambda_T^{(i)}$ [ $\text{W}/\text{mK}$ ]	$22.2 \times 10$	$3.6 \times 10$
$\alpha_T^{(i)}$ [ $1/\text{K}$ ]	$23.6 \times 10^{-6}$	$8.0 \times 10^{-6}$
$E_i$ [ $\text{GPa}$ ]	$7.0 \times 10$	$34.3 \times 10$
$\nu_i$	0.33	0.22

A (12)-es összefüggés alapján meghatároztuk a kompozit hengerben kialakult hőmérsékletmezőt a következő bemenő paraméter értékek esetén

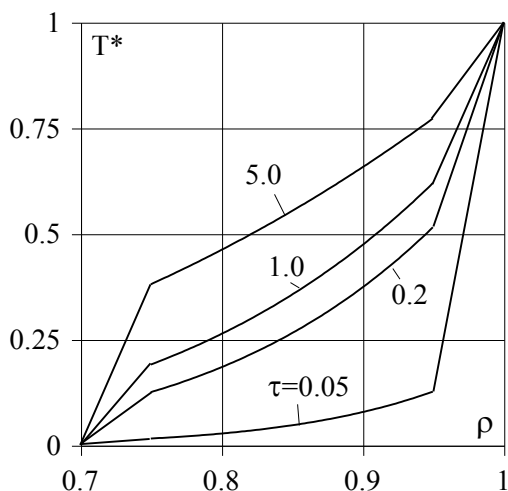
$$R_M = 0.7; \rho_1 = 0.95; \rho_2 = 0.75;$$

$$T_c^{(M)} = 0, T_c^{(1)} = \begin{cases} T_c \cos(\varphi), & |\varphi| \leq \pi/2 \\ 0, & |\varphi| > \pi/2 \end{cases}$$

Esetünkben a hővezetési és hőmérséklet-vezetési tényező vonatkoztatási alapja az alumínium ötvözet volt.

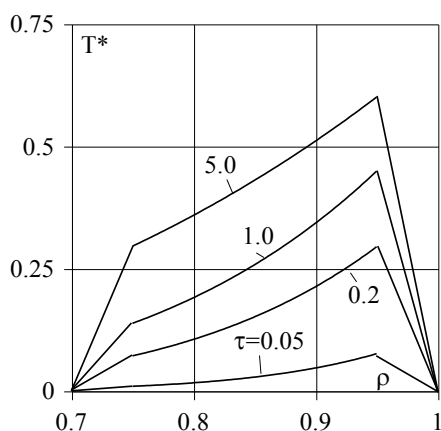
Numerikus vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy ilyen bemenő adatok esetén a számítás relatív hibája nem haladja meg az 1%-ot a Laguerre polinomok szerinti sor 30 tagjának és a trigonometrikus sor 25 tagjának meghagyásakor.

Az 2. ábra a  $T^*(\rho, \varphi, \tau) = T(\rho, \varphi, \tau)/T_c$  számított hőmérséklet értékeket mutatja különböző  $\tau$  időváltozó esetén a hevítési zóna közepén, a 3. ábra pedig a zóna peremén.



2. ábra. Hőmérséklet eloszlás a kompozit vastagsága mentén, a hevítési zóna közepén ( $\varphi = 0$ )

Az eredmények alapján meg lehet állapítani, hogy kompozitban az átmeneti folyamat  $\tau = 5$  dimenziótlan időtartamig meghosszabbodik (nagy  $\tau$  értékek esetén a hőmérsékletmező 0.1%-os határokon belül változik).



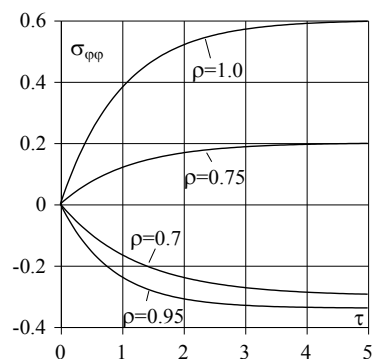
3. ábra. Hőmérséklet eloszlás a kompozit vastagsága mentén, a hevítési zóna peremén ( $\varphi = \pi/2$ )

A hőmérséklet a  $\rho$  függvényében gyakorlatilag lineárisan változik, ami a hengeres rétegek viszonylag kis vastagságával magyarázható.

