

# GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



2013/7.

**nka**  
Nemzeti Kulturális Alap

94 oldal  
LXIV. évfolyam

**GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK  
XXIX. SZEMINÁRIUMA  
MISKOLC, 2013. NOVEMBER 7-8.**

**Géptervezők és Termékfejlesztők  
XXIX. Szemináriuma**

**Gépipari Tudományos Egyesület  
Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Géptervező Szakosztálya**

**MTA Miskolci Akadémiai Bizottsága**

**Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék**

**MTA Miskolci Akadémiai Bizottságának  
Székháza  
Miskolc, Erzsébet tér 3.**

2013. november 7 (csütörtök) - 8 (péntek)

*Címünk:*

*Géptervezők és Termékfejlesztők*

*XXIX. Szemináriuma*

*Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék  
H-3515 Miskolc-Egyetemváros*

*Telefon/Fax: (0036)-46-327 643*

*E-mail: machpj@uni-miskolc.hu aa*

**GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK  
XXIX. SZEMINÁRIUMA  
MISKOLC, 2013. NOVEMBER 7-8.**

**I. emelet, Nagyterem  
2013. november 7.  
(csütörtök), délelőtt**

**ELNÖK: Vadászné Dr. Bognár Gabriella**  
CSc., habil., tanszékvezető egyetemi docens

10.00-10.05 Vadászné Dr. Bognár Gabriella  
CSc., habil., tanszékvezető egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: Megnyitó

10.05-10.30 Dr. Horák Péter PhD., tanszékvezető egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: A mesterképzés tapasztalatai a BME Gépészmérnöki Karán

10.30-10.55 Dr. Lelkes Márk PhD., fejlesztési intézetvezető, igazgatóhelyettes Rába Futómű Kft: High-end mezőgazdasági futóművek fejlesztésének kérdései, fejlődési irányok

10.55-11.20 Dr. Hegedűs József CSc., Nyugat-magyarországi Egyetem: A gépész-szakkultúra válsága?

11.20-11.45 Dr. habil. Döbröczöni Ádám CSc., egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: Műgyemtemi gépész jegyzet az 1940-es évekből (Terplán Zénó egyetemi hallgató jegyzetei)

11.45-14.00 Szünet

**I. szekció, I. emelet, Nagyterem  
2013. november 7. (csütörtök), délután**

**SZEKCIÓVEZETŐ: Dr. habil. Döbröczöni Ádám** CSc., egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék, Dr. Horváth Péter PhD., tanszékvezető egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem Mechatronikai és Gépszerkeztan Tanszék

14.00-14.15 Dr. Horváth Péter PhD., tanszékvezető egyetemi docens Széchenyi István Egyetem Mechatronikai és Gépszerkeztan Tanszék: Haptic jelenségek modellezése zongora mechanikában

14.15-14.30 Dr. Hány András igazgató, Illés Tamás műszaki vezető Zalaegerszegi Technológiai Centrum, Sághegyi Ramóna mechatronikai mérnök-hallgató: Bevonatos kötélemek vizsgálatára alkalmas kísérleti berendezés tapasztalatai

14.30-14.45 Dr. Szabó Ferenc PhD., egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: Csapágy-költségfüggvények tengelyek csapágyazásának optimalizálásához

14.45-15.00 Dr. Németh Gábor PhD., egyetemi docens, Kovács Péter PhD. hallgató, Dr. Varga Dénes tudományos munkatárs, Nyugat-magyarországi Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Gépészeti és Mechatronikai Intézet: Fókuszáló napkollektor tervezése

15.00-15.15 Bider Zsolt tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, Mechatronikai és Gépszerkeztan Tanszék: A menetes kapcsolatok túréseinek hatása az előfeszített csavar-kötésekre

15.15-15.30 Csörtán Beáta PhD. hallgató, Dr. Horák Péter PhD., tanszékvezető egyetemi docens Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: A Termék-Szolgáltatás rendszerek szerepe a terméktervezésben

15.30-15.45 Gárdonyi Péter PhD. hallgató, Dr. Szabó István PhD., intézetigazgató, habil. egyetemi tanár, Dr. Kátai László PhD., tanszékvezető egyetemi docens Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar Mechanikai és Géptani Intézet Gépszerkeztan Tanszék: Az ékszíjak melegezési viszonyainak vizsgálata

15.45-16.00 Göncfalvi Balázs egyetemi hallgató, Dr. Krisch Róbert PhD. egyetemi adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék: Síkkerekes hullámhajtómű alapelemeinek vizsgálata

16.00-16.15 Pintér Ervin PhD. hallgató, Dr. Szabó István PhD., intézetigazgató, habil. egyetemi tanár, Dr. Kátai László PhD., tanszékvezető egyetemi docens Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar Mechanikai és Géptani Intézet Gépszerkeztan Tanszék: A Feature-Based Desing, mint tervezés módszertan, és alkalmazhatósága hajtóművek optimalizálási folyamatánál

16.15-16.30 Simonovics János PhD hallgató, Dr. Váradi Károly DSc., egyetemi tanár Budapesti Műszaki és Gaz-

daságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék, Dr. Bujtár Péter PhD, University Hospitals of Oulu Finnország, Dr. Szűcs Attila egyetemi docens, SOTE, Dr. Fejér Zsolt egyetemi adjunktus SOTE: Macerált mandibula minták roncsolásos biomechanikai vizsgálata

16.30-16.45 Székely Béla MSc hallgató, Kling Sándor PhD hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszék: Az első magyar formula monocoque

16.45-17.00 Turcsán Tamás MSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszék: Növelt energiaelnyelő képességű kom-pozitok fejlesztése gépészeti alkalmazásokhoz

17.00-17.15 Szakács József MSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnikai Tanszék: Bazalt-szállal és grafénnel erősített kompozitok fejlesztése műszaki alkalmazásokhoz

**II. szekció, I. emelet, Deák terem  
2013. november 7.  
(csütörtök) délután**

**SZEKCIÓVEZETŐ: Dr. Siposs István** CSc., egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék, Dr. Czifra Árpád PhD., egyetemi docens, Óbudai Egyetem

14.00-14.15 Dr. Czifra Árpád PhD., egyetemi docens, Dr. Horváth Sándor PhD., egyetemi docens, Óbudai Egyetem: A felületi érdesség M-rendszerű és motív paramétereinek kapcsolata

14.15-14.30 Dr. Czifra Árpád PhD., egyetemi docens Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Fábrián Enikő Réka PhD hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Dr. Kozma Mihály PhD., prof. emeritus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék: Vasúti féktuskó kopásának vizsgálata

14.30-14.45 Tatai Sándor egyetemi adjunktus, Dr. Magoss Endre PhD., intézetigazgató egyetemi docens Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar Gépészeti és Mechatronikai Intézet: A felületi érdességi mérőszámok alkalmazásának korlátai a géptervezésben

14.45-15.00 Horváth Richárd tanársegéd, Pálinskás Tibor műszerfejlesztő Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Dr. Mátyási Gyula, egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem: Erőmérő rendszer tervezése, kivitelezése és adaptációja finom esztérgáláskor fellépő kis erők méréséhez



# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczeni Ádám  
elnök

Vesza József

főszerkesztő

Dr. Jármay Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. 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. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

A szerkesztésben közreműködött:

Dr. Péter József

### Tisztelt Olvasó!

Negyven éve, 1973. augusztus 22-24-én 110 vállalat és intézmény 234 többnyire konstrukciós tevékenységet folytató vezető beosztású szakembere foglalkozott az ipari konstrukciós munkával és annak szervezésével. A tanácskozás gondolata 1972. nyarán a GTE országos titkári értekezletén született, és azt a GTE miskolci-egyetemi szervezete rendezte meg prof. Dr. Terplán Zénó, Dr. Magyar József és Dr. Száday Rezső közreműködésével, a sok apró munkát végzővel együtt. A Tanácskozást Dr. Varga Jenő egyetemi tanár, a GANZ gyár egykori főkonstruktőre nyitotta meg, kiemelve, hogy *ilyen rendezvény hazánkban korábban nem volt*. Tanácsolta, hogy *a konstrukció értékelésével is foglalkozni kell, mivel az utóbbi években több, a tervezés módszertanával foglalkozó - elsősorban nyugat-német munka - jelent meg*. A Tanácskozás kiadványában a 15 cikk szerzője egységes rendszerbe foglalt, termékeny és hatékony konstrukciós munka érdekében érvelt. A Vezető Konstruktőrök Tanácskozása az 1975. évi rendezvényt követően 1977-ben Géptervezők Országos Szemináriumává alakult.

Az 1990-es években bekövetkező változásokat megelőző, a korábbi szemináriumok hangulatát felidéző rendezvény az 1985-ben Miskolc-Tapolcán megrendezett Géptervezők VI. Országos Szemináriumára volt. A 43 nyomtatott formában is megjelent előadást 210 iparban, kutatóintézetben és felsőoktatási intézményben tevékenykedő résztvevő hallgatta. Dr. Drobni József egyetemi tanár a megnyitóban *energiatakarékos, megbízható és esztétikus gépek tervezéséről beszélt, amelyek nemcsak külföldön, hanem honi terepen is versenyképesek, érzékelve és érzékeltetve a várható kihívásokat*. Az állami vállalatok és kutatóintézetek tönkremenetelle a Géptervezők VII. Országos Szemináriumát is érintette, a Miskolci Egyetemen szervezett szeminárium 30 előadását egyetemi oktatók és kutatók tartották - változatlan erőbedobással - a felsőoktatásban dolgozó társaik és csekély számú vállalati szakember részére.

A XX. század utolsó évtizedében a magyar ipar gyökeresen átalakult, a termelő helyet cserélt a fogyasztóval, a lebecsült fogyasztási javak egyenrangúvá váltak a gépekkel, a termelő eszközökkel, a géptervezők szótára kiegészült a termék szóval. A tervezők tudomásul vették, hogy termék mindaz, ami iránt van érdeklődés (pl. Géptervezők Szemináriumára), vagy ami iránt az érdeklődés felkelthető (pl. Géptervezők és Termékfejlesztők Szemináriumára). A szeminárium szervezői megértették, hogy a pálya elején lévő korosztály is *szívesen részt vesz egy rendszeres szakmai összefüggésben, és örömmel veszi, ha egy megbízható szakfolyóiratban jelentetheti meg cikkeit, amit a Gépipari Tudományos Egyesület kitarotán támogatott*.

A változás az előadások témájában is érzékelhető, a tervezők horizontja ma szélesebb; a matematika, a mechanika, az anyag- és a gyártástudomány eredményei mellett az informatika, az ergonómia, a biológia, az orvostudományok, a pszichológia stb. eredményeit is integrálják. A terméktervezés egyik területe a természeti analógiák keresése és alkalmazása, e kutatási terület révén szerepel a vizsgált területek között az evolúció. Engedje meg a Tisztelt Olvasó, hogy az evolúciót most ne az erősebb szóval hozzam összefüggésbe, hanem az alkotó alkalmazkodással és a gyarapodással, a géptervezőknek és a termékfejlesztőknek a kihívásokra adott válaszával.

Dr. Péter József  
a Szeminárium szervező titkára

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

Telefon/fax: 06-46/379-530, 06-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

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

Telefon: 06-1/202-0656, fax: 06-1/202-0252, 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. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

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

Előfizethető valamennyi postán, kézbesítőknél, e-mailen: [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu), faxon: 06-1/303-3440. 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

20. Patai Patrik József, Dr. Lelkes Márk, Dr. Eleőd András

**KÖRÍV FOGIRÁNYVONALÚ KÚPKERÉK FOGFELÜLETI PONTJAINAK MEGHATÁROZÁSA KÉTFÉLE MEGKÖZELÍTÉSBEN..... 5**

21. Péter József, Ph.D., Drágár Zsuzsa

**A FOGASKERÉK-KAPCSOLÓDÁS KÜLÖNLEGES ESETE..... 9**

22. Dr. Péter József

**A TERMÉSZET ÉS A TERMÉKTERVEZŐ ALKOTÓ ELVEI..... 15**

23. Pintér Ervin, Dr. Kátai László Ph.D, Dr. Szabó István Ph.D.

**A FEATURE-BASED DESING, MINT TERVEZÉS MÓDSZERTAN, ÉS ALKALMAZHATÓSÁGA HAJTÓMŰVEK OPTIMALIZÁLÁSI FOLYAMATÁNÁL..... 24**

24. Sarka Ferenc, Tóbis Zsolt, Prof. Dr. Döbröczöni Ádám

**FOGASKERÉKES HAJTÓMŰVEK ÁTVITELI HIBÁJA ÉS DINAMIKAI MODELLJEI AKUSZTIKAI VIZSGÁLATOKHOZ ..... 28**

25. Simonovics János, Ph.D., Dr. Váradi Károly, Dr. Bujtár Péter PhD, Dr. Szűcs Attila, Dr. Fejér Zsolt

**MACERÁLT MANDIBULA MINTÁK RONCSOLÁSOS BIOMECHANIKAI VIZSGÁLATA..... 32**

26. Szabados Anna Réka, PhD

**GUMIABRONCSOK KIALAKULÁSÁNAK TÖRTÉNETE ..... 36**

27. Szabó Ferenc János, PhD

**CSAPÁGY- KÖLTSÉGFÜGGVÉNYEK TENGE-  
LYEK CSAPÁGYAZÁSÁNAK OPTIMÁLÁ-  
SÁHOZ..... 42**

28. Szakács József, MSc

**BAZALTSZÁLLAL ÉS GRAFÉNNEL ERŐSÍTETT  
KOMPOZITOK FEJLESZTÉSE MŰSZAKI  
ALKALMAZÁSOKHOZ..... 46**

29. Szalai Judit, PhD, Bendefy András, PhD, Dr. Piros Attila, Dr. Váradi Károly

**FÚZIÓS ERŐMŰ DIAGNOSZTIKAI KÁBELE-  
ZÉSÉNEK KONSTRUKCIÓS TOVÁBBFEJLESZ-  
TÉSE ÉS TERMOMECHANIKAI SZIMULÁ-  
CIÓJA ..... 50**

30. Tóth Gábor, MSc, Szabó Tamás, PhD

**KAWASAKI ROBOT SZIMULÁCIÓJA ÉS  
MEGFOGÓJÁNAK REZGÉSVIZSGÁLATA ..... 54**

31. Turcsán Tamás, MSc

**NÖVELT ENERGIAELNYELŐ KÉPESSÉGŰ  
KOMPOZITOK FEJLESZTÉSE GÉPÉSZETI  
ALKALMAZÁSOKHOZ..... 58**

32. Prof. Dr. Varga Mihály, Csitári Csaba PhD

**FAELGÁZOSÍTÁSON ALAPULÓ KOGENERÁ-  
CIÓS RENDSZER FEJLESZTÉSE ..... 62**

33. Vidovics Balázs

**AZ INNOVÁCIÓ ÉS A KREATIVITÁS FOGAL-  
MAINAK VISZONYA AZ ÚJTERMÉK-  
TERVEZÉSBEN ..... 68**

34. Kakuk József

**ÜTVEFÚRÓGÉPEK ÜTŐ MECHANIZMUSÁNAK  
DINAMIKAI VIZSGÁLATA..... 72**

35. Nagy József

**KOMPRESSZOR SZÁMÍTÁSI MODELL HŰTŐ-  
KÖR SZIMULÁCIÓHOZ ..... 78**

36. Czifra Árpád, Fábán Enikő Réka, Kozma Mihály

**VASÚTI FÉKTUSKÓ KOPÁSÁNAK VIZSGÁ-  
LATA..... 82**

37. Vidovics Balázs

**AZ INNOVÁCIÓ ÉRTÉKELESÉNEK LEHE-  
TŐSÉGEI A KORAI TERVEZÉSI FÁZISOK-  
BAN ..... 86**

38. Kiss Dániel, PhD, Dr. Csáki Tibor

**KORSZERŰ VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS  
TERVEZÉSE SZERSZÁMGÉP MELLÉK-  
HAJTÁSOKHOZ..... 90**



# KÖRÍV FOGIRÁNYVONALÚ KÚPKERÉK FOGFELÜLETI PONTJAINAK MEGHATÁROZÁSA KÉTFÉLE MEGKÖZELÍTÉSBEN

## CALCULATION OF THE FLANK POINTS OF A SPIRAL BEVEL GEAR WITH CIRCULAR TOOTH TRACE BY USING TWO DIFFERENT APPROACH

Patai Patrik József<sup>\*</sup>, Dr. Lelkes Márk<sup>\*\*</sup>, Dr. Eleőd András<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

*Accurate gear design and sizing rely on the detailed information about the surfaces of the mating gears. This article provides a brief overview of two different methods, both can be utilized to obtain the flank points of a spiral bevel gear. One is based on kinematic equations, whereas the other simulates the cutting process.*

### 1. BEVEZETÉS

Fogaskerek tervezése és méretezése során nagy fontossággal bír, hogy a fogaskerék teherbírását alapvetően meghatározó fő méreteken túl a kapcsolódó fogfelületek topográfiáját is részleteiben ismerjük. A lefejtett kerek fogfelülete a gyártás geometria és kinematikai viszonyaitól függ, így két, fő méreteiben (fogszám, modul, osztókúpszög stb.) egyébként megegyező fogaskerék kapcsolódó fogfelülete lényegesen

eltérhet a gyártási paraméterek függvényében. A fogfelületi pontok meghatározása számítógépes algoritmusokkal lehetséges. A korszerű és manapság elterjedt számítások többnyire Faydor L. Litvin nevéhez köthetők és a fogfelületi pontokat a fogazatok kapcsolódási egyenletei alapján analitikus vagy numerikus módszerrel határozzák meg. Egy létező bár sokkal kevésbé ismert és alkalmazott módszer az ún. DDS (Direct Digital Simulation) módszer, amely S.V. Lunin és V.I. Goldfarb nevéhez fűződik [2]. Ez utóbbi módszer a lefejtő gyártási művelet szimulációjának útján keresi a fogfelületi pontokat.

### 2. KINEMATIKAI MÓDSZER

A kinematikai módszer alkalmazásakor a következő tételből indulhatunk ki: *az egymást kölcsönösen burkoló fogprofilok érintkezési pontjában a viszonylagos elmozdulás sebességvektorának merőlegesnek kell lennie a normális vektorra* [1].

Ez lényegében azt jelenti, hogy a kapcsolódás pillanatában az érintkező felületek egymáson csak elcsúsznak, a felületek sem egymástól eltávolodni, sem egymásba hatolni nem igyekeznek. Ha ez a feltétel a kapcsolódási pontok mindegyikére teljesül, akkor a mozgásátvitel homokinetikus.

<sup>\*</sup> PhD hallgató, BME, Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék

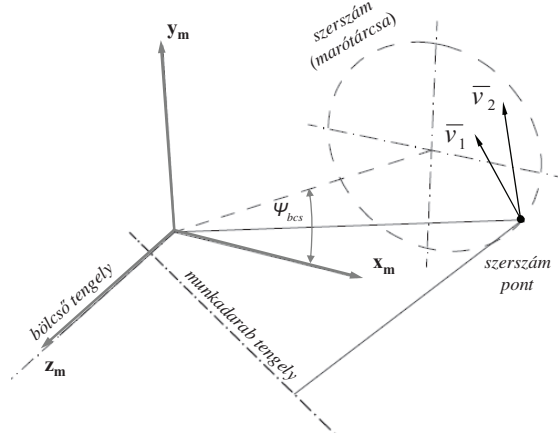
<sup>\*\*</sup> egyetemi adjunktus, BME, Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék

<sup>\*\*\*</sup> egyetemi tanár, BME, Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék

A fenti tétel a következő vektoregyenlettel fejezhető ki:

$$\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{v}_i^{(12)} = 0 \quad (1)$$

Az 1. ábrán egy térbeli fogazási elrendezés vázlata látható. A munkadarab a fogazó gép koordináta rendszerében van elhelyezve a gépbeállítási számításoknak megfelelő pozícióban és orientációval. A lefejtő eljárás során a munkadarab összegördül egy képzelt síkkerékkel (vagy kúpkerékkel). A képzelt ellenkerék fogait a szerszámtengely körül forgó forgácsoló szerszámélek testesítik meg. A szerszámtengely együtt forog a bölcsővel. A bölcső és a munkadarab mozgása között határozott kapcsolat van.

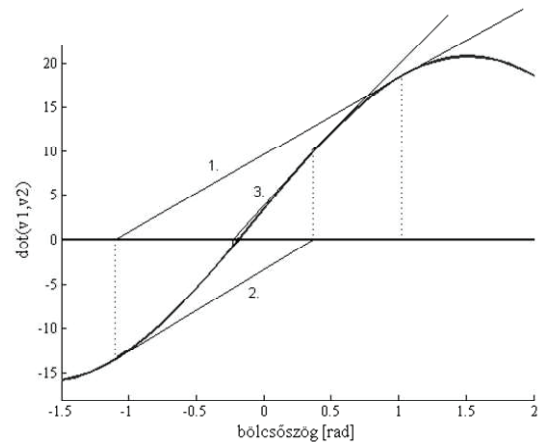


1. ábra. Fogazási elrendezés vázlata

A szerszámtengely körül forgó kések forgácsoló élei a szerszám koordináta rendszerében egy forgásfelületen mozognak, egyenes szerszámél kialakítás esetén egyszerű kúpfelületen. Ebben a koordináta rendszerben tetszőleges szerszámfelületi pont és a hozzá tartozó felületi normális két paraméter segítségével kijelölhető.

Adott szerszám pont gépi koordináta rendszerben történő mozgása során minden  $\Psi$  bölcsőszög pozícióban meghatározható az (1) skaláris szorzat értéke. Az ebből képzett  $d = f(\Psi)$  (2) nemilnéaris,  $2\pi$  szerint periodikus függvény gyökei az (1) egyenlet megoldásai. A (2) függvény a zérus

átmenet közelében „kellően” lineáris ahhoz, hogy Newton-Raphson módszerrel, alkalmasan választott kezdőpontból, nagyon gyorsan jó közelítéshez jussunk. (2. ábra)



2. ábra. Kapcsolódási függvény megoldása Newton-Raphson módszer segítségével

A kapott megoldás az a bölcsőszög, amelynél az adott paraméterű szerszám pont a megadott kinematikai és geometriai feltételek mellett kapcsolódik. Ez a pont egyben a kapcsolófelület egy pontja is. A kapcsolófelületi pontok ismeretében a Reuleaux szerkesztéssel analóg módon a kapcsolópontok, a munkadarab tengelye körül visszaforgathatók egy referencia helyzetbe. Az így kapott pontok a keresett fogfelületi pontok.

Két eltérő gépbeállítással fogazott kúpkerék fogfelületeinek összehasonlításához szükséges feltétel, hogy az összehasonlítandó pontpárok hengerkoordinátái közül  $\rho$  és  $z$  azonosak legyenek, azaz a koordináták csak a  $\varphi$  komponensükben különbözzenek. Ilyen előre definiált mérőhálóra való számításhoz, az algoritmust iteratív ciklusba lehet szervezni.

### 3. GYÁRTÁSSZIMULÁCIÓS MÓDSZER

A DDS (Közvetlen Digitális Szimuláció) alapuló fogfelület számító eljárások 3D-s boolean műveleteken alapulnak. Egy DDS alkalmazást legegyszerűbben CAD szoftverek programozásával lehet készíteni. A szerszám

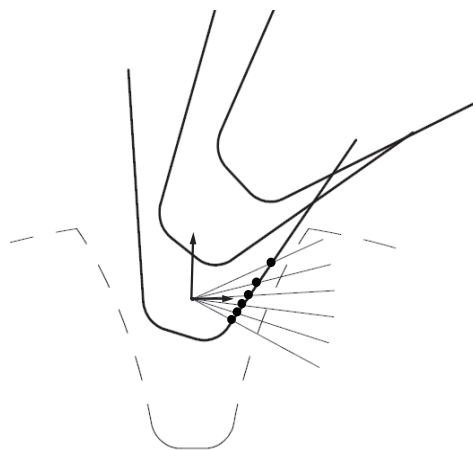


és a fogazandó (nyers)munkadarab 3D modelljét a lefejtő fogazási eljárásnak megfelelő relatív pozíciókba helyezik és apró lépésenként haladva a szerszám térfogatát minden lépésben kivonják a munkadarab még meglévő térfogatából így szimulálva az anyageltávolítást.

Az ebben a cikkben bemutatásra kerülő módszer, a DDS módszerek filozófiáján alapul, azonban megvalósítása nem igényel CAD szoftvert.

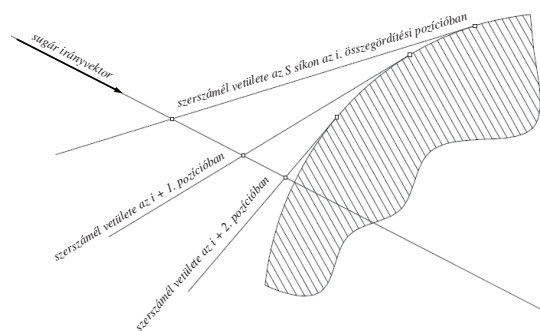
Ennél a módszernél a lefejtő mozgás különböző pozícióiban a szerszám forgácsolóéleit (élek szegmenseit) körív mentén előre meghatározott síkokra vetítjük így ezeken a síkokon regisztrálhatjuk a szerszám nyomát. Ezeket a vetítési síkokat praktikusán a kiforgácsolandó fogárok normálmetszeteiként vehetjük fel és a fogszélesség mentén egyenletesen helyezhetjük el őket. A síkok a munkadarab koordináta rendszerében vannak felírva és azzal együtt mozognak. A vetítési síkok koordinátarendszereinek origója a fogárok egy alkalmasan választott pontja. Ebből az origóból sugárszerűen vektorok indulnak ki. A könnyebb érthetőség kedvéért képzeljük el egy már készre fogazott kúpkerék fogárkának normálmetszetét (szaggatott vonal) (3.ábra). A fogárok alkalmas pontját origónak választva a fogprofil tetszőleges pontja polárkoordináták alakban megadható. A virtuális gyártásszimuláció során ebben a koordináta rendszerben keressük a folyamatosan változó (de az elforgácsolás miatt csak távolni tudó) fogárok kontúrpointjait, amelyek, a fogárok végleges alakjának és méretének kialakulása után, egyben a fogárok két partján lévő fogak profilpontjai is lesznek. Az irányvektorok polárkoordinátái közül a szögkoordináták állandók, azaz a mérési irányok (a munkadarab koordináta rendszerében) állandók.

A szerszám és a munkadarab összegördülése folyamán egy adott síkon a szerszám vetületi képe más és más.



3. ábra. Szerszám „nyomának” meghatározása és regisztrálása egy mintavételi síkon

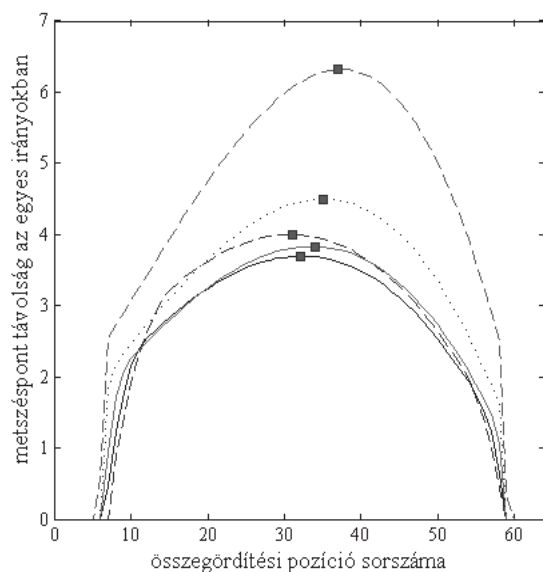
Minden egyes síkon, minden egyes összegördülési pozícióban meg kell határozni a sugárvektorok és a szerszámvetület (mint összefüggő törtvonal) metszéspontjait illetve azok távolságát a sík koordináta rdsz.-ének origójától. A metszéspontokat a sugár- és élvektorok egyenleteivel felállított lineáris egyenletrendszerek megoldásai szolgáltatják. Mivel az anyageltávolítás következtében a fogárok csak távolodó lehet, ezért a végső eredményt az egyes irányokban mért legnagyobb metszési távolságok adják (4.ábra).



4. ábra. Adott sugáregyenesen lévő metszéspont változása a szerszámél burkoló mozgása közben

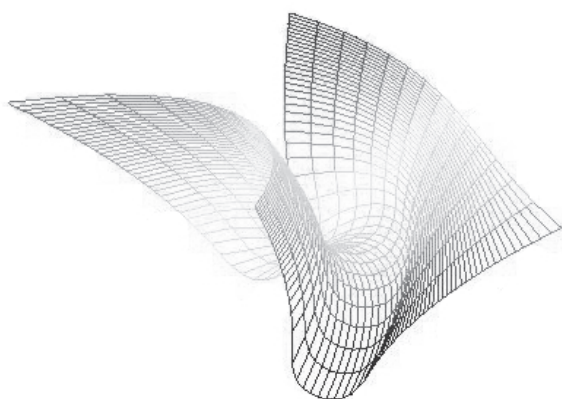
Az 4. ábra alapján sejthető, hogy a metszési távolságértékeket az összegördítési szögpozíció függvényében ábrázolva maximum értéket felvevő (harang alakú) görbéket kell, hogy kapjunk (5.ábra). Ezek az

ábrák felhasználhatók a szimuláció megfelelő lefutásának visszaellenőrzésére.



5. ábra. Adott síkon, különböző irányokban mérhető metszési távolságok alakulása a teljes összegördítési folyamat során (külön jelölve a maximum értékeket)

A szimuláció futásának eredményeként a meghatározni kívánt fogfelületi pontok számával egyező számú távolságérték adódik. A távolságokat a megfelelő síkokon, a megfelelő vektorok (sugarak) mentén felmérve, a felületre illeszkedő pontháló közvetlenül előáll (6. ábra).



6. ábra. DDS módszerrel számított fogárok felület

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kapott pontok koordinátáinak összehasonlításával megmutatható, hogy a két módszerrel kapott felület azonos. A két eljárás geometriai és kinematikai bemenő adatai megegyeznek, a megoldási módok közötti különbség az alapkérdések megfogalmazásával szemléltethető. Az első módszer kérdése az lehet, hogy „Adott geometriai és kinematikai feltételeknek a tér mely pontjai tesznek eleget?”, míg a másodiké, „Milyen felületet eredményez, ha szerszámot és munkadarabot adott kinematikai és geometriai feltételek mellett összegördítünk?”. A DDS módszer alapötlete igazán egyszerű és világos, számítógépes implementációja azonban bonyolultabb, a szimulációs beállításokra való érzékenysége következtében használata nehezebb, mint a kinematikai módszeren alapuló algoritmusé. Ezen felül a gyártásszimulációs (DDS-en alapuló) algoritmus futási ideje 1-2 nagyságrenddel hosszabb. A számítási igény, különböző heurisztikák bevezetésével csökkenthető, ez azonban a módszer megbízhatóságát kedvezőtlenül befolyásolhatja. A kapott felületekkel való további számítások (pl. kapcsolódás vizsgálata) szempontjából nem mellékes, hogy a felületi normálisok meghatározása is jóval bonyolultabb feladat a DDS eljárás alkalmazásakor.

Összességében fogazatszámítási feladatokhoz határozottan a kinematikai módszer használata tűnik előnyösebbnek. Ezzel együtt nem kizárt, hogy néhány feladathoz a DDS módszer valamely különleges körülmény fennállása miatt praktikusán használható.

#### 5. IRODALOM

- [1] F.L. Litvin: A fogaskerékkapcsolás elmélete, Műszaki könyvkiadó, p.43, 1972
- [2] S.V. Lunin, V.I. Goldfarb: Direct Digital Simulation for gears, Volume 1

# A FOGASKERÉK-KAPCSOLÓDÁS KÜLÖNLEGES ESETE SPECIAL CASE OF GEAR MESHING

Péter József Ph.D.

Drágár Zsuzsa tanársegéd

Miskolci Egyetem Gép- és terméktervezési Tanszék

**Abstract.** The team-mates of the Department of Machine Elements and Product Design, University of Miskolc have been working on epicyclic gear drives for decades therefore one of the variants of the epicyclic gear drive got into the group of analysed and tested gear drives. The important parts of the research work are the following: determination of geometric data of the parts of the drive, revealing of phenomenon disturbing the proper operation, kinematic analyses, survey of the influence of load, production of test drive, laboratory tests and development of drives for industrial production.

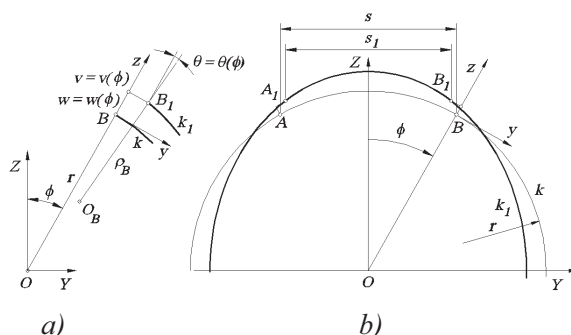
## 1. BEVEZETÉS

A fogaskerék-bolygómű a Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszéke (korábban Gépelemek Tanszék) alapítása óta kutatott terület. A fogaskerék-bolygómű egyik változata, a fogaskerék-hullámhajtómű az 1970-

es évek közepétől tartozik a vizsgált gépelemek közé. A fogaskerék-hullámhajtóművel (továbbiakban hullámhajtóművel) foglalkozó kutatások része a hajlékony-merev fogaskerékpár kapcsolódásának vizsgálata.

## 2. A HULLÁMHAJTÓMŰ

Jóllehet a testek terhelése és a terhelés hatására bekövetkező rugalmas alakváltozás kapcsolata Robert Hooke 1675-ben megjelent tanulmánya óta széles körben ismert, mégis kevés olyan gépelem van, amely működése a testek rugalmas alakváltozásán alapszik. A kivételek közé tartozik a hullámhajtómű és annak egyik változata, a fogaskerék-hullámhajtómű [1]. A klasszikus fogaskerék-hajtómű megbízható működése a keréktest merevségén, a fogaskerék-hullámhajtóműé az egyik vagy mindkét keréktest rugalmas alakváltozásán nyugszik.



1. ábra. Ívhajlítás. a) A tetszőleges pont elmozdulása, b) a középvonal alakváltozása

Az 1. ábrán látható állandó keresztmetszetű síkgörbe rúd  $k$  középvonala egy  $r_0$  sugarú körív. Terhelés hatására a rúd  $k$  középvonala a  $k_1$  vonalba megy át. A középvonal pontjai érintő irányban és sugár irányban elmozdulnak;  $w = w(\phi)$ ,  $v(\phi) = -\int w(\phi) d\phi$ , a normális elfordulása,  $g(\phi) = \frac{1}{r_0} \left( v - \frac{dw}{d\phi} \right)$ , a középvonal

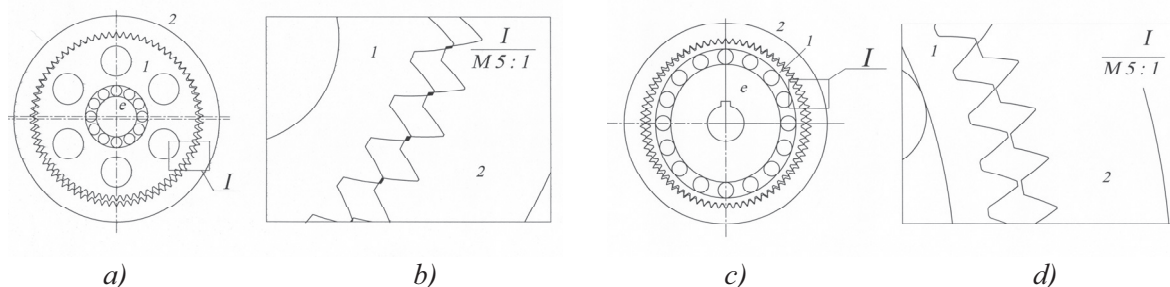
görbülete,  $\kappa(\phi) = \frac{1}{\rho(\phi)} = -\frac{1}{r_0^2} \left( \frac{d^2 w}{d\phi^2} + w \right)$ . A húr hosszváltozása  $s_1 - s = f(\rho(\phi), r_0)$ .

A 2.a) ábrán egy  $b$  típusú fogaskerék-bolygómű, a b) ábrán változata, a fogaskerék-hullámhajtómű látható. A fogaskerék-hullámhajtómű  $1$  külső fogazatú kerekét az  $e$  generátor oválisra deformálja, a fogaskerék kapcsolódás lehetséges ívén görbületi sugara csökken  $\rho(\phi) < r$ , a fogfejelek között a



húrhossz kisebb lesz,  $s > s_1$ , a fogak nem akadnak, amint a 2.d) ábra mutatja.

A fogaskerékpárt az  $e$  excenter/generátor hozza kapcsolatba. A hajtómű elemek házhöz viszonyított



2. ábra. a) és b) b típusú fogaskerék-bolygómű, c) és d) fogaskerék-hullámhajtómű

Ha az 1 kerék hajtja a 2 kereket ( $1 \rightarrow 2$ ), az excenterhez viszonyított szögsebességek hányadosa, az áttétel  $i_{12} = \frac{\omega_1 - \omega_e}{\omega_2 - \omega_e} = \frac{z_2}{z_1}$ . Az áttétel  $\omega_2 = 0$  és  $e \rightarrow 1$

esetben  $i_{e1} = \frac{\omega_e}{\omega_1} = -\frac{z_1}{z_2 - z_1}$ . A b típusú

fogaskerék-bolygómű áttételét a  $z_1$  fogszámmal arányos méretek növekedése és a kis fogszám különbséggel együtt járó fogakadás (2.b) ábra) korlátozza. A kéthullámú fogaskerék-hullámhajtóműben a fogszám különbség  $z_2 - z_1 = 2$ -ig csökkenthető.

### 3. A FOGAZÁS

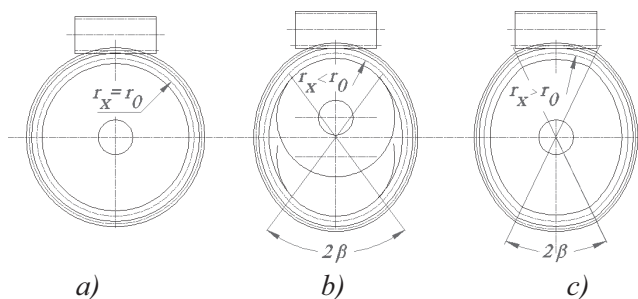
A hullámkerék fogai forgácsolással vagy képlékeny hidegalakítással, lefejtéssel vagy profilozással készülnek. A hullámkerék fogazásánál a nagy fogszámra  $z_1 = 100 \dots 800$ , a kis fogszám különbségre  $z_2 - z_1 = 2$ , a kis modulra

szögsebessége  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  és  $\omega_e$ . A fogaskerékpár excenterhez viszonyított  $\omega_{1e} = \omega_1 - \omega_e$  és  $\omega_{2g} = \omega_2 - \omega_g$  szögsebességének arányát a  $z_1$  és  $z_2$  fogszámok határozzák meg.

$m = 0,1 \dots 1,0 \text{ mm}$ , és a keréktest hajlékonyságára figyelemmel kell lenni.

Ha feltételezzük, hogy a hullámkerék hossz tengelyére merőleges metszetben a hullámkeréket helyettesítő  $h_0$  vastagságú gyűrű  $r_0$  sugarú középvonalának hosszváltozása a fogazás közben elhanyagolhatóan kicsi, a fogprofil egy  $z_{1x} = r_x \frac{z_1}{r_0}$  fogszámú virtuális

kerékhez tartozik. A hullámkerék fogazható a) normális hengeres fogaskerékként, belsejében a furatnak megfelelő támasztó tuskével. A fogprofilok egy  $z_1$  fogszámú hengeres kerékhez tartoznak. Pl.:  $z_1 = 190$ ,  $d_{a1} = 201,4 \text{ mm}$ ,  $d_{f1} = 196,93 \text{ mm}$ ,  $D = 191,5 \text{ mm}$ ,  $r_0 = 97,1 \text{ mm}$  [2,3].



3. ábra. A hullámkerék fogazása. a) Hengeres fogaskerékként, b) és c) deformált állapotban fogazva

b) A hullámkerék a generátor nagytengelyén hossz tengelyére merőleges metszetben oly módon és mértékben van deformálva, mint a hajtóműben. A görbületi sugar  $r_x = r_0 + w_0 - e$ ,

ahol  $w_0$  a kerék radiális elmozdulása a generátor nagytengelyén,  $e$  az excentricitás. A fogprofil egy  $z_{1x} < z_1$  fogszámú keréké. Pl.:  $z_1 = 190$ ,

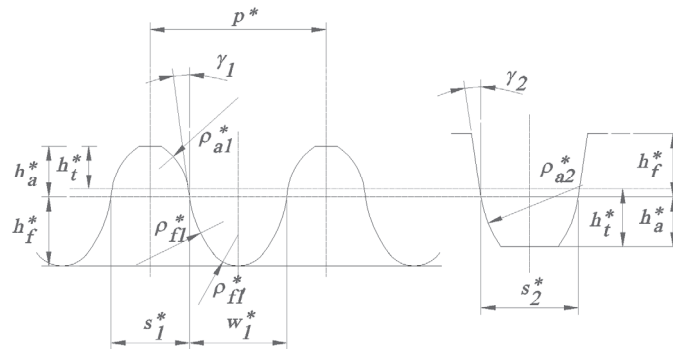
$d_{a1}=201,4\text{mm}$ ,  $d_{f1}=196,93\text{mm}$ ,  $D=191,5\text{mm}$ ,  $r_0=97,1\text{mm}$ ,  $r_x=94,4\text{mm}$ ,  $z_x=185$  [].

c) A hullámkerék a generátor nagytengelyén hossz tengelyére merőleges metszetben nagyobb görbületűre van deformálva, mint a hajtóműben. A görbületi sugár  $r_{xm} < r_x$ , a fogprofil egy  $z_{1xm} < z_{1x}$  fogszerű keréké. A módosítás célja a profilkapcsolódás, a görbület növelésének korlátja a hullámkerék maradékalakváltozása.

d) A hullámkerék a generátor nagytengelyén hossz tengelyére merőleges metszetben állandó görbületűre van deformálva. A görbületi sugár  $r_{xm} > r_x$ , a fogprofil egy  $z_1 = z_2$  fogszerű keréké. A módosítás célja a két kerék tengelykapcsolóhoz hasonló kapcsolódása.

#### 4. A FOGPROFIL

A fogprofil evolvens, egyenes, vagy körívekből összetett. Az evolvens fogprofil előnye, hogy a fogazótechnika az evolvens előállításán



4. ábra. Módosított körív fogprofil [4]

c) A körívekből összetett (a továbbiakban körív) fogprofil alkalmazásának célja a profilkapcsolódás feltételeinek megteremtése. Körív profil esetén a belső fogazatú kerék fogprofilja a kapcsolódás lehetséges szakaszán részben 3. ábra [4], vagy egészben domború [8], az utóbbi esetben a fogoldal és a fogtő S betűhöz hasonló alakot formál, innen ered az S profil elnevezés [8]. A fogprofilok oly módon vannak kialakítva, hogy a hullámkerék gyűrűkerékhez viszonyított elmozdulása közben

#### 5. A HULLÁMKERÉK MODELL

A hullámkeréket a modellalkotáshoz gondolatban keréktestre és fogazatra bontjuk.

##### 5.1. A hullámkerék-test modell

A hullámkerék külső fogait hajlékony keréktest hordozza. A hullámkerék a generátor bebújtatása előtt külső fogazatú

alapszik, és a legtöbb helyen rendelkezésre áll a gép, a szerszám és a szak tudás.

a) Evolvens fogprofil esetén egzakt kapcsolódás elvileg lehetséges, valójában a nagy profileltolás miatt – a hullámkerék profileltolástényezője 3...4 – a fogpárok a főponton túl élszerűen kapcsolódnak [2,3].

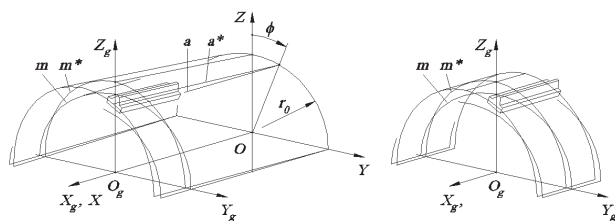
b) Egyenes fogprofil esetén egzakt kapcsolódás nem lehetséges. Az élkapcsolódás mindkét esetben a fogfejek környezetében a fogoldalakon történik, amint azt a laboratóriumi vizsgálat mutatja [2,3]. A nem konjugált fogprofilokkal úgy lehet egzakt kapcsolódáshoz közeli állapotot elérni, hogy a kapcsolódást a fogmagasságok csökkentésével arra a szakaszra korlátozzuk, ahol a hullámkerék foga a gyűrűkerékhez viszonyított elmozdulása közben a gyűrűkerék fogoldalával közel párhuzamosan mozog.

a kapcsolódás lehetséges szakaszán csak a fogoldalak érintkeznek. A hullámkerék és a gyűrűkerék alaprofilja eltérő, a hossz méretek a modul függvényében vannak megadva. A hullámkerék fogprofil jellemző méretei:  $h_a^*=0,9$ ,  $h_f^*=1,212$ ,  $h_t^*=0,76$ ,  $\rho_{a1}^*=1,08021$ ,  $\rho_{f1}^*=2,0528$ ,  $\rho_{f1}^*=0,55$ ,  $\gamma_1=7^\circ 30' 30''$ , a gyűrűkerék fogprofil jellemző méretei  $h_a^*=0,9$ ,  $h_f^*=1,212$ ,  $h_t^*=0,966$ ,  $\rho_{a2}^*=2,0528$ ,  $\rho_{f2}^*=2,0528$ ,  $\gamma_2=8^\circ 24'$  [4].

fogaskoszorúból és a hozzá tartozó palástból álló forgástest.

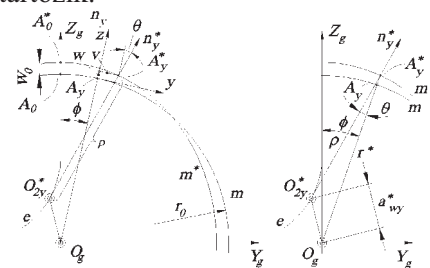
a) A keréktest vékony falú cső,  $M$  középfelülete egyenes alkotójú,  $r_0$  sugarú és  $L$  hosszúságú körhenger.

- b) A generátor az  $Y_g, Z_g$  síkban hat a hajlékony kerékre. A generátor középpontja az  $O_g$  pont.



a)

- c) Az  $m$  középfelület tetszőleges  $a$  alkotójához a generátor  $Z_g$  nagytengelyétől számított  $\varphi$  koordináta tartozik.



b)

c)

5. ábra. a) A hullámkerék középfelülete és deformált középfelülete. b) és c) A hullámkerék középvonala és deformált középvonala

- d) A generátor hatására az  $M$  középfelület az  $M^*$  deformált középfelületbe, az  $a$  alkotó

az  $a^*$  alkotóba megy át.

- e) A hajlékony keréktestről feltételezzük, hogy alakváltozása közben a deformált középfelület megnyúlása valamint alkotóinak az egyenestől való eltérése elhanyagolhatóan kicsi.
- f) A generátor síkja az  $M$  középfelületből az  $m$  középvonalat, az  $M^*$  deformált középfelületből az  $m^*$  vonalat metszi ki.
- g) A generátor hatására az  $m$  középvonal  $A_0$  pontja az  $A_0^*$  pontba kerül. A  $w_0$  elmozdulást a generátor határozza meg.
- h) Az  $m$  középvonal tetszőleges  $A_y$  pontja a deformált középvonal  $A_y^*$  pontja. Az  $A_y$  pont sugárirányú elmozdulása  $w = w(\varphi)$ , érintőirányú elmozdulása  $v = v(\varphi)$ .
- i) A  $v = v(\varphi)$  érintő irányú elmozdulás az  $r_0 + w(\varphi)$  sugárhoz viszonyítva két nagyságrenddel kisebb, ezért az  $O_g A_y^*$  sugár hossza jó közelítéssel  $r^* = r_0 + w(\varphi)$ .
- j) A  $m$  középvonal  $n_y$  normálisa a deformált középvonal  $n_y^*$  normálisa. A normális elfordulása  $\vartheta = \vartheta(\varphi)$ .
- k) A középvonal  $r_0$  sugarú kör, a deformált középvonal  $\rho = \rho(\varphi)$  görbületi sugarú vonal. A deformált középvonal tetszőleges

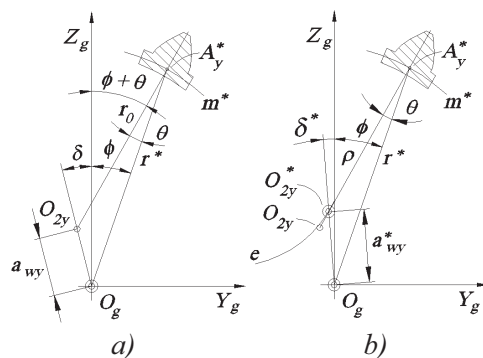
$A_y^*$  pontjához tartozó görbületi körének középpontja a  $e$  evolútán az  $O_{2y}^*$  pont.

## 5.2. A hullámfogazat modell

- a) A hajlékony kereket hengeres kerékként fogazzuk, fogazás közben a hajlékony keréktestet belülről megtámasztjuk.
- b) A fogazat egyenes, a fogak a keréktestet egyenes alkotó irányában helyezkednek el. Feltételezzük, hogy a fogak a deformált keréktesten is alkotóirányúak maradnak.
- c) Az  $Y_g, Z_g$  síkban a fog szimmetriatengelye az  $m$  középvonal normálisa, feltételezzük, hogy a fog szimmetriatengelye a deformált  $m^*$  vonalnak is normálisa.
- d) A fogprofil körevolvens. A fog  $O_{2y}$  középpontjának (az  $r_{b2}$  sugarú alapkör középpontjának) a középvonal  $A_y^*$  pontjától mért távolsága  $r_0$ .
- e) Az  $O_g O_{2y}$  sugár hossza  $a_{wy} = a_{wy}(\varphi)$ , a sugárhoz tartozó szögkoordináta  $\delta = \delta(\varphi)$ .
- f) A hullámkereket a generátorhoz viszonyítva forgatva a vizsgált fog pillanatnyi forgáspontja az  $O_{2y}^*$  pont. Az  $O_{2y}^*$  pillanatnyi forgáspontnak az  $A_y^*$  ponttól mért távolsága  $\rho = \rho(\varphi)$ .
- g) Az  $O_g O_{2y}^*$  sugár hossza  $a_{wy}^* = a_{wy}^*(\varphi)$ , a sugárhoz tartozó szögkoordináta  $\delta^* = \delta^*(\varphi)$ .



- h) A hullámkerék fogairól feltételezzük, hogy a keréktest alakváltozása közben működő



6. ábra.  $O_{2y}$  a középpont,  $O_{2y}^*$  az evolútán a fog pillanatnyi forgáspont

## 6. A FOGASKERÉKPÁR KAPCSOLÓDÁSA

A vizsgálatokat a hagyományos fogaskerék-hajtások analógiájára a generátorhoz rögzített, vagy a gyűrűkerékhez kötött vonatkozási rendszerben végezzük. Az első esetben a merev kerék pontjai kör pályán, a hullámkerék pontjai a generátor és a külső terhelés hatására kialakuló elliptikus pályán mozognak. A gyűrűkerékhez rögzített vonatkozási rendszerben a közel azonos alakú és egymáshoz közel fekvő fogfelületek egymásra hatását és/vagy a közöttük lévő hézagot tanulmányozzuk.

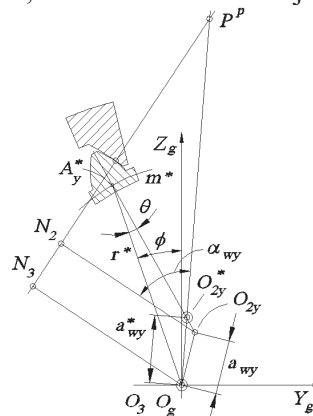
### 6.1. A generátorhoz rögzített vonatkozási rendszerben végzett vizsgálat

Térjünk vissza az 1. ábrához és az  $e$  jelű karhoz illetve a  $g$  generátorhoz viszonyítva képzeletben forgassuk el a fogaskerékpárt. A bolygókerék fogai a karhoz viszonyítva kör pályán, a hullámkerék fogai generátorhoz viszonyítva elliptikus pályán mozognak. A hullámkerék fogai a két hullámsúcson kapcsolódnak; a szimmetrikus kialakításra tekintettel csak az egyiket vizsgáljuk.

Általános esetben a fogpárok kapcsolódása egy belső fogazatú és egy külső fogazatú kerék kapcsolódására vezethető vissza. A fogaskerekek tengelyei kitérőek, a tengelyszög és a tengelytáv a fogpár generátorhoz viszonyított elfordulása függvényében változik [1-5].

Amennyiben a hajlékony kerék fogai a kerék tengelyével párhuzamosak, vagy a fogak ferdeségét kicsinységükre tekintettel

szakaszuk alakváltozása elhanyagolhatóan kicsi, ezért merevnek tekintjük.



7. ábra. A hullámkerék és a gyűrűkerék kapcsolódása

elhanyagolhatóan vesszük, a fogpár kapcsolódása egy változó tengelytávú és változó kinematikai áttételű fogaskerékpár kapcsolódására vezethető vissza. A pillanatnyi tengelytáv az  $O_3$  forgáspont és középpont valamint a  $O_2^p$  pillanatnyi forgáspont távolsága. A kapcsolódás pillanatnyi pólusa  $P^p$ . A fogpár pillanatnyi kinematikai áttétele  $i_{23}^g = P^p O_3 / P^p O_2^p$ . Az  $O_2^p$  pillanatnyi forgáspontnak a deformált középvonal  $A'$  pontjához viszonyított helyét a fog  $f_2$  szimmetriatengelyén a  $\rho$  görbületi sugar határozza meg.

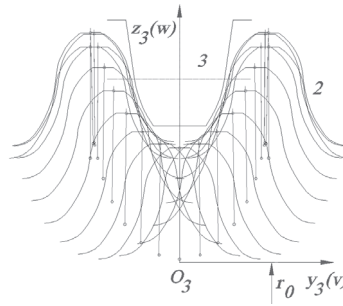
### 6.2. A gyűrűkerékhez rögzített vonatkozási rendszerben végzett vizsgálat

A munka során a hullámkerék fogát a gyűrűkerék fogához viszonyítva merev testként mozgathatjuk (5. fejezet). A vizsgált fognak a generátor nagytengelyéhez viszonyított helyét a  $\varphi$  koordináta mutatja. A generátor hullámkerékhez viszonyított elfordulása közben a gyűrűkerék hullámkerékhez viszonyított

elfordulása  $\varphi_3 = \frac{\frac{\pi}{2} - \varphi}{i_{g3}}$ , ahol  $g \rightarrow 3$  esetben az

áttétel  $i_{g3} = \frac{z_3}{z_3 - z_2}$ . A fogak helyét

szimmetriatengelyük és az  $r_{a2}$ ,  $r_{a3}$  sugarú fejkörök (fejpontok) valamint az  $r_{f2}$  és  $r_{f3}$  sugarú lábkörök metszéspontjai (lábpont) segítségével határozzuk meg.



8. ábra. A hullámkerék körprofilú fogának a gyűrűkerék fogához viszonyított elmozdulása

A gyűrűkerék fej- és lábpontjának koordinátái

$$\begin{aligned} w_{a3} &= r_{a3} - r_0, & v_{a3} &= 0, \\ w_{f3} &= r_{f3} - r_0, & v_{f3} &= 0. \end{aligned}$$

A hullámkerék fej- és lábpontjának koordinátái

$$\begin{aligned} w_{a2} &= (w + r_{a2}) \cos \varphi_3 - r_0, \\ v_{a2} &= v + (r_{a2} - r_0) \theta - (r_{a2} + w) \varphi_3, \\ w_{f2} &= (w + r_{f2}) \cos \varphi_3 - r_0, \\ v_{f2} &= v + (r_{f2} - r_0) \theta - (r_{f2} + w) \varphi_3. \end{aligned}$$

Az összefüggésekben a  $w = w(\varphi)$  és  $v = v(\varphi)$  elmozdulás valamint a  $\vartheta = \vartheta(\varphi)$  elfordulás a generátor konstrukció függvénye. A 8. ábrán látható esetben a generátor tárcsás, az összefüggések a [2, 5] munkákban megtalálhatók. A hullámkerék és a gyűrűkerék fogát a 4. ábra mutatja, a hullámkerék fogának a gyűrűkerék fogához viszonyított mozgása a 8. ábrán látható. A modul  $m=1 \text{ mm}$ , generátor nagytengelyén a hullámkerék sugárirányú elmozdulása, a hullám csúcsán a hullámkerék  $2\beta = 69^\circ$ -os szöghöz tartozó íven simul a tárcsához, ahol a deformált középvonal görbületi sugara  $r_x = 94,4 \text{ mm}$ .

## 7. Összefoglalás

A cikkben a szerzők a fogaskerék kapcsolódás különleges esetével, a hullámkapcsolódással foglalkoztak. Összefoglalták a hullámzó keréktest a fogazat és a hullámkapcsolódás jellemzőit. A cikk célja a rugalmasan alakváltozó módosított profilú fogaskerék kapcsolódás és a kutatás irányának bemutatása.

## Felhasznált irodalom

- [1] Musser C.W.: Elastic-Body Mechanics. Machine Design. 1961. No. 6. 150-156 p.
- [2] Péter József: Fogazott hullámhajtómű kapcsolódásának vizsgálata. A Miskolci Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán elfogadott egyetemi doktori értekezés. 1981. 174 p.
- [3] Péter József: Fogaskerék-hullámhajtómű és tengelykapcsoló kapcsolódásának vizsgálata. A MTA Tudományos Minősítő Bizottsága által elfogadott kandidátusi értekezés. 1992. 111 p.
- [4] Romasin V. N.: Módosított profilú hullámhajtómű vizsgálata. Kandidátusi értekezés. MVTU. Moszkva, 1975.
- [5] Suvalov Sz. A., Volkov A. D.: A hullámhajtómű hajlékony fogaskereke két tárcsával deformálva, Izv. Vuz. Mas, 1971, No. 10, 44-49 p.
- [6] US2906143 (szabadalom).
- [7] US2931248 (szabadalom).
- [8] Harmonic Drive Systems GmbH.(Katalógus)

A bemutatott kutató munka a TAMOP-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

# A TERMÉSZET ÉS A TERMÉKTERVEZŐ ALKOTÓ ELVEI CREATIVE PRINCIPLES OF THE NATURE AND THE PRODUCT DESIGNER

Dr. Péter József

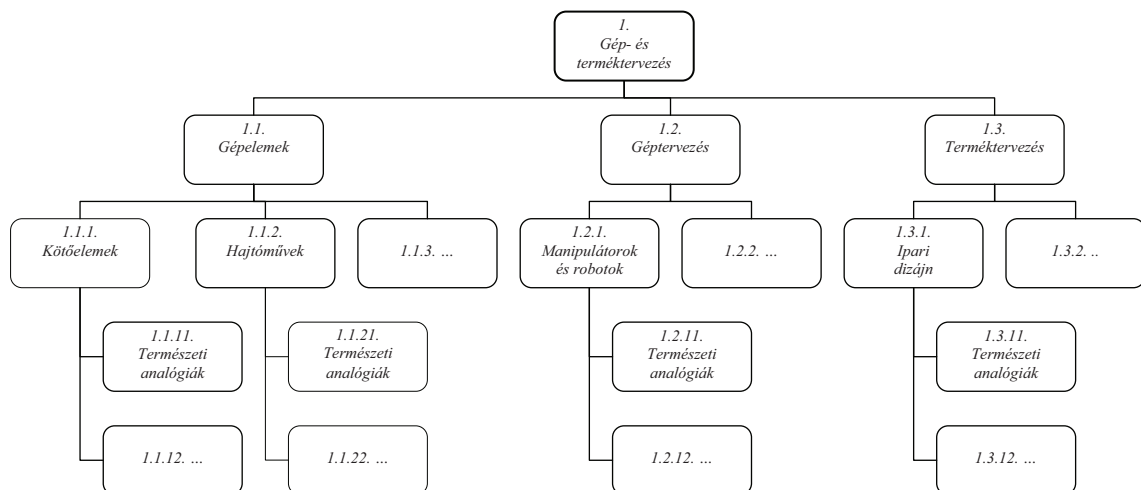
Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszéke

**Abstract:** Present paper analyses the creative principles of the nature and the product designer, and describes a possible way of research. The study is restricted to the analogical solutions of machine elements, machines and products.

## 1 BEVEZETÉS

1730-ban született Josiah Wedgwood, angol keramikus, a gépi keramikakészítés megalapozója, más megközelítésben a „gépi művészet” megteremtője. Wedgwood olcsó, helyben bányászható agyagból egyszerűen gyártható, jól használható, tartós, könnyen tárolható, szállítható, és nem utolsósorban sokak számára elérhető keménycserép edényeket készített. Wedgwood a **kor igényeihez és lehetőségeihez alkalmazkodva** alkotott példaértékű gyártmányokat [4]. Az élőlényeknek szintén lényege az alkalmazkodó alkotás, pl. a zavartalan körülmények között a fa kibontakoztatja genetikai programját, alakja felfelé mutat, kedvezőtlen feltételek között viszont aszimmetrikusan és ferdén nyúlik az ég felé. A

növény válaszol a környezeti hatásokra, alkalmazkodik, és a benne rejlő lehetőségekkel élve szerkezeti felépítését bizonyos határok között módosítja. Charles Darwin (1809-1882, Josiah Wedgwood unokája) az 1859-ben kiadott *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of favored races in the struggle for life* [1] című munkájában foglalta össze az élővilág „konstrukciós elveit”, a lehetőségek és az alkalmazkodás összehangolásának teóriáját. **Cikkünkben az élő és az élettelen természet környezeti kihívásokra adott válaszát és a lehetséges műszaki alkotások kapcsolatát tanulmányozzuk, és azokat a korábban megismert vagy vizsgált példákkal illusztráljuk.**



1. ábra. A természeti analógiák vizsgált területei

## 2 ELEMÉK, GÉPELEMÉK

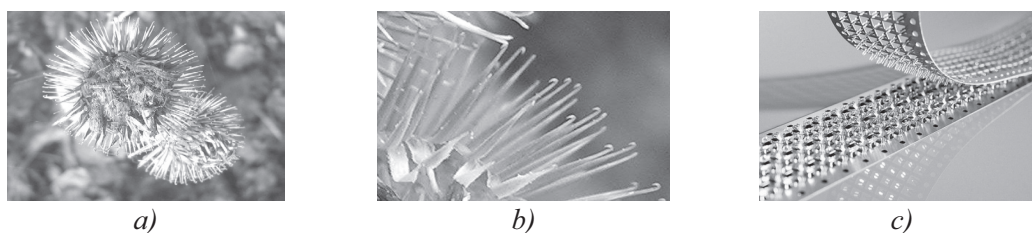
Az élő és az élettelen természet elemeinek és alkotó elveinek köre rendkívül széles, ezért tanulmányunkat illetékességi területünkre, a gépelemek, a géptervezés, a terméktervezéshez és a természet velük kapcsolatba hozható megoldásaira korlátozzuk (1. ábra).

A gépek valamilyen feladat megvalósítására elemekből összetett szerkezetek, feladatuk és kialakításuk szerint ismétlődő elemei pedig a gépelemek. A gépelemeket feladatuk mellett alakjuk, kialakításuk, igénybevételük, anyaguk, és gyártásuk stb. alapján is csoportosítjuk. A

gépelemek közé tartoznak a kötőelemek, a tengelyek, a tengelykapcsolók, a csapágyak, a tömítések és a hajtások. A gépelemek valamint az élő és élettelen természet elemei közötti közvetlen kapcsolatkeresés durva egyszerűsítés, ezért **az összefüggéseket a feladat hasonlóságával vagy azonosságával keressük.**

Az élőlények és a műszaki alkotások gyakran ismétlődő elemei a részek közötti kapcsolatot biztosító kötőelemek. A kötések létrehozhatók anyag hozzáadásával, lehetnek erőzárók, alakzárók, vegyes alak és erőzáró és rugalmasak kötések. Anyag hozzáadásával valósulnak meg a pl. ragasztott kötések. Ragadó anyagot a természet és az ember egyaránt

használ, ragadó anyag fedi pl. a fagyöngy (*Viscum album*) bogyóit, melyek madarakra ragadva és róluk leválva biztosítják a növény terjedését. Alakzáró a kötés a bogáncs (pl. *Carduus nutans*) magháza (2.a) ábra), és a vele kapcsolatba kerülő állat bundája között. A horgos végű tüskék (2.b) ábra) biztosítják, hogy a bogáncs potyautasként nagy területen szétszóródjon. 21-25 visszahajló horog biztosítja, hogy a házi méh (*Apis mellifera*) fullánkja a megszúrt emberbe, állatba szakadjon, és a vele együtt leváló mirigyből a mérge a megszúrt testbe kerüljön. Hasonló horgokat használunk a ruhák és cipők zárására [2], vagy a géprészek rögzítésére (2.c) ábra).

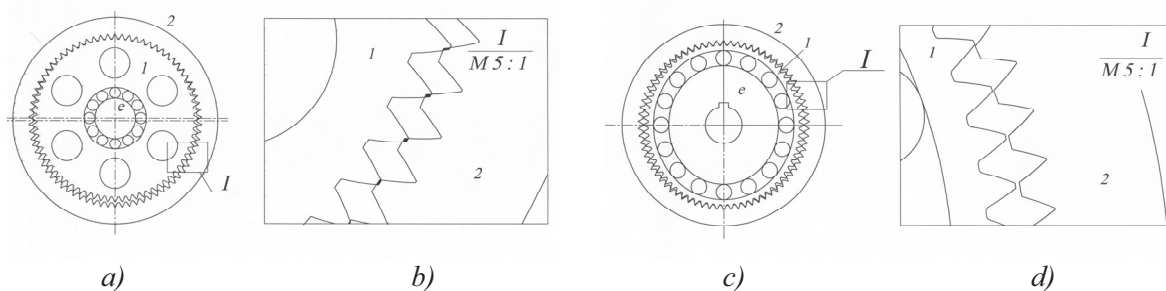


2. ábra. a) és b) Bogáncs és horgos tüskéi, c) tépőzár

Alakzáró a kötés a ragadozó állat fogai és a zsákmány, vagy pl. a krokodil csipesz és a megfogott vezeték között. Erőzáró a kötés az ember ujjai és a megfogott tárgy (3.a) – f) ábra), vagy pl. a papírlap és a rögzítéséhez használt csipesz között. Alak és erőzáró a kötés a ragadozó karmai és a zsákmány között.

Rugalmas a kötés az újszülött koponya csontjai között; a rugalmas részek a

csontosodás befejezése előtt biztosítják a fej könnyebb átjutását a szülőcsatornán, majd a növekedés során a koponya térfogatának bővülését. A koponya csontjai végleges kialakulásuk után viszont varratosan ízesülnek, és merev kötés alakul ki közöttük. A rugalmas kötés a gépekben hasonló módon biztosítja a merevnek tekinthető részek egymáshoz viszonyított elmozdulását és elfordulását.



3. ábra. a) és b) b típusú fogaskerék-bolygómű, c) és d) fogaskerék-hullámhajtómű

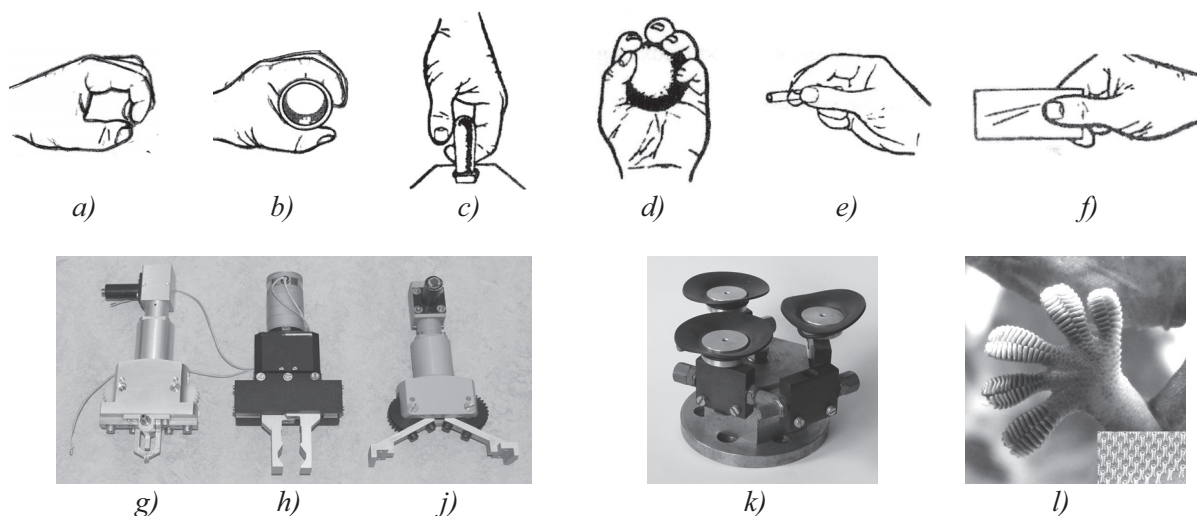
A 3. ábra két fogaskerék-hajtóművet mutat. A 3.a) ábrán látható bolygómű működése a merevtest modellen alapszik, a hajtómű működésének feltétele az 1 és 2 keréktest merevsége. A nagy fogszámú és kis fogszámú különbségű hajtómű működését fogakadás zavarhatja, amint a 3.b) ábra mutatja. A 3.c) ábrán látható hullámhajtómű

működése a rugalmas test modellen nyugszik, az 1 hullámkerék az *e* generátor hatására rugalmasan alakváltozik és a fogakadás lehetősége csökken. A hullámkerék alakváltozása pl. a gerincesek vázának alakváltozásához hasonló, a merev részek egymáshoz viszonyított helyzetváltozását a rugalmas kötések teszik lehetővé.



### 3 ÖSSZETETT SZERKEZETEK, GÉPEK

Az összetett gépek közé tartoznak pl. a robotok. Fő részeik az állvány, a karok, a meghajtó rendszer, az energiaellátó rendszer és a vezérlés. A karokhoz szerszámok és, vagy megfogók tartoznak, hasonlóan a természet karokkal, lábakkal rendelkező lényeihez. Az ideális megfogó szerkezet az emberi kéz másolata lenne, 4.a) – f) ábra, nem véletlen, hogy az emberi kéz a sokoldalú robotmegfogók kiinduló pontja. A 4. ábrán jellegzetes megfogás típusok az a) ujjheggyel, b) hengeres, c) behajtott ujjal, d) gömb [9], e) rúdvég és f) oldallapon történő megfogás.



4. ábra. a) – f) Megfogás emberi kézzel, g) – k) robotmegfogó, l) a gekko talpa

A 4. l) ábrán egy gekkó talpa látható, melyet több millió néhány mikrométer átmérőjű keratinszőr borít. Amikor a szőrszálak valamilyen tárggyal érintkeznek, a felület és minden egyes szőrszál között gyenge molekuláris vonzás (van der Waals-féle hatás) lép fel. Ezek a hatások szálanként kicsik, de a sok millió szőrszál együttesen már jelentős erővel tapad a felületre. A 3. k) ábrán a szőrszálakhoz hasonló, de másfajta kötőhatást használó, vákuum korongos robotmegfogót látható.

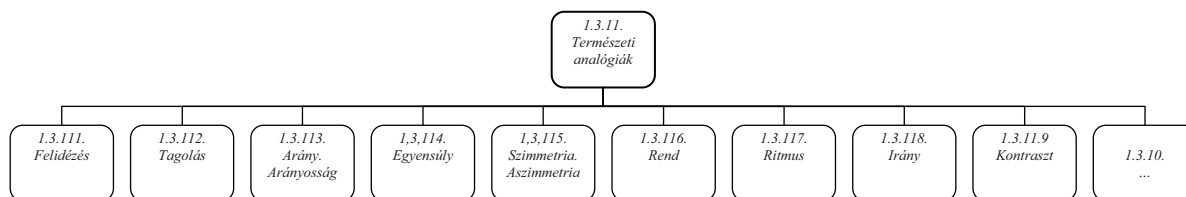
A termék szükségletkielégítő alkotás, tartalma és értelmezésének köre a géphez viszonyítva szélesebb. A termék része az egymásra ható mechanikus elemekből összetett szerkezeten túl a látó, halló, szagló, vagy ízlelő szervünkre gyakorolt hatás. Vizsgálataink során tanulmányozhatjuk a gépelemek analógiájára a részt, a géphez hasonlóan az összetett lényt, vagy a termék analógiájára a lényt és az általa kiváltott hatást. Vizsgálhatjuk pl. a szúnyog szűrő szájszervét, azt a vékony csövet, amely

Mivel a megfogandó tárgy alakja, mérete, anyaga, az elvégzendő művelet és a környezet sokféle, az univerzális robotmegfogó a feladathoz képest rendszerint terjedelmes, nagy tömegű, és költséges. A méret, a tömeg és a költség optimalizálására a robotmegfogók nem univerzálisak és az elvégzendő feladathoz idomulnak. A tárgy és a megfogó közötti kapcsolatot leggyakrabban alakzáró, vagy erőzáró kötés biztosítja. Az emberi kézzel történő megfogás analógiájára a 4.g) ábrán az ujjheggyel, h) hengeres, j) oldallapon történő megfogás látható [8].

fájdalmat nem okozva hatol a bőrbe, vagy tanulmányozhatjuk a szúnyog szívókájához hasonló orvosi eszközt, a test belső tereinek megközelítésére, nem kívánatos részek tágitására stb. használt katétet.

### 4 NYELVI ANALÓGIÁK

Beszéd közben a hangokat a meghalláshoz és a megértéshez szükséges erősséggel hallatjuk, a hangokból érthető hosszúságú szavakat alkotunk, a szavakat felfogható méretű mondatokba rendezzük. A mondatokban a szavak feladatuknak megfelelő súlyt és szint kapnak, a verbális gondolatközlés szabályait követve felidéznek, tudatnak valamit. Az élővilág lényei hangjukkal ugyancsak közölnek valamit, bejelentik egy terület feletti igényüket, keresik faj-, vagy a másik nemhez tartozó társat, éreztetik erejüket, stb. Az állati hangok a közlés lényegének megfelelően ugyancsak tagoltak, hangsúlyosak és a céllal összhangban változatosak.



5. ábra. A vizuális kommunikáció elemei

A bennünket körülvevő természetes és ember alkotta tárgyak a látást, a hallást, a tapintást, az ízlelést és a szaglást használva ugyancsak tudatnak valamit, környezetünkről a legtöbbet a bennünket körülvevő tárgyak sokasága mond. **A látásra alapozott vizuális közlésnek és megértésnek a beszélt nyelvhez hasonló szabályai vannak, melyeket használója fejlődése során környezetével együttműködve sajátít el.** A vizuális érzékelés a dolgok aktív regisztrálása, ami a tárgyak méretének, alakjának, színének, a részek, az egész és a környezet egymáshoz való viszonyának folyamatos mérlegeléséből és összehasonlításából áll. A természet alkotó elvein alapuló vizuális kommunikáció elemét az 5. ábra foglalja össze.

## 5 A FELIDÉZÉS

**A felidézést úgy értelmezzük, hogy valamit látva, hallva, ízelve, tapintva, vagy illatát érezve képzeletünk támadnak.** A felidézés az élővilágban az ember és az állat számára egyaránt érvényes kategória, **minden jelentést hordoz, felidéz valamit.** Az ember közösségben él és szocializálódik, az érzetek dekódolása a korábban szerzett tapasztalatokon, tárgyi tudáson és a közösségen belüli megállapodások ismeretén alapul. A felidézés lehet konkrét és áttételes. A madár éneke konkrét, amikor a fajtársak felismerik, áttételes, amikor a hang erősségéből a fajtársak az énekes fizikai állapotára következtetnek. Pl. az 6. ábrán látható gépkocsi embléma jelentése áttételes; felidézi a prérin csatangoló vadlovak szabadságát, és az 1960-as évek fiataljainak életérzését.



a)



b)

6. ábra. a) Csatangoló vadlovak, b) a Ford Mustang gépkocsi emblémája

## 6 TAGOLÁS

A vizuális gondolatközlés első lépése a részekre bontás, a tagolása. A részek a szavakhoz hasonlóan érzékelhetőek, láthatóak, megfoghatóak kell, hogy legyenek. A tagolt részek a szavakhoz hasonlóan eltérő alakkal,

mérettel, térfogattal, színnel, felületminőséggel stb. különböznek egymástól. **A tagolás lényege a részek elkülönítése, a funkció szerinti megkülönböztetés, a részek lényegüknek megfelelő elválasztása.**



a)



b)

7. ábra. a) Orrszarvú bogár és b) Ford KA gépkocsi

A 7.a) ábrán egy orrszarvúbogár (*Oryctes nasicornis*) látható, belső szerveit kemény kitinpáncél védi. A páncél nem monolit egység, hanem a kemény, merevnek tekinthető és a hajlékony, csukló szerepét betöltő részek láncolata. A tagolt páncél nem a természet játéka, **a tagolást a részek funkciója határozza meg.** Az 7.b) ábrán látható Ford KA típusú gépkocsi egyszerű, nem hivalkodó, a légellenállás csökkentése érdekében csepp formájú karosszériát kapott. **A funkcionálisan elkülönülő részeket határozott vonalak**

**választják el, felidézve a rendeltetés és a részek kapcsolatát.**

Léteznek olyan élőlények és ember alkotta tárgyak, melyek lényege a figyelem elkerülése. A tojásain ülő madár, vagy a fűben lapuló őzgida célja a **rejtőzködés**. A természetes szelekció eredményeként tollukkal, bundájukkal környezetükbe olvadnak, **annak tagolatlan részét alkotják.**



a)



b)

8. ábra. a) Fészekben lapuló madárfióka, b) katonák terepszínű ruhában

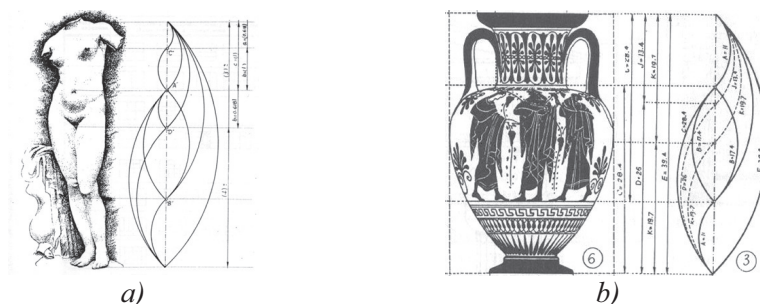
A tagolás egyik lényeges elemét szemlélteti az 8.a) ábra. A fészekben három madárfióka lapul környezetébe simulva, a negyedik fióka viszont élelmet kér, és élénkvrös torkával elkülönül a környezetétől. A madárfióka viselkedését a rejtőzködés, vagy a figyelem felkeltés, mint cél határozza meg. A madárfiókához hasonlóan az 8. b) ábrán látható katonák terepszínű ruhája akkor megfelelő, ha tagolatlan, nehezen felfedezhető részei a környezetnek. Szükség esetén ugyanakkor az élelmet kérő madárfiókához hasonlóan élénk színű lepellel jelzik hollétüket a barát repülőgépeknek. A példák illusztrálják, hogy **a tagolt vagy tagolatlan létet a cél, a feladat határozza meg.**

## 7 ARÁNY ÉS ARÁNYOSSÁG

**Az arány egyszerű esetben két vagy több érték összehasonlítása a matematika és a geometria módszereivel.** Az arány régóta foglalkoztatja a tervezőket, pl. az ókor tudósai a szépség okát az emberi test arányait vizsgálva keresték [3,5]. A szépség okát mások mellett az

aranymetszésben vélték felfedezni. Az emberi test jellemző részeinek hosszát számszerűsítve és azokat összehasonlítva azt találták, hogy a rövidebb és a hosszabb rész viszonya megegyezik a hosszabb rész és az egész viszonyával.

Az élő és élettelen tárgyak részeinek aránya a szemlélőtől független, a részek viszonyát és okát az ember akaratlanul keresi. Pl. a darumadár mocsaras, erdős tájon él, és növényi hajtásokat, rágsálókat, halakat, kisebb emlősöket fogyaszt, magas lábain állva szükség esetén nyakával messze előre és mélyen nyúlva ragadja meg a táplálékot. Hosszú karcsú lába és nyaka a természetes szelekció révén életmódjához és életteréhez igazodott. A toronydaru magas karcsú állványzatát és a hosszan kigyúló gém karcsú szerkezetét ugyancsak a feladat határozza meg, a terhet a toronytól távol és esetenként mélyen fekvő térrészbe kell eljuttatni. **Az élőlényeknél és a használati tárgyaknál a célszerűség az elsődleges szempont, az arányokat a funkció határozza meg.**



9. ábra. Az aranymetszés [3,5]

Az egyik legegyszerűbb szerszám a kalapács, a méretei és az arányok ugyanakkor sokszínűséget mutatnak. Más a tömege, a nyél és a fej aránya a fogorvos, az asztalos, a kőműves, vagy a vastag lemezeket egyengető kovács kalapácsának. A szerszám arányait a szerszám feladata határozza meg. A kalapács nyelének vastagsága viszont a feladattól függetlenül viszonylag szűk határok között változik, mivel a nyél markolt részének a vastagságát és alakját az emberi kéz méretei és alakja határozza meg. Más megfogalmazásban **a szerszám részeinek arányát a szerszám feladata és az ember – szerszám kapcsolat alakítja.**

## 8 EGYENSÚLY

Az egyensúly a köznapi beszédben és a szakmák nyelvezetében egyaránt használt fogalom. Az egyensúly egy rendszer állapota, amikor a reá ható hatások eredője zérus. Pl. egy mechanikus rendszer egyensúlyban van, ha az elhagyott részek hatását helyettesítő erők és nyomatékok eredői zérussal egyenlők. Egyensúlyban lehetnek a részek a méretük, formájuk, felületminőségük, színük, hangjuk, ízük stb. alapján is. Az egyensúly az élő-, és az élettelen tárgyak világának természetes része, az ember akaratlanul keresi az okát, ha az egyensúly hiányát észleli.

## 9 SZIMMETRIA ÉS ASZIMMETRIA

Szimmetrikus a térbeli alakzat, ha a megfelelő részei a szimmetriatengelyre, vagy a szimmetriasíkra nézve egymás tükörképei. A síkbeli szimmetrikus alakzatok részei a szimmetriatengelyre vagy egy pontra nézve tükörképei egymásnak. **A szimmetria az élő és az élettelen, a mesterséges és a természetes szervezetek, alakzatok könnyen felismerhető eleme.** A szimmetrikus

felépítésnek számos üzenete van. Az 10.a) ábrán egy szimmetrikus arcrész és egészséges fogak láthatók. Élő szervezet esetén **a szimmetria a testi épséget és az egészséget idézi fel**, gondoljunk annak ellentétére, a sérülések vagy egyes betegségek okozta testi deformációkra. Tapasztalataink alapján a szimmetrikus testek más feltételekkel kiegészülve egyensúlyban vannak, és nyugalomban maradnak, pl. a piramisok építői a szabályos négyoldalú gúlába rakott kővekkel stabil építményt alkottak, melyek évezredek óta hirdetik építetőjük emlékét, amint a 10.b) ábra mutatja, ahogy szimmetrikusra formáljuk a veszélyes üzemű eszközöket, pl. gázkészülékek, 10. c) ábra is. **A szimmetrikus forma a nyugalom, az időtlenség, a megbízhatóság megjelenítője.**

A környezetünkben található ember alkotta tárgyak többsége szimmetrikus. A lakberendezési tárgyak, felszerelések, könyvek, vagy a járművek rendszerint szimmetrikusak, a szimmetria általánosan használt konstrukciós elv. Mindennapos tapasztalat, hogy szimmetrikus tárgyat alkotni, szabályos kört rajzolni csak tehetséggel és megfelelő gyakorlattal lehet. Az ókori pitagóreusok tökéletes síkidomnak a kört, tökéletes térbeli alakzatnak a gömböt tartották. Arisztotelész az égitesteknek gömbformát tulajdonított, mivel az égitesteket tökéletes alkotásoknak tartotta [5]. A reklámfilmekben használt gömbök az intézmények kiválóságára utalnak, a reklámgrafikusok tudatosan alkotnak körbe foglalt logót, mert a szemlélő számára az **a tökéletességet idézi fel** [6]. **A szimmetria a rendet, a nyugalmat, a folyamatok irányításához szükséges ismeretek birtoklását, műszaki értelemben a megbízhatóságot szimbolizálja.**





a)



b)



c)

10. ábra. a) Szimmetrikus arc b) szimmetrikus felépítésű piramisok és c) gázkészülék

Az élőlények teste felületesen szemlélve szimmetrikus, alaposan megvizsgálva viszont eltéréseket találunk rajta. A fantomrajz szimmetrikus, az élő emberről készített kép viszont aszimmetrikus, pl. a szem, az orr, a fül eltér a szimmetrikustól, ami élővé teszi az arcot. **A természetben a szimmetria és az aszimmetria együtt létezik, az aszimmetria az élő dolog vagy jelenség megtestesítője.**

A tárgyak azonban nemcsak részleteikben, hanem egészükben is lehetnek aszimmetrikusak, **ha a rendeltetés úgy kívánja.** Pl. a kézi szerszámok, a kézfegyverek, a fényképezőgépek rendszerint egykezesek és aszimmetrikusak, a markolat a jobb marok formáját követve biztos fogást tesz lehetővé, a kezelőelemek pedig a jobb kéz hüvelykujjához, ill. mutató ujjához igazodva természetes mozdulatokkal kezelhetők. **Az**

**aszimmetrikus felépítés ebben az esetben a funkció következménye.**

Az aszimmetrikus elrendezés felhívó hatású, a szemlélő vagy a használó kutatja, hogy a szerkezet miért nem szimmetrikus. Pl. a kezelőelemeknél **az azonos kiosztású gombok vagy billentyűk sorában az aszimmetrikusan elhelyezett elem felhívja a figyelmet, mivel láthatóan elkülönül.** Az aszimmetrikusan elhelyezett elemek egymással való kiegyensúlyozásának ugyanaz a hatása, mint a szimmetrikus kialakításnak. Az alakzatok aszimmetrikus elrendezésében rejlik lehetőséget a grafikusok is kihasználják, az aszimmetrikusan elhelyezett kép és szöveg eleven tartalmat sugall. Aszimmetrikusak pl. az utazási irodák hirdetései, mivel a lényegük a mozgás, a változás.



a)



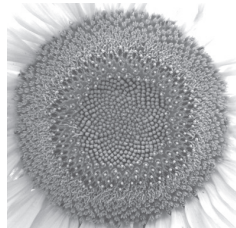
b)

11. ábra. a) Aszimmetrikus emberi kéz, b) aszimmetrikus elrendezésű kezelőelemek

## 10 REND

A rend a természetben és az ember alkotta tárgyi világban ugyanazt üzeni, adottak a lét, a növekedés, a gyarapodás feltételei. A rend üzenet; a dolgok rendben mennek, és

birtokában vagyunk azoknak az ismereteknek és eszközöknek, melyek a folyamatok normális menetéhez, irányításához szükségesek.



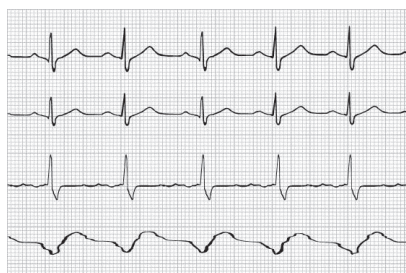
a)



b)

12. ábra. a) Rend és b) rendetlenség

Rendezetten, a jó helykihasználás érdekében logaritmikus spirál mentén helyezkednek el a magok a napraforgó tányérján, *12.a) ábra*, a kulturált létezés szükséges rend hiányáról árulkodik viszont a *12. b) ábrán* a rendetlenség



a)



b)

12. ábra. a) Szívrítmus görbe és b) Greyhound autóbusz (Greyhound Corp., Pontiac, Michigan, 1954)

A tervezés során a ritmikus megjelenésnek fontos szerepet lehet. Az *12. b) ábrán* látható autóbusz oldallemezei hullámosítottak, felidézik a jármű haladásának irányát. A lemez hullámosításának szilárdságtani megfontolásai is vannak; a hullámlemez hajlító merevsége azonos lemezvastagság esetén is nagyságrendekkel nagyobb a sík lemezénél. A bordázott lemez további előnye, hogy a sérülések és a javítás nem okoznak akkora esztétikai hibát, mint a sík lemezen.

## 12 IRÁNY

Mindennapos tapasztalat, hogy az irány a növekedéssel, a gyarapodással, vagy a csökkenéssel, más esetben az elmozdulással kapcsolatos. Jól szemlélteti az elmondottakat a *13.a) ábrán* látható fa, környezete növekedését nem korlátozta, formája felfelé mutat. Az irány lényegét szemlélteti a Lancaster University *13.b) ábrán* látható logója. **Az egyetem univerzális, de nem uniformizál, a tudomány határa pedig a csillagos ég – hirdeti a négy összetartó, hasonló, de nem egyforma,**

## 11 RITMUS

A ritmus ismétlődő tagolása valamely objektumnak. Ritmikusan ismétlődik pl. a szív dobbanása, az egészséges légzés, vagy az évszakok. Ha az ismétlődés módosul vagy megszakad, a következmény tragikus lehet. **A jelenségek vagy alakzatok ritmikus ismétlődése felidézi, hogy a dolgok rendben mennek.**

**határozottan felfelé mutató sáv** [6]. A *10.b) ábrán* látható piramis lefelé bővül, a súlyerő a támasztó felületen belül hat, a szerkezet stabil; **a lefelé bővülő forma a stabilitást idézi fel.** A *13.c) ábrán* a Kína Központi Televízió pekingi épülete látható. Az épület látható része **nem stabil, a szemlélő keresi az állva maradás okát**, ami az épület földalatti részének kialakításában, valamint az álló és a vízszintes részek eltérő tömegeloszlásában rejlik. **A meghökkentő forma célja ebben az esetben nem a stabilitás láthatóvá tétele, hanem az érdeklődés, a figyelem felkeltése.**

Az irányának a mindennapi életben is fontos szerepe van. A balról jobbra mutató alakzat a jövőre, az érkezésre, a jobbról balra mutató forma a távozásra, a csökkenésre utal. A balról jobbra emelkedő lejtő vagy diagram az emelkedést, növekedést mutatja, a jobbról balra „emelkedő” a csökkenést. Ezeket a sztereotípiákat használják pl. a műszerek tervezői, vagy a nyomdai grafikák, a logók és az emblémák készítői.



LANCASTER  
UNIVERSITY



a)

b)

c)

13. ábra. a) Felfelé növe fa, b) a Lancaster University logója, c) a Kína Központi Televíziójának Központi épülete (Rem Koolhaas és Ole Scheeren)

### 13 KONTRASZT

A földi környezetet természetes és emberek alkotta tárgyak hozzák létre, melyek méretük, tömegük, alakjuk, arányaik, színük, stb. alapján

különböznek egymástól. A kontraszt alapja a megkülönböztetés, amikor a tárgy részeit és/vagy a környezetet felidéző hatásuk alapján csoportosítjuk.



a)



b)

14. ábra. a) Fácán pár b) Wolf metszőolló

A kontraszt az élőlények és az ember alkotta tárgyak világában egyaránt megfigyelhető. A 14.a) ábrán látható madárpár hím tagjának élénk tollruhája élesen eltér környezetétől, ellentétben a tojó „egyszerű”, környezetbe simuló tollazatával. A kontraszt nem a véletlen műve, a funkció az egyik esetben a figyelem felkeltése, a másik esetben a rejtőzködés. A kontraszt nem öncél, mindig a rendeltetés alapján hozzuk létre. Így tudjuk kiemelni, vagy alárendelni a használatnál összefüggő elemeket, pl. a 14.b) ábrán látható metszőollón.

### 14 ÖSSZEFOGLALÁS

Környezetünket élő és élettelen, természetes és ember alkotta tárgyak alkotják. Az élővilág és a terméktervező hasonló konstrukciós elveket használ a rendeltetésnek megfelelő, élet- és versenyképes lények és termékek kialakítására.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Charles Darwin: On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the

Preservation of favored races in the struggle for life. Fordítás: Charles Darwin: Neumann Kht., Budapest, 2004

[2] Debler H.: Beitrag zur rechnerunterstützten Verarbeitung von Werkstückinformationen in produktionsbezogenen planungsprozessen. Diss. TU Berlin 1973

[3] Falusi Gy.: Az aranykészítés legendája. Magvető Kiadó, Budapest

[4] Herbert Read. Art and Industry. Faber and Faber Limited. London

[5] Király S.: Az arányosításról. Magyar Iparművészeti Főiskola. Tölgyfa Kiadó, Budapest

[6] Lissák Gy.: A formáról. Láng Kiadó és Holding Rt., Budapest

[7] Péter J., Dömötör Cs.: Ipari design a fejlesztésben. Előadás jegyzet. Miskolc-Egyetemváros. 2012

[8] Kovács K.: Robotmegfogó tervezése. Komplex tervezési feladat. Konzulens: Péter J. Miskolc-Egyetemváros, 2012

[9] Dömötör Cs.:

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

# A FEATURE-BASED DESIGN, MINT TERVEZÉS MÓDSZERTAN, ÉS ALKALMAZHATÓSÁGA HAJTÓMŰVEK OPTIMALIZÁLÁSI FOLYAMATÁNÁL

## THE FEATURE-BASED DESIGN METHOD AND APLICABILITY BY GEARBOX OPTIMIZATION PROCESS

*Pintér Ervin doktorandusz, Dr. Kátai László Ph.D, Dr. Szabó István Ph.D., Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar*

**ABSTRACT.** I would like to present in this paper the Feature-based design method, and applicability by gearbox optimization process. Features are the basic of this method. I would like to present evolution of Feature-technology. I would like to write about Feature-based design flow chart and this methods steps.

### 1. BEVEZETÉS

Az előző században technikai fejlődés kikényszerítette a géptervezés módszertanának, mint önálló tudománynak a kutatását, nagy hangsúlyt fektetve a tervező iskolákra [1]. A legismertebb XX. századi tervező iskolák Európában a következők voltak:

- intuitív tervező iskola,
- diszkurzív tervező iskola,

Az intuitív vagy angolszász tervezői iskola képviselői az emberi kreativitásra, az intuíció fektetik a hangsúlyt.

A diszkurzív vagy német tervező iskola követői szintén a legjobb megoldást keresik, úgy hogy nagy számú lehetséges megoldást alakítanak ki és ezek közül választják ki a legjobbat. Ezen iskola tanításainak köszönhetően alakult ki a Koncepcionális tervezés módszere, mely a Feature-based desing (röviden: FDB) alapja.

A koncepcionális tervezés során a mérnök a piac igényeit és követelményeit, valamint saját ismereteit figyelembe véve alakítja ki a termék lényeges funkcióit, a funkcióstruktúra felállításával, a megfelelő megoldási elvek keresésével és kombinálásával azt a termékötletet (konceptiót), amely a későbbi konstrukciós tervezés alapját képezi [2].

Mielőtt komolyabban foglalkoznánk a Feature-based desing (röviden:FBD) tervezés módszertannal, először beszélni kell annak alapját képező elemekről a „feature”-ökről.

### 2. FEATURE-ÖK TÖRTÉNELMI HÁTTERE

A „feature” angol szó jelentése vonás, jelleg, jellemző, azonban a Feature-based desing (röviden: FBD) tervezés módszertan alkalmazása esetén ezen szó alatt a gépalkatrészek tulajdonságait értjük minőségi vagy mennyiségi jellegtől függetlenül.

A 90-es években a tervezésben és a gyártásban a „feature” szóval az egyszerű és gyakran alkalmazott geometriai elemeket nevezték [3]. A 2000-es évek közepétől ezzel a szóval azonosítják az alkatrész egyes részeinek térbeli egységeit, melyek meghatározott mérettel és kényszer kapcsolattal rendelkeznek (1. ábra) [4]. A kutatók azt javasolták még, hogy a „feature” technológia kiterjeszthető a termék teljes jellemzőinek integrációjára és a termék életciklusának vezetésénél (PLM) [5].



1. ábra CAD szoftverekben lévő alap „feature”-ök

A meglévő „feature”-ök a termék és gyártás tervezésben két csoportba osztható, attól függően, hogy a tervező szoftverekben milyen szinteken alkalmazzuk őket, ezek alapján ismerünk alkatrész „feature”-öket és szerelés „feature”-öket[6]. A kutatók alkatrész tervezés szintjén a fő hangsúlyt a geometriai „feature”-ök vizsgálatára helyezték [7]. Az iparban alkalmazott 3D-s modellező és tervező szoftverek támogatják a Feature-based design folyamatokat az alkatrészek tervezésekor. Korábban a virtuális szerelések készítésénél a

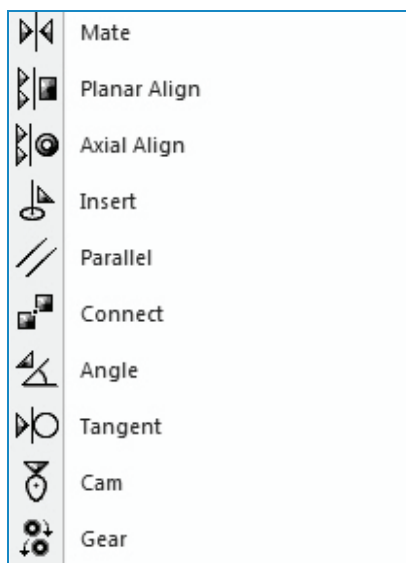


vizsgálatok az alkatrészek közötti kényszerkapcsolatokra terjedt ki (2. ábra).



2. ábra Feature-ök a 3D-s alkatrész tervezésénél

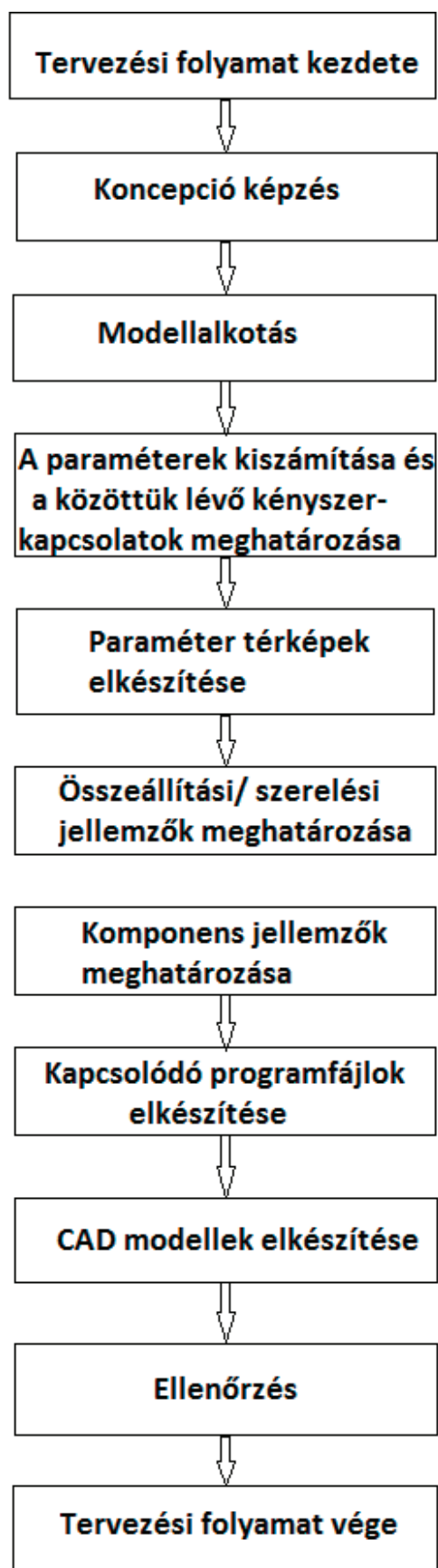
A fejlettebb szerelési/összeállítási „feature”-öknél már funkcionális szempontból elemezni kell a termék szempontjából az alkatrészeket és az alszerelvényeket, valamint az ezeknél alkalmazható anyagok hatását (3. ábra)[8].



3. ábra CAD szoftverek összeállítási/szerelési moduljaiban használható „feature”-ök

A számítástechnikában úgy magyarázták a „feature” technológiát, mint egy sematikus ábrázolási rendszert, mely láthatóvá és értékelhetővé teszi az apró részletek és a láthatatlan kapcsolatokat a különböző mérnöki elgondolások és elemek között a termék teljes életciklusában [9]. Ezáltal végig kísérve a terméket a gondolat megjelenésétől a tervezés és a legyártás folyamatain keresztül a használat és a karbantartáson át egészen a megsemmisítésig, vagy ami célszerűbb az újrahasznosításig.

3. FEATURE-BASED DESIGN TEREZVÉS-MÓDSZERTAN BEMUTATÁSA A HAJTÓMŰVEK OPTIMALIZÁLÁSÁBAN  
Az FBD módszer a tervezés különböző fázisai alkalmazandó „feature”-ökre és a számítástechnikára épül [10].



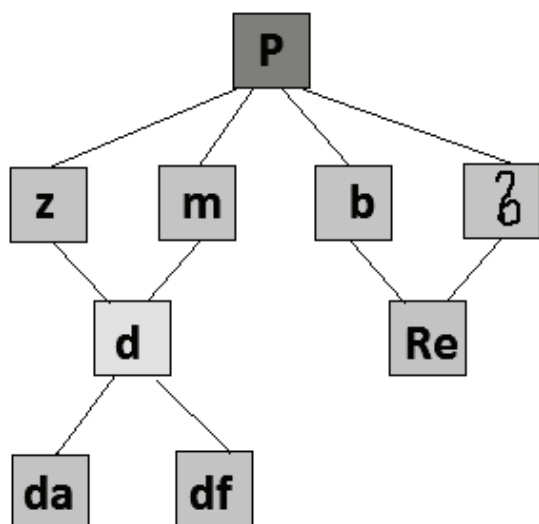
5. ábra Feature-based design tervezés módszertan folyamatábrája

A tervezési folyamat új vásárlói igények megjelenésével, vagy műszaki újdoságok ötletével kezdődik. A piacon olyan termékeket tuduk értékesíteni, amelyekre a vevőknek szükségük van. Ezért a mai gazdasági viszonyok között célszerűen olyan termékek tervezéséhez kezdeni, melyre alapvetően igényük van leendő vásárlói körünknek. Ezzel együtt gyakran keletkezik olyan új ötlet mérnökeink fejében, amellyel új műszaki megoldásokat és lehetőségeket nyújtanak a mérnökök és a társadalom számára.

Tervezés első lépése a koncepció képzés, ahol műszaki fogalmazzuk meg az új termékkel kapcsolatos vásárlói igényeket. Meg kell határozni az alap műszaki megoldásokat és közülük kell kiválasztani a legjobb megoldásokat.

A koncepciók ismerete után következik a modellalkotás folyamata. A tervezési folyamat ezen fázisában történik az alap matematika modelleknek a felállítása. Ezt követően lehetséges a termék paramétereinek a kiszámítása. A paraméterek értékeinek ismeret után meg kell határozni az egymásra hatást gyakorló paraméterek közötti kényszerkapcsolatokat.

A tervezési folyamatban ezt követően meg kell határozni felrajzolhatóak a paraméter térképek, melyek grafikusán jelenítik meg az egymással kényszerkapcsolatban álló paraméterek közötti viszonyt (4. ábra) [4]. Általuk jól szemléltethető a függőségi viszony.



4. ábra Fogazat paraméter térképe

Az összeállítási/szerelési jellemzők meghatározásánál kell kiválasztani azokat az adott CAD szoftverben található „feature”-öket, melyekkel össze tudjuk majd később állítani az alkatrészek 3D-s modelljeit. Ezen „feature”-ökből néhány példát mutat be a 3. ábra is. A

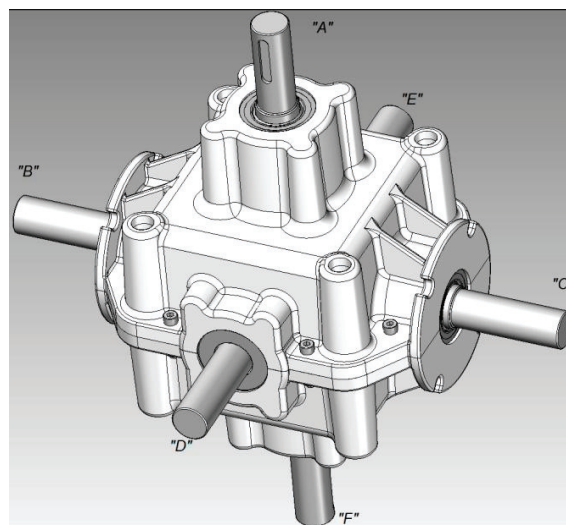
komponens jellemzők megadásánál az alakadás a fő szempont. Ezen kívül a folyamat során keletkezett konstrukciós hibákat ekkor kell javítani.

A Feature-based design tervezés módszertannál 3 féle szoftvertípust célszerű alkalmazni, ezek a következők:

- paraméter adminisztrációs szoftver (pl.: MS WORD),
- matematikai program-csomagok (pl.: MATLAB),
- 3D-s mérnöki CAD szoftverek (pl.: SOLID EDGE ST 5).

A tervezési folyamat Kapcsolódó programfájlok elkészítésénél ezeket a szoftvereket kell megfelelő alprogram elkészítésével összekapcsolni.

A mérnökök számára a legfontosabb lépése a folyamatnak a CAD modellek elkészítése, amelyben alakot lehet öltetni a tervezési folyamat eddigi eredményeinek. Az alkatrészek és szerelvények CAD modelljeinek elkészülte után el kell végezni azok ellenőrzését, és az esetleges hibákat javítani kell.



6. ábra Új fejlesztésű többtengelyes szöghajtómű CAD modellje

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Általánosan a 21. századi ipar (így a tervezési folyamatoknál is) megköveteli a minnél magasabb fokú automatizálás alkalmazását. A Feature-based design alapvetően ezt a követelményt teljesíti is, mivel ez a tervezés módszertan a korszerű szoftverek alkalmazására és a mérnökök kreativitására és magas fokú számítástechnikai tudására épít. Ezen módszernél célszerűen 3 típusú szoftvert (paraméter adminisztrációs szoftvert, matematikai program-

csomagot, 3D-s mérnöki CAD szoftvert) kell alkalmazni.

A hajtóművek tervezésére már léteznek jól kidolgozott analitikus módszerek, azonban célszerű ezen tervezési, méretezési módszereket a számítástechnika lehetőségeinek megfelelően a korszerű szoftverekkel támogat, és némely esetben teljesen felcserélni. Ezen tevékenység elvégzéséhez a Feature-based design módszer alkalmas. A hajtóművek tervezésénél figyelembe veendő igényeket és paramétereket szövegszerkeztővel készített dokumentumba be kell vezetni, és ezen dokumentumot elküldeni a tervezésben résztvevő mérnököknek.

A hajtómű paramétereinek a meghatározásánál nagy segítséget jelent a mérnököknek a ma rendelkezésre álló modern mérnöki programcsomagok, melyekben gyorsan és viszonylag egyszerűen meghatározhatóak az analitisan már régóta alkalmazott függvények.

A hajtómű tervezés alakadás fázisában szintén segítségül célszerű hívni a korszerű számítástechnika 3D-s CAD szoftvereit, amellyel ma már minden egyes tervező és termelő vállalkozás rendelkezik.