A hőmérséklet eloszlás grafikonján jellegzetes törések láthatók a hengeres rétegek határainál, melyek az összetevők (komponensek) eltérő hővezetési tényezői miatt

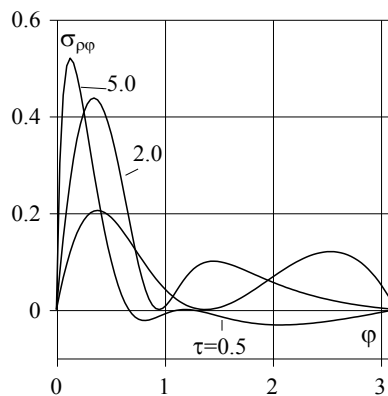
keletkeznek. A második és harmadik réteg közti határfelület valamennyi pontjában a törések jellege (élessége) az idővel párhuzamosan növekszik. Az első és második réteg között, a hevítési zóna középpontjában az említett törések jellege (élessége) az idővel párhuzamosan csökken, a hevítési zóna peremén pedig növekszik.

A 4. ábra a (32)-es egyenlet alapján számított dimenziótlan tangenciális feszültségek változását mutatja a határfelületeken és a rétegek határvonalain a  $\tau$  dimenziótlan időváltozó függvényében, a hevítési zóna középpontjában ( $\varphi = 0$ ).



4. ábra. A tangenciális feszültségek változása a határfelületeken és a rétegek határvonalain

Látható, hogy az említett feszültségek abszolút értéküket stacionáris esetben érik el és a kompozit összetevőinek függvényében előjelet váltanak.



5. ábra. A nyírófeszültségek változása a külső és belső réteg határvonalán

Az 5. ábra különböző  $\tau$  értékek esetén mutatja a dimenziótlan nyírófeszültségek

változását a külső  $l=1$  és a belső  $l=2$  réteg határán. Látható, hogy a feszültségek abszolút maximumukat a hevítési zóna középpontjának közelében  $\varphi = \pi/6$ -nál érik el, míg a középponttól távolabbi területen

abszolút értékben lényegesen kisebbek és az átmeneti folyamat során előjelet váltanak.

*A cikk a Magyar-Ukrán Kormányközi Tudományos és Technológiai (TÉT) Együttműködés keretében készült. (UA-6/2008).*

## IRODALOM

- [1] GALAZJUK, V. A.: Metod polinomov Csebiseva-Laguerra v szmesannoj zadacse dlja linejnogo differencial'nogo uravnenija vtorogo porjadka s postojannymi koefficientami. Doklady AN USSR, 1981, No. 1, p.: 3-7
- [2] KOLJANO, JU. M.: Metodü teploprovodnosti i termouprugosti neodnorodnogo tela. Naukova Dumka, Kiev, 1992.
- [3] MATYSIAK, S., WOZNIAK, CZ.: On the modelling of heat conduction problem in laminated bodies. Acta mech., 65, 1986, p.: 223-238.
- [4] TANIGAWA, Y.: Some Basic Thermoelastic Problems for Nonhomogeneous structural materials. Appl. Mech. Rev., ASME, 1995, Vol. 48, No. 6, p.: 287-300.
- [5] TIMÁR, I., TURCSIN, I., SZULIM, G., SCSUKIN, V.: Quasistatic thermal elastic task for layer-elastic half space system with local pulsed heating. GÉP, 2007. Vol. 58, No. 12. p.: 39-42.

# CONTENTS

1. Bodzás S.; Dudás I.:

**Generating of conical worm surface with changing of lead angle correction ..... 3**

Authors propose a new grinding procedure, in which the wear of grinding wheel is compensated by continuous change of lead angle. As an example the grinding of a spiroidal worm are presented.

2. Bauernhuber A.; Markovits T.:

**New opportunity in joining technology: the laser assisted metal-plastic hybrid joining ..... 7**

Paper presents a new laser assisted joining technology can be applied for making metal-polymer hybrid connections. The new technology has several advantages against concurrent processes. The quality of the joint mainly depends on the heating time, the pressure force, the laser power and the surface roughness.

3. Hajdu D.; Inspurger T.:

**Analysis of the Smith predictor in time domain ..... 12**

Smith predictor can be successfully applied first of all in stable processes. Authors present the principal equations describing the Smith predictor. A simple example is shown for presenting the parameter sensitivity of a closed control loop.

4. Ladányi G.; Ladányi G.:

**Fault diagnosis in squirrel-cage induction motors using vibration and current analysis jointly ..... 16**

In case of squirrel-cage induction motors the application of condition based maintenance strategies help to avoid the unexpected failures and consequent downtime. As an additional advantage, the time between planned shutdowns for planned maintenance may be increased.