## 5. IRODALOM

- [1] Joó E.: Komplex mérnöki tevékenység, Egyetemi jegyzet, Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös, 2010
- [2] Takács Á.: Számítógéppel segített koncepcionális tervezési módszer, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2009
- [3] J. Shah, Assessment of feature technology, Computer Aided Design 23 (5)(1991) 331–343
- [4] P.C. Igwe, G.K. Knopf, R. Canas, Developing alternative design concepts in VR environments using volumetric self-organizing feature maps, Journal of Intelligent Manufacturing 19 (6), 2008
- [5] A. Skander, L. Roucoules, J.S.K. Meyer, Design and manufacturing interface modeling for manufacturing processes selection and knowledge synthesis in design, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 37 (5–6), 2008
- [6] C.H. Chu, P.H. Wu, Y.C. Hsu, Multi-agent collaborative 3D design with geometric model at different levels of detail, Robotics and Computer- Integrated Manufacturing 25 (2), 2009
- [7] C.C.P. Chu, R. Gadh, Feature-based approach for set-up minimization of process design from product design, Computer-Aided Design 28 (5), 1996

[8] M. Mengoni, M. Germani, F. Mandorlia, A structured agile design approach to support customisation in wellness product development, International Journal of Computer Integrated Manufacturing 22 (1), 2009

[9] L. Horváth, A new method for enhanced information content in product model, WSEAS Transactions on Information Science and Applications 5 (3), 2008

[10] Yin C.-G.; Ma Y.-s.: Parameteric feature constraint modeling and mapping in product developement, Advanced Engineering Informatics, 2012

# FOGASKEREKES HAJTÓMŰVEK ÁTVITELI HIBÁJA ÉS DINAMIKAI MODELLJEI AKUSZTIKAI VIZSGÁLATOKHOZ

## TRANSMISSION ERROR AND DINAMIC MODELLS OF GEAR DRIVES TO ACOUSTICAL ANALYSIS

*Sarka Ferenc\*, Tóbis Zsolt\*, Prof. Dr. Döbröczöni Ádám\**

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatjuk a fogaskerekes hajtóművek vizsgálatának egy irányvonalát, mely az átviteli hiba mérésén alapul. Definiálásra kerül az átviteli hiba fogalma. Bemutatjuk a hajtóművek dinamikai modelljeit. Végezetül összefüggést mutatunk egy hajtómű várható zajszintjének meghatározására

### ABSTRACT

In this paper, we show one direction of gear drive investigations, which based on measurement of the transmission error. The concept of the transmission error will be defined. We show dynamic models of gear drives. At the end we show computing equation to predict the noise level of a gear drive.

### 1. BEVEZETÉS

A fogaskerekes hajtóművek összetett szerkezetek. A fogaskerekeken kívül több más gépelem is megtalálható bennük, mint tengelyek, csapágys, tömítések, stb. A hajtóművek akusztikai vizsgálatához nem elegendő ismerni a fogaskerekek viselkedését, hanem szükségünk van a többi elem dinamikai viselkedésének ismeretére is. A mérnöki gyakorlatban sok problémát modellek segítségével vizsgálunk és oldunk meg. A fogaskerekes hajtóművek akusztikai vizsgálatához is léteznek modellek – dinamikai modellek – melyek segítségünkre lehetnek a vizsgálatok elvégzésében.

### 2. ÁTVITELI HIBA [1]

Fogaskerekes hajtóművekben a leggyakrabban evolvens profilú fogaskerekeket használunk, függetlenül attól, hogy hengeres vagy kúp kerekekről, egyenes, ferde vagy ívelt fogazatról lenne is szó. Az evolvens profil széleskörű felhasználást lehetővé teszi, hogy a tengelytávolság kismértékű hibáira érzéketlen állandó hajtást biztosít; az érintkezési erők eredője állandó és az érintkezésből származó erő, mindig ugyanabba az irányba mutat; egy evolvens profilú kerék képes összekapcsolódni különböző fogszámú másik, szintén evolvens profilú kerékkel.

Gyártása egyszerűnek mondható és ugyanaz a szerszám használható különböző fogszámú kerekek gyártásához.

Ha a fogaskerekeket tökéletesen merevnek tekintjük és elhagyunk minden nemű geometriai hibát, a hajtás tökéletesen továbbítaná a forgó mozgást. Ez azt eredményezné, hogy az állandó bemenő fordulatszám, módosítás után is állandó fordulatszámként jelenne meg a kihajtó tengelyen. Ha a súrlódás jelenlététől is eltekintünk, akkor az ilyen ideális hajtás mindenféle veszteség nélkül továbbítaná a forgatónyomatékokat. A fordulatszámhoz hasonlóan a bemenő állandó forgatónyomaték, módosítás után állandó kimenő forgatónyomatékként jelenik meg. Mivel ilyen feltételek mellett nincs jelen erő módosítás, ezért sem zaj sem rezgés nem alakul ki. Természetesen ez csak egy idealizált állapot, ami a valóságban nem létezik. A valóságban a fogaskerekek tartalmaznak geometriai hibákat és súrlódás is van kapcsolódás közben. Deformációk is megjelennek. Ebből következően a fogaskerékhajtások zajt és rezgéseket keltenek. A kialakuló zaj és rezgés minden esetben problémát jelent az átvitel szempontjából. Amennyiben jelen van zaj vagy rezgés a hajtómű működése során, akkor átviteli hibával is találkozunk. *Welbourn* megfogalmazása szerint az átviteli hiba a következő: „A hajtott kerék aktuális pozíciója és a hajtott kerék azon pozíciója közti különbség, melyet akkor foglalna el, ha tökéletesen kapcsolódna a fogaskerékhajtás.” Az átviteli hiba oka lehet deformáció/lehajlás, geometriai hiba vagy geometriai módosítás.

Deformáció/lehajlás:

- a fogkapcsolódás közbeni fogdeformáció (Hertz),
- fogak elhajlása,
- nyers fogaskerék elhajlásai, eltérései,
- tengelyek lehajlása,
- csapágyszakaszok és a hajtóműház rugalmasságai.

Geometriai hibák:

- evolvens beállítás eltérés,
- evolvens alaktól való eltérés,
- menetemelkedés eltérés (csiga),



- menetemelkedés alaki eltérés (csiga),
- fogirány hiba,
- osztáshiba,
- élettartam,
- csapágy pozíciójának hibája a házban.

Geometriai módosítások:

- fogdomborítás,
- fogferdeségi szög módosítása,
- foglenyesés,
- fogfej és fogláb módosítás

A hajtóművek vizsgálata több terhelési állapotban is elvégezhető. Kicsi vagy nagy fordulatszámon, terheléssel, vagy terhelés nélkül (1. táblázat).

1. táblázat. Terhelési és sebességi állapotok hajtóműhiba meghatározásánál

|          |      | Terhelés                   |                        |
|----------|------|----------------------------|------------------------|
|          |      | kis                        | nagy                   |
| Sebesség | kis  | Statikus, terhelés nélküli | Statikus, terheléssel  |
|          | nagy | Dinamikus, terheletlen     | Dinamikus, terheléssel |

Az átviteli hiba mérését általában terheletlen statikus állapotban érdemes mérni. Ekkor ugyanis a terhelés nem fedi el a gyártási hibákat és azok jól mérhetők. Az ilyen vizsgálati állapotot fogaskerékpárok minősítésére is alkalmazzák.

Dinamikus átviteli hiba vizsgálatok a fogaskereknek a hajtóműházba beépítve kell lenniük. Ez a fajta vizsgálat adja a legátfogóbb képet egy adott hajtómű zaj és rezgés terén mutatott viselkedésének.

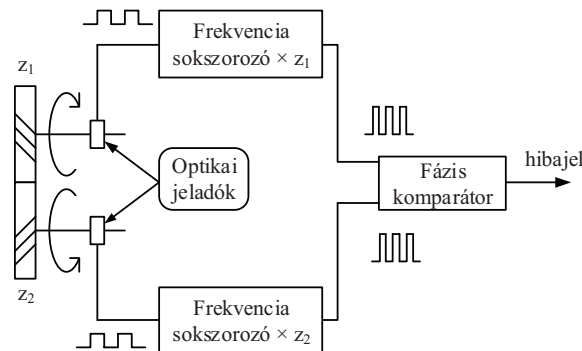
### 3. AZ ÁTVITELI HIBA MÉRÉSE

Fogaskerékes hajtóművek átviteli hibájának mérése gyakran optikai jeladók felhasználásával történik. A használt optikai érzékelők néhány ezer impulzust képesek adni a fogaskerék egy-egy körülfordulása alatt. Mindkét tengelyen elhelyezésre kerül egy-egy jeladó. A hajtóműre (fogaskerékpárra) vonatkozó átviteli hibát a két jeladó által szolgáltatott jel összevetéséből lehet meghatározni. 1. ábra

További lehetőség az átviteli hiba mérésére a torziós gyorsulások meghatározása mindkét tengelyen. A két tengelyen mért gyorsulások különbségét felhasználva és korrigálva az

áttétellel, kétszeres integrálás után juthatunk az átviteli hibához.

Kereskedelmi forgalomban kaphatók olyan berendezések, melyekkel a hajtóművek átviteli hibája mérhető. Ezek döntő többsége csak statikus állapotban, terheletlen állapotban való mérésekhez használható.



1. ábra Átviteli hiba mérésére alkalmas berendezés tipikus felépítése [4]

Ennek oka lehet, hogy ha nem a majdani beépítési körülményeknek megfelelő állapotban működik a vizsgálatunk, akkor fenntartásokkal fogadható eredményt szűrhetünk le egy dinamikus terhelt környezetben működő hajtóműről.

Smith egy átviteli hiba mérésére alkalmas moduláris rendszer felépítését írta le 1988-as publikációjában [5]. Az általa leírt rendszer optikai jeladókból, frekvencia szorzókból, frekvencia osztókból, fázis komparátorból és szűrő elemekből állt. Leírása szerint a fázis sokszorozót, vagy a fázis osztót úgy kell megválasztani, hogy azok, ugyanannyi impulzust adjanak minden körülfordulásra, mindkét jeladóból valamelyik kereket kiválasztva. Az így módosított jeleket a fázis komparátor hasonlítja össze. A hibajel szűréssel állítható elő. Az ily módon felépített rendszer előnye, hogy széles fordulatszám tartományban használható. A tartomány 1-es percenkénti fordulatszámtól 1000-es percenkénti fordulatszámig terjed. A felső határt a jeladók mechanikai korlátja adja és a fellépő torziós rezgések 1500Hz körüli frekvenciája. [5]

Természetesen az üzemi körülmények közötti átviteli hiba mérésére is készültek mérő rendszerek. Houser és Wesley egy olyan rendszert állított fel, melyben a fogaskerek az üzemi terhelésen és fordulatszámon működnek [6]. Az átviteli hiba mérése alkalmas fogaskerek minősítésére is. Hengeres kerek

minősítése ritkábban, míg kúp kerékpárok esetén gyakran használt eljárás. Ennek oka, hogy a kúpkerekeket párosítva gyártják, míg a hengeres kerekeket nem, ott az elemek szabadon cserélhetők. Van lehetőség egyedülálló kerék átviteli hibájának mérésére is. Ilyenkor a fogaskerék kapcsolat másik elemét egy mesterkerék biztosítja. A fogaskerekeken jelenlévő hibák más-más átviteli hibát eredményeznek ha a mesterkerékkel kapcsolódnak, és mást ha, egymással kapcsolódnak. Adott esetben növekedést és csökkenést is tapasztalhatunk az átviteli hiba mértékében. Ennek oka, hogy a hibák adott esetben egymás ellen is hathatnak, így csökkentve az átviteli hiba nagyságát.

Az átviteli hiba, számítással történő meghatározására is vannak törekvések. A kialakult elméletek figyelembe veszik a fogak rugalmasságát, módosításait vagy adott esetben a jelen lévő hibákat. A számítási módszerek számítógépes programok segítségével szolgáltatnak eredményeket.

A kapott eredmények jól használhatók lehetnek:

- a fogaskerekek moduljának, kapcsoló szögének vagy kapcsolószámának meghatározásánál,
- fog módosítás meghatározásánál, mint például fogdomborítás, foglenyesés,
- különböző gyártási hibák által okozott fogaskerék zaj és rezgés keletkezésének vizsgálatánál
- bemenő adatot szolgáltatassanak a hajtóművek dinamikai modelljeihez további számítások elvégzéséhez. [2]

#### 4. HAJTÓMŰ MODELLEK [2]

Az 1920-as években jelent meg az első nagyon egyszerű hajtómű modell. Ez a modell csak a fogaskerék kapcsolódás dinamikai vizsgálatát szolgálta. Az első koncentrált mennyiségeket - mint tömeg, rugóállandó, csillapítás – használó modell megjelenése az 1950-es évekre tehető. A bonyolult, sok paramétert vizsgáló modellek bonyolult végesselelemes módszer felhasználásához vezetnek.

#### 5. KONCENTRÁLT PARAMÉTEREKEN ALAPULÓ HAJTÓMŰ MODELLEK

1988-ban Özguven és Houser szerzőpáros által a fogaskerék dinamikában használt matematikai modellekről szóló publikációjukban [3] öt fő csoportba sorolták az addig létrehozott modelleket.

##### 5.1. Egyszerű dinamikai modell

A kezdeti tanulmányok eredményei kerülnek besorolásra ebbe a csoportba. A dinamikus összetevő - melyet az ide sorolt modellek használnak - a fogtő feszültség számítási formulái által meghatározott. A tanulmányokban empirikus és félempirikus megközelítésekkel találkozhatunk.

##### 5.2. Fog kapcsolódást figyelembe vevő modellek

Sok tanulmány foglalkozik olyan hajtómű modellel, melyben az egyetlen energiatároló elem a fogak merevségéből származik. A tengelye, csapágyak rugalmas viselkedése elhanyagolásra kerül. Ezek a rendszerek egyszabadságfokú rendszerek, tömegből és rugóból felépítve. Ezen modellek kialakításuk tekintetében átfedést mutatnak az első csoporttal. Sok esetben használatuk egyetlen célja, meghatározni a fogaskerekre jellemző dinamikai faktort.

##### 5.3. Modellek fogaskerekek dinamikai viselkedésére

Az ide sorolható modellekben már több szerkezeti elem kerül megjelenítésre. A modell már tartalmazza a tengelyek torziós rugalmasságát, a tengelyek és csapágyak kapcsolóvonal mentén értelmezett járulékos- vagy mellék rugalmasságát is.

##### 5.4. Fogaskerékkel ellátott forgórészek dinamikai vizsgálatára

Ezekben a modellekben figyelembe vételre kerülnek a fogaskereket hordozó tengelyek transzverzális rezgései.

##### 5.5. Modell torziós rezgések vizsgálatához

Az előző két csoport figyelembe vette a fogak merevségét, rugalmasságát. Vannak azonban olyan modellek is melyek a fogak fent említett tulajdonságait teljesen elhanyagolják. Az ilyen módon kialakított modellek teljesen merev fogaskerekkel dolgoznak és az őket hordozó tengelyen értelmezik a torziós jelenségeket.

#### 6. TELJES HAJTÓMŰVEK DINAMIKAI MODELLEI

Teljes hajtóművek modelljének létrehozására több elmélet is létezik. A modellek célja, hogy felhasználásukkal meghatározzuk a várható fogaskerék zajt. Az elméletek végesselelemes módszert és számítógépes algoritmusokat alkalmaznak. A modellek az autóiiparban és a

vasúti közlekedésben használatos hajtóművek kísérleti vizsgálatai alapján jöttek létre.

## 7. VÁRHATÓ ZAJ MEGHATÁROZÁSA ÖSSZEFÜGGÉSEK ALAPJÁN

Egy fogaskerékes hajtómű zajának várható értékére Kato [7] a következő egyenletet határozta meg (1):

$$L = \frac{20(1 - \tan(\beta/2)) \cdot \sqrt[8]{u}}{f_v \cdot \sqrt[4]{\varepsilon_\alpha}} + 20 \cdot \log W \quad (1)$$

ahol:

- L: A kialakuló zajszint a hajtóműtől 1 méterre,
- $\beta$ : fogferdeségi szög,
- u: áttétel,
- $\varepsilon_\alpha$ : kapcsolószám,
- W: továbbított teljesítmény LE-ben,
- $f_v$ : sebesség faktor (JIS-B1702 szerint)

Masuda [8] ehhez képest egy módosított egyenletet javasol a keletkező zaj előjelzésére. A sebesség faktort javasolja megváltoztatni az AGMA ajánlására és ezzel figyelembe venni a dinamikai hatásokat. A változtatást a (2)-es összefüggés mutatja.

$$f_{v0} = \sqrt{5,56/(5,56 + \sqrt{v})} \quad (2)$$

Ennek felhasználásával az új egyenlet (3):

$$L = \frac{20(1 - \tan(\beta/2)) \cdot \sqrt[8]{u}}{\sqrt[4]{\varepsilon_\alpha}} \sqrt{\frac{5,56 + \sqrt{v}}{5,56}} + \quad (3)$$

$$+ 20 \cdot \log W + 20 \log \tilde{X}$$

ahol:

- L: A kialakuló zajszint a hajtóműtől 1 méterre,
- $\beta$ : fogferdeségi szög,
- u: áttétel,
- $\varepsilon_\alpha$ : kapcsolószám,
- W: továbbított teljesítmény kW-ban,
- v: kapcsolóvonal sebesség, m/s-ban,
- X: rezgés elmozdulás amplitúdója, statikus lehajlás alapján normalizálva egyszerű dinamikai modell használatával.

Az (1), (3) összefüggések összehasonlításra kerültek kísérleti eredményekkel. Az összefüggés és a kísérleti eredmények jó egyezést mutatnak.

## 8. IRODALOM

- [1]: Welbourn D. B.: Fundamental Knowledge of Gear Noise – A Survey. Noise And Vibration of Eng. and Trans. I Mech E, Cranfield, UK, 1979, pp9-14
- [2]: Mats Åkerblom: Gear Noise And Vibration – A Literature Survey, 2011 Trita-MMK, ISSN 1400-1179; 2001:11.
- [3]: Özguven H. N. – Houser D. R. : Mathematical Models in Gear Dynamics – A Review. Journal of Sound and Vibration (1988) pp381-311
- [4]: Sweeney P. J.: Transmission error measurement and analysis. 1995
- [5]: Smith J. D.: A Modular System for Transmission Measurement, 1988, 133/88 IMechE
- [6]: Houser D. R. – Wesley G.: Methods for Measuring Gear Transmission Error Under Load and at Operating Speeds. SAE Technical Paper 852273
- [7]: Kato S. – Yonekura K. – Omori T.: Analytical Procedure for Gear Tooth Contact on Automobile Transmission Gear Noise. C382/043 IMechE. 1989.
- [8]: Masuda T. – Abe T. – Hattori K.: Prediction of Gear Noise Considering the Influence The Tooth Flank Finishing Method. Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design. Vol. 108. Jan 1986 pp 95-100.

## 9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

\*ME., Gép-és Terméktervezési Tanszék

# MACERÁLT MANDIBULA MINTÁK RONCSOLÁSOS BIOMECHANIKAI VIZSGÁLATA

## BIOMECHANICAL COMPRESSION EXAMINATION OF MACERATED MANDIBLE

*Simonovics János Ph.D. hallgató, Dr. Váradi Károly egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Gép- és Terméktervezés Tanszék. 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3-9., e-mail: simonovics.janos@gt3.bme.hu, varadik@eik.bme.hu.*

*Dr. Bujtár Péter, PhD Candidate, University Hospitals of Oulu, Department of Oral and Maxillofacial Surgery Oulu, Finland, e-mail: bujpet@yahoo.co.uk.*

*Dr. Szűcs Attila egyetemi docens, SOTE Arc-Állcsont- Szájsebészeti és Fogászati Klinika, 1085 Mária u. 52.*

*Dr. Fejér Zsolt egyetemi adjunktus, SOTE Humánmorfológiai és Fejlődésbiológiai Intézet, 1094 Budapest, Tűzoltó u. 58.*

### ABSTRACT

Nowadays the used mechanical properties become more and more important on the field of biomechanics. Appropriate values provide more realistic simulations and surgeons can reach better stability and faster recovery in case of traumatology.

### 1. BEVEZETÉS

A daganatok esetében legfontosabb a megelőzés. A szájüregi daganatok jelentős része fizikális vizsgálattal felderíthető. Az időben történő felismerés szó szerint életet menthet.

Magyarországon évente mintegy 3 ezer embernél fedeznek fel szájüregi rákot, a daganat következtében csaknem 1700 beteg hal meg minden évben. Ezen értékekkel a férfiak és nők tekintetében első helyen állunk Európában.[1]

A szájüreg kóros eltérései pedig a legkönnyebben felfedezhető daganatos betegségek közé tartoznak - ennek ellenére sokan későn kerülnek orvoshoz, amikor már radikális beavatkozásra van szükség, s a gyógyulás esélye is lecsökken.

A szájüregi rákok kezelése függ attól, hogy a daganat az ajak, a száj vagy a nyelv melyik részén fejlődött ki, milyen stádiumban fejezték fel, s milyen a beteg általános állapota.

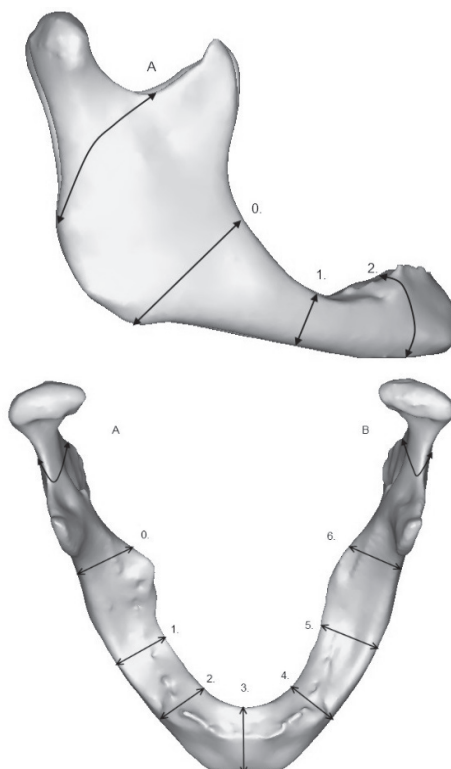
Amennyiben az állkapocs (mandibula) érintett a rák tekintetében, legtöbb esetben nem lehet eltekinteni a sebészeti beavatkozástól, mert a tumor rendszerint csak kimetszéssel távolítható el.

### 2. MANDIBULA REZEKCIÓ

Tumoros csontállományok eltávolítására mandibularezekciót alkalmaznak, mely során a tumoros csontrészt (és annak körültekintően kijelölt nagyobb környezetét) eltávolítják. A rezekció attól függően, hogy a teljes mandibula keresztmetszetet érinti e, lehet részleges, illetve teljes rezekció.

Ezáltal a mandibula, feladatának ellátását tekintve funkcióját veszti, továbbá mechanikai teherviselő szerepe megszűnik.

Természetesen ezt a problémát orvosolni kell. A rezekciók típusaira nincsenek előre lefektetett sémák, mindig egyedi esetekről beszélhetünk. A legtöbbször előforduló eseteket mégis csoportosítani lehet. A következő ábra tartalmazza a legfontosabb rezekció helyeket, melyek a való életben számtalanféleképpen kombinálódhatnak.



1. ábra Fontosabb rezekciós tartományok

A klinikai gyakorlatban a rekonstrukcióra két bevett módszer található, mely nagymértékben függ rezekció milyenségétől (mekkora szakasz érintett),



illetve a rezekció környezetében található megmaradt csontok szerkezeti minőségétől is. Az egyik módszer a csont graft használata. Ez a módszer a viszonylag jó állapotú rezekció környezetű csontoknál használható. A graft rögzítése lemezeléses technikával történik.

Roszsabb állapotú csontoknál vagy a rezekció nagyságának következtében csak lemezes rekonstrukciót alkalmaznak. A használt lemezek igen változatosak lehetnek. A lemez nagysága és hossza úgymond az orvos által a klinikai esetnek megfelelően választott. A rezekció méretének megfelelően a használt lemez hossza a megfelelő csavaros rögzítés létrehozásának függvényében alakul ki. A lemezt minden esetben a csont geometriájának megfelelően deformálják, teljesen személyre szabott formát biztosítanak. Rezekció oldalanként általában 3-4 csavart használnak.

A csavarok attól függően, hogy a mandibula mekkora szakaszán és hol haladnak át, megkülönböztethető monocorticalis, bicorticalis csavar. Értelemszerűen a bicorticalis csavar, oly mértékben áthalad a csonton, hogy az átellenes corticalis (kemény) rétegben is számottevő mértékben kapcsolódik, esetleg teljesen át is halad rajta. Ezáltal ezen csavarok hossza, különböző.

Megkülönböztethetünk továbbá az új módszerek között úgynevezett Locking és Non-Locking rendszereket. Locking rendszer esetében a csavar feje és a lemezben lévő csavar süllyesztés menettel van ellátva, ezzel biztosítva a tökéletes rögzítést. A Non-Locking rendszerénél általában egyszerű süllyesztéssel biztosítják a lemezben lévő furatnál a csavar illeszkedésének feltételeit.

Az anyagokat tekintve a szájsebészeti implantátumok anyagai valamilyen titán ötvözetek a legtöbb esetben (TiCP - titaniumcommercialpure, Ti6Al7Nb, stb.). Ezek Young modulusa 90-110GPa között mozog, 0,3-as Poisson tényező mellett.

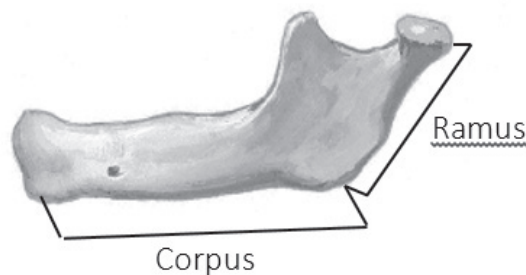
### 3. CSAVARKÖRNYEZET MIN-TAVÉTELEZÉS

Az implantátumot rögzítő csavarok környezetének mindezek alapján kiemelt jelentőséget lehet tulajdonítani.

A sokszor nehezen kivitelezhető cadaver vizsgálatok helyett egyre inkább létjogosultságot nyer a végeselemes vizsgálat, a biomechanika ezen területén is. Az irodalomban fellelhető szimulációkhoz felhasznált modellek esetében elenyésző részben vagy egyáltalán nem fordítanak kiemelt figyelmet a corticalis állomány vastagságára és annak tényleges mechanikai tulajdonságaira, holott a csont állományainak mechanikai tulajdonságai igen széles határok között változhatnak,

egyénenként igen különbözőek lehetnek. Az ilyen úton elvégzett vizsgálatok nem nyújtanak kellően reális képet a csavarok és közvetve a lemezek valós rögzítési viszonyairól.

Az általam elvégzett kutatás során halottak macerált mandibuláin, a rekonstrukcióhoz felhasznált lemez lecsavarozása során nagy eséllyel érintett területeket választottam ki, mintákat vettem e területekről és roncsolásos mechanikai vizsgálatnak vettem alá őket. Ezen csavarhelyek a klinikai gyakorlatnak megfelelően mind a corput és mind aramust érintették.



2. ábra Mandibula test fő részei

Preparálás során macerálást használva a meleg vizes áztatás során a lágyrészek elbomlanak, a csontot ezt követően gőzölik, majd fehéritik. Mivel a csont sói és osteocollagen rostrendszerei érintetlenek maradnak a preparálás során, ezért annak mechanikai tulajdonságai szignifikáns mértékben nem változnak.[2]

A mintavétel a Semmelweis Egyetem Humán-morfológiai és Fejlődésbiológiai Intézetben történt. A vizsgálathoz felhasznált csontminták kivételét a Tudományos és Kutatásetikai Bizottság jóváhagyta.

A minta kivételéhez 6mm-es belső átmérőjű 10mm-es magasságú csonttrepánt alkalmaztam, mely a kivétel során folyamatosan hűtve volt. Összesen 6 fogatlan, idős emberektől (női és férfi vegyesen) származó mandibulából, 57 hengeres minta került kivételre.



3. ábra Macerált mandibula kivett minták helyeivel

A mandibula alakjánál fogva bonyolult csontnak tekinthető, a szerkezet ortotrópiája a geometriával folyamatosan változik.[3]

Mechanikai paraméterek az orca felüli csontoldalon, illetve a szájüreg felőli oldalon teljesen eltérőek lehetnek. A kivétel során a csontok irányultságát a mintákon jelöltem.

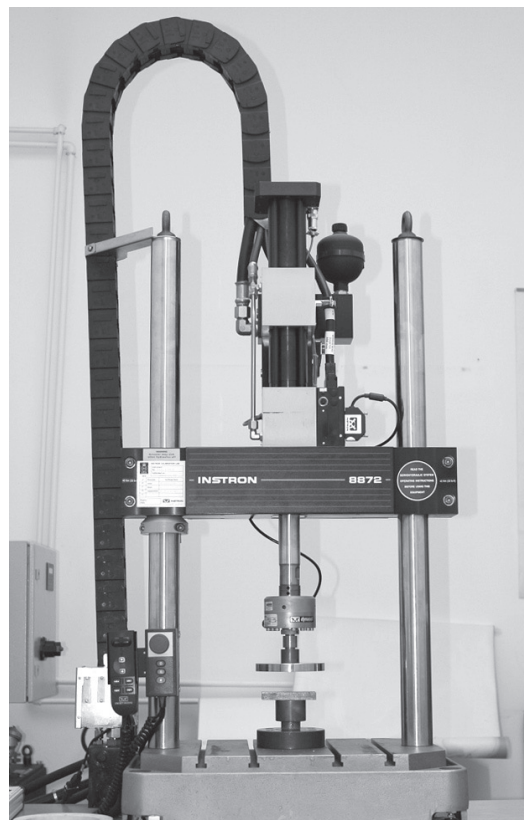
A minták kivételét követően az azokon lévő spongiosa állomány eltávolítását, majd speciális csiszoló készülékben történő csiszolását végeztem el. Ennek következtében a minták egységesen 4mmx4mmxcorticalis vastagság méretű kocka geometriát kaptak. A strukturált tárolást követően, a későbbi végelelemes vizsgálatokhoz CBCT/CT scanneléseket végeztem a mintákon, egy egyedi validációsablon segítségével. Ezt követően elvégeztem a mintavételezés helyétől és sorrendjétől független, véletlenszerű nyomóvizsgálatokat a Budapesti Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem Biomechanikai Kooperációs Kutatóközpontjában, mely során a mintákat 3 részre bontottam szét és ortotróp tulajdonságait vizsgáltam, fókuszba helyezve a pontosabb rugalmassági modulus értékek meghatározását. Ennek megfelelően a csont eredeti pozíciójához képest axiális, radiális és tangenciális irányokat vizsgáltam, nyomóvizsgálatokkal. Mivel axiális irányban várható a csont legnagyobb rugalmassági modulus értéke, így ennek az iránynak a mintaszámát megnőveltem. A csiszolás következtében mérésre alkalmatlanná vált minták után összesen 48 minta állt rendelkezésemre, melyet a következőképp osztottam fel a 3 irány között (1. táblázat):

1. táblázat Vizsgált minták száma

| Ténylegesen mért minták | Axiális | Radiális | Tangenciális | Szuma |
|-------------------------|---------|----------|--------------|-------|
| Macerált                | 26      | 10       | 12           | 48    |

A nyomóvizsgálatok előtt minden minta méretét lemértem és az adatokat rögzítettem. Erő – elmozdulás görbéket vettem fel a nyomóvizsgálatok segítségével, mely alapja volt a rugalmassági modulusra való következtetésnek, a mérésekre általános körülmények között volt lehetőségem. A vizsgálatokat 25kN-os mérőhatárú erőmérő cellával végeztem egy Instron 8872-es

gépen. A terhelési sebességet 0,5mm/s-ben határoztam meg, a méréseket az erő-elmozdulás görbe alapján a minták tönkremeneteléig végeztem.

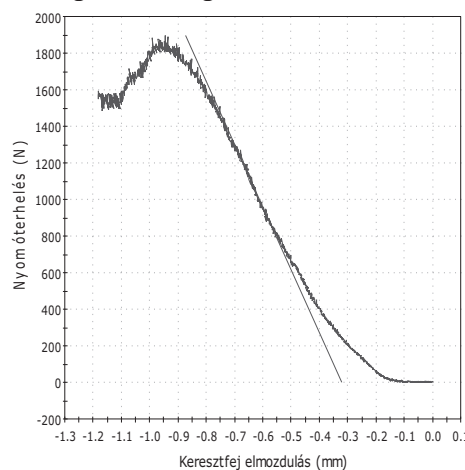


4. ábra Nyomóvizsgálat

A mintákat, a méréseket követően megfelelő tárolóeszközben visszajuttattam a Semmelweis Egyetem Humánmorfológiai és Fejlődésbiológiai Intézetébe, ahol azok megsemmisítésre kerültek.

## 4. EREDMÉNYEK

A nyomóvizsgálatok során a csontra jellemző erő-elmozdulás görbéket regisztráltam.

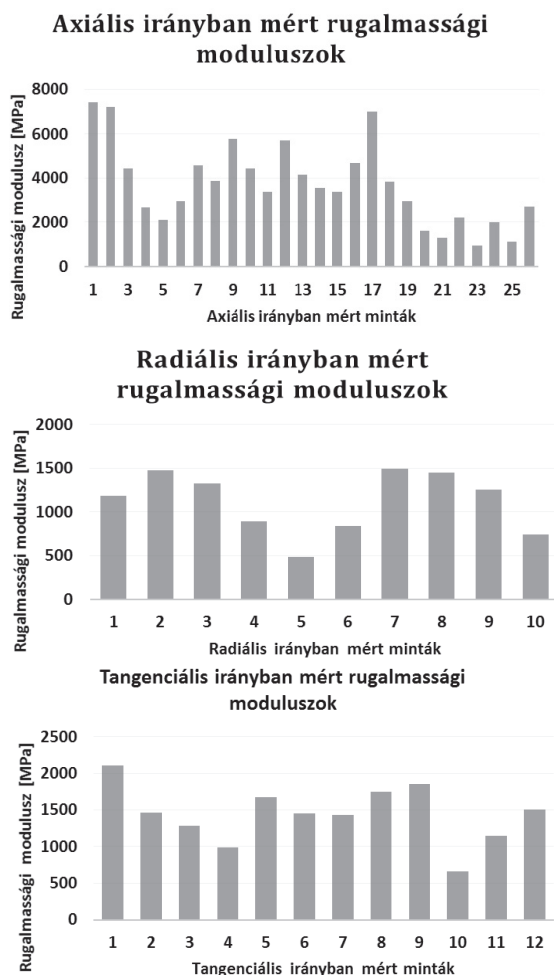


5. ábra Erő-elmozdulás görbe az egyik mért mintán

Az irodalomban található csonton végzett nyomóvizsgálatok adatai meglehetősen nagy szórással bírnak, köszönhetően például az egyéni adottságoknak (nem, kor, egyéb adottságok), a

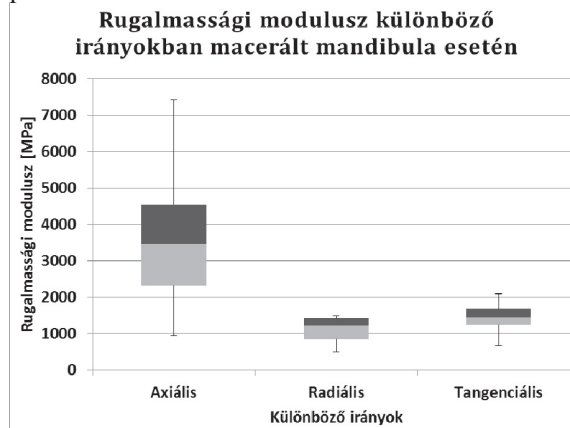
csontok tárolásának. Fogatlan mandibulára szűkítve a keresést, főként a corticalis állomány esetén, ezen belül is az ortotróp tulajdonságokat vizsgáló nyomóvizsgálatokra fókuszálva e területeken meglehetősen kevés az adat. A fellelhető izotróp adatok 1,5-15 GPa-ig terjednek.[4] Ezen értékek az irodalomban található átlag alatt maradnak. A szakirodalmi izotrópátlag 14-23 GPa-os corticalis rugalmassági moduluszra hivatkozik, melyeket aktívan felhasználnak például szimulációk készítésekor. A valóságban azonban meglehetősen erős túlzás, akár egy idősebb személy esetében, ilyen értékeket felhasználni mechanikai szimulációkhoz.

Az általam végzett nyomóvizsgálatokból kiderül, hogy a mért értékek az irodalmi átlag alatt maradnak, így ezek figyelembe vétele kulcsfontosságú lehet adott esetben egy valósághoz közelebb álló modell megépítésekor. A mért értékek a következő diagramokon láthatóak.



6. ábra Rugalmassági moduluszok a különböző irányokban

A különböző irányokban vett értékeket box-plot diagramban ábrázolva jól látható az irányok közötti eltérés, az átlag értékek és a szórás is. A diagramon az 50%-os medián érték mellett az alsó és felső percentiliseket 25 és 75%-ban definiáltam. A tangenciális irány az adott mérések esetében némileg jobb tulajdonságokat mutat a rugalmassági modulusz értékére fókuszálva, mint a radiális. Az axiális irány az elvártnak megfelelően a tangenciálisnál és radiálisnál kedvezőbb értékeket produkált.



7. ábra Rugalmassági modulusz értékek összehasonlítása a különböző irányokban

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányom során, macerált fogatlan mandibula minták ortotróp irányokban vett nyomóvizsgálatát végeztem el, mely alapján kiderült, hogy az irodalomban általánosan használt rugalmassági értékektől nagymértékben eltérő mechanikai tulajdonságokkal bíró eredmények kulcsfontosságúak lehetnek további biomechanikai vizsgálatok esetén.

## 5. IRODALOM

- [1] F. Levi, F. Lucchini, E. Negri, P. Boyle, és C. La Vecchia, „Cancer mortality in Europe, 1995-1999, and an overview of trends since 1960”, *Int. J. Cancer*, vol 110, sz 2, o 155-169, jún 2004.
- [2] J. Szentágothai és M. Réthelyi, *Funkcionális anatómia*. Budapest: Medicina Könyvkiadó Rt., 2002.
- [3] T. Nomura, E. Gold, M. P. Powers, S. Shingaki, és J. L. Katz, „Micromechanics/structure relationships in the human mandible”, *Dent. Mater.*, vol 19, sz 3, o 167-173, 2003.
- [4] G. Odin, C. Savoldelli, P.-O. Bouchard, és Y. Tillier, „Determination of Young's modulus of mandibular bone using inverse analysis”, *Med. Eng. Phys.*, vol 32, sz 6, o 630-637, júl 2010.



# GUMIABRONCSOK KIALAKULÁSÁNAK TÖRTÉNETE

## HISTORY OF TYRE DEVELOPMENT

**Szabados Anna Réka**

okleveles gépészmérnök, PhD hallgató  
Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék

### ABSTRACT

The history of motoring is closely related to tire development. Much time has passed from the discovery of vulcanization while so inventions born which could be used on the automobiles as wheels. The growth of the available speed limits has forced the researchers to design tire with higher load carrying capacity. The wheels that we use nowadays are made by modern technology. The top of the tire industry is the development of racing car wheels.

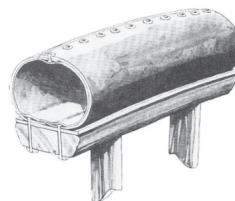
### 1. BEVEZETÉS

A gumiabroncsok megjelenésük óta sok változás mentek keresztül napjainkig, amíg elérték azt a szintet, hogy a járművek jelentős konstrukciós elemének tekinthetők. A mai modern autók léte elképzelhetetlen lenne a gumiabroncsokkal felszerelt kerekek nélkül, ezért az autózás története szorosan összeforrt az autók „lábbelijének”, a gumiabroncsnak a fejlődésével.

### 2. GUMIABRONCSOK KIALAKULÁSÁNAK MÉRŐFÖLDKÖVEI

Az első és legfontosabb dátum a gumi-termékek fejlődéstörténetében 1839., amikor *Charles Goodyear (1800-1860)* egy véletlennek köszönhetően felfedezte a vulkanizálást. - Ez egy olyan fizikai-kémiai folyamat, amely során, elsősorban kén hozzáadásával, hő hatására a kaucsuk láncmolekulái között keresztkötések jönnek létre. - Az így nyert termék kellően tartós és szilárd lett, ugyanakkor rugalmas maradt. A vulkanizálás folyamatának ismerete tehát szükségszerű volt ahhoz, hogy az így kezelt kaucsuk alkalmazható legyen később a járműtechnikában. Az első levegővel töltött abroncs feltalálása *Robert William Thomson (1822-1873)* nevéhez fűződik. 1844-ben benyújtott gumikerék-szabadalmának már az volt a célja, hogy rugózzon és csillapítson, tehát „menetkényelmet” biztosítson. Ez a találmány azonban – bár bejegyezték – drága előállítású és körülmé-

nyes szerelhetősége miatt háttérbe szorult, majd egy időre feledésbe is merült.



1. ábra: R. W. Thomson féle pneumatikus abroncs

1888-ban bizonyos *John Boyd Dunlop (1840-1921)* éppen azt figyelte, ahogy a tízéves Johnny fia belfasti házuk kertjében triciklizik, de a jármű kerekei mély nyomot szántanak a gyepebe. Azon tűnődött, miképpen lehetne megakadályozni, hogy a keskeny és éles vaskerekék kifordítsák a fűcsomókat. Amikor tekintete a kerti locsolócsőre tévedt, megszületett fejében az ötlet, hogy vízzel töltött gumislagot erősít a tricikli kerekeire. Azonban a kerék túlságosan rugalmatlannak és nehéznek bizonyult, ezért levegővel helyettesítette a vizet. Mivel a locsolócsövet sehogy sem tudta fölerősíteni az abroncsra, ezért szövetborítású gumiszalagot szögelt egy fakorongra, így egy tömlő keletkezett. A levegő utántöltésére pedig cumisüveg tetejéből konstruált szelepet, amelyen át egy futball labdához használatos pumpával fújta fel a kezdetleges gumiabroncsot, s felszerelte azt a tricikli kerekeire.



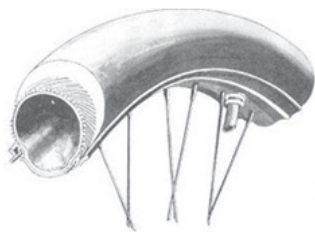
2. ábra: John Boyd Dunlop



Dunlop is benyújtotta, sőt meg is kapta a szabadalmat ötletére, ezt azonban később érvénytelenítették, hiszen Thomson három évtizeddel előzte meg őt. Dunlop azonban meglátta az üzleti lehetőséget találmányában, és először egy, majd Európa-szerte több gyárat is alapított, amelyek végül szinte az egész világon elterjesztették a pneumatikus abroncsot.

Az 1890-es években a gumiabroncsokat túlnyomó többségben kerékpárokon alkalmazták, de már az akkortájt megjelenő autók kerekein is feltűntek. Akkoriban a legnagyobb nehézséget a kerékpánt és az abroncs közötti kötés biztonságos megoldása jelentette.

A következő nagy lépést *William Erskine Bartlett* érte el, aki peremes kialakítással látva el a kerékpántot, modernizálta a pneumatikus abroncsot (1890.), így stabilabb futást és hosszabb élettartamot ért el. A ma is használatos abroncs közvetlen elődjét pedig, *Charles Kingston Welch* alkotta meg (1891.), aki már fémszállakkal átszőtt abroncs-szerkezetet alkalmazott. Ugyanabban az évben a Michelin testvérek szabadalmaztattak olyan gumiabroncsokat, amelyeket kézzel lehetett le- és felszerelni.



3. ábra: C. K. Welch találmánya

Gépjárműveken 1895 óta alkalmazzák a levegővel töltött gumiabroncsokat, azonban az abroncsokat, különösen országúton, csak igen körülményesen tudták cserélni, ugyanis a járműről csak az abroncsot szerelték le, a tárcsa fennmaradt. A krónikák szerint a magyar *Szisz Ferenc* (1873-1944), az 1906-ban megrendezett első Grand Prix győztese, alkalmazott első ízben keréktárcsával együtt leszerelhető abroncsot járművén. Ekkoriban a gumiabroncs élettartama igen rövid volt, azonban hamarosan felismerték, hogy a szövetváz szilárdságának nagy szerepe van az abroncs tartósságában, ezért ezt fejlesztették tovább. Első lépésként len helyett pamutot használtak. A következő forradalmi újításnak tekinthető, hogy a pamutszövet betéteket mindkét oldalon gumival vonták be, és így a szövetbetétek egymást nem dörzsölték ki, bár a szövet kereszteződéseiben a jelenség továbbra is megmaradt.

1904-ben a Firestone és a Goodyear Tire Company kifejlesztette az egyenes falú, acél peremhuzalos gumiabroncsot, és 1908-ig szinte az összes gumiabroncsgyártó az Egyesült Államokban ezt a gyártási technikát vezette be.

1908-ban *Palmer* nyújtott be szabadalmat az abroncs szövetváz felépítésére, de ezt csak 1922-24-ben kezdték alkalmazni. Ez a szabadalom az alapja a kordszövési elvnek a mai napig. A kordszövetet mindkét oldalról gumilappal borították be, így a szálakat a gumiba beágyazva egymástól hermetikusan elkülönítették. A kordszövet hosszanti vastag fonalakból áll, amelyeket keresztirányban, nagyobb távolságban lévő, igen vékony szálak fognak össze. A megfelelő szögben felszabott darabok adják az abroncs szövetszálainak kereszteződését. Ezek az ún. diagonál abroncsok.

Az abroncsmintázatot 1910 táján jelenik meg. A futó felületen ekkortól különböző mintázatot találunk, melynek célja a gépjármű és az út közötti jobb erőátvitel és a vízelvezetés. A mintázat befolyásolja a gumiabroncs viselkedését száraz, de főképp nedves, vizes, havas és jeges úton, emellett a gumiabroncsok által keltett zaj jelentős forrása is.

Végül 1913-ban *Christian Hamilton Gray* és *Thomas Sloper* szabadalmaztatta az első radiál szerkezetű gumiabroncsot, amely szakított a korábbi módszerrel és rézsútosan szőtt gumiabroncs szövetet használtak. Azonban a radiál szövetes módszer csak 35 évvel később 1948-ban került széleskörű használatba, amikor a Michelin átvette.



4. ábra: C. H. Gray és T. Sloper abroncsai

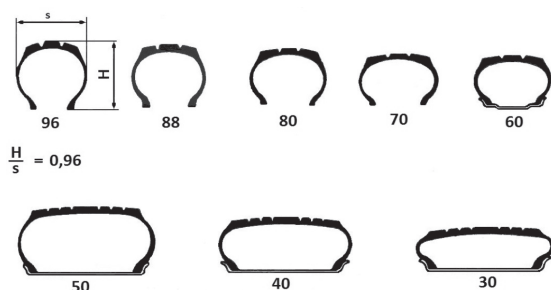
1914-ben felismerték a gázkorom erősítő hatását. A korom megfelelő adagolása javítja a gumi műszaki tulajdonságait, elsősorban a kopásállóságát és szakító, illetve továbbszakító szilárdságát. A korom, mint színezék is fontos szerepet tölt be.

Az 1920-as évek közepe táján jelentek meg az acél peremhuzalok, amelyek lehetővé tették az abroncs és a kerékpánt közötti biztos kötést. A húszas évek végén a járművek sebességének növekedésével előtérbe került a járműstabilitás kérdése is. Elsőként a járművek súlypontmagasságát csökkentették, amelynek leg-

egyszerűbb módja a kisebb átmérőjű kerekek használata volt.

Az 1930-as években jelent meg először az abroncsgyárakban a pamut helyett a műselyem a szövétváz anyagaként. Mivel a gumiabroncs szilárdsághordozó eleme a szövétváz, a karkasz, ezért a gumigyárak igyekeztek a szövétváz fizikai tulajdonságait minél inkább javítani. A céljuk az volt, hogy minél kevesebb betéttel jó rugózási tulajdonságokat érjenek el, és emellett kismértékű abroncsmelegedést okozzon a deformációs munka.

Az abroncs rugózási és terhelhetőségi jellemzőinek javítására célszerű volt a gumiabroncsok levegőtérfogatának megtartása illetve esetleges növelése. Az abroncsok levegőtérfogata két módon növelhető, mégpedig az abroncs átmérőjének vagy szélességének növelésével. Az abroncs átmérőjének növelésével azonban a járművek súlypontja magasabbra került volna és ez számos járműstabilitási kérdést vetett volna fel, ezért az abroncsok szélességének növelése kezdődött el.



5. ábra: Gumiabroncs  $H/s$  viszonyának különböző esetei

A gépjárművek jobb oldalstabilitása érdekében megnövelték a pántszélességet is.

Az 1950-es évek végére kifejlesztették a tömlő nélküli személygépkocsi-abroncsokat, majd megjelentek a tömlő nélküli tehergépkocsi-abroncsok is. Az 1970-es években megjelentek az acélszövetek az autógumikban, stabil alapot képezve bennük, csökkentve a kopást, növelve a tapadást, valamint jobban védve a gumiabroncsot a külső mechanikai behatások (lyukak, kátyúk) okozta sérülésektől is. Az acélszövetek elterjedését követően az 1980-as években több apró változás figyelhető meg az autógumik piacán. A 90-es években például a Michelin piacra dobta a defektmentes gumiabroncsokat.

A gyártók hatalmas versenye, a megjelenő új igények és az egyre inkább testreszabott termékek egyre jobb, egyre biztonságosabb,

egyre kényelmesebb és egyre gazdaságosabb autógumikat eredményeznek.

## 2. NAPJAINK ABRONCSAI

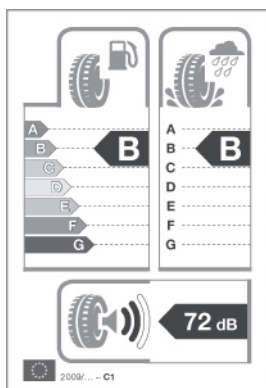
Az anyagok és gyártási technológiák fejlődése, valamint a személygépkocsik teljesítményének növekedése megalapozta a gumiabroncsok dinamikus képességeinek előtérbe kerülését. Különösen az utak és autók fejlődésével párhuzamosan kellett a személygépkocsi abroncsokat is úgy tervezni, hogy nagyobb sebességet és jobb irányíthatóságot nyújtsanak. Az új, gazdaságos, nagy teljesítményű gumiabroncsok fejlesztése tovább folytatódik. A személygépkocsikkal párhuzamosan a gumiabroncsok is kiemelkedő fejlődésen mentek keresztül a keresztmetszeti viszonyszám és a rendkívül magas menetsebesség tekintetében.

Hatalmas előrelépések történtek természetesen a felhasznált anyagok és technológiák tekintetében is. Mint minden területen, a számítógépes modellezés itt is új dimenziókat nyitott meg a fejlesztésben és tervezésben.

A mai modern abroncsok kínálata nagyon szerteágazó szegmensekre osztható. Gondoljunk csak a 300 km/h feletti végsebességre képes szuper-sportkocsikra, az üresen két és fél tonnát nyomó luxusterepjárókra, vagy a brazil külszíni fejtéseken dolgozó óriás bányadömpekre, ahol hasonló elven felépülő, mégis egymástól különböző igényekre szabott gumiabronccsal kell, hogy megfeleljenek a gyártók.

A mai személyautók esetében alapvetően radiál szerkezetű (diagonál abroncsokat ma már főleg csak szállítójárműveken és munkagépeken láthatunk), mintázat kialakítását tekintve szimmetrikus vagy aszimmetrikus abroncsokat használunk. Az eltérő földrajzi és éghajlati tényezőknek megfelelően nyári, téli és négyévszakas mintázatok is kaphatók, amelyek nemcsak futófelületük kialakításában, de keverékükben és szerkezetükben is nagymértékben különböznek egymástól.

2012 novemberétől az új gyártású autógumikat már csak gumiabroncs címkével ellátva lehet forgalomba hozni. Minden 2012. július 1. után gyártott személy-, terepjáró-, kishaszonjármű- és teherautó gumiabroncson kötelező feltüntetni az adatokat a vásárlás előtti tájékoztatás érdekében. A címke 3 jellemzőről közöl adatot: üzemanyag-hatékonyság (gördülési ellenállás), fékezés nedves úton és gördülési zaj. Éppen ezért sorra jelennek meg a környezetbarát, energiatakarékos, alacsony gördülési ellenállással rendelkező autógumik.



6. ábra: EU-s abroncscímke

Összességében a gumiabroncs technológiája és annak fejlődése egyike az autópártaipar legnagyobb kihívásainak, mivel az iparágban jelen lévő igények és célok is állandóan fejlődnek, változnak. A kitolódó sebességhatárok, a járművek egyre nagyobb tömege, az egyre-másra megjelenő új autómódellek, a törvényi változások, a biztonság előtérbe kerülése, valamint az egyre inkább igényes és képzett autóstársadalom óriási kihívások elé állítják az abroncsgyártókat.



7. ábra: Alacsony profilú nagyteljesítményű gumiabroncs

### 3. A FORMULA-1 GUMIABRONCSOK

A Formula 1-es gumik jóval összetettebbek, mint az utcai autókra megtalálható rokonuk. A mai F1-es gumik megtervezése legalább akkora nagy kihívás, mint a motor vagy éppen az autó karosszériájának kidolgozása. A Formula-1-es gumiabroncs csak felületét tekintve hasonlít egy normál országúti, általában személygépjárművön lévő abroncsra. Utóbbi akár a 80 ezer km-es távolságot is teljesíthet, míg a versenygumik tapadása hamar elvész. Ebben a sportágban valójában a gumiabroncsok keveréke az igazán meghatározó.

#### 3.1. A F1-es abroncsok általános jellemzői

A gumik előállításakor három fő tulajdonság befolyásoló adalékot alkalmaznak: karent, olajat és kint. Ezek kombinálásából, arányából alakítják ki végül a puhább, a keményebb, a pályának és az időjárásnak legjobban megfelelő gumikat. A gumi e jellemzője lényeges változó-

sokon megy keresztül versenyről versenyre. Az abroncsok szerkezete esetén viszont csak kis-mértékű változás történik egy szezon alatt.

A gumi szerkezetét nejlon és poliészter összedolgozásából alakítják ki. Tulajdonképpen ezt nevezhetjük a gumi vázának, mivel nagyon fontos szerepet játszik a kereket érő erőhatások elviselésében. Nagy sebességnél hatalmas teher éri a gumikat az aerodinamikai erő következtében, amely 250 km/h-s sebességnél akár 1 ton-nánál is nagyobb lehet. Ugyanakkor ezzel egy időben mintegy 4G-s hosszanti és körülbelül 5G-s oldalirányú erő is éri a kerekeket és ehhez adódnak hozzá a vibráció okozta erőteljes ütése-k. Ezek okozzák a gumik kopását, amely nagyban függ a pálya adottságától: a kanyarok erőteljes változásától, az aszfalt minőségétől és egyéb tényezőktől.

A gumik megfelelő működésének fontos feltétele a megfelelő üzemi hőmérséklet, amely gumitípusonként változik és a jó tapadás érdekében egyenletesen kell eloszlania a gumi külső, belső és középső részén. Az optimális tapadást még egy fontos tényező határozza meg, ez pedig a nyomás. Az állandó guminyomás megtartása érdekében nem levegővel, hanem egy speciális gázkeverékkel töltik meg a gumikat.