5. Tóth P.:

**Adaptive acoustic source model for microphone array signal processing ..... 21**

The phased array microphone measurement is an acoustic source localization technique requiring much computing time for data processing. The Department of Fluid Mechanics of BME develops this technique and applies for fan noise research of axial fans.

6. Vásárhelyi J.; Kovács L.:

**Hardware implementation analysis of concept lattice as classification tool in information systems ..... 26**

Paper analyses the implementation possibilities in field programmable gate array (FPGA) hardware. It tries to give an answer for the implementation limits and advantages. The hardware implementation allows the speed up of the lattice construction and search on it.

7. Schwarzenberger J.; Juhász I.:

**Development of lathes machining centres at ExCel Csepel Szerszámgyártó Kft. (ExCel Csepel Tool Manufacturing Ltd.) capable of 5D machining ..... 34**

8. Szulim G.; Scsukin V.; Turcsin I.; Timár, I.:

**The quasistatic plane problem of thermoelasticity for radially layered cylinder with asymmetric heating ..... 36**

The paper presents a solution for the plane problem of quasistatic thermoelasticity for the radially layered cylinder with non-axisymmetric heating on its boundary surfaces. The solution of the considered problem is constructed with the help of Laguerre integral transform with respect to time variable and Fourier transform with respect angular displacement. The stresses are presented for the three layered cylinder under local heating on the outer surface.

# 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. Jármái Károly  
Dr. Péter József  
Dr. Szabó Szilárd  
**Deputy**

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. Pálincás 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 Scientific Society of Mechanical Engineers has undertaken considerable professional work in organizing the MACH-TECH International Trade Exhibition of Machine Manufacturing held at HUNGEXPO Budapest Fair Centre for the eleventh time. End of May 2013 the MACH-TECH will open its gates and the INDUSTRIAUTOMATION International Industrial Automation Exhibition, which Exhibitions offer complex solutions for small, medium and large businesses. The Society appears at a separate stand, and provides an opportunity, for the companies interested in our services to directly get in touch with our representatives at the fair. In addition we want to contribute with the organization of the professional conference to deepen the relationship between the exhibitors and the exhibition visitors, as a basis of productive cooperation between industry and applied research.

At the fair the organizers are designed to help, that the universities and other academic institutions, research centres dealing with manufacturing engineering devices and procedure systems, e.g. MTA SZTAKI similar to other major international professional exhibitions should appear here with their results, which can strengthen the economy, including the relationship between industry and higher education and institutional research centres. The National Presidency of GTE is looking up its members, the professional visitors of the fair and the exhibitors well-trained experts with the hope that this year too it can offer appropriate programme according to interests with the events of MACH-TECH:

- Related to the Exhibition at the conference on 30. May 2013., in the exhibition pavilion area titled 'Automotive engineering developments impact on competitiveness' successful companies experts and the countries several university professors will report on the technological research carried out by the Hungarian industry, and those who are interested are informed about new tender opportunities.

- HUNGEXPO ZRT, has announced this year again the 'MACH-TECH Grand Prize' with this awarding the new innovations and products presented at the exhibition, and as well for technical services 'Exhibition Grand Prize' awarding the distinctive mark of quality. The professional jury of the awards was provided by GTE. The winning products presentation was undertaken by the editors of the journal entitled GÉP.

The organizers expect all who are interested, mainly from the area of parts manufacturing small and medium companies who wish to use more efficient, more modern technologies and tooling components.

As the exhibition is an effective option for the economy and research centres to strengthen the relationship, we hope that this initiative will meet their concepts, and as a visitor we expect participation and active involvement.

A target journal will be published for the occasion of the exhibition by the GTE GÉP, which is obtainable for exhibitors and visitors of the fair at the stand of GTE. The journal presents the grand prize winners of the exhibition, the conference presentations, and articles about important industrial and scientific research.

Allow me, on behalf of the Scientific Society of Mechanical Engineers to heartily recommend this exhibition targeted journal to the reader's hand. Consider our efforts as the renew of knowledge communities and its professional works newest product, please receive it with such interest as the commitment with which the editing commission staff had prepared it.