Arra az esetre, amikor a száraz gumik már nem használhatók a versenypályán, fejlesztették ki az eső, illetve a két körülmény átmene-te közti időszakban alkalmazható *intermediate* gumikat. Az esőgumikat direkt úgy alakítják ki, hogy az abroncs és az aszfalt közötti vízréteget kiszorítsa maga alól. Ezt a bordázat megfelelő kialakításával érik el, amelyet előzetesen számítógéppel segített szimulációval tesztelnek. E kerekek a hagyományos száraz gumiknál nagyobb átmérővel rendelkeznek, amely által az autó hasmagassága magasabbra kerül, így elkerülhető a vízátfolyásokra való felúszás (aquaplaning), azaz az autó irányításának elvesztése, megpördülése. Az esőtől lehűlő levegő és pálya miatt az abroncs is kisebb hőmérsékleten üzemel a legjobban, körülbelül a 30-50°C közötti tartományban. Az intermediate gumikat viszont kifejezetten olyan körülményekre találták ki, amikor ugyan még nincs szükség teljes mértékben az eső gumikra, de a pálya tapadása bizonytalan. Így ez a gumitípus használható esős részeken is, de megállja a helyét a száraz pályán is, igaz ekkor jelentős mértékben csökken a teljesítménye az egyre nagyobb kopás miatt. Az ilyen abroncsok széles hőmérsékleti skálán (30-100°C-ig) képesek üzemelni.



A 2005-ös szezonban egyetlen keverékű abroncs volt, amely később nagy bonyodalmakat okozott az amerikai nagydíj edzésén, így a másnapi versenyen a Michelin gumikat használó csapatok nem álltak rajthoz. Az ilyen jellegű problémák elkerülése érdekében 2006-ban ismét különböző keverékű gumikat lehetett használni.

1998. óta a gumik méretét is szabályozták. Egy abroncs futófelületének szélessége elől 305 - 355 mm között lehet, míg hátul 365 - 380 mm között, a maximális átmérője 660 mm (670 mm az eső gumié). A 2009-es szezonban számos aerodinamikai változtatásnak köszönhetően újra bevezették a sportág történetében a slick (sima felületű) gumikat, melyektől jobb tapadást és ez által több előzést reméltek.

A 2007-es szezontól a Bridgestone lett az egyetlen gumiszállító, miután a Michelin bejelentette visszalépését a válság miatt. 2009-ben azonban a Bridgestone is bejelentette kilépését a Formula-1-ből, ezek után 3 gumigyár, a Michelin, a Pirelli és a Cooper Avon adta be a pályázatát az FIA-nak. Végül 2010 júliusában derült ki, hogy a Pirelli lesz az egyedüli szállítója a sorozatnak és a gyár három éves szerződést kötött az autósporttal.

### 3.2. A 2013-as versenyszezon újításai

A Pirelli a 2013-as szezonra a P Zero márkánévvel illetett száraz időjárási körülményekre tervezett gumiabroncsai mellett a vizes aszfaltra szánt Cinturato felíratú termékeinek alapos fejlesztésével készült. Ezen gumitípusok újratervezésében a gyártó igyekezett figyelembe venni a csapatok elmúlt idény során adott visszajelzéseit, észrevételeit, és nem utolsósorban a Nemzetközi Automobil Szövetség (FIA) által összeállított szabályokban megfogalmazott kritériumokat egyaránt. A már említett gumiabroncsok a 2012-es évben használt keverékekhez képest az idei szezonban lágyabb keverékkel rendelkeznek és a szerkezeti összetételükben végzett módosításoknak köszönhetően pedig a flexibilitásuk mellett megerősített oldalfalat is kaptak.

A 2013-as szezonra szánt P Zero és Cinturato gumikeverékeinek kifejlesztése a gyártói információ szerint több mint 1.000 tesztkilométer teljesítésével járt, mindamellett, hogy a Pirelli mérnökei igyekeztek számítógépes szimulációkkal is tökéletesíteni termékeiket. Ezen szimulációs gyakorlatok között számos, köztük laboratóriumban elvégzett vizsgálat is szerepel. A keverékekkel kapcsolatban összegyűjtött adatokat gondosan összevetették a

privát tesztek során egy Renault R30-as versenyautó felhasználásával szerzett gyakorlati tapasztalatokkal is.

Miután a gyártó változtatott a 2013-as gumiabroncsok karakterisztikáján, a lágyabb összetételnek köszönhetően a tavalyi évben tapasztaltakkal ellentétben rövidebb idő alatt képesek elérni az optimális tapadáshoz szükséges üzemi hőmérsékletet és a Pirelli információi szerint a köridőket tekintve hozzávetőlegesen 0.5 másodperces javulásra lehet számítani. Mindamellett, hogy az összetételben elvégzett változtatásnak hatására megváltozott a termikus igénybevétellel szembeni jellemzője, az üzemi hőmérsékletét tekintve a korábbi, igencsak szűk hőmérsékleti tartomány ezúttal ki lett bővítve.

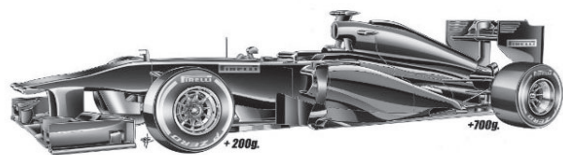
A gumiabroncsok új szerkezeti kialakítása mögött egy másfajta fejlesztési filozófia áll és az újonnan alkalmazott alapanyagok, illetve összetevők és technológiai megoldások révén módosították a tapadási jellemzőket is. Ez utóbbi hatására valamelyest nagyobb tapadási felületet tudtak elérni, ami leginkább a kanyarsebességekre és a kanyarokból történő kigyorsítások intenzitására lehet pozitív hatással. A módosított tapadási jellemzők másodlagos velejárójaként említhető továbbá, hogy a gumiabroncsok felületén keletkező hőmérsékleti terhelés nagyobb felületen és egyenletesebb módon tud eloszlani, ami segít kiküszöbölni azt, hogy a futófelületen kialakuljanak olyan lokális pontok, ahol a túlhevülés és a keverék kilágyulása miatt túlzott mértékű szemcsésedés jöjjön létre.

A gumiabroncsok gyártásánál alkalmazott különböző keverékeknek köszönhetően valamelyest megnöttek az általuk elérhető teljesítményszintek közötti különbségek. A Pirelli mérnökei a tervezés során azon szempont teljesülését is szem előtt tartották, hogy az egyes keverékek között a köridőket tekintve legalább 0.5 másodperces differenciát lehessen elérni. A nagyobb eltérésnek köszönhetően a versenyekre, illetve a versenyhétvégékre kidolgozott gumitaktika fontossága még inkább megnőtt, hiszen a csapatok legfőbb célja, hogy a futamon a megfelelő időben az adott körülményeknek megfelelő jellemzőkkel rendelkező gumiabroncs kerüljön fel az autóra.

A Cinturato márkánévvel rendelkező gumiabroncsok tekintetében is történtek fejlesztések. Ezek között említhetők a hátsó gumikat érintő módosítások, amelyeknek köszönhetően a gyártó progresszívebb tapadást, és esős körülmények esetén a megfelelő tapadáshoz szükséges hőmérsékleti szint eléréséhez rövidebb



időtartamot prognosztizál. Ennek köszönhetően csökkenhet az autó túlkormányozottsága, vagyis nem éppen ideális időjárási körülmények esetén is kezelhetőbb a versenyautó.



8. ábra: Formula-1 abroncsok súlynövekedése a 2012-es versenyszezonhoz képest

A gumibroncsok keverékében és szerkezeti összetételében elvégzett változtatások hatására valamelyest nőtt azok súlya, de mindez nincs hatással a versenyautók menetteljesítményére. A 2012-es összetétel szerint készített gumibroncsokhoz képest az autó első kerekeire szánt abroncsok súlya hozzávetőlegesen 200 g-mal nőtt, míg ez a növekmény a hátsó kerekek esetében megközelítőleg 700 g-ot képvisel. Mindez pedig azt jelenti, hogy egy versenyautó gumigarnitúrája összességében 2 kg súlytöbbletet jelent, ezért a 2013-as évre összeállított technikai szabályzatban a versenyautók minimum súlyhatárát a korábbi 640 kg-ról 642 kg-ra növelte az FIA.



9. ábra: 2013-as idény abroncsfajtái

A Pirelli P Zero szuperlágú (piros) gumibroncsot a gyártó a 2013-as szezonra lágyabb keverékkel készíti a jobb teljesítmény és termikus degradáció érdekében. Ez a gumitípus ideális választás azokra a versenypályákra, amelyekre a lassabb sebesség és az intenzívebb irányváltások a jellemzőbbek. Az alacsonyabb, 85...110°C-os működési tartománynak köszönhetően jó menetteljesítményt nyújt a sima futófelületű aszfalton.

A Pirelli P Zero lágy gumibroncs (sárga) hozzávetőlegesen 0.5 másodperccel lassabb köridőket biztosít az előzőleg említett szuperlágú típushoz képest. De a magas 105...125°C közötti működési tartomány miatt

nagyobb igénybevételeknek is ellenáll az abroncs.

A Pirelli P Zero közepes keménységű, fehér jelölésű gumibroncs alacsony 90...115°C közötti működési tartománnyal rendelkezik, éppen ezért azokra a versenyhelységekre optimális választás, ahol viszonylag alacsonyabb a környezeti hőmérséklet.

A Pirelli P Zero kemény gumibroncs színjelölése eltér a 2012-es évben alkalmazottól, hiszen az idei szezonban az ezüst helyett narancssárga színekódot kapott. Működési tartománya a jelenlegi gyártási technológiának és az alkalmazott összetevőknek köszönhetően 110...135°C közé tehető. Ez az abroncs leginkább a melegebb, és a gumibroncsok szempontjából nagyobb igénybevételt jelentő versenyhelységeken alkalmazható eredményesebben.

A Cinturato zöld színnel jelölt átmeneti időjárási körülményekre tervezett gumibroncsának összetétele némiképp változott a 2012-es változathoz képest, viszont a futófelület mintázata meglehetősen hasonló maradt. A hátsó gumikkal kapcsolatban elvégzett fejlesztéseknek köszönhetően a gumi erősebb szerkezeti kialakítást kapott, amely javítja a gumibroncs menetdinamikai jellemzőit.

A Cinturato kék színjelöléssel rendelkező gumibroncsa esős időjárás esetén használatos. Az átmeneti keverékhez hasonlóan a hátsó kerekre készített gumi itt is némileg módosult, hogy jobb tapadást biztosítson. A futófelület mintázatkialakítása másodpercenként akár 60 liternyi víz kiszorítására képes és karakterisztikájának köszönhetően menetteljesítménye közelebb került az átmeneti gumibroncséhoz.

Gumiipari kézikönyv I. kötet, Főszerkesztő Dr. Bartha Zoltán, Taurus - OMIKK, Budapest, 1988.  
Gellér Józsefné: A gumi, Maróti – Godai Kiadó, 1996.

„A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

„The research work presented in this paper based on the results achieved within the TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project and carried out as part of the TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 project in the framework of the New Széchenyi Plan. The realization of this project is supported by the European Union, and co-financed by the European Social Fund.”

# CSAPÁGY- KÖLTSÉGFÜGGVÉNYEK TENGELYEK CSAPÁGYAZÁSÁNAK OPTIMÁLÁSÁHOZ

## BEARING COST FUNCTIONS FOR THE OPTIMIZATION OF AXIS-BEARING SYSTEMS

*Szabó Ferenc János, PhD, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék*

### ABSTRACT

Optimum design of several constructions, such as bearing- axis systems needs the mathematical representation of cost functions (which could be an important element, the objective function of the optimization), in an easy- to- handle form, which helps the build-up of the computer code of the optimum searching algorithm.

In this paper the bearing cost functions are approximated by linear and exponential formula for further optimization process, in case of deep groove ball bearings, self aligning ball bearings, angular contact ball bearings, taper roller bearings and thrust ball bearings.

The presented approximate formulae for the bearing costs are very easy to program and implement into an optimization algorithm.

### 1. BEVEZETÉS

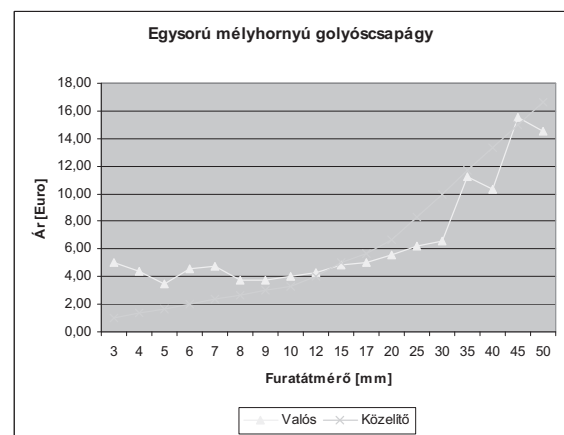
A különböző konstrukciók, gépelemek, mint pl. a tengelycsapágyazások optimalizálásához elengedhetetlen a konstrukcióban szereplő elemek költségének, tömegének matematikai képletek formájában történő ismerete. Ezek a képletek teszik lehetővé, hogy elvégezzük a célfüggvény (ami leggyakrabban a szerkezet költsége, vagy a tömege) és a feltételek rendszerének felépítését, az optimalizációs algoritmus programozását. Ebben a cikkben lineáris és exponenciális közelítés alkalmazásával csapágy költségfüggvényeket mutatunk be, egysorú mélyhornyú golyóscsapágy, radiális önbeálló golyóscsapágy, ferde hatásvonalú golyóscsapágy, egysorú kúpgörgős csapágy valamint axiális hornyos golyóscsapágy esetére. Az egyes költségfüggvényeket diagramban ábrázolva hasonlítjuk össze.

Az így nyert matematikai közelítő függvényeket nagyon könnyű programozni, ezért nagyban elősegítik majd egy optimumkereső program és algoritmus programjának kifejlesztését.

### 2. LINEÁRIS KÖZELÍTÉS

Az egyes csapágyak költségeit Euróban értjük, a későbbi optimalizások eredményeinek minél szélesebb körű, esetleg nemzetközi felhasználhatósága érdekében. Az adatokat internetes kutatások során, több különböző gyártó és forgalmazó közzétett adataiból állítottuk össze. A költségeket a csapágy furat- átmérőjének (a hozzá való tengelyátmérő) függvényében adjuk meg. A rendelkezésre álló adatok, csapágy sorozatok sajátossága, hogy a furatátmérő változása egy sorozaton belül nem egyenletes, kimaradnak bizonyos átmérő értékek, amit a görbék értelmezésekor figyelembe kell venni. (Néha a görbék kissé torzulnak). Az egyes közelítő függvényeknek a képletét is és a diagramját is megadjuk.

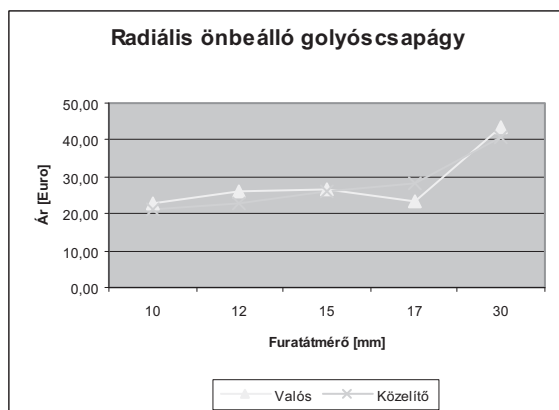
#### a. Egysorú mélyhornyú golyóscsapágy



1. ábra. Egysorú mélyhornyú golyóscsapágy lineáris költségfüggvénye

A lineáris költségfüggvény egyenlete:  $K = d/3$ , ahol  $d$  a csapágy furatátmérőjének értéke euróban értve. Az 1. ábrán látható, hogy lineáris közelítés esetén kb. 8 és 30 mm furatátmérő között jónak minősíthető a közelítés, de 8 mm alatt vagy 30 fölött már gyengébb a közelítés jósága, mivel ott az adatok jobban szóródnak.

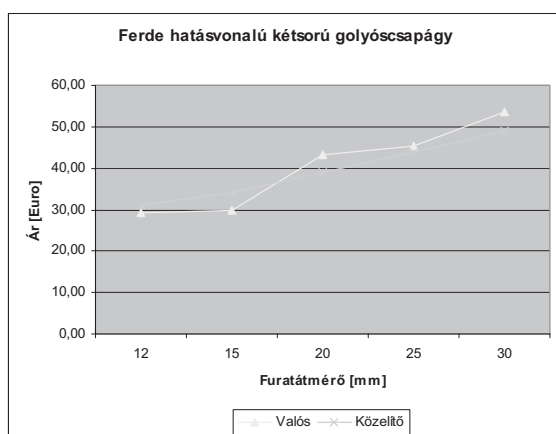
*b. Radiális önbeálló golyóscsapág*



2. ábra. Radiális önbeálló golyóscsapág, lineáris közelítéssel

A 2. ábrán látható, hogy a lineáris közelítés elégségesen jól írja le a költségfüggvényt, tehát jól alkalmazható lesz a további optimalálás során. A költségfüggvény lineáris egyenlete:  $K = d + 11$ .

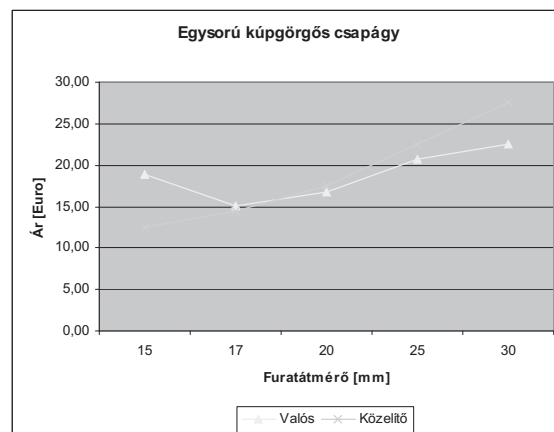
*c. Ferde hatásvonalú golyóscsapág*



3. ábra. Ferde hatásvonalú golyóscsapág, lineáris közelítés

A 3. ábra alapján a lineáris közelítés a ferde hatásvonalú kétsorú golyóscsapág esetén is kielégítően jónak minősíthető, alkalmas a további optimaláláshoz való használatra. A csapág lineáris költségfüggvényének egyenlete:  $K = d + 19$ .

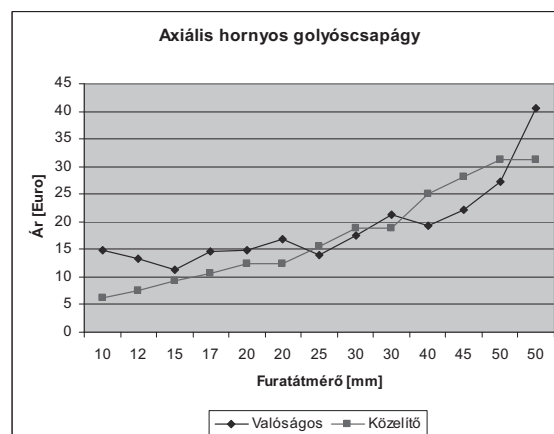
*d. Kúpgörgős csapág*



4. ábra. Kúpgörgős csapág költségfüggvényének lineáris közelítése.

A 4. ábrán látható, hogy a lineáris közelítés a 17 mm furatátmérőnél kisebb csapágakra nem kielégítő. Itt célszerűnek látszik megvizsgálni az exponenciális közelítés jóságát is. A lineáris költségfüggvény egyenlete:  $K = d - 2.5$ .

*e. Axiális hornyos golyóscsapág*



5. ábra. Axiális golyóscsapág lineáris közelítésű költségfüggvénye

Az 5. ábrán látható, hogy a lineáris költségfüggvény- közelítés a 20 mm és 40 mm közötti furatátmérők esetére kielégítőnek látszik, ezen kívül eső átmérőkre változó minőségű közelítést ad. Szintén érdemes lesz megvizsgálni az exponenciális görbével történő közelítést is. A lineáris közelítő egyenlet:  $K = 0.625 * d$ .

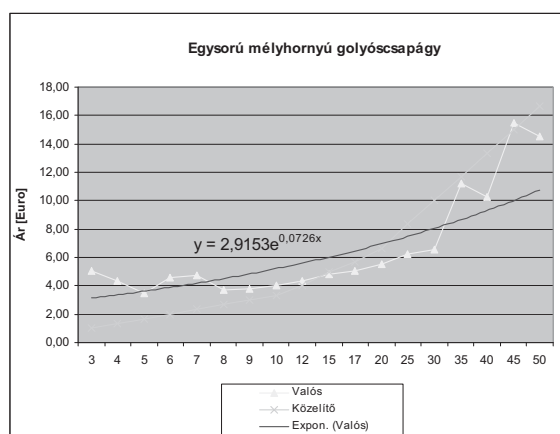
A lineáris közelítésű költségfüggvények tehát bizonyos esetekben kielégítő minőségű közelítést adnak, előnyük, hogy nagyon egyszerű egyenletekkel felírhatók. Bizonyos

csapágytípusok esetén a közelítés jósága csökken, sőt néhány átmérő esetén nem kielégítő minőségű, ezért megvizsgáljuk az exponenciális görbével történő közelítést is.

### 3. A KÖLTSÉGFÜGGVÉNY KÖZELÍTÉSE EXPONENCIÁLIS GÖRBÉVEL

Az exponenciális görbék mellett a lineáris közelítés görbét is meg hagyjuk, a könnyebb összehasonlítás végett. A közelítő exponenciális görbe egyenlete az ábrákban található.

#### a. Egysorú mélyhornyú golyóscsapágó

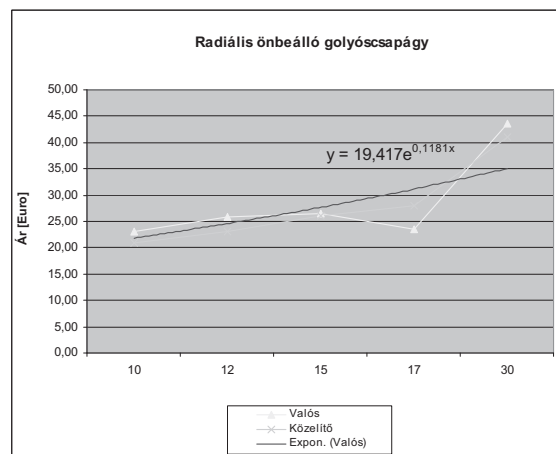


6. ábra. Egysorú mélyhornyú golyóscsapágó exponenciálisan közelített költségfüggvénye

A 6. ábra alapján a későbbi optimalizálásoknál az exponenciális görbével történő közelítést fogjuk alkalmazni egysorú mélyhornyú golyóscsapágók költségfüggvényének közelítő felírásához, mivel a teljes furatátmérő tartományt tekintve jobbnak ítéltető a közelítés minősége.

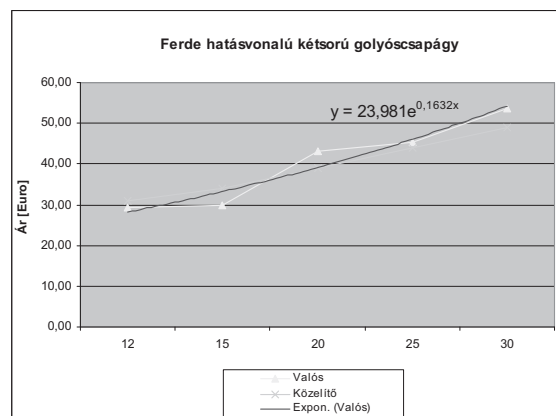
Radiális önbeálló golyóscsapágók esetén a 7. ábra alapján a későbbi optimalizálások során jó közelítésnek bizonyul a lineáris költségfüggvény, tehát ehhez a csapágytípushoz a lineáris közelítést alkalmazzuk.

#### b. Radiális önbeálló golyóscsapágó



7. ábra. Radiális önbeálló golyóscsapágó, exponenciálisan közelítve

#### c. Ferde hatásvonalú golyóscsapágó



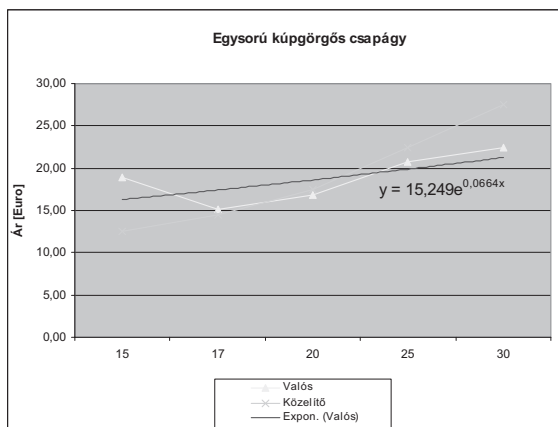
8. ábra. Ferde hatásvonalú golyóscsapágó, exponenciális görbével közelítve

A 8. ábra alapján mind az exponenciális, mind a lineáris közelítés kielégítő minőségű, így bármelyiket alkalmazhatjuk. Egyszerűsége miatt a későbbi optimalizálásoknál a lineáris közelítést fogjuk alkalmazni ehhez a csapágytípushoz is.

#### d. Kúpörgős csapágó

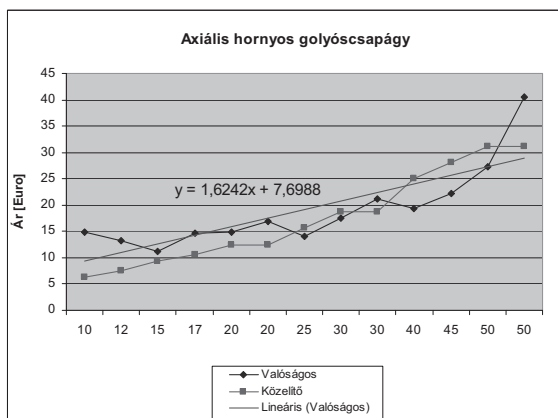
A 9. ábra görbéi alapján az exponenciálisan közelített költségfüggvény nyújt jobb minőségű közelítést a teljes furatátmérő tartományt nézve, ezért a későbbi optimalizálásoknál ehhez a csapágytípushoz exponenciális görbét alkalmazunk a célfüggvény közelítéséhez.





9. ábra. Kúpörgős csapágý exponenciálisan közelített költségfüggvénye

e. Axiális hornyos golyóscsapágý



10. ábra. Axiális golyóscsapágý exponenciális görbével közelített költségfüggvénye

A 10 ábra alapján az mondható el, hogy mindkét közelítési mód pontossága a teljes furatátmérő tartományt tekintve változó. 10 mm és 20 mm furatátmérő tartományban az exponenciális görbe ad jobb közelítést, 20 mm és 40 mm között a lineáris közelítés mutatkozik jobbnak, e fölötti furatátmérők esetén mindkét közelítés nem kielégítő eredményeket ad. Egyszerűsége miatt erre a csapágytípusra is a lineáris közelítést alkalmazzuk majd a jövőbeli optimumkeresésekhez.

#### 4. KÖVETKEZTETÉS

Ötféle csapágý költségfüggvényét vizsgáltuk a csapágý furatátmérőjének függvényében, az egyszerűbb lineáris közelítéssel és exponenciális görbével való közelítéssel.

Az egyszerűbb lineáris közelítés több esetben is nagyon jó minőségű közelítést hozott, néha bizonyos átmérőtartományokban jobb közelítést adott, mint az exponenciális görbével történő közelítés.

Az exponenciális görbével való közelítés néhány helyen nagyon pontos egyezést adott, ám voltak olyan átmérő tartományok, ahol nem tudott jobb közelítést hozni, mint a lineáris közelítés, és olyan átmérőtartományok is vannak, ahol egyik közelítési mód sem ad kielégítően jó közelítést.

A közelítő görbék összehasonlításai alapján a jövőbeli optimalásokhoz egysorú mélyhornyú csapágýk és kúpörgős csapágýk esetén az exponenciális görbével történő közelítést, míg radiális önbeálló csapágý, ferde hatásvonalú csapágý és az axiális hornyos golyóscsapágý esetén a lineáris közelítést fogjuk használni.

#### 5. IRODALOM

[1] SKF.: General catalogue. Carl Gerber GmbH, Germany, 1997.

[2] <http://www.conrad.hu>

[3] <http://ebthu.dyndns.org>

[4] <http://fag-csapagy.hu>

[5] <http://www.csapagy.whp.hu>

[6] <http://www.bede.hu>

#### 6. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 jelű "Járműipari felsőoktatási és kutatási együttműködés" projekt részeként, az Új Széchenyi Terv keretében a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. A szerző továbbá köszönetet szeretne mondani Kovács Kitti IV. éves Műszaki menedzser szakos hallgatónak, néhány ábra elkészítésében nyújtott segítségért.

# BAZALTSZÁLLAL ÉS GRAFÉNNEL ERŐSÍTETT KOMPOZITOK FEJLESZTÉSE MŰSZAKI ALKALMAZÁSOKHOZ

## DEVELOPMENT OF BASALT FIBRE AND GRAPHENE REINFORCED COMPOSITES FOR ENGINEERING USE

*Szakács József – MSc hallgató*

### ABSTRACT.

In this study there were prepared basalt fibre and graphene reinforced hybrid composites and their bending properties were investigated. The goal was to achieve better graphene dispersion by using basalt fibres. Scanning electron microscopic pictures prove that the higher shear forces in melt caused by basalt fibres that effects in higher dispersion of nanoparticles.

### 1. BEVEZETÉS

Napjaink anyagfejlesztői különös figyelmet fordítanak a nanorészecskére. Ezen részecskék alkalmazásával új lehetőségek nyílnak meg az anyagtudományban, ez különösképpen igaz polimer kompozitok fejlesztése során.

A nanorészecskéket az emberiség nagyon régóta alkalmazza, azonban napjainkra jutott el a tudomány oda, hogy felfedezze egyes anyagok nanostrukturáltságát és vizsgálni kezdje azt. A viszonylag rég ismert nano méretű részecskék mellett, mint például a korom vagy a rétegszilikátok, számos fiatal anyag is megjelent, ilyen a szénnanocső valamint a grafén. Míg a szénnanocső szálas jellegű, addig a grafén lemezes szerkezetű. Utóbbi anyag különösen figyelemre méltó, hiszen felfedezéséig a létezését elképzelhetetlennek tartották, mivel termodinamikailag instablnak gondolták. A grafént azonban két orosz kutatónak Andre Geimnek valamint Konstantin Novoselovnak sikerült előállítani. Munkájukért 2010-ben Fizikai Nobel díjat kaptak [1].

A nanorészecskék kutatásának fontossága szerkezeti felépítésüknek köszönhető, hiszen térfogatukhoz viszonyítva fajlagosan nagy felülettel rendelkeznek, így akár kis tartalom esetén is hatásosan módosíthatják a polimer tulajdonságait. Itt nem csak a polimer mechanikai jellemzőire kell gondolni, hanem segítségével különféle hővezető vagy elektromosan vezető polimerek hozhatóak létre, vagy használatuk az égésgátlást is elősegítheti [2][3][4][5].

Rafiq és társai [6] kutatásuk során grafén erősítésű poliamid 12 mátrixú kompozitokat hoztak létre belsőkeverő segítségével. Az előállított kompozitok 0,1; 0,3; 0,6; 1,0 és 3,0 tömeg% grafént tartalmaztak. Az így létrehozott anya-

goknál megfigyelték, hogy 1 tömeg%-ig a grafén növelte a kompozit szakítószilárdságát, azonban magasabb erősítőanyag tartalom esetén a szilárdság jelentősen csökkent. A csökkenés oka a nanorészecskék nem megfelelő eloszlottsága.

A nano méretű részecskéket tartalmazó polimer kompozitok esetén egy jelentős akadályt le kell küzdeni ez pedig a részecskék szétválasztása. Erre számos eljárást kifejlesztettek, ezek közül az egyik lehetőség hibridkompozit létrehozása. A hibrid rendszer előállítása során a nanorészecskék mellé valamiféle szálas erősítőanyag keverésével növelik az ömledék belsejében lévő nyírást, ezzel elősegítve a részecskék eltávolodását egymástól. Az eljárás nagy előnye, hogy mikroszálas használata igen elterjedt és ismertek hatásai – például a szilárdság növelés – valamint viszonylagosan alacsony árral rendelkeznek [7][8].

Güllü és társai [9] poliamid 6 és polipropilén mátrixú mikroszálas kompozitokat állítottak elő. Az erősítőanyag ebben az esetben 6 mm hosszú és 13  $\mu\text{m}$  átmérőjű üvegszál volt. A húzószilárdság esetükben 64,7 MPa-ról, 30 tömeg% üvegszál esetén 136,6 MPa-ra növekedett. Kutatásukba bemutatták, hogy a helyes fröccsöntési paraméterek megválasztása is fontos.

Kutatásom célja hibridkompozitok létrehozása volt, és a nanorészecskék eloszthatóságának vizsgálata poliamid 6 mátrix, grafén és bazaltszál erősítőanyag esetén. Az eloszlás mellett cél volt az így létrehozott anyagok átfogó vizsgálata, annak viselkedésének és annak okainak pontos megismerése. Mivel a poliamid közkedvelt műszaki műanyag fontos a kompozitokban is a mechanikai tulajdonságok pontos feltérképezése.

### 2. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Mátrixanyagként az A. Schulman GmbH által gyártott poliamid homopolimert használtam (SHULAMID 6 MV 13). Sűrűsége 1,13  $\text{g/cm}^3$ , MFI értéke 14,7 g/10 perc (2,16 kg, 230°C).

A szálerősítéshez az ukrán Kamenny Vek Ltd. által gyártott BCS 13.6. KV02 típusú bazaltszálat használtam fel. A szálas folytonos szálhúzás technológiával gyártott, vágott szálas

voltak. Átlagos hosszuk 6 mm, a névleges átmérőjük pedig 13 µm volt.

A kutatáshoz alkalmazott grafén az XG Sciences Inc. állította elő. Az xGnP Grade H grafén térfogati sűrűsége 50 -250 kg/m<sup>3</sup>, a részecskék vastagsága körülbelül 15 nm és átlagos átmérőjük 5-25 µm között mozog. A grafént a gyártó által is alkalmazott GnP (Graphene nanoparticle) rövidítéssel jelöltem.

A kompozit alapanyagok előállítása extrúziós technológiával történt. A felhasznált poliamid 6-ot a feldolgozás előtt minden esetben 80°C-on, 4 órán keresztül szárítottam. A megfelelő mennyiségű anyagok összemérése és fizikai keverése után, az alapanyag kompaundálása Labtech Scentific LTE 26-44 típusú ikercsigás extruderen történt. A csigák forgási sebessége 12 ford./perc volt. A zónák hőmérséklete rendre (a behúzó zónától kezdve a szerszám felé): 225-230-230-235-235-240-240-245-245-250-250°C voltak.

A fröccsöntést Arburg Allrounder 320 C 600-250, illetve Arburg Allrounder Advance 370S 700-290 típusú fröccsöntőgépekkel végeztem. A fröccsöntéssel előállított 4x10 mm-es keresztmetszetű próbatetek megfelelnek az MSZ EN ISO 527-2 szabványnak. A fröccsaggregát zónáinak hőmérséklete a behúzó zónától rendre 255-260-265-270-275°C voltak. A fröccsnyomás 1500 bar volt. Az elkészült jelölése és összetétele az 1. táblázatban látható.

1. táblázat. Előállított kompozitok jelölése és összetétele

| Anyag neve      | PA6<br>[tömeg%] | BF<br>[tömeg%] | GnP<br>[tömeg%] |
|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| PA6             | 100             | 0              | 0               |
| PA6+BF          | 70              | 30             | 0               |
| PA6+0,25 GnP    | 99,75           | 0              | 0,25            |
| PA6+0,5 GnP     | 99,5            | 0              | 0,5             |
| PA6+0,75 GnP    | 99,25           | 0              | 0,75            |
| PA6+1 GnP       | 99              | 0              | 1               |
| PA6+BF+0,25 GnP | 69,75           | 30             | 0,25            |
| PA6+BF+0,5 GnP  | 69,5            | 30             | 0,5             |
| PA6+BF+0,75 GnP | 69,25           | 30             | 0,75            |
| PA6+BF+1 GnP    | 69              | 30             | 1               |

Az elkészült kompozit próbatetekken a hárompontos hajlító vizsgálatokat Zwick Z020 típusú univerzális számítógép-vezérlésű terhelőgépen végeztem, az MSZ EN ISO 178 szabványnak megfelelően. A próbatest alátámasztási távolsága 64 mm, a hajlítás sebessége 2 mm/perc volt. A vizsgálatok megkezdéséig a próbatetek MEMMERT HCP153 típusú klímaszekrényben kerültek elhelyezésre. A tárolás állandó 25°C-os hőmérsékleten és 50% páratartalom mellett történt.

A mechanikai vizsgálat során létrejött törfelületeket pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) segítségével elemeztem. A vizsgálat előtt a minták felületét vékony arany-palládium ötvözzel vontam be a JEOL JFC-1200 aranyozóberendezés segítségével. Az elemzés elvégzésére

JEOL JSM 6380LA pásztázó elektronmikroszkópot használtam.

A szálhossz meghatározásához Olympus BX 51M típusú optikai mikroszkópot és AnalySIS programot alkalmaztam. A szálakat a kompozitokból égetésével nyertem ki.

A folyási mutatószámot (MFI) CEAST 7027.000 típusú, számítógép-vezérlésű kapilláris plasztométer segítségével mértem, 260°C-on, 2,16 kg terhelés mellett.

### 3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKE-LÉSÜK

#### 3.1. Hajlító vizsgálatok

Kompozitok hajlító vizsgálata során a csak grafént tartalmazó kompozitok esetén a határhajlító feszültség jelentősen nem változik a grafén tartalom változásával (2. táblázat).

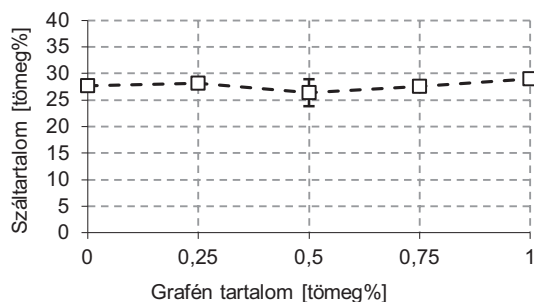
A bazaltszál hozzáadása a hajlító szilárdságot jelentősen növeli, valamint a grafén eloszlásának javításában is közrejátsszik, hiszen a szilárdság értéke kis mértékben növekszik 0,25 tömeg% grafén tartalom esetén. Az eredmények jobban nyomon követhetők a hajlító rugalmassági modulusz estén. A csak grafént tartalmazó kompozitok nem hoztak javulást, azonban a hibrid rendszerek esetén a grafén tartalom növelte a moduluszt, ami a grafén jobb eloszlottságával magyarázható.

2. táblázat. Bazaltszál és Grafén tartalmú poliamid 6 mátrixú kompozitok határhajlító feszültsége és hajlító rugalmassági modulusának alakulása különböző grafén tartalmaknál

|                 | Hajlító szilárdság<br>[MPa] | Hajlító Rug.<br>Modulus [MPa] |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|
| PA6             | 58±1                        | 552±13                        |
| PA6+0,25 GnP    | 57±2                        | 508±16                        |
| PA6+0,5 GnP     | 58±2                        | 542±26                        |
| PA6+0,75 GnP    | 58±2                        | 553±8                         |
| PA6+1 GnP       | 59±2                        | 549±27                        |
| PA6+BF          | 159±3                       | 1004±31                       |
| PA6+BF+0,25 GnP | 162±2                       | 1062±44                       |
| PA6+BF+0,5 GnP  | 156±2                       | 1053±26                       |
| PA6+BF+0,75 GnP | 150±2                       | 1016±16                       |
| PA6+BF+1 GnP    | 147±1                       | 1026±8                        |

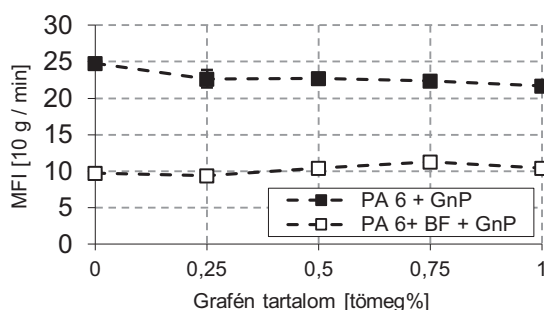
#### 3.2. Száltartalom és szálhosszeloszlás, eloszlottság vizsgálat

A grafén jobb eloszlása érdekében hoztam létre hibrid rendszereket. Ennek oka a szálak erősítőanyag által az ömledékben létrehozott nagyobb nyírás. Az ömledékes eljárással gyártott kompozitok esetén a belső nyírás növekedésének egyik jele a száltöredezés, ezért elvégeztem a kompozitok szálhosszáinak vizsgálatát és vizsgáltam a szálhossz eloszlás alakulását a feldolgozás során. Az előállított kompozitokat közel azonos száltartalommal sikerült előállítani, tehát ez csak kis mértékben befolyásolhatja a szálhossz alakulását (3. ábra).



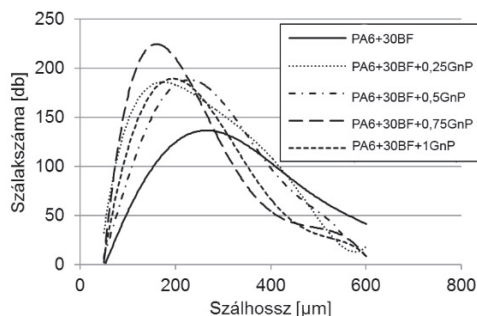
3. ábra. Előállított kompozitok száltartalma

A folyási mutatószám meghatározása során megfigyeltem, hogy a grafén tartalom növekedése csökkenti a MFI értékét, azonban a hibrid kompozitok esetén már a bazalt szál hatása a domináns. A mikro szál jelenléte jelentősen csökkenti az anyag folyóképességét, ami a belső nyírás növekedésére utal (4. ábra).



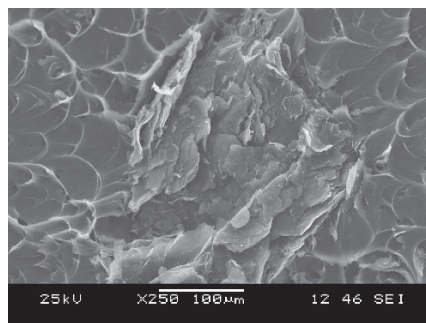
4. ábra. Bazaltszál és Grafén tartalmú poliamid 6 mátrixú kompozitok folyási mutatószáma

A szálhossz eloszlást mutató 5. ábrán megfigyelhető, hogy a rövidebb szálak egyre nagyobb számban találhatók meg a grafén tartalom növekedése esetén, tehát a görbék egyre a kisebb szálhossz felé tolódnak el, amely egyértelmű jele a növekvő nyírásnak. Az szál erősítőanyag valóban növeli a belső nyírást ezzel elősegítve a grafén eloszlását.



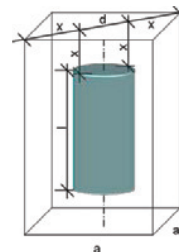
5. ábra. Előállított kompozitok szálhosszeloszlása

A nanorészecske eloszlatottságára nem csak a belső nyírás van hatással, hanem a jelenlévő szálak az ömledékben fizikai úton is csökkentik a részecskék méretét. A bazalt szál nélküli kompozitok esetén több száz mikrométeres részecskék is találhatók (6. ábra)



6. ábra. 0,25 tömeg% grafén tartalmú kompozit töretfelületéről készült elektronmikroszkópi felvétel

Ekkora méretű részecskék nagy szál tartalom esetén akadálytalanul nem közlekedhetnek az ömledék állapotban lévő polimerben, a szálakkal ütköznek. Ezt a következő elméleti számítással támasztom alá. Ahol az adott kompozit egy elemi tér részének adatait határozom meg és ebből következtetek a szálak átlagos távolságára. Az elemi cella a 7. ábrán látható.



7. ábra. Kompozit elemi cellája [7]

A számításokhoz a gyártók által megadott adatokat, valamint a 0,25 tömeg% grafént tartalmazó kompozit átlagos szálhosszát és bazaltszál tartalmát használtam fel (28,2 tömeg%). A számításhoz használt adatok a 3. táblázatban tekinthetők meg. A mátrix sűrűsége feldolgozás során változik a hőmérséklet és nyomás hatására, ezért ennek értékét nyomás-fajtérfogat-hőmérséklet diagramból határoztam meg [11].

3. táblázat. Alapadatok

| $d_{szál}$ [mm] | $l_{szál}$ [mm] | $\rho_{szál}$ [g/cm <sup>3</sup> ] | $\rho_{mátrix}$ [g/cm <sup>3</sup> ] |
|-----------------|-----------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 0,013           | 0,251           | 2,67                               | 0,9658                               |

Az alapadatok ismeretében először meghatároztam az elemi cella térfogatát a szál és mátrix tömegarányának ismeretében. Először az elemi szál térfogatát számoltam ki.

$$V_{szál} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l \quad (1)$$

Ebből meghatározásra került egy elemi szál tömeg (2), majd az elemi szálra eső mátrix tömege (3).

$$m_{szál} = \rho_{szál} \cdot V_{szál} \quad (2)$$

$$m_{mátrix} = \frac{m_{szál}}{0,3} \cdot 0,7 \quad (3)$$



Az így kapott értékekből kiszámítható az elemi cellában található mátrix térfogata (4), majd az elemi cella térfogata (5).

$$V_{\text{mátrix}} = \frac{m_{\text{mátrix}}}{\rho_{\text{mátrix}}} \quad (4)$$

$$V = V_{\text{szál}} + V_{\text{mátrix}} \quad (5)$$

Az így kapott térfogatott egyenlővé téve (6), a geometria adatokkal megadott egyenlettel egy harmadfokú egyenletet kapunk.

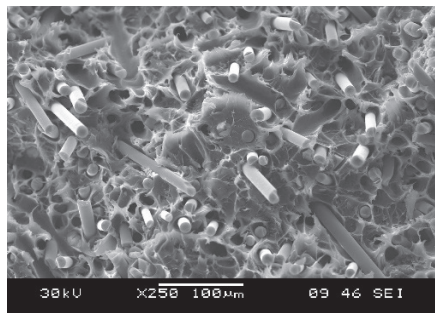
$$V = a \cdot a \cdot c = \left(\frac{2x+d}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot (2x+l) \quad (6)$$

A harmadfokú egyenlet megoldva a következő megoldásokat kaptam (3. táblázat):

1. táblázat. az egyenlet megoldásai

| $x_1$   | $x_2$  | $x_3$ |
|---------|--------|-------|
| -120,33 | -33,47 | 15,31 |

Tehát a szálak közötti átlagos méret a pozitív megoldás kétszerese, hiszen az elemi cellák egymás mellé helyezése esetén a szálak között  $2x$  távolság van, ami körülbelül  $31 \mu\text{m}$  nagyságú. Az eredményből jól látható, hogy a hibrid rendszerekben a szálak közelsége nem engedi a nagy aggregátumok megmaradását, ami növelheti a nyíró erő hatásosságát. A jobb eloszlatottságra bizonyíték a bazaltszál is tartalmazó kompozit töretfelületéről készült elektronmikroszkópi felvétel (8. ábra), ahol nagyobb aggregátumoknak nincs nyoma.



8. ábra. 0,25 tömeg% grafén tartalmú hibridkompozit töretfelületéről készült elektronmikroszkópi felvétel

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során létrehozott hibridek vizsgálata során feltártam, hogy a bazaltszál képes javítani a grafén eloszlatottságát, ezt számos vizsgálattal sikerült alátámasztani. A grafén hozzáadása kis mennyiségben pozitív hatással van kompozit mechanikai tulajdonságaira, ez különösen igaz kis terhelési szintek (hajlító rugalmassági modulus) esetén.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA PD105564) támogatta.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" TÁMOP - 4.2.2.B-10/1-2010-0009 programhoz.

#### 6. IRODALOM

- [1] V. Singh, D. Joung, L. Zhai, S. Das, S. I. Khondaker, S. Seal: Graphene based materials: Past, present and future, Progress in Materials Science 56, 1178-1271, 2011
- [2] F.-C. Chiu, I.-N. Huang: Phase morphology and enhanced thermal/mechanical properties of polyamide 46/graphene oxide nanocomposites. Polymer Testing 31, 953-962, 2012.
- [3] H. Meng, G.X. Sui \*, G.Y. Xie, R. Yang: Friction and wear behavior of carbon nanotubes reinforced polyamide 6 composites under dry sliding and water lubricated condition. Composites Science and Technology 69, 606-611, 2009.
- [4] R. Sengupta, S. Sabharwal, A. K. Bhowmick, T. K. Chaki : Thermogravimetric studies on Polyamide-6,6 modified by electron beam irradiation and by nanofillers. Polymer Degradation and Stability 91, 1311-1318, 2006.
- [5] Szakács J., Mészáros L., Czvikovszky T.: Farosttal társított polipropilén módosítása nanorészecskékkel. Műanyag és Gumi 49, 305-308, 2012.
- [6] R. Rafiq, D. Cai, J. Jin, M. Song: Increasing the toughness of nylon 12 by the incorporation of functionalized graphene. Carbon 48, 4309-4314, 2010.
- [7] Mészáros L.: Polimer mátrixú nanokompozitok fejlesztése, PhD értekezés, BME Polimertechnika Tanszék 2010
- [8] Mészáros L.; Deák T.; Balogh G.; Czvikovszky T.; Czigány T.: Preparation and mechanical properties of injection moulded polyamide 6 matrix hybrid nanocomposite, Composites Science and Technology, 75, 22-27, 2013.
- [9] A. Güllü , A. Özdemir, E. Özdemir: Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics, Materials and Design 27, 316-323, 2006.
- [10] Mészáros L., Szakács J.: Poliamid 6 mátrixú graféntartalmú kompozitok és bazaltszál tartalmazó hibrid kompozitok előállítása és vizsgálata. Műanyagipari Szemle 3, 2013
- [11] <http://www.campusplastics.com/campus/en/dataheet/SCHULAMID%C2%AE+6+MV+13/A%252E+Schulman+GmbH/1/0a1535ea> (2013)

# FÚZIÓS ERŐMŰ DIAGNOSZTIKAI KÁBELEZÉSÉNEK KONSTRUKCIÓS TOVÁBBFEJLESZTÉSE ÉS TERMOMECHANIKAI SZIMULÁCIÓJA

## DEVELOPMENT AND THERMO-MECHANICAL SIMULATION OF DIAGNOSTIC CABLE CONDUITS IN THE ITER FUSION REACTOR

*Szalai Judit PhD hallgató, Bendefy András PhD hallgató, Dr. Piros Attila egyetemi adjunktus,  
Dr. Váradi Károly egyetemi tanár*

### ABSTRACT

During our work we analyzed and developed the diagnostic cable conduits in the ITER fusion reactors vacuum chamber. Leading risks to these components include the effects of exposure to nuclear irradiation, such as heating, and generation of spurious electrical signals.

It will focus as well on the design and structural assessment of all components, and their requirements. Besides the integration limitations, the thermal loads are the main design driver.

### 1. BEVEZETÉS

Az ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor - Nemzetközi Kísérleti Termonukleáris Reaktor) egy nemzetközi kutatás-fejlesztési (K+F) projekt, melynek célja a jövőbeli villamos erőművek technológiájának kifejlesztése a mai plazmafizikai ismereteink továbbfejlesztésével. A reaktor a Dél-Franciaországi Cadarache-ban 2020-ra készül el és várhatóan 20 évig fog üzemelni.[1]

A munkában jelenleg több ország kutatóintézetei, egyetemei is részt vesznek.

A BME Gép- és Terméktervezés Tanszék az MTA Wigner Fizikai Kutatóközponttal együttműködve, a magfúziós kutatásokban való részvétellel végez közös elemzési és tervezési munkát, melyben a magyar kutatók feladata az ITER vákuumkamrán belüli diagnosztikai kábelezésének technológiai fejlesztése.

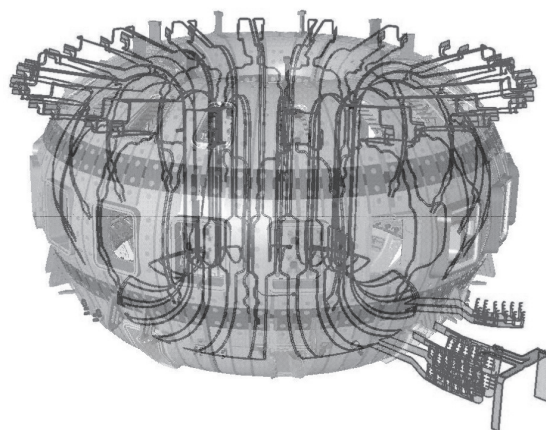
### 2. A PROJEKT RÖVID BEMUTATÁSA

A tervek szerint az ITER körülbelül 500 MW fúziós teljesítményt fenntartására lesz képes. Az 500 MW fúziós teljesítményből 400 MW neutronok formájában távozik a plazmából, amely több száz kW/m<sup>2</sup> teljesítménysűrűséget jelent a vákuumkamra falán.

A vákuumkamra falára felszerelt diagnosztikai kábelezés tervezésében, ez a nagy hőfejlődéssel járó folyamat több megoldandó feladatot jelent.

A hőterheléstől védeni kell a vákuumkamrát, ezért annak belseje vízhűtésű, árnyékoló blokkokkal lesz ellátva.

A hőfejlődés miatt ugyancsak minden, plazma közelében található alkatrész hűtését meg kell oldani és gondoskodni kell a hő elvezetéséről is. A reaktorkamra szerkezeti felépítését és a diagnosztikai kábelezés számára biztosított helyet mutatja be a 1. ábra. [1]

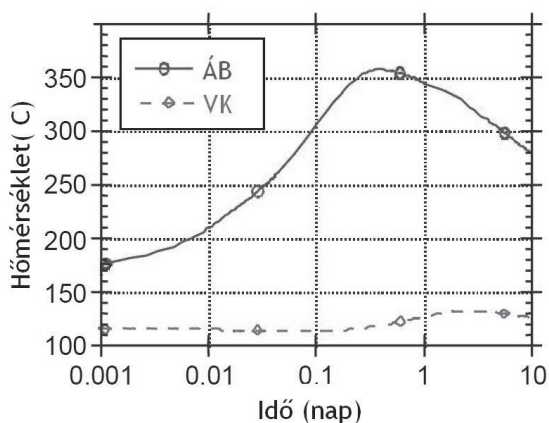


*1. ábra. A diagnosztikai kábelek  
elhelyezkedése a vákuumkamrán belül  
[1]*

### 3. A VÁKUUMTARTÁLY DIAGNOSZTIKAI KÁBELEZÉSÉNEK ÜZEMELTETÉSI KÖRÜLMÉNYEI

A fúziós folyamat során a vákuumkamrát és az árnyékoló blokkokat érő hőmérséklet nagyságát mutatja be az idő függvényében a 2. ábra[2].