*Dr. Habil. Takács János,  
professor, president of GTE*

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 Publisher: 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

EXCEL CSEPEL SZERSZÁMGÉPGYÁRTÓ KFT.  
H-1211 Budapest, Varrógépgyár u. 1.  
Tel.: + 36-1/278 5800, 278 5802 Fax: + 36-1/425 7605  
www.excel-csepel.hu  
E-mail: a.pinter@excel-csepel.hu



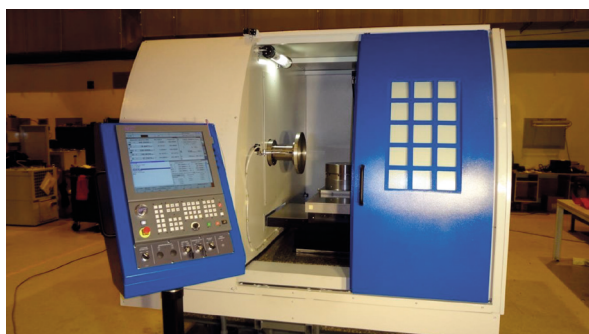
## SZLOGEN: „MÚLT, JELEN, JÖVŐ”

UP – Az ultra precíziós – esztergák képviselik legjobban a múlt, jelen és a jövő gondolatát. Gyártásuk a 80-as évek második felében egy licence vásárlást követően indult, majd több mint 25 esztendő elteltével kezdtük újra gyártani a csepei szerszámgépgyárban. A tavalyi év elején kezdődött tervezési és gyártási folyamat fejeződött be 2012 végével és került 2 egység kiszállításra az külföldi megrendelő részére. Napjaink modern technológiái, mint az optikai ipar, mikroelektronika használják ezeket a kiemelt pontosságú gépeket. (Pl. a napenergia direktben történő hasznosításához parabola tányéros síktükrös naperómű elemeinek gyártásához lehet felhasználni.) A hidraulikus rendszereket és a DIN 3 – DIN 4 pontosságú osztályba sorolható fogaskerekeket gyártóknál a bázis köszörülések kiváltása indokolja az edzett (HRC 59-63 keménységű) alkatrészek nagy pontossággal történő megmunkálását.

A sikeres szerszámgépgyártás folytatásához továbbra is folyamatos műszaki fejlesztésre van szükség. A megrendelők igényeinek megfelelő megoldások kidolgozása, megvalósítása szintén rendkívül fontos. A nagy munkaterű összetett gépek, mint TMB-5D-710 célgépek és nagy pontosságú gépek tervezésén, gyártásán keresztül van esély a magyarországi és külföldi piacokon jelen lenni. Természetesen elengedhetetlen a hazai és a külföldi partner cégekkel történő szorosabb együttműködés. Természetesen legkedvezőbb számunkra a fejlődő, bővülő piac kialakulása lenne, megfelelő finanszírozási háttérrel.

Budapest, 2013.05.07.

*Pintér Ákos ügyvezető*  
+36-302-790-091



AUTM	mm	REF	Storage Card: \GLDA\AZ02.prg
Abszolút pozíció			
Abszolút pozíció G56	Maradékút	Végpozíció	ió:
oX + 203.91271mm	- 163.91271 +	40.00000	71mm
Z + 0.00000mm	+ 0.00000 +	0.00000	90mm
oX2 + 694.51271mm	- 163.91271 +	530.60000	79mm
Z2 + 93.11800mm	+ 0.00000 +	93.11800	24mm
B + 0.00000tok	+ 0.00000 +	0.00000	00tok
Kopás korr.: 1			
Kopás			
+ 0.00000mm			
+ 0.00000mm			

# MACH-Ko-ga-me

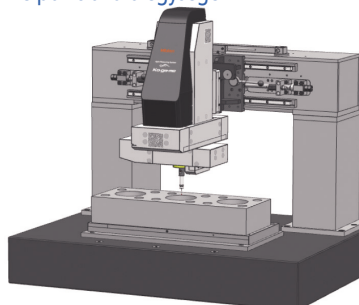
a "kicsiben - NAGY" mérőgép

## MACH Ko-ga-me

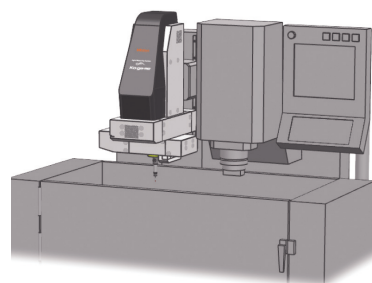
■ Külön állványra szerelve



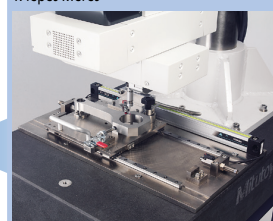
■ MACH Ko-ga-me pozícionáló egységen



■ Szerszámgépre integrálva



1. lépés Mérés



2. lépés Pozícionálás



JAPAN  
QUALITY by Mitutoyo

A MACH-TECH 2013  
NAGYDÍJ pályázat  
nyertes terméke!