A konstrukciós tervezés során figyelembe veendő legmagasabb hőmérsékleti terhelés a plazma felőli árnyékoló blokkok esetében 360 °C, a vákuumkamra falának esetében pedig kevesebb mint 150 °C.



2. ábra. A hőterhelések mértéke az árnyékoló blokkok(ÁB) és a vákuumkamra(VK) esetében, az idő függvényében

A diagnosztikai rendszer kábeleiben és kábelcsatornáiban, a neutron- és gamma sugárzásból származó belső térfogati hőfejlődés  $0,024 - 0,12 \text{ W/cm}^3$  között van.

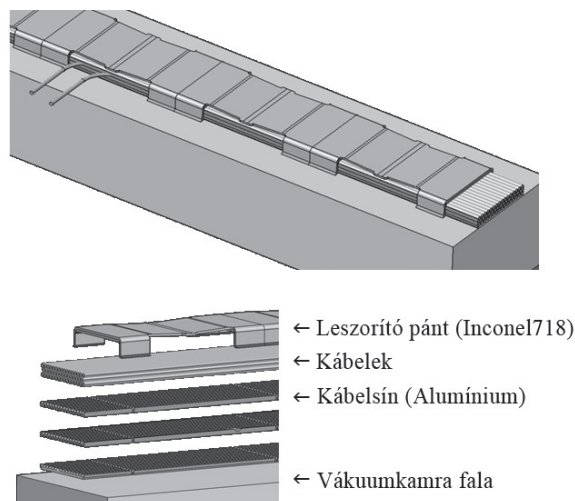
### 3.1. Tervezési célok

A reaktor működése közben, a kábelcsatornában futó adatkábelek zavartalan működéséhez, a megfelelő jelátvitel biztosítása alapvető fontosságú. A stacionernek tekinthető hővezetés beálltakor kialakuló hőmérséklet-eloszlás változása a kábelekben nem haladhatja meg a  $10^\circ\text{K}$  értéket[3], mivel ellenkező esetben a mért adatok pontossága nem lesz megfelelő.

Az utóbbi években többféle elképzelés született a vákuumkamra falára szerelt kábelcsatornák megvalósítására, ezek közül szemlélteti az egyik megoldást a 3. ábra. A bemutatott és továbbfejlesztendő elképzelés szerint a kábelrétegek között extrudált alumínium kábelsínek helyezkednének el. Az így keletkezett köteget hajlított Inconel 718 anyagból készült pántok szorítanák a vákuumkamra falához.

A tervezés során célunk, olyan új koncepciók létrehozása volt, ahol a kábelcsatornában fejlődő hő elvezetése, illetve a kábelcsatorna és a hűtött vákuumkamra fala között megfelelő mértékű felületi hőátadás megoldott.

A vizsgált szerkezetben a problémát hőtágulási szempontból az okozza, hogy a belső alumínium kábelvezető sínek hőtágulási együtthatója jóval nagyobb, mint az azokat leszorító Inconel718 anyagú pántoké, ezért a feszültségmentesen (szobahőmérsékleten) összeszerelt szerkezetekben magasabb hőmérsékleten az elemek között hőfeszültség épbe.



3. ábra. Továbbfejlesztendő kábelcsatorna kialakítása

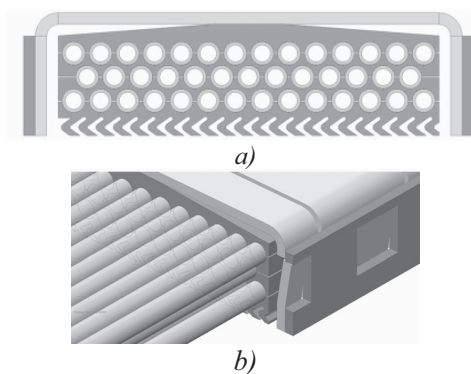
## 4. ÚJ KONSTRUKCIÓS MODELLEK LEÍRÁSA

Az új kábelcsatorna geometriai/konstruktív tervezését az ITER projektben általánosan előírt és használt Catia tervezői rendszerben végeztük el. A vizsgálatok alapjául egyszerűsített geometriai modelleket használtunk.

Munkánk során több hőtani szimuláció is készült annak céljából, hogy megállapítható legyen a kábelcsatornában létrejövő hőfejlődés és a hőfeszültségek mértéke, ami mérvadó az új kábelcsatorna konstrukció geometriai kialakításában és az anyagválasztásban.

### 4. 1. Szerkezeti kialakítás könnyen deformálódó felülettel

Első lépésben a kábelcsatorna alsó, vákuumkamrával érintkező felületén egy könnyen deformálódó felületet hoztunk létre, ami megnöveli az érintkező hőátadó felületek nagyságát, ezzel segítve a megfelelő felületi hőátadás kialakulását (4. ábra.).



4. ábra. Szerkezeti kialakítás könnyen deformálódó felülettel: a) a kialakítás profilja, b) a leszorító elem és a bepattanó kötés

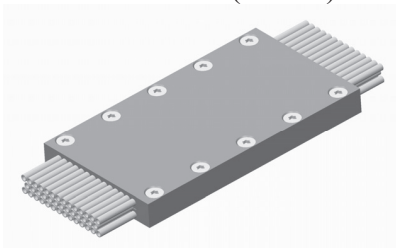


A végelelemes analízis kimutatta, hogy ezzel a kialakítással, az eredeti kábelsín talphoz képest kisebb szorítóerővel érhető el, ugyanakkora érintkezési felület. Az elképzelés hátránya hogy a gyártás miatt bonyolult szerszámot igényel.

#### 4. 2. Szerkezeti kialakítás csavarral rögzített kábelköteggel

A következő konstrukciók előnye, hogy a vákuumkamrába helyezés előtt teszik lehetővé a rögzítő elemek vákuumkamra falára való felhegesztését, továbbá könnyen beszerezhető alkatrészekből állnak.

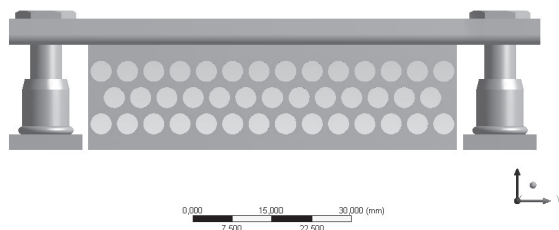
Az első ilyen konstrukcióban a hegesztett menetes csapok és csavarok segítségével vannak rögzítve a kábelcsatornák. Az eljárás lényege, hogy a kábelköteg két szélén kialakul egy-egy szalag alakú kontaktfelület, amelyen keresztül a hő-leadás történik. A kábelekből eddig a felületig az alumínium lapokon keresztül áramlik a hő (5. ábra.).



5. ábra. Szerkezeti kialakítás csavarral rögzített kábelköteggel, a kialakítás profilja

#### 4. 3. Szerkezeti kialakítás szegecsanyával rögzített leszorító pánttal

A szegecsanyával kialakított konstrukcióban (6. ábra) a fő szempont, a melegedéskor az alkatrészekben létrejövő eltérő hőtágulások kiküszöbölése volt.



6. ábra. Szerkezeti kialakítás profilja, vákuumkamra falához hegesztett alumínium szegecsanyával rögzített kábelköteggel

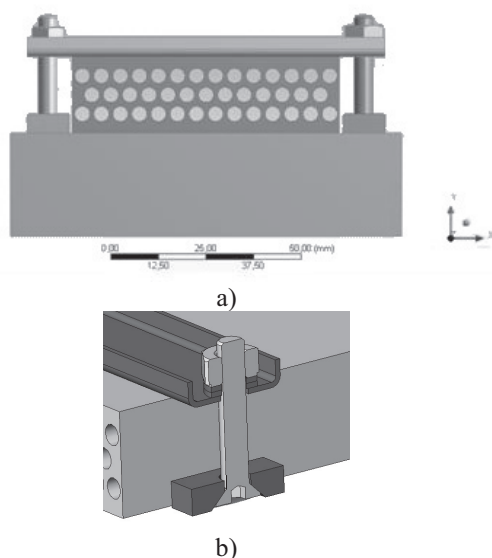
A kábelcsatorna két oldalán, az alumínium kábelcsatornát leszorító Inconel718 anyagú pánt megfogására, hatalpfejú csavarból és szegecsanyából álló alumínium csavarkötést alkalmaztunk.

A konstrukció előnye a hőmérséklettől független állandó nagyságú leszorító erő, továbbá az

egyszerű alkatrészek alkalmazása, illetve a könnyű és gyors szerelhetőség.

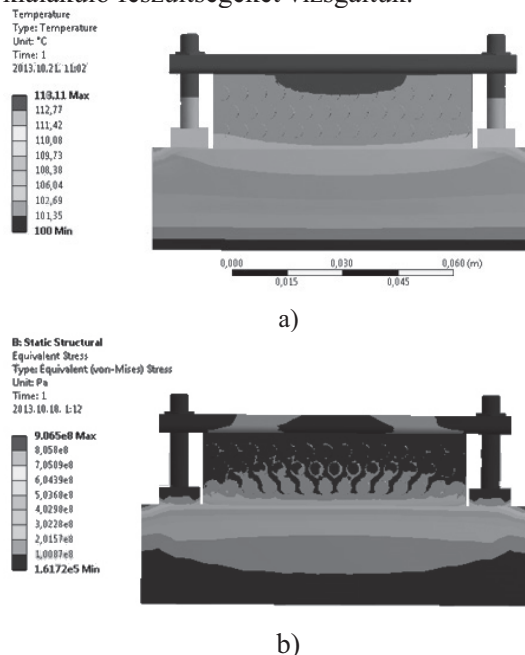
#### 4. 4. Szerkezeti kialakítás alumínium csavarral rögzített leszorító pánttal

A szegecsanyával rögzített leszorító pántos konstrukciót továbbfejlesztve, a szegecsanyát alumínium belső-kulcsnyílásos csavarral helyettesítettük. Így egy ugyancsak oldható megoldást sikerült kidolgozni, ami kevesebb helyet foglal és könnyebben szerelhető (7. ábra).



7. ábra. Szerkezeti kialakítás csavarral, és leszorító elemmel, a) a kialakítás profilja, b) a kialakítás metszete

A 9-10. ábra a konstrukció végelelemes vizsgálatának eredményét mutatja be, ahol a kialakuló feszültségeket vizsgáltuk.



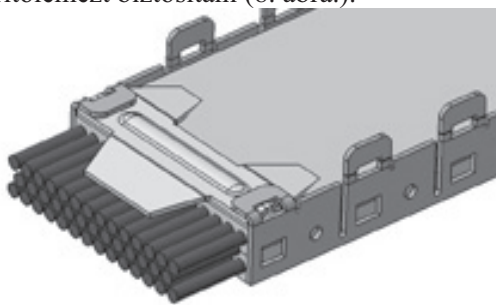
9. ábra: a) a kialakuló hőmérsékletek, b) a kialakuló hőfeszültségek



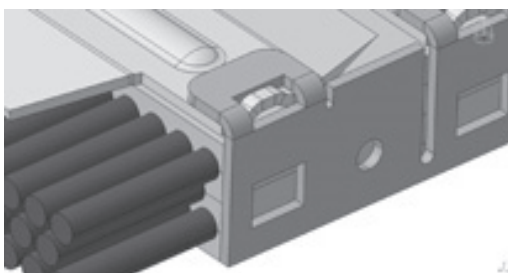
A szerelés után is állítható magasság lehetővé teszi az ilyen típusú konstrukciók alkalmazását különböző méretű kábelcsatornákhöz is.

#### 4.5. Szerkezeti kialakítás lemezalkatrészekkel

A következő konstrukciós kialakítás kábelcsatorna szegmensenként több leszorító lemezalkatrészt alkalmaz. A beszereléskor a megfelelő leszorítás mellett az előre felhegesztett oldallemezeken található fülekkel kell a szorítólemezt biztosítani (8. ábra.).



a)



b)

8. ábra. Szerkezeti kialakítás lemezalkatrészekkel, a) összeszerelt állapot  
b) leszorító kötés részlete

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A tervezés során a kábelcsatornák konstrukciós kialakítása és anyagválasztása a neutronsugárzásból adódó térfogati hőfejlődés figyelembevételével oldottuk meg úgy, hogy azok teljesítsék a tervezési előírásokat.

Feladatunk további részében az elkészült tervek ellenőrzése és prototípusok legyártása után, azok fizikai tesztelésére kerül sor.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt megvalósítását az F4E-FPA-328-TSD program támogatja.

## 7. IRODALOM

[1]DDD\_1.5\_Vacuum\_Vessel\_22FPWQ\_v4\_0.pdf

[2]<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/ITER-EDA-DS-24.pdf>

[3]Loom\_conduits\_concept\_design\_20130512.ppt

# KAWASAKI ROBOT SZIMULÁCIÓJA ÉS MEGFOGÓJÁNAK REZGÉSVIZSGÁLATA

## VIBRATION ANALYSIS OF THE END EFFECTOR AND SIMULATION OF A KAWASAKI ROBOT

*Tóth Gábor, MSc hallgató, Szabó Tamás, PhD*

**Abstract:** This paper deals with the vibration analysis of the end effector of an industrial robot. The vibration is forced by a pneumatic vibrator, which justifies the design of the mass-spring system model. The force and torque due to vibration excited on the robot is determined. In addition to this the motion of the robot is also simulated.

### 1. BEVEZETÉS

A robotok alkalmazása egyre nagyobb teret nyer az ipari folyamatok automatizálásában. Többek közt ilyen terület a porfestési technológia is [1], amelynél a hevített munkadarabot a robot a festékpont tartalmazó fluidágyba meríti. A munkadarabra nem ráolvadó felesleges port el kell távolítani. Ennek egyik leghatékonyabb módja a munkadarab rezgetése. A rezgő rendszer tervezésénél figyelemmel kell lenni a robotra ható reakcióerőre és a rezonancia jelenségére. Lineárisan gerjesztett rezgéseket számos könyv illetve egyetemi jegyzet részletesen tárgyalja [4], [5].

A vizsgált 6 szabadságfokú Kawasaki robot tartalmaz egy paralelogramma mechanizmust is. Ahhoz, hogy az adott robotot a szokásos Denavit-Hartenberg paraméterekkel ([2], [3]) könnyen leírassuk egy virtuális csuklót és tagot vezetünk be.

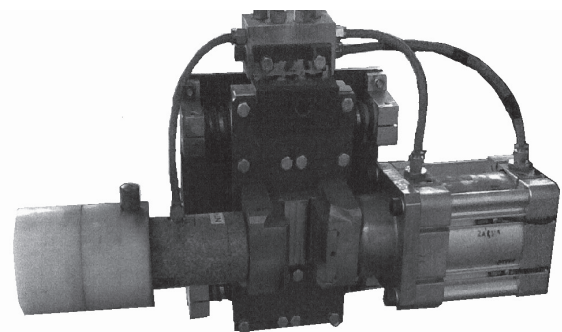
A megfogó szerkezeten alkalmazott rezgető berendezés modellezésével, a rugók méretezésével és a rezgés során fellépő erők meghatározásával a második fejezet

foglalkozik. A harmadik fejezet a robot egy ciklus alatt végzett mozgásának szimulációját mutatja be.

A cikk végén rövid összegzés található az elvégzett kutatásról és eredményeiről.

### 2. KAWASAKI ZX165U ROBOT MEGFOGÓJÁNAK REZGÉSVIZSGÁLATA

A robot zárótagjára az 1. ábrán látható egyedi szerkezet került felszerelésre, amelynek jobb oldalán egy pneumatikus munkahenger biztosítja a munkadarab megfogását. A megfogó szerkezet másik oldalára pedig egy pneumatikus vibrátor került felszerelésre. A megfogó berendezés a pneumatikusan működtetett elemekkel együtt vízszintes irányban képes elmozdulni a két-két azonos rugó erőhatásának ellenében. A rugók alaphelyzetben nincsenek előfeszítve, így a megfogó valamely irányú elmozdulásakor kizárólag az azzal megegyező oldalra szerelt rugópár szenved alakváltozást.



*1. ábra. A pneumatikus elemekkel felszerelt megfogó*

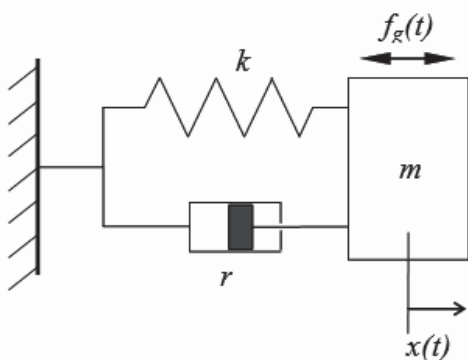
A pneumatikus rezgető működtetésével eltávolítja a fölösleges festékpont. A rezgő rendszer a 2. ábrán vázolt egyszabadságfokú modellel írható le. Az  $m$  tömeg a megfogó

egység, a pneumatikus aktuátorok és a munkadarab tömegének összegét jelenti. A  $k$  rugómerevség a kitéréskor működő két párhuzamosan kötött rugó merevségének összege. A rezgőrendszer szerkezeti csillapítását az  $r$  jelöli.

A gerjesztett egyszabadságfokú csillapított rezgőrendszer differenciálegyenlete a következő alakban írható:

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = F_{g0} \cos(\omega t), \quad (1)$$

ahol  $x$  az elmozdulás,  $\dot{x}$  a sebesség,  $\ddot{x}$  a gyorsulás, az  $F_{g0}$  a gerjesztő erő amplitúdója,  $\omega$  a pneumatikus rezgető körfrekvenciája és  $t$  az idő. A rendszer energiájának disszipációja első sorban a rugók szerkezeti csillapításából származik, azonban ennek tényleges értéke általában nem áll rendelkezésre.



2. ábra. A rezgés modellje

Az (1) egyenletet elosztva az  $m$  tömeggel, és az  $\alpha^2 = \frac{k}{m}$ ,  $2\alpha\xi = \frac{r}{m}$ ,  $f_0 = \frac{F_{g0}}{m}$  jelölések bevezetésével a differenciálegyenlet komplex homogén megoldása az alábbi alakban írható fel:

$$z(t) = \frac{f_{g0}}{\alpha^2 - \omega^2 + i2\xi\alpha\omega} e^{i\omega t}, \quad (2)$$

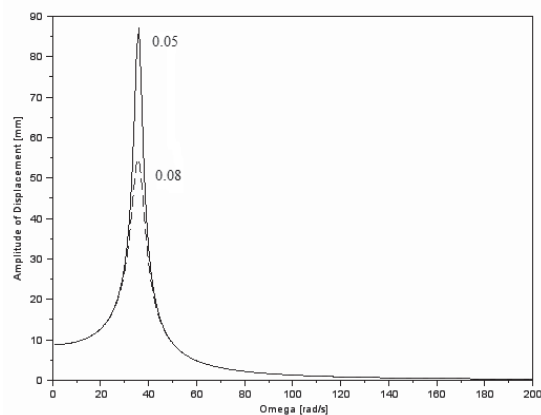
ahol  $\alpha$  a rendszer sajátkörfrekvenciáját,  $\xi$  a Lehr-féle csillapítást és  $i$  az imaginárius egységet jelöli.

#### 4.1. A rezgés amplitúdójának meghatározása

A (2) homogén megoldás exponenciális tag előtti tényezőjének abszolút értéke a rezgés  $A$  amplitúdóját jelenti:

$$A = \frac{f_{g0}}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + 4(\xi\alpha\omega)^2}}, \quad (3)$$

Ha a gerjesztés  $\omega$  értéke jóval nagyobb az  $\alpha$  sajátkörfrekvenciánál, akkor a kitérés amplitúdója lecsökken és így a robotra átvitt erő nagysága is kicsi marad. Ezt szem előtt tartva a tervezés során a sajátkörfrekvenciát a rezgető sajátkörfrekvenciájának ötödére választjuk, azaz  $\alpha = \omega/5$ . A rezgetett tömeg  $m = 50$  [kg], a gerjesztés körfrekvenciája  $\omega = 179,1$  [rad/s] és a gerjesztő erő amplitúdója pedig  $F_{g0} = 565$  [N]. A (3) alapján számolt rezonancia görbék a 3. ábrán láthatók két felvett  $\xi = 0,05$  és  $\xi = 0,08$  csillapítás esetén. A kitérés amplitúdója ezekben az esetekben kb. 0,42 [mm].



3. ábra. A rendszer rezonanciagörbéje

#### 4.2. A robotra átvitt erő és nyomaték

Az 2. ábra alapján a robotra állandósult állapotban ható  $F_r$  erő

$$F_r(t) = r\dot{x} + kx. \quad (4)$$

A (4)-be helyettesítve a (2) megoldást, az erő komplex alakban írható fel:

$$F_r(t) = (i\omega r + k) \frac{f_{g0}}{\alpha^2 - \omega^2 + i2\xi\alpha\omega} e^{i\omega t}. \quad (5)$$

Az erő amplitúdója:

$$|F_r(t)| = \frac{f_{g0} \sqrt{\alpha^4 + 4(\xi\alpha\omega)^2}}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + 4(\xi\alpha\omega)^2}}. \quad (6)$$

Az  $m$  tömeg (munkadarab) tömegközéppontja a zárótag forgástengelyéhez képest merőlegesen  $s_m = 0,5 \text{ [m]}$  távolságra van. Mivel a rezgetővel létrehozott erő metszi a zárótag tengelyét, ezért csak a kinetikai vektor nyomatékából származik a zárótag tengelyét terhelő  $M_t$  nyomaték:

$$M_t = s_m m \ddot{x}. \quad (7)$$

Állandósult esetben a nyomaték amplitúdójának abszolút értéke:

$$|M_t| = \frac{s_m m \omega^2 f_{g0}}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + 4(\xi \alpha \omega)^2}}. \quad (8)$$

A felvett értékeknél  $|M_t| = 336 \text{ [Nm]}$ , amely kisebb a zárótag csuklójára megengedett 450 Nm határértéknél.

#### 4.3. A rugók méretezése

A rugók méretezése az  $\frac{\omega}{5} = \alpha = \sqrt{\frac{k}{m}}$  összefüggésen alapul. A  $k$  rugómerevség értelmezésénél [5] figyelembe kell venni, hogy értéke két azonos méretű rugó merevségéből adódik, így

$$\alpha^2 m = k = \frac{2 I_p G}{r^2 l}, \quad (9)$$

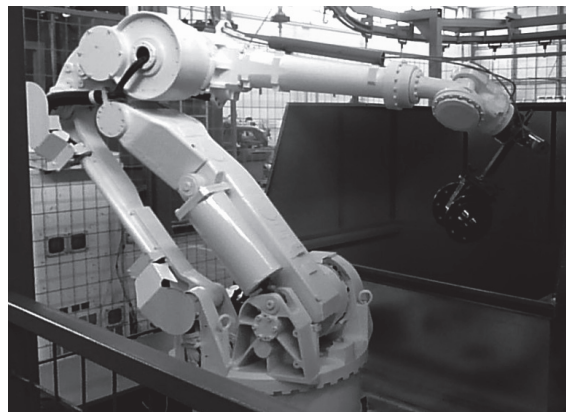
ahol  $I_p$  a rugószál keresztmetszetének poláris másodrendű nyomatéka,  $G$  az acél csúsztató rugalmassági modulusa,  $l$  a rugószál hossza és  $r$  a rugó közepes sugara. A méretezésnél ismert értékek:  $r = 15 \text{ [mm]}$ ,  $l = 410 \text{ [mm]}$ ,  $G = 79,3 \text{ [GPa]}$ .

A (9) formula alapján a rugó szálátmérője:

$$d = \sqrt[4]{32 \frac{I_p}{\pi}} = \sqrt[4]{32 \frac{\alpha^2 m l r^2}{2 G \pi}} \cong 4 \text{ [mm]}. \quad (10)$$

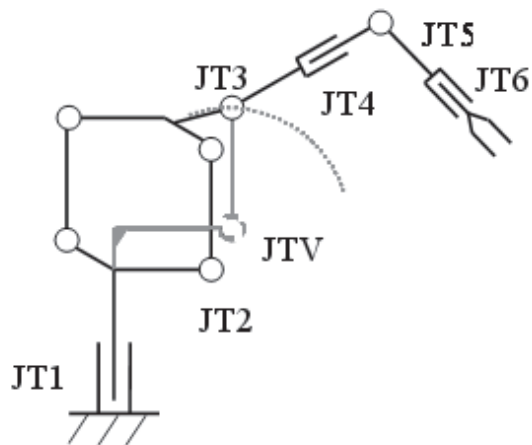
### 3. A ROBOT MOZGÁSÁNAK SZIMULÁCIÓJA

A Kawasaki ZX165U robotot a 4. ábra szemlélteti. A roboton lévő paralelogramma mechanizmus leírása néhány megfontolást tesz szükségessé, ami az 5. ábra alapján magyarázható.



4. ábra. A robot felépítése

A JT3 csukló mozgásának leírása egy virtuális, a paralelogramma mechanizmust nélkülöző csuklóval is megvalósítható.



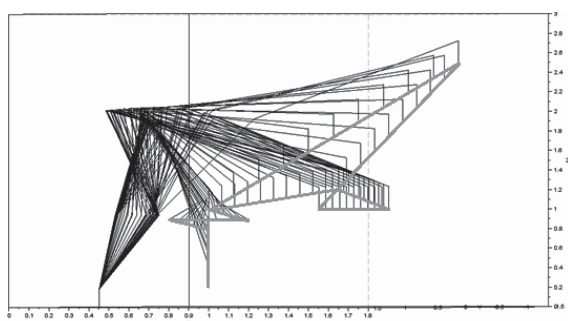
5. ábra. Az eredeti és a helyettesítő modell

A paralelogramma mechanizmusból adódóan a robot JT3 jelű csukló utáni tagjainak orientációja független a JT2 csukló szögelfordulásától. A JTV virtuális csukló a JT3 csuklót a paralelogramma mechanizmus JT2-hez csatolt nem fix tagjának hosszával megegyező sugarú körpályán mozgatja. A paralelogramma mechanizmus a JT3 pályájának translációs mozgását a JTV és JT3 csuklók közötti virtuális tag szögelfordulással valósítja meg. A JTV szögelfordulása azonosnak tekinthető JT2 csuklóval. A paralelogramma mechanizmusnak megfelelő orientáció biztosításához azonban a JT3 szögelfordulását módosítani kell a JTV szögelfordulásával a modellen.

A robot mozgásának szimulálására egy célprogram került kifejlesztésre SCILAB szoftverben. A program a 6. ábra szerint szimulálja a robot mozgását az adott porfestési technológiánál. A fekete vonalak diszkrét

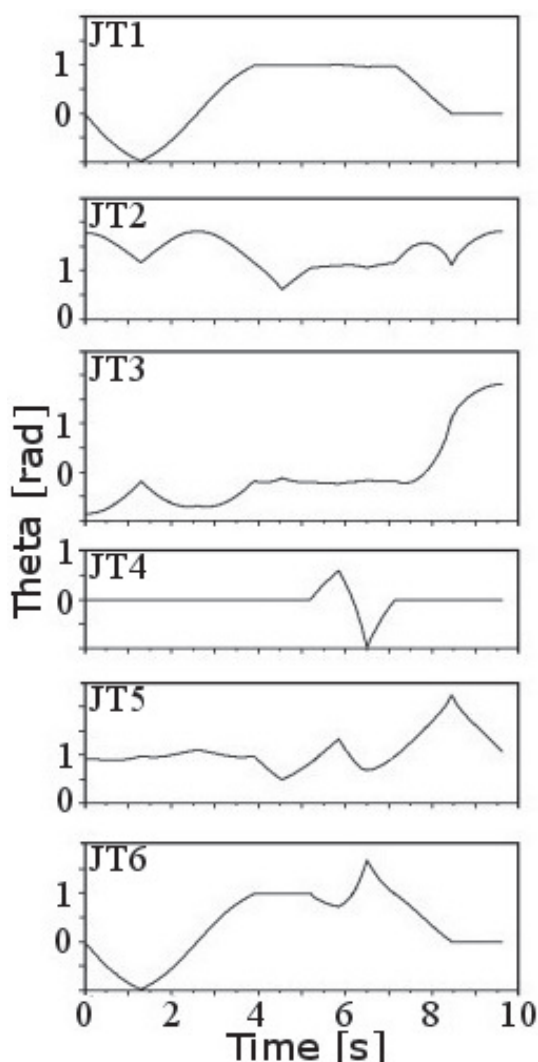


pozíciókban ábrázolják a modellt, a szürke vonalak pedig a megfogó pályáját szemléltetik.



6. ábra. A robot szimulált mozgása

Meghatározásra kerültek a JT1-JT6 csuklók szögelfordulásai is az idő függvényében, melyek a 7. ábrán figyelhetők meg.



7. ábra. Csuklók szögelfordulásai

Az éles törések a szakaszonként definiált állandó sebességnek tulajdoníthatók, melyek szükség esetén ún. trajektória tervezéssel simíthatók [2].

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A megfogó szerkezet gerjesztett rezgésének modellezésével a rendszert sikerült úgy hangolni, hogy a rezgés amplitúdója és ezáltal a robotra ható erő, illetve nyomaték megfelelő határértéknél kisebb legyen. A rugó merevségét, azaz a rugószál átmérőjét a rezgőrendszer modelljével határoztuk meg.

A Kawasaki ZX165U robot paralelogramma mechanizmusa egy virtuális taggal került helyettesítésre, így a Denavit-Hartenberg paraméteres leírás egyszerűen alkalmazhatóvá vált. Elkészült egy célprogram, mely képes a robot programozott pályájának szimulálására és a csuklószőgek időfüggvényeinek meghatározására az adott perffestési folyamatnál.

*Köszönetnyilvánítás:* A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

#### 5. IRODALOM

- [1] Arthur A. Tracton: Coating Technology Handbook. CRC Press Taylor and Francis Group. Boca Raton, FL, 2005.
- [2] Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasager: Robot Modeling and Control. John Wiley & Sons, Inc. USA, 2006.
- [3] Király B.: Ipari robotok kinematikai és dinamikai elmezése. Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc, 1995.
- [4] Király B.: Dinamika (Kinematika, Kinetika, Rezgésstan). Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc, 2006.
- [5] Égert J., Jezsó K.: Mechanika/Rezgésstan. Széchenyi István Egyetem. Győr, 2006.

# NÖVELT ENERGIAELNYELŐ KÉPESSÉGŰ KOMPOZITOK FEJLESZTÉSE GÉPÉSZETI ALKALMAZÁSOKHOZ

## DEVELOPMENT OF INCREASED ENERGY ABSORBING COMPOSITES FOR MECHANICAL ENGINEERING APPLICATIONS

*Turcsán Tamás, MSc Gépészmérnök hallgató  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék*

### ABSTRACT

The aim of this study was the composition and investigation of high performance polymer composite with increased energy absorbing, and toughening properties. These composites consist of carbon fiber reinforcing, and mixed resins as matrix. Through the special structured matrix the composite have opportunity for better fatigue and damping properties. Due to excellent energy absorbing and good mechanical properties there can be designed safer mechanical structures and machines, for example in aircraft and automotive industry.

### 1. BEVEZETÉS

A XXI. században a technológiai fejlődés a felhasznált szerkezeti anyagok teljesítőképessége által kijelölt út mentén zajlik. A tervezők eszköztárát szélesítik a napjainkban is gyors ütemben fejlődő kompozit anyagok, amelyek alkalmazásával az egyes gépészeti szerkezetek nagyobb hatékonysággal és élettartammal üzemelhetnek. Kiemelkedően fontos szerep hárul a polimer anyagokra, amelyeket fémekkel vagy kerámiákkal társítva nagy teljesítményű kompozit struktúrák állíthatók elő. Ezeket az anyagokat kiváló mechanikai tulajdonságaiakon túl viszonylag kis sűrűség jellemez, így használatuk révén csökkenhet az adott szerkezet önsúlya. A tömegcsökkenés belátható energetikai következményekkel jár a közlekedés szinte mindegyik ágazatánál, amire manapság számos példát találunk [1].

Az autó-, és repülőgép iparban közkedvelt - általában hőre nem lágyuló alapanyagú - polimer kompozit anyagok kimagaslóan jó tömeg-teljesítmény aránnyal, és tervezetten irányfüggővé tehető mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Mindezek mellett a hőre lágyuló polimerekhez és számos képlékenyen alakítható fémhez mérten kisebb szívósság jellemezi őket. Jelenleg a nagyteljesítményű

polimer kompozitok terén a szívósság fokozása, és a növelt energiaelnyelő képesség elérése a kutatók egyik legnagyobb feladata [2].

### 2. AZ ENERGIAELNYELŐ KÉPESSÉG FOKOZÁSA KOMPOZITOK ESETÉN

A polimer kompozitok alapvetően olyan kétfázisú rendszerek, amelyekben az egyik fázis az erősítő anyag, amely felelős a mechanikai terhelések fől vételéért, a másik alkotó pedig a befoglaló anyag vagy más néven mátrix. Ez utóbbi feladata a megfelelő terheléeloszlás megvalósítása és az erősítőanyag (pl.: szálak vagy részecskék) külső behatásoktól való megóvása. A két fázis között kiváló adhéziós kapcsolat van, amelynek jóvoltából az anyag nagy terheléseket képes elviselni tönkremenetel bekövetkezése nélkül [3].

Az elkészült kompozit szerkezet szívósságát nagy mértékben annak befoglaló anyaga adja meg, így a fejlesztés ésszerű irányzata egy növelt energiaelnyelő képességekkel rendelkező mátrixanyag létrehozása, a hőre nem lágyuló anyagokhoz mérten jó mechanikai tulajdonságok megtartása mellett. Erre a célra kifejezetten alkalmas lehet a mátrix mikro-, illetve nano méretű strukturáltságának létrehozása, illetve módosítása [1, 3].

Ilyen szerkezeti formát lehet elérni különböző anyagminőségű gyanták elegyítésével. Az egyes keverékgyanták előállításánál azonban lényeges, hogy a térhálósság megfelelő mértékű legyen. Kedvező esetben az alkotók keveréke külön-külön folytonos térhálós szerkezeti formát vesz fel, amelyben az egyes polimer láncok rengeteg helyen (de egyik esetben sem elsőrendű kötéssel) kapcsolódnak egymáshoz, illetve kompozit mátrixként használva az erősítőanyaghoz is. Mindezek fennállása esetén rendkívül nagy szívósságú és hirtelen behatásokkal szemben ellenálló kompozit anyagot vagyunk képesek létrehozni [4, 5].

### 3 A FELHASZNÁLT ANYAGOK, BERENDEZÉSEK ÉS MÓDSZEREK

Kutatásom során a hőre nem lágyuló gyantákból képzett gyantakeverékek előállításához használt epoxi (EP) komponens az Ipx Chemicals Kft. által előállított ER 1010-es típusú biszfenol-A-diglicidil-éter alapú módosított epoxigyanta volt, az epoxi gyantához szintén az Ipx Chemicals Kft. által gyártott EH 2293-as típusú izoforon-diamin térhálósítót alkalmaztam.

A keverék másik alkotóelemeként az Ashland Composite Polymers Inc. által gyártott AME 6000 T35-ös módosított epoxivinilészter (VE) használtam, amely előgyorsított gyanta volt, tehát csak katalizátor hozzáadását igényelte. Ez esetben a Peroxid Chemie GmbH. által gyártott MEKP-LA-3 típusú, Diizobutil-ftalátban oldott metil-etilketon-peroxid volt.

Az anyagok megfelelő elegyítését száraz keverővel végeztem 400 [1/min] fordulatszámon. A gyantakeverékek előállítása során figyelembe vettem korábbi, hasonló témájú kutatások eredményeit is [5, 6].

A kompozitok előállítása kézi laminálással történt, erősítőszálként a Zoltek Zrt. által gyártott Panex 35 FB UD 300 típusú unidirekcionális szénszövetet használtam fel. Az impregnálás végeztével 0,5 MPa nyomással préseltem a kompozitokat a térhálósodási folyamat befejeződéséig, ezzel egységesítve a lapok minőségét.

Az egyes mintákat a laminálást és préselést követően huszonnégy óra elteltével utóterhálósítás céljából hőkezelésnek vettem alá, amelyet Heraeus UT20 típusú laboratóriumi levegő-cirkulációs szárítószekrényben hajtottam végre 80°C hőmérsékleten, négy óra időtartammal.

Az elkészített kompozit anyagok pontos erősítőszál tartalmának megállapítása végett kiégetéses vizsgálatot végeztem, Nabertherm típusú laborkemence segítségével, 500°C hőmérsékleten, hatvan perc hőntartási idővel, ez alatt mátrix termikus bomlást szenvedett.

A differenciális pásztázó kalorimetria vizsgálatokat TA Instruments DSC Q2000 típusú berendezés segítségével végeztem, az MSZ EN ISO 11357-5:2001 szabványnak megfelelően. A méréseket 30-200°C tartományban 10°C/perc fűtési sebességgel hajtottam végre.

A létrehozott kompozit próbatesteken a hárompontos hajlítóvizsgálatot Zwick Z020

típusú univerzális terhelőgépen hajtottam végre MSZ EN ISO 14125:1999 szabvány szerint. Az egyes anyagokból 5-5 próbatestet vizsgáltam, 2 mm/perc terhelési sebességgel.

A statikus húzóvizsgálatokat Zwick Z050 típusú univerzális terhelőgépen végeztem MSZ EN ISO 527-5:1999 szabvány szerint, anyagonként 5-5 próbatestet vizsgálva, 2 mm/perc útgerjesztés mellett.

Az ütvehajlító vizsgálatokat az MSZ EN ISO 179-2:2000 szabvány alapján végeztem CEAST Resil Impact Junior ütőművön, szobahőmérsékleten. Az alkalmazott üténergia 2 J volt, a kiértékelés során DAS 8000 adatfeldolgozó egységet alkalmaztam.

### 4. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

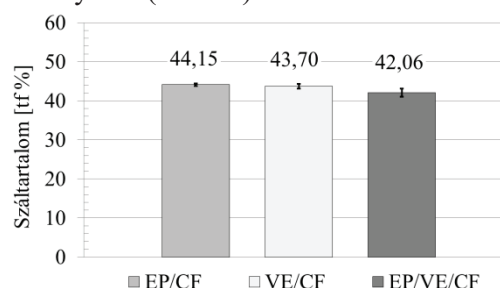
Ebben a fejezetben ismertetem saját kutatásom során elért eredményeket logikai sorrendben az egyes vizsgálati típusok által szolgáltatott információkkal.

Első lépésként az előállított epoxi (EP/CF), vinilészter- (VE/CF), és a keverékgyanta mátrixú (EP/VE/CF) kompozit anyagokon szerkezeti vizsgálatokat hajtottam végre, ezután statikus és dinamikus mechanikai próbákat végeztem rajtuk.

#### 4.1. Száltartalom meghatározása

Az egyes kompozit mechanikai tulajdonságainak értékelésekor nagy hangsúlyt kell fektetni azok erősítőszál tartalmára, hiszen az alapvetően befolyásolja a mechanikai teljesítőképességet.

A kiégetéses vizsgálatok során meghatároztam a visszamaradó szénszálak tömegét, majd ebből a szál és a mátrix sűrűségének ismeretében meg tudtam adni a volumetrikus szálhányadot (1. ábra).



1. ábra. A szénszál erősítésű kompozit anyagok volumetrikus száltartalma

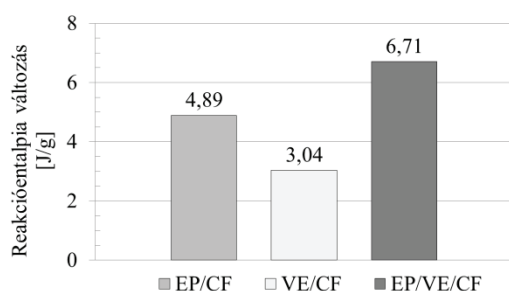
A mérés során kapott értékekből látszik, hogy csekély szórás mellett nincs jelentős száltartalombeli különbség az egyes kompozitok közt, így mechanikai tulajdonságaik a külön-

böző mátrix anyagok, illetve az adhíziós kapcsolatok erősségét fogják feltárni.

#### 4.2. Differenciális pásztázó kalorimetria

A kompozit anyagok térhálóságának milyensége kísérleti úton az utótérhálósítás segítségével ellenőrizhető, a folyamat mutatószáma a hőközlés során bekövetkező reakcióentalpia ( $\Delta H_R$ ) változás.

A vizsgált kompozitok esetében a  $\Delta H_R$  (2. ábra) annál nagyobb, minél több energia szabadul fel az újonnan képződő keresztkötések miatt, azaz minél kisebb volt az adott minta térhálósági foka a vizsgálatot megelőzően.

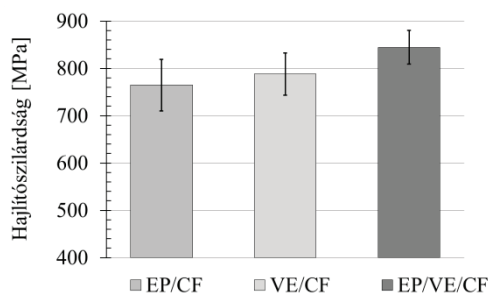


2. ábra. A vizsgált minták által produkált reakcióentalpia változás az utótérhálósítás során

A mért adatok ismeretében elmondhatom, hogy a legcsekélyebb térhálósági fokkal a keverékgyantából képzett kompozit rendelkezik, ami elősegítheti az energia hatékonyabb elnyelését a mechanikai vizsgálatok során.

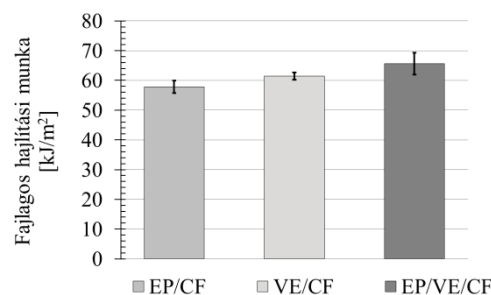
#### 4.3. Hárompontos hajlító vizsgálatok

A keverékgyantából képzett kompozit anyag hajlítóvizsgálatok során produkált eredményeit hasonlítottam az elegy összetevőiből képzett kompozit anyagokkal. A kapott eredmények (4. ábra) azt mutatták, hogy a keverékgyantából képzett kompozitok rendelkeznek a vizsgált anyagok közül a legnagyobb hajlítószilárdsággal.



3. ábra. A szénsszál erősítésű kompozit anyagok hajlítószilárdság értékei

A kompozit próbatestek tönkremeneteléhez hajlítás során szükséges fajlagos munkát is meghatároztam (4. ábra). Az eredmények arra utalnak, hogy a legnagyobb energia befektetést a keverékgyantából képzett kompozitok tönkremenetele igényelte.

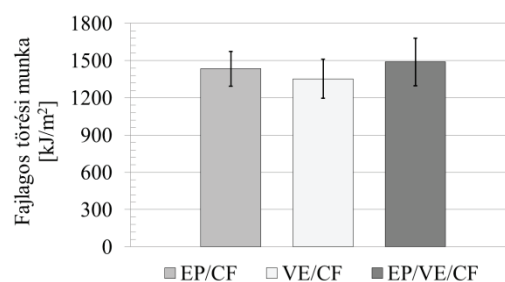


4. ábra. A szénsszál erősítésű kompozit anyagok fajlagos hajlítási munka értékei

A hajlítóvizsgálat eredményei rámutatnak, hogy a növelt energiaelnyelő képesség már a statikus terhelés során is megjelenik. Ez abban merül ki, hogy a kompozitok leggyakoribb tönkremeneteli formája az egyes rétegek elválása ez esetben a gátolva van a sokhelyütt egymásba kapcsolódó struktúrával rendelkező polimer láncok által.

#### 4.4. Húzóvizsgálatok

A szénsszál kompozit anyagok húzó igénybevétele során a szál-mátrix kapcsoltságának minőségét tudjuk megvizsgálni. Kutatásom során elsősorban nem a szál-mátrix kapcsolat az érdekes, hanem a tönkremenetel során az anyag által felvett energia nagysága (5. ábra). A mért értékekből jól látható, hogy a legnagyobb fajlagos törési munkával a keverékgyantából készített kompozitok rendelkeztek.



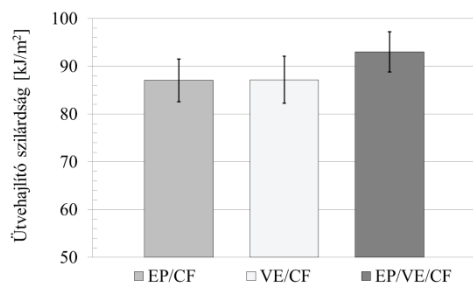
5. ábra. A kompozit anyagokon húzóvizsgálataik során mérhető fajlagos törési munka értékei

#### 4.5. Ütvehajlító vizsgálatok

A kompozitok szívósságát jól jellemzi a pillanatszerűen, hirtelen bekövetkező terhelésekre adott reakció. Kiemelten fontos, ez esetben a

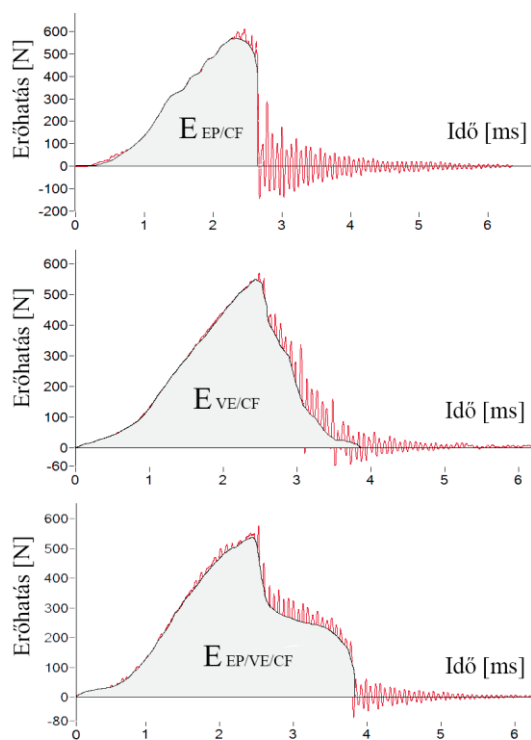


tönkremenetel során elnyelt energia mennyisége. Az elvégzett Charpy-féle ütvehajlító vizsgálatok (6. ábra) során a keverékgyantából képzett kompozitok nagyobb energiaelnyelő képessége nagyobb ütvehajlító szilárdság értékekben mutatkozott meg.



6. ábra. A szénsszál erősítésű kompozit anyagokon elvégzett Charpy-féle ütvehajlító vizsgálatok során mért szilárdsági értékek

Az ütvehajlító vizsgálatok során kiadódó görbealakok (7. ábra) elemzése fontos tanulságokkal szolgálhat az anyagok viselkedésével kapcsolatban



7. ábra. A kompozit anyagok Charpy-féle ütvehajlító vizsgálata során tapasztalt tipikus görbealakok az elnyelt energia szemléltetésével

A bemutatott anyagokra jellemző görbealakokon megfigyelhető, hogy az epoxi mátrixú kompozit teljes mértékben ridegtörést szen-

vedett, míg a keverékgyantából készült anyag a tönkremenetel során nagy energiát elnyelve szívós törést produkált, a vinilészter mátrixú kompozit a kettő közt helyezkedett el.

## 5. ÖSSZEGZÉS

A kutatási munkám összefoglalásaként elmondható, hogy egy jelentős mértékben növelt szívóssággal és energiaelnyelő képességgel rendelkező kompozit anyagot sikerült létrehozni. Ami a továbbiakban alkalmas lehet az egyes gépészeti szerkezetek ridegebb kompozit anyagainak kiváltására, ezáltal azok biztonságosabbá tételére.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni konzulensemnek Dr. Mészáros Lászlónak munkám során nyújtott emberi és szakmai segítséget.

A kutatás eszközbeszerzése az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA PD105564) által biztosított forrásból valósult meg. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" TÁMOP -4.2.2.B-10/1-2010-0009 programhoz.

## 7. IRODALOM

- [1] Friedrich K., Fakirov S., Zhang Z.: Polimer Composites From Nano- to Macro-Scale, Springer-Verlag, New York, 2005.
- [2] K. L. Forsdyke, T. F. Starr: Thermoset resins- Market Report, Rapra, Shawbury, 2002.
- [3] E. Trewin: The advanced composites industry – Global markets, technology trends and applications 2002-2007. Materials technology publications, Watford, UK, 2003.
- [4] L. H. Sperling: Interpenetrating polymer networks: An overview. in 'Interpenetrating polymer networks' (eds.: D. Klemperer, L. H. Sperling, L. A. Utracki) American Chemical Society, New York, 239, 3-38 1994.
- [5] J. Karger-Kocsis, O. Gryshchuk, S. Schmitt: Vinylester/epoxy-based thermosets of interpenetrating network structure: An atomic force microscopic study, Journal of Material Science **38** 413-420 2003.
- [6] J. Karger-Kocsis, O. Gryshchuk, N. Jost: Toughness response of vinylester/epoxy- based thermosets of interpenetrating network structure as a function of the epoxy resin formulation: effects of the cyclohexylene linkage, Applied Polymer Science **88** 21-24 2003.

# FAELGÁZOSÍTÁSON ALAPULÓ KOGENERÁCIÓS RENDSZER FEJLESZTÉSE

## DEVELOPMENT BASED ON WOOD GASIFICATION CHP SYSTEM

*Prof. Dr. Varga Mihály egyetemi tanár, Csitári Csaba Phd. hallgató  
Nyugat-magyarországi Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar,  
Gépészeti és Mechatronikai Intézet  
e-mail: cscsaba@fmk.nyme.hu*

*"Jelen kutatás/tanulmány a Környezettudatos energia hatékony épület című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg."*

### ABSTRACT

During the development process we aimed to create a wood-based gasification CHP system measurements made the first prototypes have been the ideal starting funds for further development. Later, we designed the other associated equipment. We have developed a unique gas - cooling system and a Stirling - engine. Our aim was to investigate the efficiency of the CHP. The final destination of research commissioning of a system can be controlled and measured.

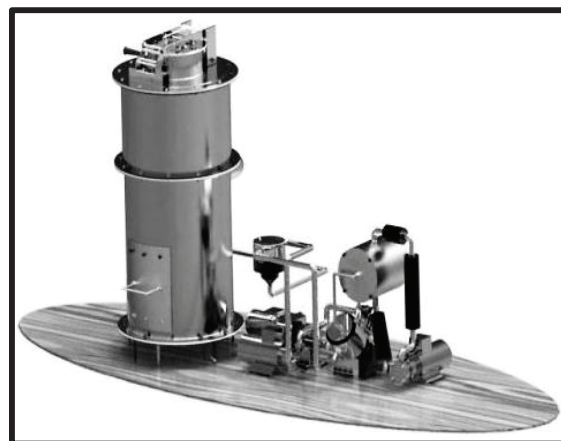
### 1. BEVEZETÉS

A kutatási és a tervezési folyamat során az volt a cél, hogy egy olyan kogenerációs rendszert fejlesszünk ki, amelynek az elsődleges energia forrása a faiparban keletkező fa és faalapú hulladékok/melléktermékek. Az említett ipari területen kiemelkedően magas az alapanyagból származó melléktermék (pl.: por-forgács, eselékek) aránya. Ez a hulladék az alapanyag több mint 50% - át is kiteheti. Ezen melléktermékek hulladékként való kezelése roppant pazarló, ezért az üzemek többsége hőenergiát állít elő különböző technológia hőigények fedezésére. A hőmennyiséget különböző típusú kazánokban termelik meg, azáltal hogy elégetik ezt a nagy energiatartalmú anyagot. Sajnos a mai kazántechnológiák bár fejlettnak mondhatók, még mindig viszonylag nagy veszteséggel üzemeltethetők. Továbbá bizonyos faipari üzemekben nem alkalmaznak olyan hőigényes faipari technológiákat, amelyek megkövetelnék a melléktermék ilyen célú felhasználását. Ilyen esetekben többnyire a cégek a melléktermékük egy részéből az üzem és a kapcsolódó épületek fűtését oldják meg, a többi mellékterméket pedig áron alul értékesítik, ami a mai piaci helyzetben pazarlásnak tűnik.

A fenti megállapításból adódik, hogy az év jelentős részében csak „termelődik” a melléktermék, és nem kerül - energetikailag racionális - felhasználásra. Erre jelenthet megoldást, az általunk tervezett faelgázosításon alapuló, kogenerációs rendszer. Fejlesztésünk lehetővé teszi, hogy folyamatos „melléktermék ellátás” esetén villamos- és hőenergiát is termelhessünk.

### 2. FAELGÁZOSÍTÓ RENDSZER ELEMINEK TERVEZÉSE

A kogenerációs rendszerek számos kialakításban léteznek, amelyek közös pontja a primerenergia hordozót átalakító egység. Ez a biomassza alapú rendszereknél minden esetben valamilyen speciális kazántípus. Ehhez kapcsolódhatnak a különböző energiatermelő és elosztó egységek (hőcserélők, gázmotorok, Stirling - motorok, stb.). Fejlett rendszereknél további energia visszanyerő egységeket is találunk. Ilyenek például a gázmotor hűtő, illetve a Stirling - motor regenerátora.



1. ábra. A kogenerációs rendszerünk  
látványterve (Forrás: Sári, 2013)

## 2.1. Kutatási előzmények

A tervezés kezdeti lépéseit segítette, hogy az Intézetünkben a 80-as évek végén már készítették egy működő fagázgenerátort Prof. Dr. Sitkei György vezetésével. A tervek digitalizálása után megkezdjük az eszköz újratervezést. Sajnos a részletes számítások hiányoztak, így a meglévő adatokból és a tervezők visszaemlékezéseiből következtettünk a fagázgenerátor paramétereit befolyásoló tényezőkre. A korabeli berendezés egy MTZ-80-as mezőgazdasági traktort működtetett. A tervezés során az üzemanyag fogyasztásából kellett kiindulni. A típusban alkalmazott motor 57 kW teljesítmény leadására volt képes. Általános felhasználás során átlagosan a fajlagos fogyasztás 10 l/óra volt. A d-240-es motor dízel üzemű, így a fenti fogyasztás figyelembe vételével megállapítható a szükséges energiamennyiség a jármű mozgatásához egy óra hosszan keresztül, amely számításaink szerint 360 MJ. A fagáz energiatartalma megközelítőleg 1/3-1/4 a gázolajénak. Ennek oka, hogy a fagáz egy gázkeverék, amelynek az összetétele nagyban függ a választott faanyagtól, annak nedvességtartalmától és a frakciómérettől. Fontos befolyásoló tényező a reaktor típusa. Az általunk tervezett fagázgenerátor erdei fenyő alapanyaggal működik, amelynél a keletkezett fagáz összetétele az alábbi:

1. táblázat. A fagáz V/V%-os összetétele

| Fagáz (V/V%) összetétele      |      |
|-------------------------------|------|
| Nitrogén (N <sub>2</sub> )    | 48,9 |
| Oxigén (O <sub>2</sub> )      | 0,6  |
| Széndioxid (CO <sub>2</sub> ) | 5,5  |
| Szénmonoxid (CO)              | 27,0 |
| Hidrogén (H)                  | 14,0 |
| Metán (CH <sub>4</sub> )      | 3,0  |
| Kátrány és egyéb anyagok      | 1,0  |

Mivel a motor üzemanyag szabályozását nem módosították, ezért a motor teljesítmény körülbelül a harmadára esett vissza. Így a 19 kW teljesítményszükséglet eléréséhez megközelítőleg 47,7 kg fára volt szükség óránként. Ez volt a tervezés első lépése, hogy meghatározzák az apríték tároló és a lepárlási zóna méreteit. A tüzelőanyag faapríték, aminek a térfogati lazulási tényezője kettő. Így a szükséges térfogat 0,146 m<sup>3</sup>.

Ekkora apríték tárolóval rendelkező reaktort nem lehetett volna elhelyezni a traktoron, így az üzemórát elfelezve csökkentették a reaktor méretét. Akkori kísérletek során arra jutottak a tervezők, hogy az ideális gázképződéshez 12 m/s-os áramlási

sebességre van szükség a reaktortérben. Ezt akkor ventilátorral érték el azáltal, hogy szívott rendszert hoztak létre. Ennél a gázsebességnél már nem fagy be a reakció és önfenntartóvá válik a gázosodási folyamat, tehát a pirolízis nem igényel hőbevezetést. Ahhoz, hogy a gázsebesség megfelelő legyen, Venturi – csövet kellett elhelyezni a redukciós zóna alatt. Ez a kialakítás garantálja, hogy a gáz átáramlik megfelelő sebességgel az izzó szénágyon (redukálási zónán). Az ilyen típusú kialakítást nevezzük „dupla garatú, alsó kiáramlású” vagy más néven Imbert - gázreaktornak.

A reaktor egyik kulcsfontosságú része az égéstér. Ezt angolszász irodalmak alapján határozták meg a motor teljesítményének a függvényében. A gázreaktor hatékonyságát jelentősen befolyásolja az égéstérben található rostély. Ennek a feladata, hogy az égés során létrejövő izzó szénágy ne essen szét idő előtt, de ne is tudjon betömörödni, hiszen ebben az esetben a nyersgáz nem tud átdiffundálni a szénágyon, ezáltal magas marad a kátránytartalma. Továbbá nem következik be a leáramlás jelensége, ami a reaktor felső részében a gázfeldúsulás miatt robbanást idézhet elő. Az égéstér szerves része a levegő ellátó berendezés, ami biztosítja az egyenletes levegő ellátását a rendszernek. A levegő pontos szabályozásával lehet beállítani az elgázosodás sebességét. Ezért már az első eszközön is volt lehetőség a manuális szabályozásra [1].

## 2.2. Fagázgenerátor fejlesztése

A korábbi eszköz tanulmányozásából és a visszaemlékezésekből az alábbi tapasztalatokat vontuk le az új reaktor tervezéséhez:

- A konstrukció elvi felépítése megmaradhat, tehát egy dupla garatú, alsó kiáramlású fagázgenerátort kívánunk kialakítani.
- Elvetettük a járműipari alkalmazást és egy stabil fagázgenerátor tervezését tűztük ki célul. A rendszert úgy alakítottuk ki, hogy egy Stirling - motor kerül beépítésre.
- A szívott rendszer helyett, egy nyomott rendszer kerül kialakításra, ami a korábbi manuális szelep elé lett beépítve. A levegő betáplálást egy szabályozható ventilátor végzi.
- A fix rostély helyett egy mozgatható rostély-bolygató szerkezet került kialakításra, amelynek a feladata az osztott redukciós zóna kialakítása (2. ábra).

Az új fejlesztésű gázreaktornak első lépésben meg kellett határozni a teljesítmény szükségletét. Mivel egy külső égésű hőerőgéphez kellett kapcsolni a rendszert, ezért először a Stirling – motornak kellett kiszámolni a

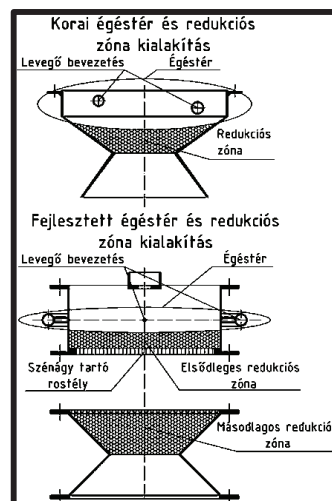
teljesítményét (lásd 3. fejezet) és a hatásfokát, amely 0,91 kW lett a számítások alapján. A motor hatásfoka a Carnot - körfolyamat szerint került meghatározásra, amely szerint  $\eta_m = 0,43$ .

Ennek ismeretében számoltuk ki a szükséges teljesítményt, ami 2,1 kW lett. Ez csak a motor működtetéséhez szükséges teljesítmény. További veszteségek lépnek a gázhűtőkben és a kapcsolódó csővezetékekben. A fent említett berendezések kivétel nélkül szigetelt kivitelben készülnek, de az előzetes számítások alapján az ún. gázéllőkészítő egység hatásfoka 70% körül alakul. A veszteségek egy része a rendszer szigeteletlen pontjain jelenik meg (szelepek, szerelvények, stb.) egy másik, jelentős része pedig az áramlási veszteségekből adódik össze. Az így módosított teljesítmény szükséglet 3,0 kW. Ahhoz, hogy az alulméretezést elkerüljük, további veszteségeket is figyelembe kell venni, amelyek az apríték fizikai tulajdonságaiból adódnak (nedvességtartalom, frakció méretszóródása). A fentiek figyelembe vételével a teljesítmény szükséglet 4,5 kW-ra módosult. A berendezést úgy terveztük meg, hogy két óra folyamatos üzemnyi aprítékkal rendelkezzen. A stabil termodinamikai és áramlási folyamatokról a reaktor indításától kb. 30 perc múlva beszélhetünk. Ekkorra már beállítottuk a levegőmennyiségeket és a gázsebességeket a reaktorban. Továbbá az apríték fogyásával is változik a folyamat minősége, így az utolsó 30 percnyi működést sem szabad figyelembe venni.

A gyakorlati tapasztalatok alapján 1 kWh energia előállításához 2,5 kg fát kell elgázosítani. Ez a mi esetünkben 11,25 kg aprítékot jelent óránként. Ha figyelembe vesszük az apríték lazulási tényezőjét és az üzemidőt, akkor megkapjuk a száradási- és a lepárlási zóna térfogati méreteit, ami  $0,0693\text{m}^3$ .

Ennek a geometriai kialakítását 2. ábrán láthatjuk. A szerkezetben az égési és gázosodási zónát nagymértékben átterveztük és levegőadagoló csőrendszert is újragondoltuk. Az első prototípuson négy ugyanakkora levegő-bevezető csatlakozott a reaktortérhez. Ez a manuális levegőadagoláshoz megfelelő volt, de a nyomott rendszernél már működési problémák léptek fel. Így először a tüztér köré egy főlevegő csövet építettünk, amiből négy kisebb átmérőjű fűvókát vezetünk be az égéstérbe szimmetrikusan. Ezzel a levegő folyamatosan gyorsulva és egyenletesen jut be. Azért volt erre szükség, hogy a gázosodási térben ne alakuljanak ki hidegebb területek. Ezek hőelvonási folyamatokat indítanak be, amelyek a reakció befagyásához vezetnek. Mivel ez a reaktor nem szívott rendszerű, hanem nyomott, így a gáztisztaság növekedése érdekében

kialakítottunk a reaktortérben két redukálási zónát, amelyek csupán az izzó szénágy frakciójában különböznek. A tüztérhez közelebb esőben nagyobb méretű széndarabok vannak, a szűkülő garatrészen pedig valamivel finomabb és alacsonyabb hőmérsékletű részek találhatók.



2. ábra. A fejlesztett redukciós zóna kialakítása  
(Forrás: A szerző)

### 2.3. Komplex gázhűtő és gáztisztító berendezés tervezése

A fagázgenerátor fejlesztése után új problémák merültek fel a fagázzal kapcsolatban. A fagáz hőmérséklete megközelítőleg  $700^\circ\text{C}$ . Emiatt a gáz energiasűrűsége csekély, így rossz hatásfokkal használható külső vagy belső égésű motorok meghajtására. A szintézisgáz finom porfrakciót és jelentősebb mennyiségű kátrányfrakciót tartalmaz. A korábbi eszköznel is problémákat okozott a magas kátránytartalom. Akkor a traktor rendszeres meghibásodásához vezetett, hiszen a kátrány kicsapódott a hengerek falán. Ez akkoriban nem lett orvosolva, de egy stabil kogenerációs erőműnél elfogadhatatlan a 30 órás karbantartás. Ezért úgy döntöttünk, hogy tervezzünk egy komplex hűtő – tisztító egységet. A tisztítás és hűtés három fázisban valósul meg. A gáztisztítási eljárások fontos paramétere a gáztérfogat, ezért volt szükség a  $700^\circ\text{C}$  – os szintézis gáz térfogati meghatározására, amely az egyesített gáztörvény alapján  $V_2 = 85,92\text{m}^3$ . [2.]

A gázéllőkészítés első fázisában a szintézis gázt egy vízhűtéses csőköteges hőcserélőn vezetjük át. A célunk, hogy a kombinált gázmosóba maximum  $100^\circ\text{C}$  – os gáz érkezzon (robbanásveszély). Viszont kerülni kell a túlhűtést a gáznak, mert akkor a kátrány a csőköteges hőcserélőben kondenzálódik le, ami később a hőcserélő eltömődését okozhatja. Azért esett a fenti típusú hőcserélőre a választás, mert ezt könnyen kivitelezhettük a műhelyben, továbbá nem érzékeny a lerakódásokra.



Egyszerűen karbantartható, ami egy prototípus eszköznél fontos tulajdonság. A feladatunk tehát egy ellenőrzési feladat volt, miszerint a kilépő gáz hőmérséklete ne haladja meg a 100°C – ot. Másodlagos szempont, hogy a hűtővíz hőmérséklete ne érje el a 100 °C – ot. A számítási feladatot a fagáz adiabatikus kitevőjének meghatározásával kezdtük. Ebben az esetben idealizáljuk a gázunkat és állandó térfogatúnak és nyomásúnak tételezzük fel. A részletes számítási folyamattól eltekintve a hőkapacitás és a hőcserélőből kilépő közegek hőmérséklete az alábbi módon alakul:

A hőcserélő maximális (elméleti) hőkapacitása  $Q_{\max}=79847,65W$ . [2.]

Az NTU (átviteli hányados) ismeretében a hőcserélőre vonatkozó hatásfok értékét ( $\Phi$ ) leolvashatjuk:

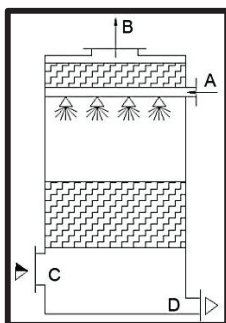
$$\Phi = 0,92$$

A hőcserélő hőmértéke:

$$Q = \Phi \cdot Q_{\max} = 73459,844 W \quad (1)$$

A hőmérték ismert összefüggését felhasználva, abból kifejezve a két közeg kilépő hőmérséklete  $t_{gáz,ki} = 68,73 \text{ °C}$  ill.  $t_{víz,ki} = 84,29 \text{ °C}$ .

A csőköteges hőcserélőnk megfelel az előírt műszaki paraméterek előállítására. A gázmosóba belépő gáz hőmérséklete 68,73 °C. Ez a gáz fog bekerülni a kombinált gázmosó egységbe. A kombinált gázmosó egység két különböző típusú gázmosó technológiát egyesít. Az egyik az örvénymosó a másik pedig a tölteléktestes gázmosó. Az örvénymosóban a poros gázt nagy sebességgel folyadék felszínnek ütköztetik, miközben egy elő leválasztódás játszódik le. Kedvező hidrodinamikai körülmények között a folyadékrétegben csatorna alakul ki, amelyben igen intenzív a keveredés. Ebben az örvénytérben nedvesedik és válik le a porszemcsék döntő hányada. Egy jól kialakított örvénymosó 93% - os hatásfokkal válassza le a 0,5-1µm szemcséket. Ez számunkra kielégítő hatásfok.



3. ábra. Tölteléktestes gázmosó (Forrás: A szerző)

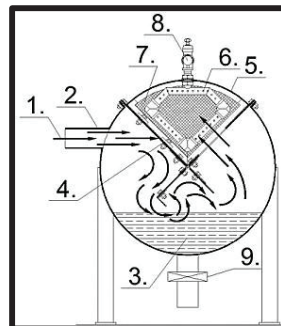
A töltött (vagy tölteléktestes) gázmosó tornyokban (3. ábra) tölteléktesten, kicsiny, alakos, többnyire kerámiatesteből halmozott rétegen (rétegeken) keresztülvitetjük a gázt (C). A töltelék a mi esetünkben Raschig-gyűrű. A testeket felülről „locsolják” (A); itt a porlasztás nem, de az egyenletes folyadékelosztás követelmény. A jól kiválasztott elemekből épített töltelékréteg nagy érintkezési felületet biztosít a folyadékfilm és a gáz között, a tartózkodási időt (úthossz) jelentősen növeli. Az így kialakított, ömlesztett pórusos réteg vastagsága 60-150 mm.

Elvárások az alkalmazandó technológiáktól:

Az örvénymosó feladat a szilárd frakció eltávolítása és az előkátárantalanítás, miközben csökken a gáz hőmérséklet.

A tölteléktestes gázmosó feladata az egyedi folyadékporlasztó berendezésnek, az alacsony folyadékhőmérsékletnek (10-14°C) és a Raschig – gyűrűknek köszönhetően a kátárantartalom legalább 50% -os leválasztása.

Ha feltételezzük, hogy a kátárantartalom vízben oldódó komponenseit 50% - ban le tudjuk választani, és a vízben nem oldódó komponensek teljes mértékben áthaladnak a rendszeren, akkor a komponens mérleg egyenletekből a mosóvíz mennyiségére kapunk értéket, amely megközelítőleg 16 l/Nm<sup>3</sup>. Ennyi vízre van szükségünk ahhoz, hogy egy átlagos, 50 g/Nm<sup>3</sup> kátárantartalmú gázt az elfogadható 32,9 g/Nm<sup>3</sup> kátárantalomra csökkentsük [3]. A fenti érték alatt nem lép fel műszaki probléma a gázégőben. Ez egy gyakorlatilag elérhető érték, amibe nem kalkuláltuk bele azt a megállapítást, miszerint a kátárantartalom a hidegebb közegbe érkezve azonnal vagy nagyon rövid idő alatt kicsapódik. Itt azoknak a komponenseknek a kiválasztását várjuk, amelyek vízben nem oldódnak, viszont természetes állapotukban szilárd vagy folyadék fázisban vannak.



4. ábra. Kombinált gázmosó egység működési elve (Forrás: A szerző)

A 4. ábrán 1-es számmal jelölt előhűtött szintézisgáz belép az örvényáramú mosó hengeres házába. Itt a 4-es számú terelő

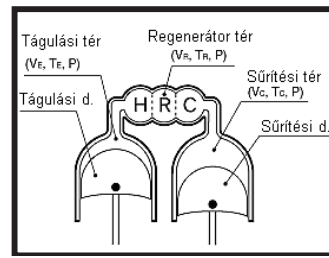
lemezeknek ütközik a gáz, ami a lemezek alakjának köszönhetően a 3-as számú folyadék felszínére vezeti a gázt. A gáz diffundál a vízbe és megtörténik a porfrakció leválasztása. Ezután a gáz átjut a tank másik felébe, ahol a terelőlemezen egy négyszögletes nyílás van kialakítva, azzal a céllal, hogy a gázt átvezesse az atmoszferikus mosótérbe (5-ös számú). Miután a gáz belép a mosótérbe, áthalad a 7-es számmal jelölt tölteléktest tárolón. Ez Raschig – gyűrűkkel van feltöltve. Mögötte 50 mm távolságban található a 6- jelölt vízporlasztó egység. Feladata a töltelék ágy tisztítása és az átjutó gáz kátránytalanítása. A fenti egységekből összesen 3 db van az atmoszferikus részben, egymástól különböző távolságban. Minden mosóegység külön használható, attól függően, hogy milyen a gáz minősége. A kombinált gázmosóba belépő gáz hőmérséklete a számítások alapján  $68,73^{\circ}\text{C}$ . A hidegvízzel való találkozásakor előre láthatóan hőátadási folyamat fog lezajlani. Ez fontos, hiszen tovább nő a gáz fajlagos energiasűrűsége és eközben csökken a térfogata. Ez a hő a berendezés szerkezeti anyagait és a mosóvizet fogja melegíteni. A kogenerációs rendszer energetikai – hatékonysági mérésénél mindenképpen hőcserélővel és szigeteléssel kell ellátni a kombinált mosótankot és a zagyatároló tartályt [2].

### 3. STIRLING – MOTOROS, VILLAMOS ENERGIATERMELŐ EGYSÉG FEJLESZTÉSE

A tervezés első lépéseként felkutattuk az ide kapcsolódó elméleti számításokat. Ezek közül A Schmidt- féle Stirling – motor méretezés ítéltük megfelelőnek. Olyan konstrukciót kerestünk, amelyet egyszerű műhely körülmények között le lehet gyártani. A választás egy alfa típusú Stirling – motora esett. Első lépésben egy donor eszközt kerestünk. Választásunk egy V- dugattyús kompresszorra esett, hiszen a legtöbb alfa – típusú motor is hasonló elrendezést mutat.

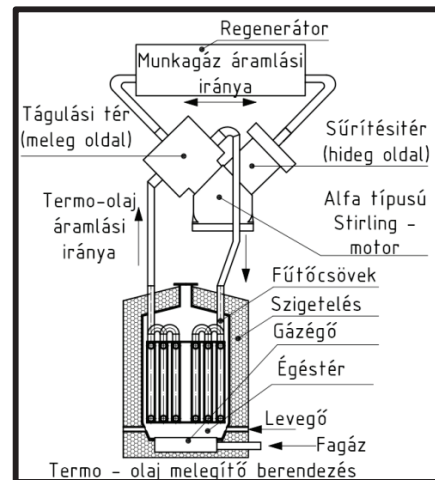
Következő feladatunk volt a fellelhető irodalmak alapján módosítani a kompresszor henger-dugattyú kialakítását. Az alfa típusú Stirling - motoroknál a tágulási térnek kisebbnek kell lennie, mint a sűrítési térnek. Ez a megváltozott térfogat arány volt az egyik alapja a méretezésnek. Következő lépésben elvégeztük a termikus méretezését a motornak. El kellett dönteni, hogy milyen módon szeretnénk megoldani a külső hőközlést, hiszen a Stirling – motorokat külső égésű motoroknak is szokták hívni. A szolár Stirling - motoroknál megszokott eljárás, hogy a napsugarakat a motor ún.

forrópontjához irányítják, így hozva létre az 5. ábrán látható termikus elrendezést.



5. ábra. Alfa típusú motor hőfolyamatainak értelmezése (Forrás: Sári 2013)

Ez a fajta direkt hőközlés a mi motorunk esetében nem lehetséges, hiszen az alumínium alkatrészeket kellett volna melegíteni közvetlen lánggal, ami rövid időn belül szerkezeti károsodást okozott volna. Ezért egy korábbi kutatást felhasználva olyan hengert és hengerfejet terveztünk, amiben a forrópontnál a hőátadás termo – olajjal történik. Ehhez ki kellett fejleszteni egy új hengerfej – henger konstrukciót, továbbá egy olyan termo – hidraulikus rendszert, amelyben a fagáz elégetésével fel tudjuk üzemeltetni hőmérséklete melegíteni az olajat ( $400^{\circ}\text{C}$ ).



6. ábra. A Stirling – motor és a termo – olaj melegítő berendezés kapcsolata (Forrás: A szerző)

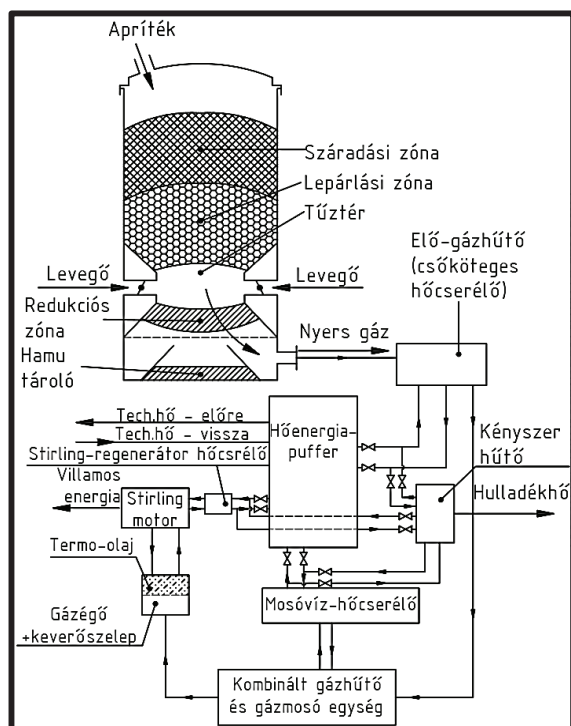
A tervezés folyamán számtalan paraméter a motor geometriájából adódik. Ezek ismertetésétől eltekintve a motor teljesítményének a meghatározás az alábbiak szerint történt.

$$L_i = (W_E + W_C) \cdot n = 0,91\text{kW} \quad (2)$$

ahol:

- $L_i$ , a motor teljesítménye [kW]
- $W_E$ , tágulási energia [J]
- $W_C$ , sűrítési energia [J]

A fentiekben láthattuk, hogy mennyi elemből épül fel egy ilyen mini kogenerációs erőmű. Az alábbi ábrán végigkövethetjük az energiaforrástól a különböző energiahordozó közegek útját és kapcsolatát. Célszerű a fenti viszonyokat tisztázni, hiszen a külső szemlélő számára sokszor csak egy bonyolult, összetett rendszer képe jelenik meg.



7. ábra. A kogenerációs rendszer működési vázlatja (Forrás: A szerző)

Első lépésben fel kell tölteni a reaktort aprítékkal. Célszerűen a későbbi eszközöknél ki kell alakítani egy folyamatos apríték adagolási lehetőséget, hiszen egy stabil energiatermelő egység nem lehet szakaszos üzemű. A reaktorban a begyűjtást követően megindul a gázosodási folyamat. A folyamat intenzitását a levegő mennyisége határozza meg. Ha a reaktor eléri a stabil üzemet, akkor a gázt be lehet vezetni a rendszerbe. A gáznemesítési eljárás első állomása, a csököteges hőcserélő berendezés, melynek a feladat a gáz lehűtése 100°C alá. Fontos megjegyezni, hogy itt történik az első jelentős méretű hőcserélés. Az itt kivont hőmennyiség a hőtároló puffert - tartályba érkezik, amelyben a hőtároló közeg víz. A gáznemesítés második lépése, hogy a lehűtött gáz áthalad egy vizes rendszerű kombinált gázmosó egységen. Itt a szilárd és a gázfrakciót távolítjuk el a gázból. A folyamat közben

megtörténi a másodlagos hőcserélés. Az elvont hőmennyiség a központi puffer - tartályba jut. A fagáz útja innen a termo - olaj melegítő egységbe vezet, ahol levegővel keverve elégetjük, ezáltal melegítve az olajat. Ez a közeg szállítja az energiát a Stirling-motorunkhoz. Működési elvéből adódóan a termikus energiának a 43%-át alakítja át mozgási energiává. A motorunk regenerátor egységénél pedig megtörténik a harmadik hővisszanyerési lépcső. Az itt visszanyert energia is a puffer - tartály melegítésére fordítódik. Ez a rendszer egyik passzív, de nagyon fontos eleme, hiszen a szükséges technológia, illetve az egyéb hőenergia igényt a fenti egység elégíti ki. A rendszer ábrán (7. ábra) látható egy kényszer – hűtő berendezés. Erre akkor van szükség, ha a keletkező hőt nem tudjuk hasznosítani és a szabadba bocsájtjuk. Ez a lehető legrosszabb eljárás, de az ilyen rendszereknél sajnos be kell építeni ezt a „biztonsági” berendezést.

A fentiekben vázolt rendszer 3 év fejlesztésének és munkájának részleges eredménye. A fejlesztés új vonalakon tovább folytatódik. A közeljövőben kialakításra kerül a villamos generátor és a hozzá kapcsolódó mérőegység. Továbbá beépítésre kerül egy komplex adatgyűjtő rendszer. Feladata lesz a reaktor belső hőmérséklet változásainak detektálása. Terveink között szerepel a gázsebesség mérése, hiszen a sebesség változásokból meg tudjuk állapítani a rendszer elemeinek az áramlási ellenállását. Végso fejlesztési lépés a rendszer teljes szabályozásának kialakítása. A bemutatott rendszerek esetlegesen szabadalmi kérdéseket érintenek, így a szerkezetek és a számítások teljes részletezésétől eltekintettünk.

[1].FAO FORESTRY DEPARTMENT:  
Mechanical Wood Products Branch-Wood gas as  
engine fuel,Food and agriculture organization of  
the united nations, USA-Washington, (1986);  
pp.4-12 , 10-11, 2-3,4-6

[2]. Csitári Cs.: Kátránytalanító és gáztisztító  
berendezés fejlesztése fagázgenerátorhoz,  
Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari  
Mérnöki Kar, Sopron (2012); pp. 31-43

[3].Basu P.: Biomass Gasification and Pyrolysis,  
Elsevier, Burlington (2010); pp.100-101

[4]. G.Walker.: Stirling Engines, Oxford Univ.  
Press, Oxford (1980); pp. 11-23

[5]. Sári J.: Fagázgenerátorban keletkező fagáz  
felhasználása, saját tervezésű hőlégmotor  
alkalmazásával, Szakdolgozat, NYME-FMK,  
Sopron (2013); pp. 25-43

# AZ INNOVÁCIÓ ÉS A KREATIVITÁS FOGALMAINAK VISZONYA AZ ÚJTERMÉK-TERVEZÉSBEN

## THE RELATIONSHIP BETWEEN THE NOTIONS INNOVATION AND CREATIVITY IN NEW PRODUCT DEVELOPMENT

*Vidovics Balázs, doktorjelölt, NYME Faalapú Termékek és Technológiák Intézet*

### ABSTRACT

The meaning, context and relationship of the notions of innovation and creativity is essential to identify and to come to a common platform with. The research shown in this paper is partly based on literature review and on empirical studies from which statistically relevant data were identified.

### 1. BEVEZETÉS

Megfigyelhető napjainkban, hogy az innováció és a kreativitás olyan hívószavakká váltak, amelyeket a mindennapos beszédben sokszor, talán túlságosan is sokszor használunk. Ráadásul az innovatív és kreatív jelzőket hajlamosak vagyunk szinonimaként kezelni. A szóhasználatra igényes kutatót emiatt két kérdés kell, hogy leginkább foglalkoztassa. Egyrészt a fogalmak pontos meghatározásai elsősorban a terméktervezés, azon belül is az újtermék-tervezés területén, másrészt a fogalmak egymáshoz képesti tartalmi, jelentésbeli és módszertani viszonya. Ezen túlmenően érdekes kutatási kérdés lehet az, hogy a hétköznapi vagy szakmai nyelv mennyire tükrözi a tudományos alapra helyezett viszonyt a két fogalom tekintetében. A jelen cikkben ismertetett kutatás az utóbbi kérdést járja körbe.

### 2. FOGALMI MEGHATÁROZÁSOK

#### 2.1 Innováció

Amidon [1] javasolja, hogy az értelmezésben térjünk vissza az eredeti latin jelentésre, miszerint az innováció valami újnak a létrehozását jelenti. Magyarai Beck [2] kutatásaiban szintén a tiszta jelentést kereste, és megfogalmazta, hogy az innováció önmagában értékmentes fogalom. Hagyományosan kétféleképpen szokás az innovációt közelíteni; az egyik mint folyamat [3], a másik mint végeredmény vagy „végső esemény” [4]. Az általános megközelítés három szinten értelmezi az innovációt, (1) az alkotási folyamat, a (2) végeredmény, és az (3) elmében létrejövő újdonság szintjén. Kuczmarski [5] és Amidon [1] úgy fogalmazzák, hogy az innováció az elme

megfoghatatlan állapota, átütő attitűd, gondolkodásmód, illetve értékek együttese, amely a jelenen túlmutató hitet és a víziónak a megvalósítására való képességet jelenti. Kuhn [6] és Wolfe [7] az alkalmazás felől közelít, mikor azt mondja, hogy az innováció kiindulópontja az ötlet, és arra használják, hogy segítségével termékeket vagy folyamatokat fejlesszenek vagy hozzanak létre.

Schumpeter volt az első kutató, aki az innovációt a vállalat stratégiai eszközeként írta le. Megközelítésében [8] az innováció az új vagy létező tudás, erőforrások, eszközök, stb. új kombinációit jelenti a vállalati hatékonyság növelésének érdekében. Wolpert [9] és Tidd, Bessant és Pavitt [10] egyetértenek abban, hogy az innováció lényege az üzleti modellben történő változás. Berglund [11] szerint innovációról akkor beszélhetünk, amikor emberek új ötletekkel állnak elő, elfogadják azokat, és együtt dolgoznak megvalósításukon. Berglund tehát az innováció szociális aspektusát emeli ki, és hangsúlyozza, hogy emberi, szervezeti tevékenységről van szó. Byrd és Brown munkájukban [12] az innovációt a kreativitás változója és a kockázatvállalás szorzataként határozzák meg. Gáspár [13] lényegében egyenlőségjelet tesz a két fogalom közé.

A legtöbb innovációs meghatározás a kereskedelmi hasznosítással kapcsolja össze az új tartalom létrejöttét. Cooper [14], Tidd, Bessant és Pavitt [10] az innovációra egy fejlődő folyamatként tekint, amely az ötlet fázistól a kereskedelmi hasznosításig terjed. Ottosson [15] ezt azzal egészíti ki, hogy az innovatív termék az, amely a kereskedelemben elérhető és a hasznosítása megkezdődött. Nem elégséges feltalálni egy terméket, vagy éppen csak egyszer használni – ekkor az még ugyanis csak egy új termék. Jobber [16] is a találmány létrejöttétől a termékkel való piacra lépésig lezajló folyamatot, és ennek eredményét tekinti innovációnak. Magyarai Beck [17] elemzése szerint az innováció irodalomban megtalálható „meghatározásainak mindegyike csak egyetlen ismérven ért egyet, jelesül valaminek az újszerűségében”.



## 2.2 Kreativitás

A kreativitás egy népszerű, talán túlságosan is sokszor használt fogalom. A kreativitás említése dinamizmust sugall és empátiát kelt. A kreativitás pozitív kifejezés azokban a társadalmakban, amelyek az innováció és a haladás értékeit vallják. A kreativitás nélkülözhetetlen tényező a terméktervezésben. Elősegíti az innovációt, a problémamegoldást, és lehetővé teszi a vállalatok számára, hogy növeljék piaci részesedésüket.

Két magyar kreativitás kutató sommás megállapításait idézve „a kreativitás egyértelmű meghatározását az irodalomban nem találjuk” [18], illetve „a kreativitásnak csaknem annyiféle meghatározása van, ahány szerző foglalkozott vele” [19]. Dasgupta [20] ennél szerényebben számol, becslése szerint 80 különféle meghatározással találkozhatunk az irodalomban. Gáspár [13] szerint az üzleti tudományok innovációnak szeretik nevezni azt, amit a pszichológia kreativitásnak mond, és gyakori, hogy szinonimaként használják a fogalmakat. A terméktervezés nézőpontjából ugyanakkor látszanak az alapvető különbségek, ezekre kívánok rámutatni.

A kreativitás vitán felül az egyik lényeges építőköve az innovációnak [21]. Ezt alátámasztják az innováció például azon elfogadott meghatározásai [10][14][15][16], miszerint az innováció a kreatív alapötlet és a sikeres megvalósítás összessége, a kreativitás, az ötletek kitalálása önmagában nem elégséges. A megvalósítás folyamatában, az ötletek gyakorlatba történő átültetése során az ötletek kiválasztása, a fejlesztés és a kereskedelmi hasznosítás folyamatában szintén szükség van kreativitásra. Stamm [21] megállapítja, hogy sok esetben a vállalatoknak rendelkezésükre állnak mindazok a folyamatok, eljárások és struktúrák, amelyek az innováció implementálásához szükségesek, mégis képtelenek újítani, mivel pont a kiindulási ötlettel nem rendelkeznek. Stamm [21] szerint ez elsősorban a kreativitás hiányára vezethető vissza. Teresa M. Amabile [22] egyszerűen úgy fogalmaz, hogy kreativitás nélkül az innováció nem lehetséges. Szilágyi [19] is Amabile eredményéhez hasonló megállapításra jutott, mely szerint „a sikeres innováció létrejöttében a kreativitás nemcsak az egyik szükséges feltétel, hanem a sok egyenlő között az első, a sine qua non, amely nélkül a többi tényező működésbe sem léphet. Az innováció megértéséhez és befolyásolásához ezért legelőször az alkotási folyamatot és követelményeit kell elemezni.”

A kreativitás értékelése az irodalomban a kreativitás vizsgálatának hármasságát követi. A kreativitást szokás vizsgálni (a) a kreatív egyén, (b) a szervezet (a környezet, illetve a csoport is ide tartoznak), illetve (c) a kreatív produktum szintjén.

Az egyéni kreativitást Amabile [22] szerint három komponens határozza meg: (1) a gyakorlat, az ismeretek, (2) a kreatív gondolkodási képességek, és (3) a motiváció. A szervezet kreativitásra gyakorolt hatása, és az ezt leíró modellek sokrétűek, és jelen írás terjedelmi korlátai miatt nem ismertetem őket. Viszonylag egyszerű ugyanakkor a kimenetre, a termékre vonatkozó legáltalánosabb alkotó komponenseket megadni. A tervezői kreativitást jellemzően az újszerűség és a hasznosság (érték) dimenziókban értékelik, és a két tényező szorzataként fogják fel (pl. Sarkar és Chakrabarti [23]). A kutatók kisebb része egy harmadik tényezőt is fontosnak tart bevezetni, ez pedig a megoldás váratlan, meglepetésszerű jellege (pl. Macedo és Cardoso [24]).

## 3 KUTATÁSI MÓDSZERTAN

A BME harmadéves, műszaki menedzser alapszakos, termékmenedzsment szakirányos hallgatói körében 2013 tavaszán végeztem felmérést. A kutatási kérdéseket az általuk készített 47 darab tanulmány és értékelés alapján teszteltem. A továbbiakban  $i$  indexszel fogok hivatkozni a hallgatókra, és  $I$  fogja jelölni, hogy egy-egy kérdés kapcsán hány hallgatói értékelést használtam fel. (Így tehát  $1 \leq i \leq I$  minden kérdésnél és  $I_{\max}=47$ .) Minden hallgató 21-22 darab ( $N_i$ ) innovatív terméket gyűjtött össze megadott termékkategóriában (pl. babakocsi, kéziporszívó, cipő, gyümölcsöstál, stb.), egy mindösszesen  $1002 (\sum_{i=1}^{47} N_i)$  elemű mintát szolgáltatva. Lényeges szempont volt, hogy a bevont termékek egymástól is minél különbözőbbek legyenek. Fontos megjegyezni, hogy a hallgatók elméleti ismeretei kiterjednek az innováció menedzsment és marketing területeire, képesek például különbséget tenni alaptermék, elvárt termék vagy kiterjesztett termék között. A felvett saját mintákat minden hallgató egyértelmű sorrendbe rendezte az alábbi – irodalomból származó viszonyítási – szempontok alapján: (1) innovatív tartalom, (2) kreativitás, (3) újszerűség, (4) használhatóság, (5) meglepetés, (6) személyes preferencia. A vizsgálatokban az egyes szempontok szerinti rangsorokat és azok egymáshoz képesti viszonyát elemeztem statisztikai módszerekkel. Ennek az eljárásnak előnye, hogy a mintát nem szükséges ellenőrizni vagy szűrni, hiszen a

különböző szempont szerint készített rangsorok ugyanarra a mintára vonatkoznak, így ténylegesen a szubjektív megítélés (a fogalomhasználat és reprezentáció) vizsgálhatók. A legfontosabb statisztikai elemző módszer a kutatásban az adott terméktípusra szűkített körben a Spearman-féle rangkorrelációs együtthatók ( $\rho$ ) előállítása volt. Ez az együttható azt mutatja meg, hogy két rangsor együtt változik-e, illetve milyen erős közöttük a kapcsolat. Az együttható értéke -1 és 1 között lehet, a skála két végpontja utal a tökéletes negatív, illetve pozitív együttmozgásra.

#### 4 EREDMÉNYEK

A hatféle rangsorképzési szempont alapján 15 rangsor-párt lehetne vizsgálni, jelenleg azonban csak a legérdekesebb eredmények közlésére szorítkozom. A rangkorrelációs együtthatók kiszámításán túl minden esetben elvégeztem az együttható szignifikanciájára vonatkozó hipotézisvizsgálatot is. A vizsgálat nullhipotézise az, hogy a rangkorrelációs együttható értéke nem különbözik nullától. Azokat az eredményeket tekintettem inszignifikánsnak, ahol a tesztstatisztika és a hozzátartozó p-érték alapján nem lehetett legalább 90 százalékos megbízhatósággal elutasítani a nullhipotézist ( $p\text{-érték} > 0,1$ ). Az inszignifikáns eredményeket kivettem az értékelésből; az alábbi táblázatok minden esetben a korrigált eredményeket mutatják. Sorrendben az első vizsgált korreláció az (1) innováció és a (2) kreativitás megítélése közötti vizsgálat volt (1. táblázat).

1. táblázat. A kreativitás és az innováció megítélésének kapcsolata

|                   |        |                      |       |
|-------------------|--------|----------------------|-------|
| $\rho_i$ max:     | 0,936  | $\sum_{i=1}^I N_i =$ | 750   |
| $\rho_i$ min:     | -0,451 | I=                   | 35    |
| $\rho_i$ átlaga:  | 0,546  | p-érték min:         | 0,000 |
| $\rho_i$ szórása: | 0,351  | p-érték max:         | 0,097 |

A vizsgálat eredménye jól tükrözi azokat a nézeteket (és bizonytalanságot), amit a szakirodalomban megtalálunk. A szignifikáns rangkorrelációs együtthatók átlagos értéke gyenge-közepes pozitív összefüggést mutat, ugyanakkor viszonylag nagy a szórás értéke, és sok esetben bizonyult inszignifikánsnak a korreláció, ami tovább gyengíti az eredményt.

A második vizsgálat az (3) újszerűség, (4) használhatóság, (5) meglepetés együttes rangsorának és a (2) kreativitás rangsornak a viszonyára fókuszált. Az összesített rangsort a rész-rangsorok összegzésével, majd az így kapott eredmények újbóli, egyértelmű rangsorolásával állítottam elő. Az eredmények (2. táblázat)

összességében alátámasztják a kreatív produktum komponenseinek elméletét. A komponensek egymáshoz képesti fontosságának jobb közelítése minden bizonnyal még jobb eredményeket szolgáltatna.

2. táblázat. A kreativitás és az azt alkotó komponensek megítélésének kapcsolata

|                   |       |                      |       |
|-------------------|-------|----------------------|-------|
| $\rho_i$ max:     | 0,877 | $\sum_{i=1}^I N_i =$ | 622   |
| $\rho_i$ min:     | 0,383 | I=                   | 29    |
| $\rho_i$ átlaga:  | 0,636 | p-érték min:         | 0,000 |
| $\rho_i$ szórása: | 0,136 | p-érték max:         | 0,095 |

A harmadik vizsgálat a (2) kreatív tartalom és a (5) meglepetés tartalom rangsorok viszonyában keresett kapcsolatot (3. táblázat).

3. táblázat. A kreativitás és a meglepetés megítélésének kapcsolata

|                   |       |                      |       |
|-------------------|-------|----------------------|-------|
| $\rho_i$ max:     | 0,917 | $\sum_{i=1}^I N_i =$ | 772   |
| $\rho_i$ min:     | 0,383 | I=                   | 36    |
| $\rho_i$ átlaga:  | 0,636 | p-érték min:         | 0,000 |
| $\rho_i$ szórása: | 0,136 | p-érték max:         | 0,095 |

A negyedik elemzés az (1) innovatív és a (5) meglepetés tartalom rangsorait vizsgálta, ennek eredményeit a 4. táblázatban foglaltam össze. Új eredmény, hogy a meglepetés komponenssel az innovációs és kreatív tartalom nagyon hasonló mértékben mozog együtt, emiatt indokolt a kutatások ebben az irányban való kiterjesztése.

4. táblázat. Az innováció és a meglepetés megítélésének kapcsolata

|                   |       |                      |       |
|-------------------|-------|----------------------|-------|
| $\rho_i$ max:     | 0,962 | $\sum_{i=1}^I N_i =$ | 584   |
| $\rho_i$ min:     | 0,405 | I=                   | 27    |
| $\rho_i$ átlaga:  | 0,649 | p-érték min:         | 0,000 |
| $\rho_i$ szórása: | 0,156 | p-érték max:         | 0,095 |

Az ötödik elemzésben a (2) kreativitás, és a (4) használhatóság megítélése alapján felállított rangsorok korrelációját vizsgáltam. Az eredmények (5. táblázat), a jellemzően gyenge negatív korreláció legfeljebb úgy interpretálhatók, hogy a megkérdezettek általában alacsonyabb használhatóságot társítanak a kreatívnak értékelt termékekhez, illetve a kreativitás szélsőségesen vagy a használhatóság javítása, vagy a használhatóság rontása (kockáztatása).

5. táblázat. A kreativitás és a használhatóság megítélésének kapcsolata

|                   |        |                      |       |
|-------------------|--------|----------------------|-------|
| $\rho_i$ max:     | 0,842  | $\sum_{i=1}^I N_i =$ | 485   |
| $\rho_i$ min:     | -0,756 | I=                   | 22    |
| $\rho_i$ átlaga:  | -0,283 | p-érték min:         | 0,000 |
| $\rho_i$ szórása: | 0,526  | p-érték max:         | 0,099 |

## 5 ÖSSZEFOGLALÁS

Megállapítható, hogy a szakirodalom nem tud pontos vagy egységes meghatározást adni az innováció és a kreativitás fogalmaira, egymáshoz képesti viszonyrendszerére. A kutatók véleményeinek különbözősége nem elemezhető statisztikai módszerekkel, de az elméleti háttérrel rendelkező leendő szakemberek már olyan számban elérhetők, hogy érdemes a kutatást statisztikai alapú elemzésekkel is kiegészíteni a kutatási kérdéskörben. A szakmai fogalomhasználat kapcsán nemcsak az a lényeges kérdés, hogy a közlő milyen tudományos mélységig érti az egyes fogalmak jelentését, de az is lényeges, hogy a fogadó fél hogyan értelmezi a szóban forgó fogalmakat.

A kutatás-sorozatban megvalósított elemzésekből igyekeztem azokat az eredményeket bemutatni, amelyek az újtermék-tervezés kutatásával, oktatásával foglalkozó szakemberek számára a legtanulságosabbak.

## 6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú *Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program* című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 7 IRODALOM

- [1] Amidon, D. The Innovation Superhighway – Harnessing Intellectual Capital for Collaborative Advantage. Butterworth-Heinemann. Oxford, 2003.
- [2] Magyar Beck I.: Kreatológiai vázlatok. Aula Kiadó. Budapest, 1997.
- [3] Myers, S., Marquis, D. G.: Successful industrial innovations: a study of factors underlying innovation in selected firms. National Science Foundation. Arlington, VA, 1969.
- [4] Zaltman, G., Duncan, R., Holbek, J.: Innovation and Organizations. Wiley. New York, 1973.
- [5] Kuczmarski, T. D.: Innovation: Leadership Strategies for the Competitive Edge. McGraw-Hill. New York, 1995.
- [6] Kuhn, R. L.: Frontiers in Creative and Innovative. Management, Ballinger. Cambridge, MA, 1985.
- [7] Wolfe, B.: Organizational Innovation: Review, Critique, and Suggested Research Directions. Journal of Management Studies. No. 35, pp. 405-431. 1994.
- [8] Schumpeter, J. A.: The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle. Social Science Research Network. Rochester, 1934.
- [9] Wolpert, J. D.: Breaking out of the innovation box. Harvard Business Review, 80 (2), pp. 77–83. HBR, 2002.
- [10] Tidd, J., Bessant, J., Pavitt, K.: Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change. 2. kiadás. Chichester. Wiley, 2002.
- [11] Berglund, A., Assessing the Innovation Process of SMEs. PhD értekezés, Luleå University. Luleå, 2007.
- [12] Byrd, J., Brown, P.L.: The Innovation Equation: Accelerating Innovative Capacity in Organizations, Pfeiffer Jossey-Bass. San Francisco, 2003.
- [13] Gáspár M.: A kreativitás kutatási irányai. Új Pedagógiai Szemle, 2004. 10. sz. 2004.
- [14] Cooper, R. G.: Product Leadership: Creating and Launching Superior New Products. Perseus Books. Reading, MA, 1998.
- [15] Ottosson, S.: Innovation as a dynamic process. Innovation management. E-learning tananyag. 2003.
- [16] Jobber, D.: Principles and Practice of Marketing. 4. kiadás, McGraw-Hill. Berkshire, 2001.
- [17] Magyar Beck I.: Kreatológiai vázlatok. Aula Kiadó. Budapest, 1997.
- [18] Szentiványi T.: A kreativitás fejlesztése játsszással és játékok segítségével. Új Pedagógiai Szemle, 2000 július-augusztus, 2000.
- [19] Szilágyi J.: A kreativitás mint az innováció egyik oki tényezője. In: Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle, 2006. december. 1. (111.) évfolyam 6. szám, pp. 39-52. 2006.
- [20] Dasgupta, S.: Creativity in Invention and Design. Cambridge University Press. New York, 1994.
- [21] Stamm, B. von: What are Innovation, creativity, and design?, In: Managing Innovation, Design and Creativity. John Wiley & Sons. Chichester, 2008.
- [22] Amabile, T.: Creativity in Context. Westview Press Inc. Boulder, Colorado, 1996.
- [23] Sarkar, P., Chakrabarti, A.: Development of a method for assessing design creativity. ICED 2007, 28-31. Aug. 2007. Paris, France. 2007.
- [24] Macedo, L. Cardoso, F. A.: Assessing creativity: the importance of unexpected novelty. Workshop on Creative Systems: ECAI2002, Lyon, France, 21-26th July 2002.

# ÜTVEFÚRÓGÉPEK ÜTŐ MECHANIZMUSÁNAK DINAMIKAI VIZSGÁLATA

## INVESTIGATION OF IMPACT MECHANISM OF PERCUSSION DRILLS

*Kakuk József, doktorjelölt, projektvezető, Robert Bosch Power Tools Kft.*

### ABSTRACT:

Electric impact drills are well-known power tools. In this paper the influencing construction factors on the efficiency of impact drilling are investigated. A one-degree of freedom rigid used at the first stage. The effects of the influencing parameters are calculated in case of an existing design. With an improved elastic mechanical model the phenomenon of vibration on different frequencies then the excitation is shown at the second stage. Finally, the effect of geometry of impact mechanism on the wave propagation is examined.

### 1. BEVEZETÉS

A professzionális felhasználású fúrókalapácsok dinamikai vizsgálatát, a fúrás hatékonyságát nagyszámú publikáció tárgyalja, pl [1], [2].

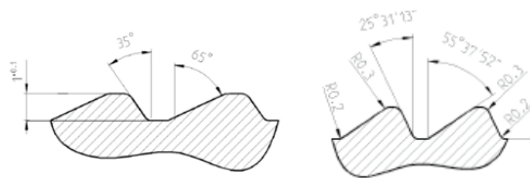
Az elektromos kéziszerszámok között az egyik legismertebb az ütvefúrógép. Széles körben elterjedt az ütvefúrógépek felhasználása is, ezért számos gyártó foglalkozik gyártásával és fejlesztésével. A kutatásról viszont csak kevés publikáció jelent meg eddig [3]. Az ütvefúrógép alapvető célja 5-13 mm átmérőjű furatok fúrása betonba, kőzetekbe, nem ütvefúró üzemmódban fémbe, fába, műanyagba. Az utóbbi évtizedekben kismértékben változott az ütvefúrógép felépítése és funkciói. A fejlesztések a méret és súly csökkentésére, a felhasználás könnyebbé és kényelmesebbé tételére és a funkciók bővítésére irányultak.

A jelenleg fejlesztés alatt lévő gépek a megváltozott követelmények miatt szükségessé teszi az ütvefúró mechanizmus dinamikai vizsgálatát. Ez a cikk három különböző dinamikai modellt alkalmaz az ütvefúró hatékonyságát befolyásoló tényezők vizsgálatára.

### 2. AZ ÜTŐ MECHANIZMUS

A kőzetek és a beton fúrásához a normál forgácsoló mozgás mellett a fúrószár ütése is szükséges, hogy a normál teljesítményű

fúrógépekkel, keményfém betétes fúrószárakkal, kézi erővel is megfelelő fúrási teljesítményt érjünk el. A kőzetfúráshoz szükséges ütmozgást a homlokfogazatú kerekekhez hasonló kerék mozgása hozza létre. A kerekek felváltva összeérnek és eltávolodnak egymástól ez által létrehozva a kőzet töréséhez, forgácsolásához szükséges ütéseket. A két homlokfogazatú kerék geometriája a gép további paramétereivel együtt meghatározza a gép ütmunkáját. A homlokfogazatú kerekek, azaz az ütőtárcsa profilját az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: Bosch ütvefúrógép ütőtárcsa profiljai

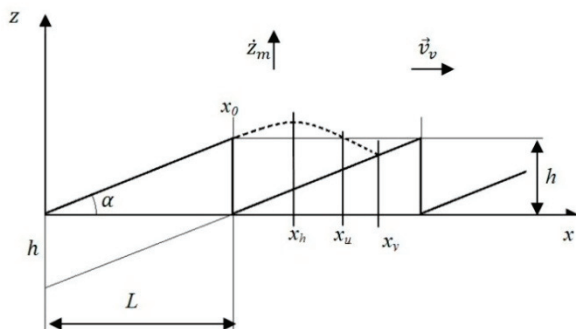
Feltételezzük, hogy a forgó mozgás állandó, az ütközések a forgó mozgás egyenletességét nem befolyásolják. A kihajtottengely csapágyazása és tengelyirányú megvezetése lehetővé teszi, hogy a fogaskerék és az ütőtárcsa a tokmány benyomódása esetén tengelyirányban elmozduljon. A forgó mozgás következtében a két alkatrész közti relatív mozgás miatt az elemek egymáson elcsúsznak, a lejtős profil mentén eltávolodnak, és a lejtő végén a fogárkokban ütközve ütmunkát hoznak létre. A tipikus felhasználás során a gépet egy, a gép tömegénél nagyságrendekkel nagyobb tömegű, általában beton testnek támasztja a felhasználó, és azt a saját erejével a felülethez nyomja. Az ütőtárcsa és fogaskerék ütközései által okozott eltávolodás a géptestet kényszeríti axiális mozgásra.

### 3. EGYSZABADSÁGFOKÚ MEREV RENDSZER

Az ütmunkát, és azon keresztül a fúrási hatékonyságot az ütközések energiája határozza



meg. Az ütfűrő mechanizmusnak átadott impulzus nagysága a gép az ütközés előtti axiális irányú mozgási energiájától függ. Ezen energia az ütközés pillanata előtti tengelyirányú sebességtől, és a gép tömegétől függ. A mozgást első közelítésben a 2. ábrán látható, a ferde hajításra jellemző módon írjuk le.



2. ábra: Egyszabadságfokú merev rendszerrel a mozgás jellege

Az ütési impulzus energiáját befolyásoló, tengely irányú végsebesség meghatározására egy egyszerűsített dinamikai modell tételezhető fel. A gép fogaskerekét, kihajtottengelyét és tokmányát, tengely irányban állónak tekintjük. Az axiális pattogó mozgást az ütőtárcsa és az azt magába foglaló gép végzi, melyet forgás irányban állónak tekintünk. A gép teljes tömegét a modell szerinti, pontszerű  $m$  tömeggel helyettesítjük. A gép fordulatszámát állandónak feltételezzük. A gép és a hozzá kapcsolódó elemek rugalmasságától eltekintünk. A gépelemek között fellépő súrlódásokat elhanyagoljuk. A mozgás két szakaszra bontható: egy csúszási és egy repülési szakasz. A csúszási szakaszban a gép (+z) tengely irányú sebességre tesz szert. Ezen sebesség mértéke megegyezik a lejtő elhagyásának pillanatában érvényes, lejtő irányú sebesség z tengely irányú komponensével. A sebesség lejtő irányú komponensét, mind a csúszás, mind a repülési szakasz alatt az állandó forgó mozgásból adódó kerületi sebességgel egyenlőnek tekintjük. Az ütközés pillanatában a tengelyirányú végsebesség ezek alapján:

$$\dot{z}_m = -\sqrt{2(j+1)h\left(g + \frac{F}{m}\right)} + \frac{R\omega h}{L} \quad (1)$$

ahol  $j$  az átrepült fogak száma,  $h$  a fogmagasság,  $F$  a gépre gyakorolt nyomóerő,  $R$  az ütőtárcsa sugara,  $\omega$  a kihajtottengely szögsebessége,  $h$  a fogmagasság, és  $L$  a foghossz. Az ütközési energia, azaz az ütmunka ebből:

$$W_{ii} = \frac{1}{2}m\dot{z}_m^2 = \frac{m\left(\sqrt{2(j+1)hF_n} + \frac{R\omega h}{L}\right)^2}{2} \quad (2)$$

Behelyettesítve az átrepült fogak számát az ütmunkára a következő kifejezést kapjuk:

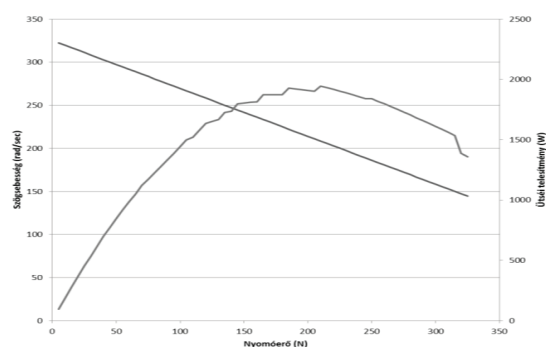
$$W_{ii} = \frac{m}{2} \left\{ \sqrt{2hF_n \left[ \text{mod} \left( \frac{2R^2\omega^2 h}{L^2 F_n} \right) + 1 \right]} + \frac{R\omega h}{L} \right\}^2 \quad (3)$$

Mivel az  $L$  foghossz értelmezés szerint  $L = d\pi/z_r$ , ahol  $z_r$  az ütőtárcsa fogszáma a következő alakot írhatjuk:

$$W_{ii} = \frac{m}{2} \left\{ \sqrt{2hF_n \left[ \text{mod} \left( \frac{\omega^2 h z_r^2}{2\pi^2 F_n} \right) + 1 \right]} + \frac{z_r \omega h}{2\pi} \right\}^2 \quad (4)$$

A (4) kifejezésből látható, hogy az ütmunkát az ütőtárcsa geometriai paraméterei közül csak a fogszám és a fogak magassága befolyásolja. Alacsony nyomóerő és magas fordulatszám esetén fogátugrás jön létre. Az ütfűrő hatékonyságát az egységnyi idő alatt, állandó nyomóerővel terhelt gép esetén, betonban kifűrt, adott átmérőjű, furat hosszúságaként értelmezzük, röviden fűrási sebességnek nevezzük. Az ütési teljesítményt az ütmunka nagysága és az egységnyi idő alatt bevitt ütések számának szorzataként értelmezzük. A modell szerint, az ütési teljesítmény, tendenciáját tekintve, bizonyos fordulatszám felett, a fordulatszámmal egyenesen arányos. Ütfűrő közben, a nyomóerő hatására a lejtőn bekövetkező súrlódás miatt a növekvő nyomóerő hatására a gép fordulatszáma csökkenni fog. Ezt az összefüggést a kezdeti számításokban lineárisnak feltételezve a 3. ábra szerinti jelleg adódik. Lineáris fordulatszám csökkenést figyelembe véve az ütési teljesítményre a 4. ábrán látható, maximummal rendelkező görbét kaptunk, amely az ütfűrőre nézve optimumot szolgáltat az alkalmazott nyomóerőre és a fordulatszámra vonatkozóan. Ezen eredmény megfelelő egyezést mutat a ugyanezen fűrógéppel mért

fúrási sebesség optimumával  $d = 6 \text{ mm}$  átmérőjű fúrószár esetén.



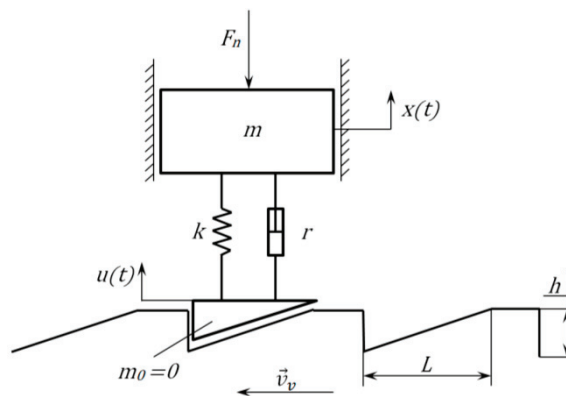
3. ábra: Az ütési teljesítmény és a fordulatszám változása a nyomóerő függvényében

A mechanikai modell alapján a legnagyobb ütési teljesítmény a legnagyobb nyomóerő és fordulatszám mellett jön létre, és ezen maximumtól bármilyen irányban elindulva közel lineárisan csökken a teljesítmény. A számítás által szolgáltatott teljesítmény értékek a gép teljesítményével összehasonlítva lényegesen nagyobbak. Az eltérés nagy valószínűséggel a súrlódások és az elemek csillapításának elhanyagolásából adódik. Emiatt a modell továbbfejlesztése vált szükségessé.

#### 4. EGYSZABADSÁGFOKÚ RUGALMAS RENDSZER

A vizsgálat során végzett nagysebességű kamerás felvételekből kitűnik, hogy a gépház és az ütőtárcsa mozgása egymástól eltér, a rezgések amplitúdója és frekvenciája különbözik. Láthatólag a gép műanyag háza, illetve az abba ágyazott ütőtárcsa és csapágyhíd rendszere rugalmasnak tekinthető. Az ütési impulzusok hatására a műanyag ház deformálódik, rugalmas alakváltozást szenved. A deformációt nem tekintjük veszteségektől mentesnek, azaz a csillapítást is figyelembe vesszük. Az előző fejezetben tárgyalt dinamikai modellt annyiban módosítjuk, hogy az ütőtárcsa és a repülő tömeg között csillapított rugalmas kapcsolatot tételezünk fel.

A szerkezetet egy szabadságfokú, elmozdulás gerjesztésű rezgő rendszerrel modellezzük, amely figyelembe veszi az elválást is. Az elválás után a ferde hajításra jellemző impulzus tétel érvényes. Az ütőtárcsa mozgását a lejtő geometriája és a forgásból adódó relatív sebesség határozza meg mindaddig, amíg az ütőtárcsa a lejtőtől el nem válik, azaz a rugó és csillapítás által kifejtett erő kisebb, mint zérus.



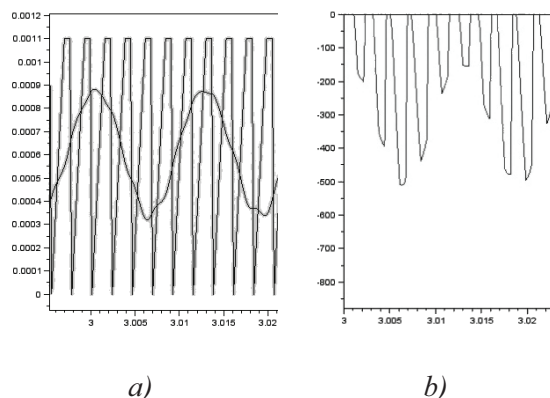
4. ábra: Az ütési teljesítmény és a fordulatszám változása a nyomóerő függvényében

Így a rendszer mozgását kétféle egyenlettel írjuk le.

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = ku + r\dot{u} - F, \quad \text{ha } [k(x - u) + r(\dot{x} - \dot{u})] < 0 \quad (5)$$

$$m\ddot{x} = -F, \quad \text{ha } [k(x - u) + r(\dot{x} - \dot{u})] \geq 0 \quad (6)$$

Az 5. egyenlet a lejtőn való csúszás közben érvényes, míg a 6. egyenlet a repülés szakaszára vonatkozik. A modellben alkalmazott rugóállandót és csillapítást zajmérés és nagysebességű kamerás felvételek alapján állapítottam meg. A számítási eredmények alapján a gép által végzett mozgás az ütőtárcsa fogaihoz viszonyítva (a) és az egy perióduson belül számított ütközési erő (b) a 5. ábrán található.



a)

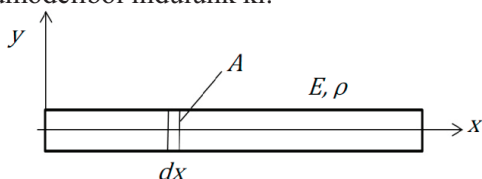
b)

5. ábra: Az egyszabadságfokú rugalmas modell elmozdulás és erő számítási eredménye az idő mentén ábrázolva

Az ütési teljesítmény ebben az esetben nem számítható egy impulzus nagyságának és az egységnyi idő alatt bevitt impulzusok számának szorzatával. Továbbá megállapítható, hogy a tapasztalt lengés csökkenti a fúrási hatékonyságot.

## 5. IMPULZUS ÁTADÁS AZ ÜTŐ MECHANIZMUSBAN

Az ütfűrőgép hatékonyságának vizsgálata során nem tekinthetünk el az ütmunka előállításában részt vevő alkatrészek rugalmasságától és tömegétől. Az üttárcsán létrejött impulzus, mint hullám terjed és adódik át a fűrészár végére, ahol a közet megmunkálása történik. Az impulzus terjedését és az energiaátadást alapvetően befolyásolják az abban részt vevő gépelemek geometriai és fizikai tulajdonságai. Ezen jelenség leírására egy mechanikai modellt építünk fel, melyben az impulzus terjedése jól vizsgálható, a befolyásoló tényezők hatása számszerűsíthető. A jelenség leírásához egy prizmatikus rúdmodellből indulunk ki.



6. ábra: A prizmatikus rúd modellje

Vizsgáljuk a rúd egy elemi hosszúságú szakaszának dinamikáját. A rúdelem hossza  $dx$ , a rúdelem elmozdulása  $u(x, t)$ , a rúdelem bal oldali felületén ébredő rúderő  $N(x, t)$ , a jobboldali  $N(x+dx, t)$ . Az  $N(x+dx, t)$  rúderőt sorbafejtve és a lineárisnál magasabb rendű tagokat elhanyagolva a rúdirányú impulzustétel a következő alakban írható:

$$\ddot{u} dm = -N(x, t) + N(x, t) + \frac{\partial N(x, t)}{\partial x} dx \quad (7)$$

ahol  $\ddot{u}$  a gyorsulás  $dm = \rho dx$ .

A rúderő kifejezhető a rúdirányú alakváltozás  $\varepsilon_x$  és a Hook törvény segítségével:

$$N(x, t) = AE \varepsilon_x = AE u' \quad (8)$$

Behelyettesítve (8)-at, majd egyszerűsítve az impulzustételt majd alkalmazva az  $\frac{E}{\rho} = v_H^2$  jelölést, a következő hullámegyenletet kapjuk:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v_H^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (9)$$

Vizsgáljuk egy prizmatikus, hengeres,  $L$  hosszúságú fűrészárban a hullám terjedését. A fűrészár kúpos hegyét merevnek tételezzük fel. A fűrészárat  $F_i$  nagyságú erővel ütjük meg,

melynek hatására kialakuló impulzus a fűrészáron végighaladva a falban  $F_i$  nagyságú erőt ad át.

$$0 = \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} - v_H^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) u \quad (10)$$

A (10) egyenlet sor jobb oldalán található differenciáló operátor kifejezhető két tag összegének és különbségének szorzataként. A tényezők sorrendje felcserélhető, és feltételezzük, hogy az alábbi egyenletek érvényesek, ennek figyelembe vételével két egyenlet írható fel:

$$0 = \left( \frac{\partial}{\partial t} + v_H \frac{\partial}{\partial x} \right) u_I \quad (11)$$

$$0 = \left( \frac{\partial}{\partial t} - v_H \frac{\partial}{\partial x} \right) u_R \quad (12)$$

A (11) egyenlet a pozitív  $x$  irányba haladó hullám mozgása, a (12) pedig a visszaverődő, azaz a negatív  $x$  irányba haladó hullámra érvényes. Ha a hullám eléri a fűrészár végét, akkor a véglap keresztmetszetének sebességét a haladó és a visszaverődő hullám sebességének szuperpozíciója szolgáltatja:

$$v(x, t) = \frac{\partial u_I}{\partial t} + \frac{\partial u_R}{\partial t} \quad (13)$$

A (12) és (13) alapján a véglap keresztmetszetének sebessége az ott fellépő alakváltozással is felírható. Az összefüggést megszorozva  $\frac{AE}{v_H}$ -val, a következő írható:

$$\frac{AE}{v_H} v(L, t) = -AE \frac{\partial u_I(L, t)}{\partial x} + AE \frac{\partial u_R(L, t)}{\partial x} \quad (14)$$

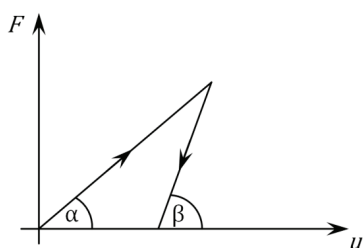
Vezessük be az  $Z$  impedanciát a  $Z = \frac{AE}{v_H}$  értelmezés szerint. A Hook törvényt figyelembe véve a következő egyenletet kapjuk:

$$Zv(L, t) = -N_I + N_R \quad (15)$$

Egy további egyenlet származtatható a dinamikai peremfeltételből, amely a fallal való érintkezésnél érvényes.

$$N_I(L, t) + N_R(L, t) = F(t) \quad (16)$$

A fal rugalmas-képlékeny viselkedésére, azaz az  $F$  reakcióerő anyagtörvényére a 7. ábrán szemléltetett viselkedést tételezzük fel. A felterhelési szakasz képlékeny, a tehermentesítés rugalmas [2].



7. ábra: A fűrészár-kőzet anyagmodell

Az anyagtörvényt a felterhelési és tehermentesítési függvény mereedségével jellemezzük, ahol a  $k_{pl}$  és  $k_e$  a rugalmas és képlékeny merevséget jelöli:  $k_{pl} = \tan \alpha$ ,  $k_e = \tan \beta$ . A reakcióerő a felterhelésnél  $F = k_{pl} \cdot u(L, t)$  képlettel fejezhető ki, amelyet idő szerint deriválva a következő kifejezést kapjuk:

$$\frac{dF}{dt} = k_{pl} \cdot v, \quad v > 0 \quad (17)$$

Behelyettesítve a (17) egyenletbe a (16) összefüggést, a következőt kapjuk:

$$\frac{dF}{dt} = k_{pl}(-N_i + N_R) \frac{1}{Z} \quad (18)$$

Elvégezve az átalakításokat az alábbi differenciálegyenlet adódik:

$$\frac{dF}{dt} + \frac{F \cdot k_{pl}}{Z} = -\frac{2N_i}{Z} \quad (19)$$

Ez a differenciálegyenlet tartalmazza a fűrészár végén, a falnál fellépő erőt és a haladó hullámból származó rúderőt, amelyek közötti összefüggés határozza meg az ütés impulzusából a közet megmunkálására jutó erőt. Az egyenlet partikuláris megoldása a konvolúciós integrál vagy Faltung-tétele alapján:

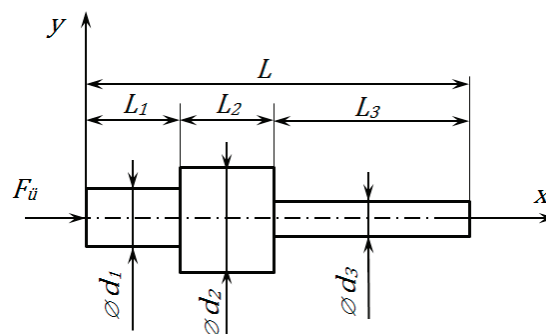
$$F(t) = -\frac{2}{Z} \int_0^t e^{\frac{k_{pl}}{Z}(\tau-t)} N_i(\tau) d\tau \quad (20)$$

Ezen összefüggés alapján, a rúd végén kialakuló munkavégző impulzus legnagyobb

értéke exponenciálisan változó beeső impulzus alakkal érhető el [1] szerint. Az ütfűrőgép ütőtárcsája által létrehozott impulzus alakjáról nincs információnk, ezért azt konstrukciósan befolyásolni nem tudjuk.

## 6. A HULLÁMTERJEDÉS VÉGESELEMES VIZSGÁLATA

A továbbiakban a hullámterjedés hatását vizsgáljuk az ütfűrő hatékonyására a 8. ábrán látható, szakaszonként állandó keresztmetszetű rúdban.



8. ábra: Az ütfő mechanizmus egyszerűsített modellje

Ehhez állítsuk elő a (9) hullámegyenlet végeelemes leírásához szükséges egyenleteket! A (9) hullámegyenletet megszorozva  $\delta u(x)$  virtuális elmozdulással és integrálva a rúd térfogata mentén az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\int_0^L \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \delta u A dx - \int_0^L v_H^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \delta u A dx = 0 \quad (21)$$

A rúd szabad végén a peremfeltétel  $\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_L = 0$ .

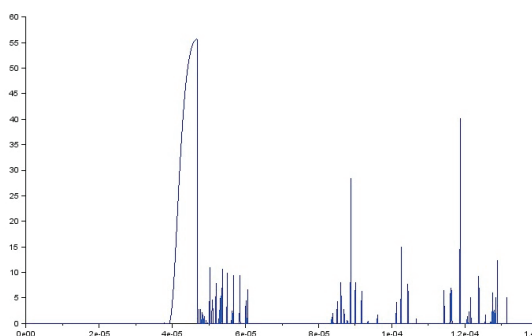
A rúd  $F$  erővel terhelt végén a peremfeltétel  $\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_L = \frac{F}{AE}$ .

$$\begin{aligned} \int_0^L \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \delta u A dx + \int_0^L v_H^2 \frac{\partial u}{\partial x} \delta u' A dx \\ = v_H^2 A \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_L \delta u(L) \\ - v_H^2 A \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_0 \delta u(0) \end{aligned} \quad (22)$$

A (22) egyenlet a hullámegyenlethez rendelt gyenge alak, vagy más néven a virtuális munka elvének variációs alakja. Ez szolgál a végeelemes számítás alapjául. A vizsgált tartományt osszuk fel összesen  $n^e$  számú két csomópontú véges elemre! Az elmozdulást

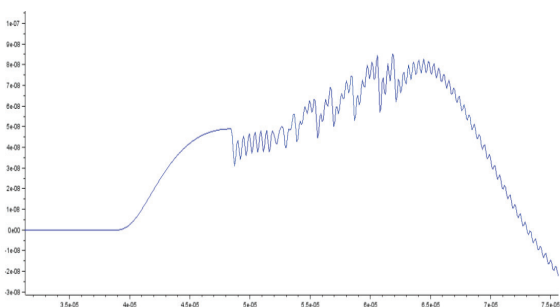


elemenként lineárisan approximáljuk. A mozgásegyenlet numerikus megoldására a trapéz módszert alkalmazzuk. Az említett számításra Scilab szoftvert készítettem. A szoftver segítségével a szerkezetben terjedő longitudinális hullámok terjedése vizsgálható különböző geometriai és impulzus nagyságok mellett. Eredményként a feltételezett fúrószár csúcsán létrejövő, 9. ábrán látható impulzus nagysága és időbeli lefutása kerül rögzítésre.



9. ábra: Számított ütési impulzus

Az ábrán látható, hogy a fúrószár csúcsán mérhető kontakterő, amely a közet alakítását végzi a domináns első impulzus. Ennek nagysága és időbeli lefutása okoz valódi alakító munkát. A beérkező impulzus a kihajtó tengelyen végighalad, de a keresztmetszet változás és a lengő tömeg miatt számos reflexió jön létre. A többszörösen visszaverődő és a lengő tömeget felgyorsító hullámok az energia szóródását okozzák, így csökkentik a fúráshoz szükséges impulzusok nagyságát. A számítását elvégeztem a tokmány tömegének felére csökkentésével is. Így az első impulzus nagysága hozzávetőlegesen 40%-al nőtt meg.



10. ábra: Számított elmozdulás a fúrószár csúcspontján

Ez alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a tokmány tömegének csökkentésével jelentős hatékonyság növekedést lehetne elérni.

Meg kell jegyeznünk, hogy a tokmány tömege erősen függ annak konstrukciójától, korlátlanul nem befolyásolható, de a tervezés során, mint szempont figyelembe vehető. A fúrószár csúcsán számított elmozduláson is jól látható (10. ábra), a fúrószárban reflektálódó hullámoknak a domináns impulzusra gyakorolt hatása.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A fúrási hatékonyság vizsgálata céljából egy-szabadságfokú merev és rugalmas modelleket fejlesztettem ki, amely alapján egy szimulációs szoftvereket dolgoztam ki. A rendszer alkalmas az ütfúrás során létrejövő impulzusok nagyságának és időbeli lefutásának kiszámítására. A vizsgálat alapján megállapítottam, hogy nagy fordulatszámok, és kis nyomóerő mellett a gép olyan lengése jön létre, melynek frekvenciája a gerjesztő ütési frekvenciától eltér. A jelenség az egymást követő impulzusok eltérését okozzák, amely hatásfokromlást eredményez.

Az ütő mechanizmusban terjedő hullám vizsgálatára végelelemes modellt és szoftvert dolgoztam ki. Az ütő mechanizmust szakaszonként állandó keresztmetszetű rúddal, koncentrált tömeggel modellezi. A fúrószár és a megmunkált anyag kapcsolatát lineárisan keményedő, rugalmas-képlékeny anyag-törvénnyel és egyoldalú érintkezéssel veszi figyelembe. A számítások alapján arra következtettem, hogy a változó keresztmetszetek és a tokmány, mint lengő tömeg rontja az ütfúrési hatékonyságát.

## 8. IRODALOM

- [1] B. Lundberg, M. Okrouhlik; Efficiency of a percussive rock drilling process with consideration of wave energy radiation into the rock, International Journal of Impact Engineering 32 (2006) pp. 1573–1583
- [2] Karlsson LG, Lundberg B, Sundin KG. Experimental study of a percussive process for rock fragmentation. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr 1989;26:45}50.
- [3] Kakuk J.: An assessment of the efficiency of percussion drills, ICT-2012, 13<sup>th</sup> International Conference on Tools 27 – 28 March 2012, Miskolc, Hungary

# KOMPRESSZOR SZÁMÍTÁSI MODELL HŰTŐKÖR SZIMULÁCIÓHOZ

## COMPRESSOR MODEL FOR COOLING SYSTEM SIMULATION

Nagy József\*

### ABSTRACT

*This work shows a method to create compressor model for cooling system simulation. The principle of this model the real compressor is replaced an ideal compressor. Based on the catalogue data is calculated the compression and expansion politropic factors for ideal compressor. Each other properties of real compressor sum up with these two factors. On an example is shown the model accuracy.*

### 1. BEVEZETÉS

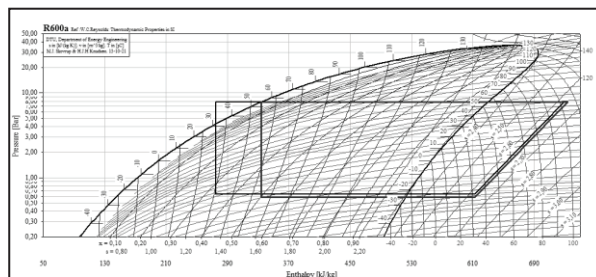
A háztartási hűtőberendezések egy-egy ország energiafogyasztásának jelentős részét adják. Ezért az európai előírások az energia címke bevezetésével és az egyre szigorodó energiafogyasztási határértékkel a gyártókat arra ösztönzik, hogy egyre kisebb energiafogyasztású hűtőkészüléket gyártsanak. Másrészt a piaci verseny arra kényszeríti a gyártókat, hogy minél gyorsabban jelenjenek meg energiahatékonyabb készülékekkel. A gyorsabb és költséghatékony termékfejlesztéshez szükséges a hűtőkészülékekben lejátszódó hőtechnikai folyamatok szimulációja még a prototípus építése és tesztelése előtt.

A kompresszoros hűtőgépek központi egysége a hermetikus kompresszor. A kompresszorokat a hűtőkészülék gyártók különböző kompresszor beszállítóktól vásárolják. A készülékek tervezése során a hűtőbutor tervezőknek a kompresszor katalógusok adatai állnak rendelkezésre, ezek alapján választják ki a beépítendő kompresszort.

A kompresszor gyártók az **ASHRAE** (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) vagy a **CECOMAF** (Comité européen des constructeurs de matériel frigorifique) feltételek mellett adják meg a kompresszorok adatait, úgymint COP (Coefficient of Performance), hűtőteljesítmény, felvett teljesítmény. A katalógusok általában táblázatokban vagy diagramokon tartalmazzák a kompresszorok fent említett adatait különböző elpárolgási és kondenzációs hőmérsékletek mellett (lásd 1. táblázat, 1. ábra). Az utóhűtés, a beszívott közeg hőmérséklete az ASHRAE feltételeknek felelnek meg.

| Teszt körülmények        |      | ASHRAE | CECOMAF |
|--------------------------|------|--------|---------|
| Elpárolgási hőmérséklet  | [°C] | -23,3  | -25     |
| Kondenzáció hőmérséklete | [°C] | 55     | 55      |
| Utóhűtés hőmérséklete    | [°C] | 32     | 55      |
| Szívócső hőmérséklete    | [°C] | 32     | 32      |
| Környezeti hőmérséklet   | [°C] | 32     | 32      |

1. táblázat ASHRAE és CECOMAF tesztelési feltételek



1. ábra ASHRAE és CECOMAF feltételek log(p)-h diagramon

### 2. KOMPRESSZOR MODELL

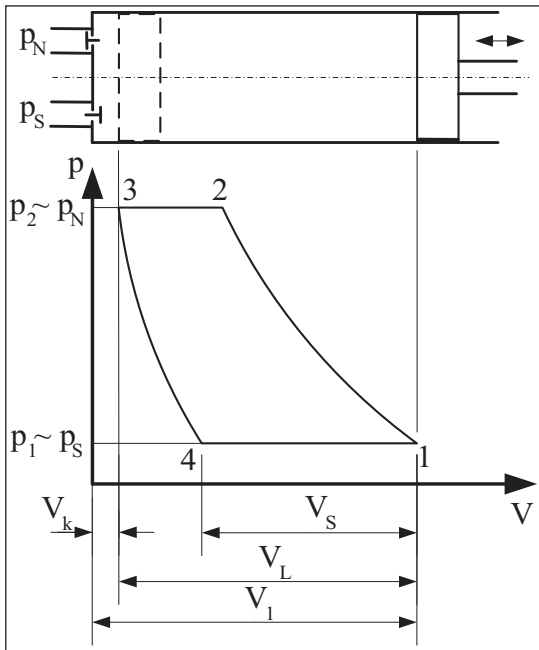
A hűtő körfolyamat szimulációjához ismerni kell, hogy a kompresszor időegység alatt mennyi közeget szív el az elpárolgatóból és milyen sűrűségű és entalpiájú közeget nyom a kondenzátorba.

A kompresszorok pontos leírása bonyolult és sok számítást igényel, sok bizonytalanság mellett. Ezért ebben a tanulmányban a valós kompresszort egy olyan kompresszorral helyettesítjük, ami ugyanazokkal a hatékonysági és teljesítmény adatokkal rendelkezik, mint a valós kompresszor azonos feltételek mellett. Ez azt jelenti, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján a nyomásviszony függvényeként úgy határozzuk meg a kompressziós és expanziós politrópikus kitevőket, hogy az ezek alapján számolt COP, hűtőteljesítmény és felvett teljesítmény megegyezzen a valós kompresszoron mért értékekkel.

\*termékfejlesztési igazgató, Electrolux Lehel Kft. Hűtőszekrény és fagyasztóláda gyár

### 3. A KOMPRESSZORA VONATKOZÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

A 2. ábra mutatja a dugattyús kompresszor indikátor-diagramját a hozzá tartozó jelölésekkel.



2. ábra Kompresszor indikátor diagramja

Károstérviszony (clearance ratio):  $\varepsilon_0 = \frac{V_k}{V_L} < 1$ , (1)

Kompresszióviszony:  $\varepsilon = \frac{V_k + V_L}{V_k} = 1 + \frac{1}{\varepsilon_0} > 1$ , (2)

Nyomásviszony:  $\pi = \frac{p_2}{p_1} > 1$ , (3)

Töltési fok:  $\lambda_v = \frac{V_s}{V_L} < 1$ . (4)

(Az angol nyelvű irodalomban a töltési fokot volumetrikus hatásfoknak nevezik és  $\eta_v$ -el jelölik.)

A kompresszor munkája egy ütemre:

$$W_{\text{compr}} = \int_{p_1}^{p_2} V dp - \int_{p_4=p_1}^{p_3=p_2} V dp. \quad (5)$$

Az 1 és 2 pontok között politropikus kompresszió esetén a

$$V = V_1 \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{1}{n_k}}, \quad (6)$$

a 3 és 4 pontok között politropikus expanzió esetén pedig a

$$V = V_3 \left( \frac{p_2}{p} \right)^{\frac{1}{n_e}} \quad (7)$$

összefüggések írják le a  $V(p)$  függvényeket.

A (6) és (7) összefüggések felhasználásával a kompresszor munkáját egy ütemre (egy fordulatra) a következő összefüggés írja le:

$$W_{\text{compr}} = V_1 p_1 \frac{n_k}{n_k - 1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}} - 1 \right] - V_3 p_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n_e}} \frac{n_e}{n_e - 1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n_e - 1}{n_e}} - 1 \right]. \quad (8)$$

Felhasználva a

$$V_1 = (1 + \varepsilon_0) V_L \quad (9)$$

és a

$$V_3 = \varepsilon_0 V_L \quad (10)$$

összefüggéseket, írhatjuk, hogy

$$W_{\text{compr}} = V_L p_1 \left( (1 + \varepsilon_0) \frac{n_k}{n_k - 1} \left[ \pi^{\frac{n_k - 1}{n_k}} - 1 \right] - \varepsilon_0 \pi^{\frac{1}{n_e}} \frac{n_e}{n_e - 1} \left[ \pi^{\frac{n_e - 1}{n_e}} - 1 \right] \right). \quad (11)$$

A töltési fok a (7), (9) és a (10) képletek alapján a következőképpen fejezhető ki:

$$\lambda_v = \frac{V_s}{V_L} = \frac{V_1 - V_4}{V_L} = \frac{(1 + \varepsilon_0) V_L - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n_e}} \varepsilon_0 V_L}{V_L}, \quad (12)$$

$$\lambda_v = 1 + \varepsilon_0 - \varepsilon_0 \pi^{\frac{1}{n_e}}. \quad (13)$$

A kompresszor belépő térfogatárama, ha  $n$  a kompresszor motor fordulatszáma (löketszám):

$$\dot{V} = V_s n = \lambda_v V_L n. \quad (14)$$

A kompresszor tömegáramát a belépő közeg sűrűségével adjuk meg, így

$$\dot{m} = \rho_1 \dot{V} = \rho_1 \lambda_v V_L n = \rho_1 \left( 1 + \varepsilon_0 - \varepsilon_0 \pi^{\frac{1}{n_e}} \right) V_L n. \quad (15)$$

A kompresszor teljesítménye:

$$P = W_{\text{compr}} n. \quad (16)$$

Felhasználva a (11) és (15) összefüggéseket, kapjuk:

$$P = \frac{\dot{m}}{\lambda_v} \frac{p_1}{\rho_1} \left( (1 + \varepsilon_0) \frac{n_k}{n_k - 1} \left[ \pi^{\frac{n_k - 1}{n_k}} - 1 \right] - \varepsilon_0 \pi^{\frac{1}{n_e}} \frac{n_e}{n_e - 1} \left[ \pi^{\frac{n_e - 1}{n_e}} - 1 \right] \right). \quad (17)$$

A hűtőköri hűtőtéljesítménye:

$$\dot{Q}_e = \dot{m} (h_1 - h_4) = \rho_1 \left( 1 + \varepsilon_0 - \varepsilon_0 \pi^{\frac{1}{n_e}} \right) V_L n (h_1 - h_4). \quad (18)$$

Ha ismerjük a hűtőtéljesítményt, a lökettérfogatot, a károsteret és a nyomásviszonyt, valamint a kompresszor motor fordulatszámát és a belépő közeg sűrűségét (ezek a kompresszor katalógusokban adottak, vagy a megadott értékek alapján számíthatóak), akkor a (18) egyenletből

az  $n_e$  expanziós politropikus kitevő számítható, az alábbi összefüggés szerint:

$$n_e = \frac{\ln(\pi)}{\ln\left(1 + \frac{1}{\varepsilon_0} - \frac{\dot{Q}_e}{\varepsilon_0 \rho_1 V_L n(h_1 - h_4)}\right)} \quad (19)$$

Ennek és a kompresszor teljesítmény felvételnek az ismeretében numerikusan számítható az  $n_k$  kompressziós politropikus kitevő. (Például az MS Excel célérték keresés menü segítségével számítható az  $n_k$ .)

A kompresszor izentropikus hatásfoka az izentropikus teljesítményfelvétel és a valós (politropikus) teljesítményfelvétel hányadosa:

$$\eta_s = \frac{\dot{m}(h_{2s} - h_1)}{\dot{m}(h_2 - h_1)} = \frac{\frac{\dot{Q}_e}{COP_s}}{\frac{\dot{Q}_e}{COP}} = \frac{COP}{COP_s} \quad (20)$$

A kompresszor katalógusokból ismerjük az ASHRAE vagy a CECOMAF feltételeknek megfelelő adatokat. Feltételezve továbbá, hogy a káróstér viszony ~3%, valamint a kompresszor motor fordulatszáma 2880 ford/perc, ezen adatokból számíthatók az  $n_e$  és az  $n_k$  értékei, különböző elpárolgási és kondenzációs hőmérsékletek (nyomások) esetén. Az így kapott  $n_e$  és  $n_k$  értékek alapján negyedfokú polinomokkal közelítve megadhatók a  $n_e = f(\ln(\pi), p_2)$  és a  $n_k = f(\ln(\pi), p_2)$  függvények. Ezen függvények általános alakja:

$$\begin{aligned} n_e = & (aa_e p_2^4 + ab_e p_2^3 + ac_e p_2^2 + ad_e p_2 + ae_e)(\ln \pi)^4 + \\ & + (ba_e p_2^4 + bb_e p_2^3 + bc_e p_2^2 + bd_e p_2 + be_e)(\ln \pi)^3 + \\ & + (ca_e p_2^4 + cb_e p_2^3 + cc_e p_2^2 + cd_e p_2 + ce_e)(\ln \pi)^2 + \\ & + (da_e p_2^4 + db_e p_2^3 + dc_e p_2^2 + dd_e p_2 + de_e)(\ln \pi) + \\ & + (ea_e p_2^4 + eb_e p_2^3 + ec_e p_2^2 + ed_e p_2 + ee_e), \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} n_k = & (aa_k p_2^4 + ab_k p_2^3 + ac_k p_2^2 + ad_k p_2 + ae_k)(\ln \pi)^4 + \\ & + (ba_k p_2^4 + bb_k p_2^3 + bc_k p_2^2 + bd_k p_2 + be_k)(\ln \pi)^3 + \\ & + (ca_k p_2^4 + cb_k p_2^3 + cc_k p_2^2 + cd_k p_2 + ce_k)(\ln \pi)^2 + \\ & + (da_k p_2^4 + db_k p_2^3 + dc_k p_2^2 + dd_k p_2 + de_k)(\ln \pi) + \\ & + (ea_k p_2^4 + eb_k p_2^3 + ec_k p_2^2 + ed_k p_2 + ee_k) \end{aligned} \quad (22)$$

Ezen függvények segítségével számíthatók az  $n_e$  és az  $n_k$  értékei a katalógusban megadott nyomás viszonyoktól eltérő nyomás viszonyok mellett is.

#### 4. EREDMÉNYEK

Példaként vegyük a ACC kompresszor gyár HYK95AA típusú kompresszorát. Ennek a kompresszornak az adatait diagram formában adta meg a gyártó. Itt most a diagramból leolvasott adatok alapján összeállított táblázatot mutatjuk be (2. táblázat). A 2. táblázat

adatai alapján a fent részletezett módon kiszámíthatjuk az  $n_e = f(\ln(\pi), p_2)$  és a  $n_k = f(\ln(\pi), p_2)$  függvények együtthatóit, amelyeket a 3. táblázatban foglaltunk össze.

A kompresszor modellt teszteltük egy valós hűtőköszüléken mért értékekkel.

| T <sub>c</sub><br>[°C] | T <sub>e</sub> [°C] | -35   | -30    | -23,3  | -20    | -15    | -10    |
|------------------------|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 40                     | P [W]               | 70,34 | 79,28  | 91,29  | 97,55  | 110,56 | 120,69 |
|                        | COP                 | 1,32  | 1,56   | 1,90   | 2,08   | 2,33   | 2,61   |
|                        | Q <sub>e</sub> [W]  | 92,50 | 123,67 | 173,44 | 202,91 | 257,60 | 315,00 |
| 45                     | P [W]               | 68,26 | 80,47  | 96,09  | 103,07 | 115,52 | 126,03 |
|                        | COP                 | 1,29  | 1,50   | 1,80   | 1,97   | 2,21   | 2,48   |
|                        | Q <sub>e</sub> [W]  | 88,06 | 120,70 | 172,96 | 203,04 | 255,31 | 312,55 |
| 50                     | P [W]               | 73,09 | 83,91  | 99,48  | 107,78 | 123,00 | 134,59 |
|                        | COP                 | 1,18  | 1,41   | 1,71   | 1,86   | 2,10   | 2,33   |
|                        | Q <sub>e</sub> [W]  | 86,25 | 118,32 | 170,11 | 200,48 | 258,30 | 313,60 |
| 55                     | P [W]               | 71,05 | 85,04  | 103,03 | 111,74 | 125,40 | 140,67 |
|                        | COP                 | 1,14  | 1,35   | 1,64   | 1,78   | 2,00   | 2,22   |
|                        | Q <sub>e</sub> [W]  | 81,00 | 114,81 | 168,97 | 198,90 | 250,80 | 312,28 |
| 60                     | P [W]               | 74,25 | 87,50  | 106,26 | 117,40 | 131,46 | 144,76 |
|                        | COP                 | 1,12  | 1,30   | 1,55   | 1,68   | 1,90   | 2,10   |
|                        | Q <sub>e</sub> [W]  | 83,16 | 113,75 | 164,71 | 197,23 | 249,78 | 304,00 |

2. táblázat HYK95AA kompresszor adatai

| n <sub>k</sub>   |             |                 |             |
|------------------|-------------|-----------------|-------------|
| aa <sub>k</sub>  | -5 010,78   | ba <sub>k</sub> | 49 000,61   |
| ab <sub>k</sub>  | 13 897,04   | bb <sub>k</sub> | -135 659,40 |
| ac <sub>k</sub>  | -14 297,80  | bc <sub>k</sub> | 139 300,79  |
| ad <sub>k</sub>  | 6 468,06    | bd <sub>k</sub> | -62 881,40  |
| ae <sub>k</sub>  | -1 085,98   | be <sub>k</sub> | 10 531,89   |
| da <sub>k</sub>  | 283 565,99  | ea <sub>k</sub> | -167 817,30 |
| db <sub>k</sub>  | -782 205,45 | eb <sub>k</sub> | 462 048,62  |
| dca <sub>k</sub> | 800 048,35  | ec <sub>k</sub> | -471 646,14 |
| dd <sub>k</sub>  | -359 599,19 | ed <sub>k</sub> | 211 537,12  |
| de <sub>k</sub>  | 59 937,92   | ee <sub>k</sub> | -35 172,44  |
| n <sub>e</sub>   |             |                 |             |
| aa <sub>e</sub>  | -5 789,63   | ba <sub>e</sub> | 56 841,96   |
| ab <sub>e</sub>  | 15 984,52   | bb <sub>e</sub> | -156 734,61 |
| ac <sub>e</sub>  | -16 371,16  | bc <sub>e</sub> | 160 315,14  |
| ad <sub>e</sub>  | 7 372,04    | bd <sub>e</sub> | -72 092,42  |
| ae <sub>e</sub>  | -1 231,93   | be <sub>e</sub> | 12 030,05   |
| da <sub>e</sub>  | 333 896,62  | ea <sub>e</sub> | -199 665,03 |
| db <sub>e</sub>  | -918 307,12 | eb <sub>e</sub> | 548 411,32  |
| dc <sub>e</sub>  | 936 820,98  | ec <sub>e</sub> | -558 730,38 |
| dd <sub>e</sub>  | -420 142,95 | ed <sub>e</sub> | 250 243,11  |
| de <sub>e</sub>  | 69 913,43   | ee <sub>e</sub> | -41 584,18  |

3. táblázat n<sub>k</sub> és n<sub>e</sub> együtthatói

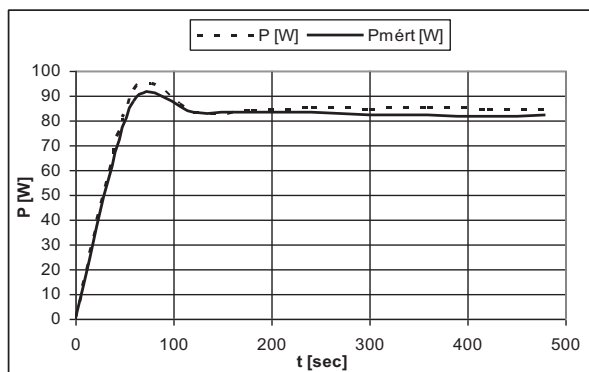
A hűtőköszüléken mértük az elpárolgási, kondenzációs, szívócső hőmérsékleteket, valamint a teljesítményfelvételt.

A mért és a számított adatokat a 4. táblázatban foglaltuk össze.



|                                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| t [s]                                      | 0      | 60     | 120    | 180    | 240    | 300    | 360    | 420    | 480    |
| Lökettérfogat ( $V_L$ ) [cm <sup>3</sup> ] | 9,6    | 9,6    | 9,6    | 9,6    | 9,6    | 9,6    | 9,6    | 9,6    | 9,6    |
| $\varepsilon_0$ (CL) [%]                   | 3      | 3      | 3      | 3      | 3      | 3      | 3      | 3      | 3      |
| n [rpm]                                    | 2880   | 2880   | 2880   | 2880   | 2880   | 2880   | 2880   | 2880   | 2880   |
| $T_k$ [°C]                                 | 25,0   | 25     | 25     | 25     | 25     | 25     | 25     | 25     | 25     |
| $T_e$ [°C]                                 | -20,8  | -23,8  | -26,6  | -27,1  | -27,3  | -27,8  | -27,8  | -28,1  | -28,1  |
| $T_c$ [°C]                                 | 24,4   | 32,8   | 37,6   | 39,9   | 41,4   | 42,2   | 42,8   | 43,1   | 43,7   |
| $T_3$ ( $T_{liquid}$ ) [°C]                | 26,9   | 31,1   | 36,2   | 38,4   | 40     | 40,9   | 41,5   | 41,8   | 42,4   |
| $T_1$ [°C]                                 | 31,2   | 4,4    | 16,9   | 23,3   | 24,4   | 24,9   | 25,2   | 25,9   | 25,7   |
| $p_1$ [MPa]                                | 0,070  | 0,061  | 0,054  | 0,053  | 0,052  | 0,051  | 0,051  | 0,051  | 0,051  |
| $\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]              | 1,630  | 1,576  | 1,325  | 1,266  | 1,249  | 1,219  | 1,218  | 1,198  | 1,199  |
| $p_2$ [MPa]                                | 0,070  | 0,437  | 0,498  | 0,530  | 0,551  | 0,562  | 0,571  | 0,576  | 0,584  |
| $\pi$                                      | 1,000  | 7,136  | 9,203  | 10,004 | 10,499 | 10,965 | 11,136 | 11,377 | 11,553 |
| $h_1=h_g(T_1)$ [kJ/(kgK)]                  | 610,6  | 566,7  | 587,2  | 597,9  | 599,7  | 600,6  | 601,1  | 602,3  | 602,0  |
| $h_3=h_4=h_f(T_{liquid})$ [kJ/(kgK)]       | 603,3  | 274,6  | 287,4  | 293,0  | 297,0  | 299,3  | 300,9  | 301,7  | 303,2  |
| $n_e$                                      |        | 1,0460 | 0,9904 | 1,0178 | 1,0389 | 1,0535 | 1,0583 | 1,0638 | 1,0672 |
| $n_k$                                      |        | 2,2602 | 1,8336 | 1,7944 | 1,7746 | 1,7600 | 1,7504 | 1,7431 | 1,7328 |
| $\lambda_v$ [%]                            | 100,0  | 83,36  | 74,79  | 74,17  | 74,16  | 73,87  | 73,74  | 73,50  | 73,29  |
| $1000 \times dm/dt$ [kg/s]                 | 7,5    | 6,1    | 4,6    | 4,3    | 4,3    | 4,1    | 4,1    | 4,1    | 4,0    |
| P [W]                                      | 0,0    | 92,5   | 83,1   | 84,0   | 85,0   | 84,6   | 85,0   | 84,5   | 84,7   |
| $Q_e$ [W]                                  | 0,0    | 176,8  | 136,9  | 131,9  | 129,2  | 125,0  | 124,2  | 122,0  | 121,0  |
| COP                                        |        | 1,91   | 1,65   | 1,57   | 1,52   | 1,48   | 1,46   | 1,44   | 1,43   |
| $s_1$ [kJ/(kgK)]                           | 2,604  | 2,472  | 2,561  | 2,601  | 2,608  | 2,615  | 2,616  | 2,622  | 2,621  |
| $h_{2is}=h(p_2,s_1)$ [kJ/(kgK)]            | 610,6  | 648,3  | 684,8  | 701,7  | 706,3  | 709,5  | 710,9  | 713,4  | 713,8  |
| $\eta_{is}$ [%]                            |        | 53,38  | 53,65  | 53,46  | 53,52  | 53,40  | 53,46  | 53,37  | 53,43  |
| $h_2$ [kJ/(kgK)]                           | 610,62 | 600,33 | 627,23 | 640,60 | 643,53 | 645,48 | 646,28 | 648,12 | 648,00 |
| $T_2$ [°C]                                 | 31,20  | 33,55  | 49,00  | 56,47  | 58,35  | 59,55  | 60,11  | 61,12  | 61,22  |
| $\rho_2$ [kg/m <sup>3</sup> ]              | 1,630  | 11,262 | 12,153 | 12,596 | 13,063 | 13,306 | 13,510 | 13,569 | 13,805 |
| $P_{mért}$ [W]                             | 0      | 87,9   | 83,4   | 83,2   | 83,5   | 82,2   | 82,4   | 81,5   | 82     |

4. táblázat Mért és számolt adatok



3. ábra Mért és számolt teljesítményfelvétel

A 3. ábrán ábrázolva a mért és számolt teljesítményfelvételt az idő függvényében azok között jó egyezés mutatkozik ( $R^2=0,991$ ), azaz kijelenthetjük, hogy a

bemutatott számítási modell alkalmas a kompresszorok modellezésére hűtőkörfolyamatok számításakor.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében valósult meg.

## 6. IRODALOM

- [1] Szabó Szilárd: Erő- és munkagépek I., Előadásvázlat  
[2] ACC HYK95AA compressor datasheet

# VASÚTI FÉKTUSKÓ KOPÁSÁNAK VIZSGÁLATA

## WEAR ANALYSIS OF RAIL BRAKE BLOCK

Czifra Árpád<sup>1</sup>, Fábíán Enikő Réka<sup>2</sup>, Kozma Mihály<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

<sup>2</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék

<sup>3</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék

### ABSTRACT

Damage and wear of tribological surfaces contain information about the operating state and frictional behaviour. Analysis of worn topographies leads to the deeper understanding of tribological processes.

The aim of this study was to reveal background of wear of rail brake block. Optical and scanning electron microscopy, sectioning and microtopographic measurements were carried out to identify wear type of surface.

### 1. BEVEZETÉS

Napjaink tribológiai vizsgálatainak egyik kiemelten fontos területe a kopási folyamatok egyre inkább részletekbe menő vizsgálata és modellezése. Ezek a modellek igyekeznek részletesen figyelembe venni a kiinduló felület geometriai, fizikai és kémiai jellemzőit és pontosan modellezni a működési folyamatokat, feltárni a kopási jelenségek okait. Korábbi munkáinkban vasúti féktuskó numerikus kopási modelljét mutattuk be [1]. A forrópont-vándorlási modell [2] választ adott a felület egyenetlen kopására, ugyanakkor a kiegészítő mikrotopográfiai vizsgálatokkal [3] együtt sem tudott egyértelmű választ adni a felületen bekövetkezett kopás okait illetően.

A pásztázó elektronmikroszkópia és az anyagszerkezetanalízis vizsgálatok nélkülözhetetlen eszközei a kopási vizsgálatoknak [4]. A kopott elemek felületének összetétele, az anyagszerkezeti változások a felülettől mért távolság függvényében, lehetőséget biztosítanak a működés közben lejátszott mechanikai, hőtani folyamatok és az ezekkel összefüggő geometriai, fizikai és kémiai változások értékelésére.

Az iparban zajló jelenlegi fejlesztések [5] egyik fontos célja a P10 öntöttvas vasúti féktuskók kiváltása, de a jelenlegi kutatási eredmények ezt még nem teszik lehetővé. Ennek egyik fő oka, hogy a kísérleti fázisban lévő egyéb féktuskó anyagok olyan mértékű kopást szenvednek, vagy okoznak a keréken, ami üzembiztonsági problémákhoz vezethet. Fontos

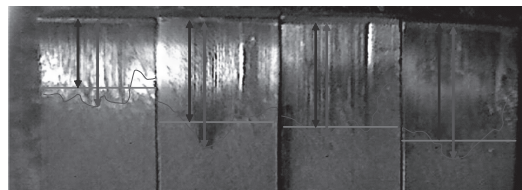
tehát a féktuskónál zajló kopási mechanizmus megismerése.

Jelen munkánk célja a felület károsodásának részletes vizsgálata révén a kopási folyamat minőségi jellemzése volt. Ennek érdekében elektronmikroszkópos felvételek, elemi összetétel vizsgálatok, csiszolatok és metszetek készültek, melyek az elvégzett mikrotopográfiai mérésekkel kiegészítve lehetőséget adtak a kopási folyamat feltárására.

### 2. ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

A kísérleti fékpad leírás és az elvégzett kísérletek ismertetése a [1] szakirodalomban megtalálható. Mivel jelen vizsgálatok szerves folytatásai a korábbi modellezési és kopásvizsgálati munkának, így jelen cikkünkben kizárólag azokra az eredményekre fókuszálunk, melyek kiegészítik a korábbiakat.

Vizsgálataink a projekt keretében koptatott P10 öntöttvasból készült féktuskók mikrotopográfiai szempontú kiértékelésére irányultak. Négy féktuskó (50, 100, 150, 200 s fékezési időtartam utáni állapot) vizsgálatát végeztük el. A bekopott részeket mutatja az 1. ábra.



| 50 sec  | 100 sec | 150 sec | 200 sec |
|---------|---------|---------|---------|
| 11,8 mm | 17,3 mm | 17,9 mm | 19,8 mm |
| 14,8 mm | 21,4 mm | 19,5 mm | 22,7 mm |

1. ábra. A féktuskók bekopott zónája 50-200 s koptatás után.

Korábbi vizsgálataink során a különböző időtartamú koptatások után hasonló felületi jelenségeket figyeltünk meg a darabokon [3]. A kopási folyamat részletesebb megértése érdekében a 100 s koptatási idő utáni darabon további vizsgálatokat végeztünk.

A vizsgálatok megkezdését a vizsgálandó felületek előkészítése előzte meg. Az előkészítés során a vizsgálni kívánt elemeket kiemeltük a szerkezetből. A vizsgált féktuskóból fűrészeléssel mintákat vágunk ki, melyek mérete 25x10x15 mm volt.

A felületek alatti szövetszerkezeti változások feltárása érdekében csiszolatokat készítettünk és a vizsgálatok során maratást végeztünk 3%-os nital maratószerrel.

A szövetszerkezet felismerésére fénymikroszkópos mérések készültek 100x-os, 200x-os és 500x-os nagyítással. Majd ezeket egészítették ki az elektronmikroszkópos felvételek (SEM), melyek egészen 5000x-es nagyításig mutatják a felületet.

A SEM vizsgálatok kiterjedtek a csiszolatokra és a kopott felszínre egyaránt. Mindkét esetben készültetek anyagi összetételre vonatkozó vizsgálatok.

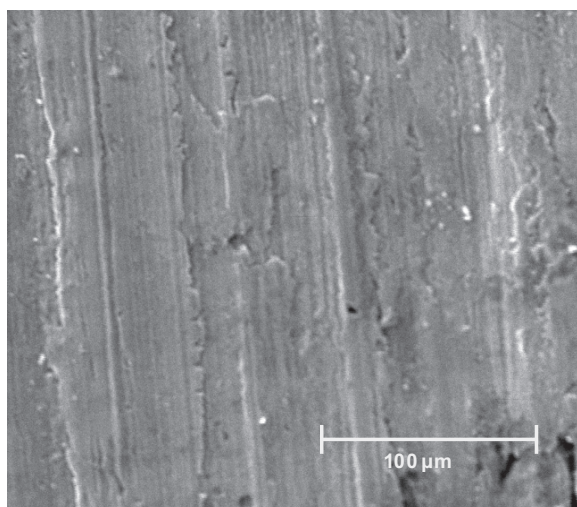
A felületen megjelenő geometriai elemek méretének meghatározására metsztapintós érdességmérő készülékkel 3D topográfiai méréseket végeztünk.

### 3. EREDMÉNYEK

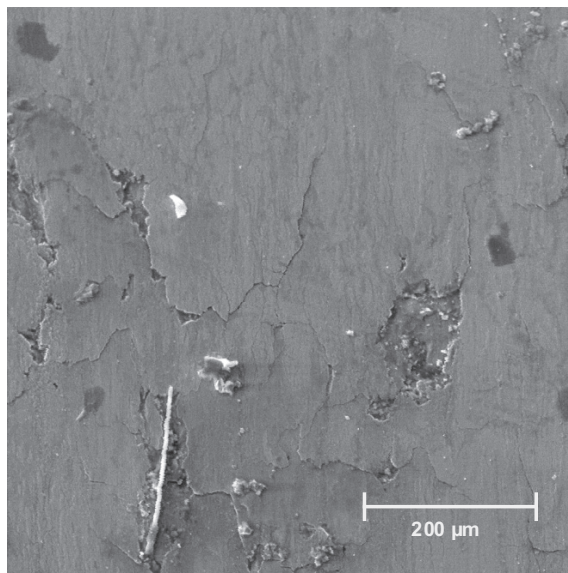
Vizsgálataink egyik fontos kérdése volt annak tisztázása, hogy a felületen korábban mért [2] 350°C feletti hőmérséklet okozott-e olyan szövetszerkezeti, kémiai változásokat, melyek a kopási folyamatot jelentősen befolyásolták, azaz létrejött-e egy védő felszíni réteg, illetve milyen mélységig történt anyagszerkezeti változás a darabon.

#### 3.1. Felszíni vizsgálatok

A vizsgálatok első körét a felszín elektronmikroszkópos vizsgálatai adták. A 2.-4. ábrák a kopott felület SEM képei.



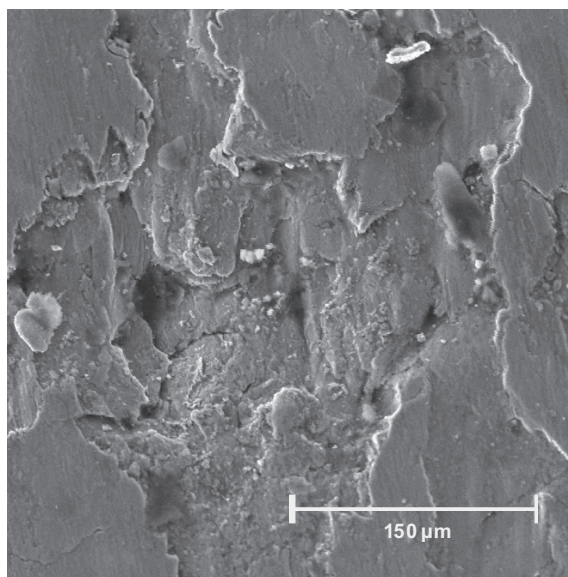
2. ábra. 500x-os nagyítású SEM felvétel a felszín elkenődött „karcos” részéről



3. ábra. 200x-os nagyítású SEM felvétel a felszín elkenődött rétegeiről

A 2. és 3. ábrákon a felület két jellegzetes zónáját láthatjuk. A két felvételen a topográfiai nyomok eltérőek. A 2. ábrán karcokhoz hasonló nyomok fedezhetők fel, míg a 3. ábra „sík” felszínt mutat. Ugyanakkor mindkét esetben felszíni elkenődések utalnak a jelentős képlékeny alakváltozásra, melyet a megemelkedett felszíni hőmérséklet és a jelentős mechanikai terhelés okozhatott. A 3. ábrán megjelenő repedésszerű határok a képlékenyen deformálódott, elkenődött területek szélei

A 4. ábra más jellegű felszínt mutat. Az elkenődött rétegek között kiszakadt, kitört anyagrészt találjuk. Ez lehet az öntöttvasból kiszakadt, kitört grafit szemcse helye.



4. ábra. 350x-os nagyítású SEM felvétel a felület feldurvult részéről



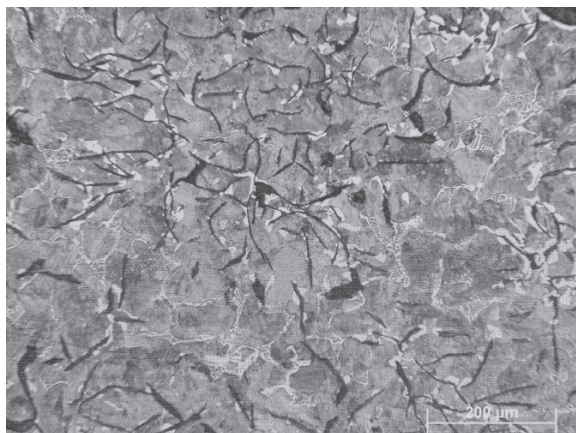
A felszíni rétegről készült összetétel vizsgálat eredményét mutatja az 1. táblázat. Az adatok alapján azt tapasztaljuk, hogy viszonylag magas oxigén tartalom figyelhető meg, ami erősebb oxidációra utal. A táblázatban szereplő értékek a 3. ábrán megfigyelhető felületei rétegre voltak jellemzők.

1. táblázat. A kopott felszíni réteg összetétele

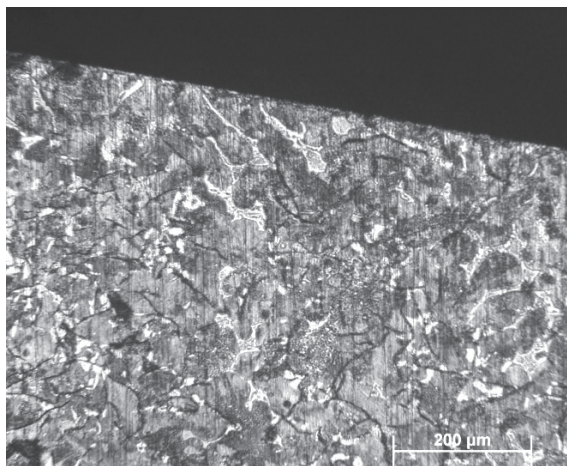
| Element | Wt %   | At %   |
|---------|--------|--------|
| O K     | 6.90   | 20.36  |
| SiK     | 0.62   | 1.04   |
| P K     | 0.33   | 0.51   |
| S K     | 0.22   | 0.33   |
| CrK     | 0.24   | 0.22   |
| MnK     | 0.43   | 0.37   |
| FeK     | 91.25  | 77.17  |
| Total   | 100.00 | 100.00 |

### 3.2. Csiszolat vizsgálatok

Az 5. és 6. ábra fénymikroszkópon készült felvételeket mutat a kopott felszín alatti anyag részéről. Az 5. ábrán a minta belsejében megjelenő szövetszerkezetet, míg a 6. ábrán a felszín közeli rész szövetszerkezetét láthatjuk.



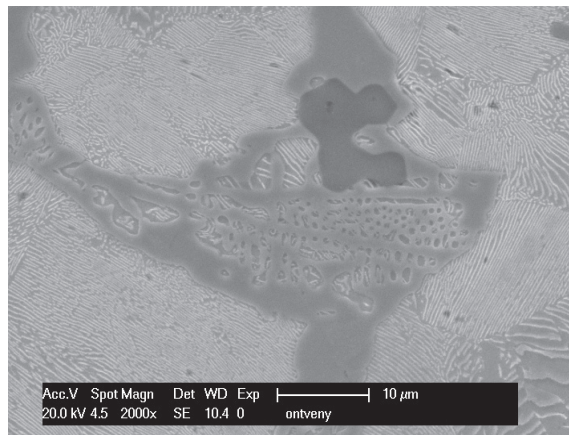
5. ábra. Szövetszerkezet a minta belsejében



6. ábra. Szövetszerkezet a felszín közelében

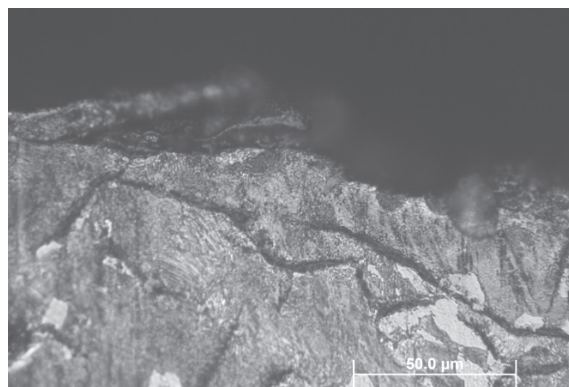
A két ábra összehasonlítása során megállapíthatjuk, hogy nem történt jelentős szövetszerkezeti változás az öntöttvas fékpofa működése során. Ez részben azt is jelenti, hogy a korábban megfigyelt képlékenyen alakváltozott felszín nem egy nagy hőmérsékleten kialakult transzfer film, hanem sokkal inkább az erős mechanikai hatások miatt elkenődött vékony felszíni ferrit réteg. Ebben a képlékeny alakváltozásban természetesen szerepet játszik a megemelkedett hőmérséklet, de a fékpofa anyaga a felszín alatt ennek hatására nem szenved döntő átalakulást.

Az eredeti, minta belsejében látható szövetszerkezet részletes képét mutatja a 7. ábra, mely elektronmikroszkópon készült. Itt a eutektikum mellett megfigyelhető a perlit jelenléte is.



7. ábra. Szövetszerkezet a minta belsejében

A felszín sérüléseinek, mikrotopográfiai formáinak megjelenését a 8. és 9. ábrák magyarázzák.



8. ábra. A felszíni réteg kiszakadása

A 8. ábrán a felszíni réteg egy kiszakadása, kitöredezése látható. A fénymikroszkópos felvételen megfigyelhető, hogy már közvetlenül a felszín alatt is az eredeti szövetszerkezet textúrája látszik, a kialakult oxigénben dús réteg a felszínen nagyon vékony,



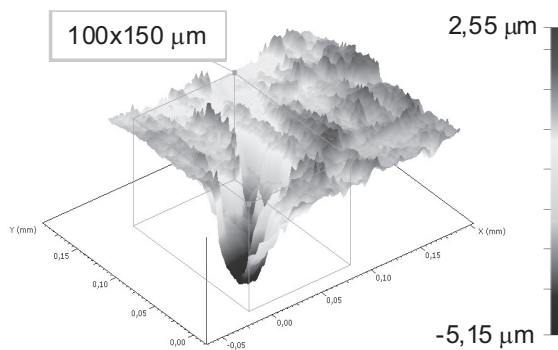
mindössze néhány  $\mu\text{m}$  vastagságú lehet, így kopásálló, védőréteg szerepét csak korlátozott mértékben képes betölteni.

A 9. ábrán a felszín közelébe kifutó grafitkiválást látunk. Megfigyelhető, hogy a felszínen és annak közvetlen közelében (kb 5-10  $\mu\text{m}$  mélységig) a grafit összetöredezik. Ezen összetöredezés okát elsősorban mechanikai hatásokban kereshetjük. Az így összetöredezett grafit szemcsék a további mechanikai hatásokra kiszakadhatnak a felületről és a 4. ábrán látható nyomokat hagyhatnak maguk után.



9. ábra. SEM felvétel: A felszín alatti réteg grafit szemcséjének összetöredezése

A 4. ábrán látható kiszakadáshoz hasonló topográfiai elem geometriai méreteinek meghatározására a felületi mikrotopográfiai mérések adnak lehetőséget. A 10. ábrán egy ilyen topográfia elem méreteit látjuk. A kráter mélysége 5,15  $\mu\text{m}$ , kiterjedése nem haladja meg a  $100 \times 150 \mu\text{m}^2$  területet. További mérések során felfedezhetők voltak akár 15  $\mu\text{m}$  mélységű, nagyobb kiterjedésű kiszakadások is.



## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

Vizsgálataink eredményeként a vasúti féktuskó kopási viselkedésével kapcsolatban az alábbi megállapításokat tehetjük.

- A fékezés során fellépő nagy mechanikai és hő-terhelés hatására a súrlódó felület jelentős képlékeny alakváltozást

szenvedett, a mozgás irányában elkenődött.

- A felületen megfigyelhetők finoman elkenődött, sima felszínű részek, illetve felszakadásokkal, kitöredezésekkel jellemezhető felszíni zónák.
- Jelentős szövetszerkezeti változások a féktuskó felszíne alatt nem következtek be, így a kopási, képlékeny alakváltozási folyamat elsősorban mechanikai hatások eredménye.
- Oxigénben dúsabb felületi réteg mindössze néhány mikrométer vastagságban alakult ki.
- Az alapanyagban jelenlevő grafit a mechanikai igénybevételek hatására közvetlenül a felszín alatt összetöredezett. A további igénybevételek azok kiszakadáshoz vezettek, melynek következményeként a felületen 5-15  $\mu\text{m}$  mélységű kráterek keletkeztek.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. "TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,,

## 7. IRODALOM

- [1] Békési Nándor, Váradi Károly, Czifra Árpád: Vasúti féktuskó kopási viselkedése I. rész: Numerikus szimuláció, GÉP 62:(9-10) pp. 52-58. (2011)
- [2] Nándor Békési, Károly Váradi: Contact Thermal Analysis and Wear Simulation of a Brake Block, ADVANCES IN TRIBOLOGY 2013: Paper 878274. (2013)
- [3] Czifra Árpád, Békési Nándor, Váradi Károly: Vasúti féktuskó kopási viselkedése II. rész: Mikrotopográfiai analízis, GÉP 62:(9-10) pp. 59-62. (2011)
- [4] Tallian, T. E.: Failure atlas for Hertz contact machine elements, ASME Press, New York (1992)
- [5] Vörösmarti József: Válaszok a megváltozott vasútvállalati igényekre, VASÚTGÉPÉSZET 2011/4, p. 37-42

# AZ INNOVÁCIÓ ÉRTÉKELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI A KORAI TERVEZÉSI FÁZISOKBAN

## POSSIBILITIES TO ASSESS INNOVATION IN THE EARLY PHASES OF THE DESIGN PROCESS

Vidovics Balázs, doktorjelölt, NYME Faalapú Termékek és Technológiák Intézet

### ABSTRACT

There are several approaches described in literature to assess the different aspects of innovation in relation to new product development (NPD). Most of the methods use a certain classification or typology and attempts to evaluate innovation ex post. However, in line with the strategic goals of an innovative company the different concepts or design alternatives have to be assessed as early as possible to reduce risk and to ensure the desired level of innovativeness. This paper gives an overview of the variety of possibilities to assess innovation and innovativeness in the early phases of the design process.

### 1. BEVEZETÉS

Az újtermék-tervezés (*new product development, NPD*) célja definíció szerint új termék létrehozása, amely a vállalati környezetben nagyon leegyszerűsítve az innovációs folyamat „első fele”. A tervező célja egy innovatív termék megtervezése. A cél meghatározása, illetve az egyes fejlesztési lépésekhez tartozó tervezési alternatívák innováció szempontjából történő értékelése nehézségekbe ütközik. Az innovációt leggyakrabban ex post vizsgálják, és már-már történelmi távlatokból visszatekintve értékelik az új termékeket. Ennek persze megvan a maga magyarázata, ami részben az innováció meghatározásából következik. Igény volna azonban olyan megközelítés vagy módszer kidolgozására, amely a tervezőnek (a menedzmentnek vagy a döntéshozóknak) konkrét segítséget nyújtana az innovációs potenciál értékelésében vagy becslésében a tervezési folyamat során. A tervezés támogatásának korszerű megközelítése megköveteli, hogy a tervezés minél korábbi fázisában felismerjük az erősségeket, illetve a kockázatokat. A legfontosabb azonban talán az az igény, hogy a tervező folyamatosan és tisztán lássa maga előtt az innovációs célt és a megfelelőség, a „jóság” mércéit. A tervezési tevékenység akkor hatékony, ha a tervező a leendő értékelési szempontokat ismeri, és azokat szem előtt tartva tervez. Tudjuk, hogy az innovatív tartalom a termékbe a tervezés során, elsősorban a korai fázisban kerül a termékbe, ezért ennek a szakasznak a módszertani támogatása kiemelkedően fontos.

### 2. AZ INNOVÁCIÓ MEGHATÁROZÁSA

Az innováció legáltalánosabb értelmezésben újítást jelent. A legmagasabb szintű csoportosítás szerint megkülönböztethetünk (1) termék (2) folyamat- vagy (3) szervezeti innovációt. A termékinnovációk köre tovább finomítható attól függően, hogy mi indítja, mi hajtja az innovációt. Ezen az alapon általában megkülönböztethetünk technológia-alapú és piac-alapú innovációt. Ezt a felosztást egyesek kiegészítik a feltalálói innovációval [1], mások a design-alapú innovációval [2].

Az NPD szempontjából az alábbi meghatározást tekinthetjük vonatkoztatási keretnek: *A termékinnováció egy iteratív folyamat, amelyet egy új működési elv, előállítási technológia vagy találmány elérhetővé válása, vagy egy új termék piaci lehetőségének felismerése, illetve a felhasználói követelmények és környezet alaposabb megismerése indít el és hajt, amely során a szervezet annak érdekében dolgozik, hogy a folyamat végeredményeképpen előálljon az innovatív termék, amely piaci értelemben hasznosul és hasznot termel.* A definícióból kiemelendő, hogy az innovációs folyamat iteratív, tehát szükségképpen különböző fokozatai lesznek az innovatív tartalomnak. Ki kell emelni továbbá, hogy az innovatív termék jellemzője, hogy piacra kerül (*commercialization*), elterjed (*diffusion*), és ezen keresztül gazdasági előnyt biztosít.

### 3. AZ INNOVÁCIÓ TIPOLOGIÁJA

Az innováció mértékének megítélése általában a végeredménnyel vagy az eredményességgel függ össze, és arra keresi a választ, hogy a termék (vagy folyamat, vállalat, szervezet, stb.) mennyire innovatív. Ebből számunkra az első a legfontosabb, ugyanakkor a többi értékelésének módszertanát is tanulságos áttekinteni.

A termékek „innovatív jellegét” (*innovativeness*) általában az innováció típusainak azonosításán, és a tipológia mint értékelési dimenzió alkalmazásán keresztül méri; ezeket a csoportosítási elveket Garcia és Calantone [3] 21 darab, az NPD irodalmában meghatározó szakcikk elemzése alapján foglalta össze. A szakirodalomban az innováció és az innovativitás

leggyakoribb értelmezései (*innovation factors*) az alábbiak: a (a) termék innovatív jellege; (b) az innováció radikalitása; (c) a műszaki tartalom; az újdonság a (d) vállalat, a (e) piac, a (f) technológia, a (g) vevő számára; a termék (h) egyedisége, (i) kiváló volta, (j) összetettsége, (k) típusa; a (l) piac/termék megfelelőség; a (m) marketing feladatok hasonlósága és a (n) fejlesztés összetettsége.

Az innováció mértékét az újszerűség mértékének meghatározásával szokás mérni. Nem egységesek azonban az irodalmi források sem abban, hogy az újdonság mértékét kinek a szemszögéből tekintjük, sem abban, hogy mi az új. A kutatások nagyobb hányada a vállalat szemszögéből vizsgálja az újdonságot, mások a világ, az iparág, a tudományos közélet, a piac vagy a vevő viszonylatában teszik ugyanezt. Abban a tekintetben, hogy mi lehet az innováció tárgya, az irodalomban az értelmezések végeláthatatlan sorát találjuk: új (a) technológia, (b) termék, (c) termékvonal, (d) termékjellemző vagy termék-előny, (e) termék design, (f) folyamat, (g) szolgáltatás, (h) versenyhelyzet, (i) vevő, (j) fogyasztói igény, (k) fogyasztási mintázatok, (l) felhasználási formák, (m) fejlesztések, változtatások, (n) vállalati képességek, (o) tanulás, tapasztalat, tudás.

Annak ellenére, hogy a megközelítések meglehetősen sokfélék, egy közös pont mégis megfigyelhető: az újdonság mértékeinek meghatározását, illetve az innováció tipológiáját úgy modellezik mint az innovációs műszaki és/vagy marketing faktorokban bekövetkező szakadást, és ennek a folytonossági hiánynak a mértékét vizsgálják. Ebből következik, hogy a termék innovatív jellege (újdonság mértéke) úgy határozható meg, mint a létrejöheto lehetséges diszkontinuitás mértéke, amelyet a termék a műszaki vagy gazdasági folyamatokban okozhat. Makroszintű megközelítésben arra a kérdésre keressük a választ, hogy az innováció milyen mértékű paradigmaváltást okozhat egy iparágban vagy termékkategóriában, a tudomány, a technológia, illetve a piac szerkezetét illetően. Mikroszinten az innováció mértéke az innovatív produktumnak a vállalat meglévő technológiai vagy marketing erőforrásaira, képességeire, tudására és stratégiáira gyakorolt hatásának mérésével határozható meg.

A vállalat innovativitása nem egyezik meg, és nem is feltétlenül arányos az általa piacra bocsátott termékek innovációs mértékével. Az innovatív vállalatokat a kevésbé innovatívaktól olyan dimenziókban szokás megkülönböztetni, mint például a bejegyzett szabadalmak vagy más iparjogvédelmi oltalmak száma, a kutatás-fejlesztésre fordított összeg

abszolút vagy relatív nagysága, az innovációk részaránya a forgalmi adatokban, stb. Ugyanakkor az irodalomban egyre terjed az az egyébként nem újkeletű nézet [4], hogy az innovatív vállalatot (1) az innovatív termék kifejlesztésére, illetve a (2) az innovatív megoldások adaptálására való hajlandóság jellemzi inkább, ami nem feltétlenül mérhető a „hagyományos mérőszámokkal”. Ez a megkülönböztetés a gyakorlatban termékstratégiai és termékpolitikai különbségeket rejt, és lényegében a „pionír” és a „második, de jobb” stratégiákat jelenti.

A műszaki és piaci alapú innovációk értékelése során tehát általános alapot jelent a diszkontinuitás mértéke, az innováció-tipológia azonban napjainkban sem egységes. A kutatásban és elméleti modellépítésben legjobban használható talán Garcia és Calantone [3] halmazelméleti modellje, amely a legtöbb megközelítésnek egységes elméleti keretet ad. Az innováció bármely tipológiáját ismerő olvasó formailag ismerősnek tarthatja a csoportokat: (i) radikális innováció (*radical innovation*), (ii) igazán új innováció (*really new innovation*), (iii) fokozatos innováció (*incremental innovation*). Tartalmilag a (i) a technológia tágabb értelmében és a piac tekintetében is jelentős diszkontinuitást okoz, az (ii) az egyik vagy másik komponens esetében okoz szakadást az S-görbében, a (iii) pedig nem okoz szakadást egyik fejlődési görbében sem, mondhatjuk szemléletesen, hogy a „görbén marad”. Az S-görbe ábrázolás mellett a technológia fejlődésének és terjedésének (diffúziójának) más, a terméktervezéshez közelebb álló ábrázolása is létezik.

Az innovatív megoldás elterjedésének és a domináns megoldások kialakulásának folyamatát több szempontból is érdemes vizsgálni. A „domináns design” fogalmát Abernathy és Utterback [5] vezette be, meghatározásuk szerint a domináns megoldás a termék alapvető felépítése, amelyet egy bizonyos termékkategóriában a piac sztenderdként elfogad. Ugyanez fordítva is igaz: a domináns termékek termékkategóriákat határoznak meg, ezzel jellemzően meghatározzák a fogyasztói viselkedést is. Ez jelenti a viszonylagosság alapját az innováció megítélésénél. A kutatások alapján az igazán új innováció és a fokozatos innováció részaránya a legmagasabb az összes újítás között, ami azt jelenti, hogy csak részben vagy egyáltalán nem beszélhetünk technológiai avagy piaci forradalomról. Ebben az esetben a verseny a piacon igen éles, a különböző terméktervezési stratégiák alapján a versenytársak idővel hasonló termékekkel lépnek piacra.

Mindezek ellenére a műszaki és piaci megközelítések vizsgálatokor szembeűnő, hogy a termék jellemzőivel kapcsolatos osztályok



hátterbe szorulnak, ezért indokolt a design-alapú innovációs megközelítés modelljeit is vizsgálni. A design-alapú innovációk lényegében úgy értelmezhetők mint a nem műszaki vagy gazdasági termékfunkciókból kiinduló, vagy az elsősorban azokra fókuszáló innovációs folyamat eredményeképpen létrejött innovatív termékek, vagy maga a folyamat. Tekintettel arra, hogy a termékfunkciók komplex rendszert alkotnak, és a funkciók megvalósítása a folyamat vagy végeredmény szempontjából is összekapcsolódik, a design-alapú innováció nem ellenpontja a műszaki-gazdasági innovációknak, hanem annak kiegészítése, más olvasata. A megközelítés tartalmilag a vevői igényekkel, felhasználói követelményekkel, a kontextussal, továbbá az egyén és a társadalom viszonyával kapcsolatos innovációs lehetőségeket és stratégiákat jelenti.

A Rampino [2] által kidolgozott „Innovációs Piramis” modell olyan innovációs típusokat azonosít a design-alapú innováció területén, amelyek a formatervezés területéről származó fenomenológiai modellezésen alapulnak, ugyanakkor szervesen összekapcsolhatók az NPД fogalomrendszerével. A modell megkülönböztet (a) esztétikai innovációt (*aesthetical innovation*), (b) használatbeli innovációt (*innovation in use*), (c) jelentésbeli innovációt (*meaning innovation*), és (d) terméktípus innovációt (*typological innovation*).

Az esztétikai innováció a termék azonosításával és a versenytársaktól való megkülönböztetésével kapcsolatos. Úgy lehetne meghatározni, mint egy terméknek formai finomítása vagy újraértelmezése anélkül, hogy az archetípusát, a teljesítményét vagy a technológiáját megváltoztatnánk.

A használatbeli innováció arra vonatkozik, hogy az új termék hogyan javítja vagy változtatja meg a használatot, például a funkciók megváltoztatásán keresztül; itt tehát a felhasználó-termék interakció van a fókuszban. A funkciót ebben az esetben használati értéknek kell felfogni, ezzel az értelmezés kibővül a társadalmi és kulturális kontextus irányába. A használatot ugyanakkor a modern felfogásban a termék életciklus több fázisában is lehet értelmezni.

A jelentésbeli innováció a termék érzelmi és szimbolikus tartalmára vonatkozik. A jelentés a tervezés „reflektív szintje”, amely a termék birtoklásából, mások felé mutatásából és használatából eredő elégedettség forrása. A jelentés az értelmet is magába foglalja; az értelem vagy értelmezés megújításánál azonban egy sajátos, említésre méltó paradoxonnal találkozhatunk. A tervező szándéka, hogy más legyen a termék, mint korábban, ugyanakkor legyen az új terméknek jelentése, értelme, maradjon felismerhető és

érthető. Ha a jelentésbeli innováció elterjed és sikeres, az eredeti megoldást gyakran „ikonikus terméknek” nevezik. Meg kell jegyezni ugyanakkor, hogy az innováció ténye a szakirodalomban általában nem kapcsolódik szorosan a termék sikerességéhez, ugyanakkor az innováció terjedése, domináns megoldássá válása csak akkor képzelhető el, ha a terméket vásárolják.

A terméktípus innováció arra vonatkozik, hogy a termék az archetípusával milyen viszonyban van, mekkora a távolság vagy az eltérés tőle. Az archetípus kétféle módon alakulhat ki. Az egyik az evolúciós út, bizonyos formák a folyamatos fejlődés, finomítás során már tökéletesen megfelelnek az igényeknek. A másik a domináns megoldások megjelenése és elfogadása az iparág és a fogyasztók részéről. Az adott termékkategóriában domináns felépítés kialakulásával egyre inkább a fő formai jegyek megtartása és a fokozatos fejlesztés a jellemző. Ebben az értelemben az „átlagos” alaptermék és a legsikeresebb kialakítás is archetípussá válhat. Az „Innovációs Piramis” a radikalitás szempontjából is megad két szintet: az alsó szinten az esztétikai és a használatbeli innovációt sorolja a fokozatos innovációk közé, míg a magasabb szinten a jelentésbeli és a terméktípus innováció tartozik a radikális innováció körébe.

#### 4. AZ INNOVÁCIÓ ÉRTÉKELESÉNEK ELVEI

A valós vagy egyetemi tervezői projektek tapasztalata azt mutatja, hogy a korai tervezési fázisokban legalább három ponton értékelni kell a megoldási alternatívákat: a (i) víziók (termék-lehetőségek, marketing koncepciók) szintjén, az (ii) ötletek (elvi megoldások, vázlatok) szintjén, és a (iii) formai-műszaki koncepciók szintjén. Ezen értékelések során négy jellemző irányt vizsgálunk: újdonság, funkcionalitás, műszaki megvalósíthatóság, piacképesség. Az NPД és innováció-menedzsment témájú források feldolgozása alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy érdemes a terméktervezési folyamatban előforduló házon belüli értékelések első lépéseként az innováció jellegét és mértékét meghatározni (az adott célkitűzések függvényében).

A szerző javaslata szerint az értékelést az innovációs tipológia szerinti három dimenzióban érdemes végezni: (a) technológia, (b) piac, (c) design. Az értékelés célja lehet az (i) innovációs helyzet, az (ii) innovációs potenciál, a (iii) tervezéshez/fejlesztéshez szükséges információ azonosítása és értékelése.

Az innováció értékelése a korai tervezési fázisokban sok problémát vet fel, általánosakat és projekt-specifikusakat [6]. A legfontosabb kérdés, hogy azonosíthatók-e az értékelési dimenziókban felvehető értékek vagy mértékek.



Lehetséges-e mennyiségi (kvantitatív) értékelés, vagy csak minőségi (kvalitatív)? Lényeges módszertani kérdés, hogy ki végzi az értékelést.

A módszertani kérdéseket leginkább az segít megválaszolni, ha az értékelési dimenziókat operacionalizáljuk, azaz a gyakorlatban alkalmazható előíró módszertant építünk rájuk. Ez jelentheti kérdésjegyzékek, csoportok, mérőeszközök, stb. kifejlesztését. Úgy tűnik, a jó kérdések azonosítása sokat segíthet a válaszok megtalálásában.

Legalább ilyen fontos elvi kérdés az értékelési modell kidolgozásakor az innovációs potenciál és a sikeresség vagy jóság módszertani, vagy legalábbis időbeni különválasztása. A két tényező között számos dimenzióban lehet kölcsönhatás, azonban ezeket az egymásra hatásokat vagy függéseket fel kell térképezni. Nagyon fontos tehát, hogy az innováció mértékét nem szabad közvetlenül minősítő jellemzőként tekinteni, a megfelelőséget kizárólag a célkitűzéshez szabad mérni.

Az innovációs potenciál becslése a tervezési folyamat korai szakaszában ezenkívül jelentős bizonytalansággal terhelt. Az alacsony kidolgozottság miatt az információ-hiány okozhat bizonytalanságokat, illetve az értékelés pillanatában a jövőre vonatkozó jóslatot kell adni úgy, hogy a környezet változását is figyelembe kell venni.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az innovációt tárgyaló szerzők többsége az innovatív termékek utólagos megítélésére építenek elméleteket és modelleket, de nagyon csekély azok száma, akik az innovatív alapelgondolás megszületésének és fejlesztésének folyamatával és kontextusával foglalkozik. Még ritkébbak azok az írások, amelyek a tervezői tevékenységeket helyezik a középpontba az innováció szempontjából. A tervező számára az innovációval kapcsolatos kiindulási helyzet, az innovációs célok ismerete elengedhetetlen az újtermék-tervezési projektek esetében. Ennek érdekében kívánatos egy olyan értékelő módszertan kidolgozása, amely segít az innovációs helyzet és a leendő innovatív produktum értékeléséhez szükséges kritériumok megismerésében és kialakításában. Az innováció, pontosabban az innovatív potenciál korai értékeléséhez az elvi keretet az innováció retrospektív osztályozása adja. A termékinnováció három dimenziós értékelése (technológia, piac, design irányultság) az NPd projektekben kiválthatja a gyakorlatban alkalmazott értékeléseket, az értékelési operátorok megfelelő megválasztásával az értékelés nemcsak a tervező, de a menedzsment és a

döntéshozók felé is előrejelezheti a termék innovációs potenciálját.

Jelen kutatás következő lépése az innovációs dimenziók operacionalizálása lesz, amelynek eredményeképpen a várakozások szerint előáll egy olyan modell, amely az innovatív terméktervezést a tervezői tevékenységek szintjén támogatja.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú *Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program* című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 7. IRODALOM

- [1] Ottosson, S.: Innovation as a dynamic process. Innovation management. E-learning tananyag. 2003.
- [2] Rampino, L.: The Innovation Pyramid: A Categorization of the Innovation Phenomenon in the Product-design Field. International Journal of Design, Vol 5 No 1. 2011.
- [3] Garcia, R., Calantone, R.: A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. The Journal of Product Innovation Management 19 pp. 110-132. 2002.
- [4] Ettlie, J.E., Bridges, W.P., O'Keefe R.D.: Organization strategy and structural differences for radical versus incremental innovation. Management Science, 30, pp. 682–95. 1984.
- [5] Abernathy, W. J., Utterback, J. M.: Patterns of industrial innovations. Technological Review, Vol. 80, No.7, június, pp. 2-29. 1978.
- [6] Yannou, B. Which research in design creativity and innovation? Let us not forget the reality of companies. In: International Journal of Design Creativity and Innovation, 1:1. 2013.

# Korszerű vizsgáló berendezés tervezése szerszámgép mellékhajtásokhoz

## Design of a testing device for modern feed drives

*Kiss Dániel, PhD hallgató; Dr. Csáki Tibor, egyetemi docens, a műszaki tudományok kandidátusa*

### 1. ABSTRACT

Recently machine tools have reached high speeds thanks to the advance in mechatronics. To achieve these high speeds we have to design suitable components for these feed drives. This demands an examining device to test the different types of direct and indirect drives, ball screws and linear motors and different types of linear guides, which can be taken into the education, where the students can get practical knowledge about how these machines work.

### 2. BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem különféle kutatócsoportjai az elmúlt évtizedekben jelentős tapasztalatra tettek szert a különféle precíziós gyártóeszközök fejlesztésében, különös tekintettel ezek szerszámgépeszeti alkalmazására. Ezen tématerületen legutóbb elért siker egy EU6-os projekt kapcsán született, mely kapcsán egy ultra-precíziós CNC esztergagépre integrált kutatási célú CNC irányítású szuperfiniselő berendezés fejlesztése történt meg a Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszékén. [5]

A gyártóeszközök fejlődésének egyik meghatározó tényezője a ma már önálló tudományterületként nyilvántartott

mechatronika dinamikus fejlődése. Ennek következtében az elmúlt években jelentősen nőtt a gyártóeszközök működési sebessége, ami komoly kihívások elé állítja a mechanikus rendszer elemeket fejlesztő és gyártó cégeket. A számjegyzérlésű gyártóeszközökben leggyakrabban alkalmazott forgó-haladó mozgás-átalakító elemek a golyósorsók, melyek menetemelkedése – az elvárt dinamikai követelmények miatt – változatlan pontossági követelmények mellett megnőtt. Míg korábban a hagyományos golyósorsók konstrukciós és gyártási kérdéseit megoldottnak tekintették, ugyanakkor a nagy menetemelkedésű mozgás-átalakítók új konstrukciós és gyártási problémákat vetnek fel.

A korszerű szerszámgép mellékhajtások kialakításának másik irányzata a mozgásátalakító nélküli direkt hajtások megvalósítása sík lineáris motorral. A lineáris motorok mellékhajtásokban történő alkalmazása olyan új problémákat vet fel, melyek golyósorsós közvetett hajtások esetén nem jelentkeztek. A mozgatót előállító nagy erőhöz szükséges nagy áram miatt jelentős hő keletkezik a szerszámgépek szerkezeti elemeiben, mely pontossági szerszámgépek esetében jelentős megmunkálási hibákhoz vezethet. A direkt hajtások előtolási merevségét az elektromágneses csatolás tulajdonságai határozzák meg.

### 3. MELLÉKHAJTÁSOK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI

Az utóbbi években a szerszámgép gyártók gépeiben egyre jobban elterjedtek a gyors mozgásokra képes mellékhajtások. Például a DMG Mori kínálatában jelentek meg olyan gépek melyek lineáris motoros hajtást használnak golyósorsós hajtás helyett.



1. ábra DMG DMU eVo 40 linear

Ezen gépelemek használatával egyre nagyobb jelentőséget kaptak a mozgató egységekben jelentkező vezérlési hibák. A közelmúltban többen is foglalkoztak különféle mellékhajtások modellezésével és vizsgálatával, melyek között találunk olyanokat melyek főként lineáris motorral üzemelnek illetve aerosztatikus vezetőkeket használnak [3.]. Mindez annak a köszönhető, hogy napjainkban egyre nagyobb igény jelentkezik a nagy pontosságot igénylő precíziós megmunkálásokra. A Kyotoi egyetemen egy olyan tesztberendezést építettek, ahol a golyósorsó által keltett rezgéseket lineáris motorokkal és a feladathoz illesztett vezérléssel csillapítottak.[4]



2. ábra Kyotoi egyetemen található berendezés

Az összehasonlító vizsgálatok elvégzéséhez szükség van egy olyan berendezés kifejlesztésére, amelyben a golyósorsós mozgatóú indirekt hajtású és a lineáris motoros direkt hajtású szerszámgép szánok tulajdonságai meghatározhatók. A kísérleti vizsgáló berendezésnek alkalmasnak kell lennie mind lineáris, mind forgó motoros hajtások dinamikai, pontossági, hőtechnikai, hatékonysági, szabályozhatósági vizsgálatának elvégzésére.

A közeljövőben elérendő céljaink között szerepel olyan vizsgálatok elvégzése, amelyek lehetővé teszik, hogy a szerszámgép-tervezés egyik legfontosabb kérdésében, a mellékhajtások tervezése esetében általánosan használható módszert dolgozzunk ki. A módszer alapja olyan mechanikai és elektromechanikai modellek felállítása, melyek lehetőséget adnak a két egymástól eltérő rendszer numerikus vizsgálatára. Ezeket a modelleket a berendezéssel végzett vizsgálatokkal lehet validálni, a paramétereket pontosítani, az összehasonlító vizsgálatokat elvégezni.

A cél az elméleti eredmények igazolására és a kidolgozott tervezési módszer alkalmazhatóságának ellenőrzésére egy kísérleti mellékhajtás-vizsgáló berendezés megtervezése és megépítése. A kísérleti berendezés jó lehetőséget ad a kutatási eredmények oktatásba történő átültetésére is, mivel a leendő mérnökhallgatók a vizsgálópad segítségével szemléletesen megértik a korszerű mellékhajtások működését és az egyes

működési paramétereknek a hajtás minőségére gyakorolt hatását. A berendezés kiegészíthető vagy átalakítható később lineáris vezetékvizsgáló kísérleti eszközzé is.

#### 4. A HAJTÁSOK TULAJDONSÁGAI

A korszerű szerszámgép mellék-hajtásoknak az alábbi tulajdonságoknak kel eleget tenniük:

- nagyfokú merevség
- gyors mozgásokat tudjon megvalósítani
- nagy gyorsulási és lassítási jellemzőkkel bírjanak
- pontos pozicionálást valósítsanak meg

A nagyfokú merevségért egyaránt felelős a megfelelő gépalap, illetve jó lineáris vezetérendszer, ahol főként golyós vagy lineáris vezetéket használnak. A forgó mozgást lineáris mozgássá alakító golyósorsók esetén, ha nagy sebességeket akarunk elérni akkor nagy menetemelkedésű golyósorsó beépítésére van szükség. Ezen alkatrészek gyártásához kapcsolódó kutatási tevékenységek is folynak a Szerszámgépek tanszékén [1, 2].

Golyósorsók főbb tulajdonságai:

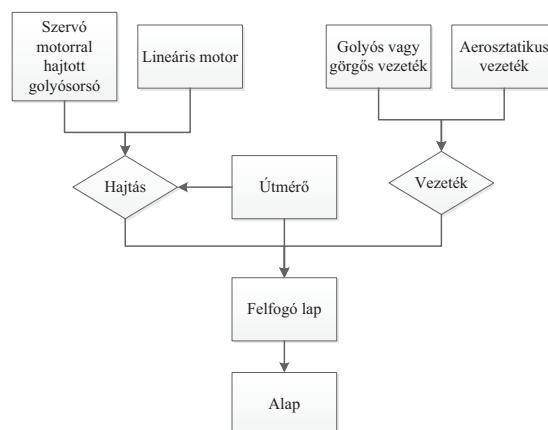
- hosszú élettartam
- holtjáték mentesíthető
- kis menetemelkedéssel pontosabb beállítás, a nagyobb menetemelkedéssel jobb hatásfok és mozgatási sebesség érhető el
- alacsony gördülési ellenállás

Lineáris motorok tulajdonságai:

- nagy mozgatási sebességek
- karbantartást nem igényel
- egyszerűen beépíthető

- nagy pontosság
- jelentős mágneses erő a mozgó és állórész között, melyet a csapágyazásnál figyelembe kell venni

#### 5. TERVEZETT BERENDEZÉS FUNKCIONÁLIS FELÉPÍTÉSE



3. ábra Funkcionális felépítés

Mint az a funkcionális felépítésből is látható, több variációs lehetőséggel is rendelkezik a berendezés, így különféle konfigurációk is tesztelhetők, illetve vizsgálhatóak a működésük. A különféle variációknak köszönhetően többféle összeállítás is tesztelhető, így akár még diplomaterv témák is kiadhatóak lennének a vizsgáló berendezéssel kapcsolatban. Az összeállított berendezés szimulációja, illetve vezérlése Matlab Simulink szoftver segítségével végezhető el, a mérés technikai adatgyűjtés pedig a Spider8 mérés adatgyűjtő és Catman program segítségével történhet. A berendezésen lehetőség nyílik a főbb paraméterek ellenőrzésére:

- elmozdulás mérés
- sebesség mérés
- erő mérés
- gyorsulás mérés
- rezgés mérés



- a pozicionáló rendszer szabályozástechnikai paramétereinek mérése, optimalása

A tervezett berendezéssel lehetőség van arra, hogy azonos peremfeltételek között vizsgáljuk meg a direkt és indirekt hajtások tulajdonságait.

## 6. ÖSSZEGZÉS

Az elérendő cél tehát egy olyan berendezés megalkotása ahol nem csak az egyes típusú mellékajtások vizsgálhatóak, hanem ezek össze is vethetőek, illetve a berendezés továbbfejleszthető, ezzel biztosítva kutatási témákat a BSc, MSc, illetve doktorandusz hallgatónak. A berendezéshez szükséges alkatrészek beszerzés alatt állnak, a megépítése előreláthatólag 2014. első negyed évében kezdődik.

## 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1.]Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Determination of Tool Profile for Ballnut Grinding by Numerical Methods, Proceedings of 13th International Conference on Tools, 2012, pp.:221-224., (ISBN 978-963-9988-35-4)*
- [2.]Kiss D., Takács Gy., Csáki T.: *Belső felületen lévő golyópályák forgácsolással történő előállítási lehetőségeinek vizsgálata OGÉT 2012 XX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó Kolozsvár 2012 ápr. 19-22.*
- [3.]Alexander Slocum\*, Murat Basaran, Roger Cortesi, Anastasios John Hart:

*Linear motion carriage with aerostatic bearings preloaded by inclined iron core linear electric motor, Precision Engineering 27 (2003), pp.: 382-294*

- [4.]Matsubara, S. Ibaraki, Y. Kakino, M. Endo, and M. Umemoto, "Vibration Control for Feed Drive Systems in NC Machine Tools (1st Report) -- The Comparison of Velocity Control Schemes --," *Proc. of the 2001 Fall Japan Society for Precision Engineering (JSPE) Semiannual Meeting, Osaka, Japan, pp. 505, Sep. 2001*
- [5.]Patkó Gyula, Takács György, Szilágyi Attila: *A new dynamical concept of a superfinishing device driven by a linear motor unit, SCIENTIFIC BULLETIN OF THE NORTH UNIVERSITY BAI MARE SERIES C 22:(1) pp. 1-8. (2008)*

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

## JEGYZET

# CONTENTS

20. Patai Patrik József, Dr. Lelkes Márk, Dr. Eleőd András

**CALCULATION OF THE FLANK POINTS OF A SPIRAL BEVEL GEAR WITH CIRCULAR TOOTH TRACE BY USING TWO DIFFERENT APPROACH..... 5**

21. Péter József, Ph.D., Drágár Zsuzsa

**SPECIAL CASE OF GEAR MESHING..... 9**

22. Dr. Péter József

**CREATIVE PRINCIPLES OF THE NATURE AND THE PRODUCT DESIGNER ..... 15**

23. Pintér Ervin, Dr. Kátai László Ph.D, Dr. Szabó István Ph.D.

**THE FEATURE-BASED DESIGN METHOD AND APPLICABILITY BY GEARBOX OPTIMIZATION PROCESS..... 24**

24. Sarka Ferenc, Tóbis Zsolt, Prof. Dr. Döbröczöni Ádám

**TRANSMISSION ERROR AND DINAMIC MODELLS OF GEAR DRIVES TO ACOUSTICAL ANALYSIS..... 28**

25. Simonovics János, Ph.D., Dr. Váradi Károly, Dr. Bujtár Péter PhD, Dr. Szűcs Attila, Dr. Fejér Zsolt

**BIOMECHANICAL COMPRESSION EXAMINATION OF MACERATED MANDIBLE ..... 32**

26. Szabados Anna Réka, PhD

**HISTORY OF TYRE DEVELOPMENT ..... 36**

27. Szabó Ferenc János, PhD

**BEARING COST FUNCTIONS FOR THE OPTIMIZATION OF AXIS-BEARING SYSTEMS..... 42**

28. Szakács József, MSc

**DEVELOPMENT OF BASALT FIBRE AND GRAPHENE REINFORCED COMPOSITES FOR ENGINEERING USE..... 46**

29. Szalai Judit, PhD, Bendefy András, PhD, Dr. Piros Attila, Dr. Váradi Károly

**DEVELOPMENT AND THERMO-MECHANICAL SIMULATION OF DIAGNOSTIC CABLE CONDUITS IN THE ITER FUSION REACTOR ..... 50**

30. Tóth Gábor, MSc, Szabó Tamás, PhD

**VIBRATION ANALYSIS OF THE END EFFECTOR AND SIMULATION OF A KAWASAKI ROBOT ..... 54**

31. Turcsán Tamás, MSc

**DEVELOPMENT OF INCREASED ENERGY ABSORBING COMPOSITES FOR MECHANICAL ENGINEERING APPLICATIONS..... 58**

32. Prof. Dr. Varga Mihály, Csitári Csaba PhD.

**DEVELOPMENT BASED ON WOOD GASIFICATION CHP SYSTEM..... 62**

33. Vidovics Balázs

**THE RELATIONSHIP BETWEEN THE NOTIONS INNOVATION AND CREATIVITY IN NEW PRODUCT DEVELOPMENT ..... 68**

34. Kakuk József

**INVESTIGATION OF IMPACT MECHANISM OF PERCUSSION DRILLS..... 72**

35. Nagy József

**COMPRESSOR MODEL FOR COOLING SYSTEM SIMULATION..... 78**

36. Czifra Árpád, Fábíán Enikő Réka, Kozma Mihály

**WEAR ANALYSIS OF RAIL BRAKE BLOCK..... 82**

37. Vidovics Balázs

**POSSIBILITIES TO ASSESS INNOVATION IN THE EARLY PHASES OF THE DESIGN PROCESS..... 86**

38. Kiss Dániel, PhD, Dr. Csáki Tibor

**DESIGN OF A TESTING DEVICE FOR MODERN FEED DRIVES..... 90**

# GÉP

## INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám

**President of Editorial Board**

Vesza József

**General Editor**

Dr. Jármai Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**Deputy**

Dr. 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. 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. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Cooperation in the editing:

Dr. Péter József

**Dear Reader,**

Forty years ago, on 22-24th August 1973 there were a discussion on the industrial design and its organisation, between 234 engineers, mainly top designer members of 110 firms and institutes. The idea of the conference was born in the summer of 1972 during the national secretariat meeting of the Scientific Society for Mechanical Engineering (GTE), and it was arranged by the GTE committee of Miskolc and the University, by the cooperation of Professor Dr. Zénó Terplán, Dr. József Magyar, Dr. Rezső Száday together with the many members made a lot of tiny work. The conference was opened by Professor Dr. Jenő Varga, former chief designer of the GANZ factory, highlighting that *this was the very first occasion of such a meeting in Hungary*. He emphasized the importance of *dealing with the assessment of design* because many, mainly West German papers *dealing with the methodology of design process* had been published in recent years. The authors of all the 15 papers of the conference proceedings argued for a design work that framed into a consolidated system, fruitful and effective. After the event of the Discussion of Chief Designers in 1975 the conference title was transformed into Conference of Machine Designers in 1977.

At the years preceding the 1990s changes, the last event that recalled the atmosphere of the previous conferences, was the 6th Conference of Machine Designers in 1985, held in Miskolc-Tapolca. The 43 presentations that were published in conference proceedings, too, were followed by the 210 participants, arrived partly from the industry, the research institutes and the higher education. In the opening ceremony Professor Dr. József Drobni spoke about the *designing of energy saving, reliable and aesthetic machines which are competitive not only abroad but also in home terrain*, detecting and suggesting the expected challenges. The bankruptcy of the state enterprises affected the 7th Conference of Machine Designers. The conference was arranged at the University of Miskolc, and the 30 presentations were held by university professors, lecturers and researchers, with unchanged strength, for their university workmates and a small number of industrial experts.

During the last decade of the 20th century the Hungarian industry was transformed radically, the producer changed places with the consumer, the underestimated consumer goods became equal to the machines and means of production, the dictionary of machine designers was completed by the word "product". The designers took notice that the product is everything for which there is interest (e.g. the Conference of Machine Designers) or for which the interest can be made (e.g. the Conference of Machine Designers and Product Developers). The organizers of the conference have understood that the beginning designers also *eager to participate in a regular professional gathering and welcomes the opportunity of publication in a reliable professional journal that has been supported persistently by the Scientific Society for Mechanical Engineering*.

The change is perceptible in the theme of the presentations, too. *The horizon of the designers is wider today; besides the results of the mathematics, the mechanics, the material and manufacturing sciences they integrate the outcomes of the information technology, the ergonomics, the biology, the medical sciences, the psychology, etc.* One of the areas of the product design is the search and application of the analogies of nature, the evolution is included in the examined fields by this research area. Do allow me the Honorable Reader that the evolution not to be associated with the word "stronger", but with the creative adapting and growth that are the answer of the machine designers and product developers for the challenges.

Dr. József Péter  
organizing secretary of the Conference

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

**All articles are peer reviewed.**



- 15.00-15.15 Csitári Csaba PhD hallgató, Dr. Varga Mihály CSc, egyetemi tanár Nyugat-magyarországi Egyetem, Gépészeti és Mechatronikai Intézet: Faelgázosításon alapuló kogenerációs rendszer fejlesztése
- 15.15-15.30 Forberger Árpád PhD hallgató, Dr. Lovas László PhD, egyetemi docens, BME Járműelemek és Járműszerkezetanalízis Tanszék: Ívelt fogú fogaskerék kapcsolat végeselemes vizsgálata
- 15.30-15.45 Héra Bálint PhD hallgató, Zalavári József DLA., egyetemi docens Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszék: Tudományos eszközök alkalmazása munkaszék tervezés során – az optimális ülő testhelyzet keresése
- 15.45-16.00 Juhász Gábor PhD hallgató, Dr. Eleőd András DSc., egyetemi tanár Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Járműelemek és Járműszerkezetanalízis Tanszék: A felületközeli réteg szerkezeti változásai csúszó- és gördülő súrlódás esetén
- 16.00-16.15 Patai Patrik PhD hallgató, Dr. Eleőd András DSc., egyetemi tanár Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Járműelemek és Járműszerkezetanalízis Tanszék, Dr. Lelkes Márk PhD, fejlesztési intézet vezető Rába Futómű Kft.: Ívelt fogazatú fogaskerek fogazatgeometriájának szimulációja különböző módszerekkel
- 16.15-16.30 Vidovics Balázs doktorjelölt Nyugat-magyarországi Egyetem Faalapú Termékek és Technológiák Intézet: Az innováció értékelésének lehetőségei a korai tervezési fázisokban
- 16.30-16.45 Vidovics Balázs doktorjelölt Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszék: Az innováció és a kreativitás fogalmainak viszonya az újtermék-tervezésben
- 16.45-17.00 Szalai Judit PhD hallgató, Bendefy András PhD hallgató, Dr. Váradi Károly DSc., egyetemi tanár, Dr. Piros Attila egyetemi adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszék: Fúziós erőmű diagnosztikai kábelezésének konstrukciós továbbfejlesztése és termomechanikai szimulációja
- 17.00-17.15 Tóth Gábor MSc. hallgató, Dr. Szabó Tamás PhD, tanszékvezető egyetemi docens Miskolci Egyetem Robert Bosch Mechatronikai Tanszék: Kawasaki robot szimulációja és megfogójának rezgésvizsgálata
- 9.00 - 9.15 Vadászné Dr. Bognár Gabriella CSc., habil. tanszékvezető egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: Az ellenállástényező meghatározása nem-newtoni közegben
- 9.15 - 9.30 Nagy József gyártmányfejlesztési igazgató, Electrolux Lehet Kft: Kompresszor számítási modell hűtőkör szimulációhoz
- 9.30 - 9.45 Dr. Sente József PhD., egyetemi docens, Kelemen László PhD hallgató Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: Burkolással előállított domborított fogfelület görbületeinek meghatározása
- 9.45-10.00 Dr. Hegedűs György PhD., egyetemi docens, Dr. Takács György PhD, tanszékvezető egyetemi docens Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszék: Szerszámprofilok előállítása felületmetsző módszerrel
- 10.00-10.15 Jálcs Károly főiskolai docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: 100 éve halt meg Rudolf Diesel
- 10.15-10.30 Németh Géza adjunktus, Dr. Péter József CSc., egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék, Dr. Fáy Árpád CSc ny. egyetemi docens, Bereczki Sándor MSc erőművezető-helyettes Tiszavíz Vízerőmű Kft. Tiszalök: Sűrűlódó felülepárok biztonságos elválasztásának ellenőrzése nagy alakváltozások esetén
- 10.30-10.45 Dömötör Csaba adjunktus Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék: Humoros analógiák
- 10.45-11.00 Lénárt József tanársegéd, Miskolci Egyetem, Robert Bosch Mechatronikai Tanszék: Optikai elven működő rezgésmérő berendezés fejlesztése
- 11.00-11.15 Nagy Lajos tanársegéd, Miskolci Egyetem, Robert Bosch Mechatronikai Tanszék: Szervo mechanizmus mechatronikai tervezése
- 11.15-11.30 Drágár Zsuzsa tanársegéd, Dr. Kamondi László PhD. egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék: A fogtőfeszültség számításának lehetősége nem szimmetrikus fogalak esetén
- 11.30-11.15 Kiss Dániel PhD. hallgató, Dr. Csáki Tibor egyetemi docens, műszaki tudomány kandidátusa Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszék: Korszerű mellék-hajtás vizsgálóberendezés tervezése
- 11.15-11.30 Szabados Anna Réka PhD. hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: Gumiabroncsok kialakulásának története
- 11.30-11.45 Dobos Zsolt PhD. hallgató, Dr. Palotás Árpád tanszékvezető egyetemi docens, Miskolci Egyetem Tűzeléstechnikai Tanszék: Állandó mágnes segítségével befolyásolt gázmérők vizsgálata az utólagos kimutathatóság szempontjából
- 11.45-12.00 Juhász Judit MSc. hallgató, Miskolci Egyetem: Katolikus templomok római romokon
- 12.00-12.15 Dr. Péter József CSc., egyetemi docens, Németh Géza adjunktus Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék Miskolci Egyetem: A fogaskerék hullámhajtómű konstrukciós lehetőségei
- 12.15 Dr. Péter József CSc., egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék: A Gép- és Terméktervezési Tanszék XXIX. Szemináriumának bejárása

## II. szekció. I. emelet, Deák terem 2013. november 8. (péntek) délelőtt, 9.00-tól 12.30-ig

**ELNÖK:** Dr. Kamondi László Phd., egyetemi docens, Bihari Zoltán adjunktus, Dömötör Csaba adjunktus, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék.

## A JÖVŐ MÉRNÖKEINEK PREZENTÁCIÓI

- Takács Krisztina:* Kombinált játszótéri elem fejlesztése
- Balogh Nóra:* Kistelepülés közterületi arcu-lattervezése
- Fekete Krisztina:* Kandalló tervezése
- Gál Viktor:* Átalakítható kerékpár fejlesztése
- Szarka Dániel:* Multifunkciós bicika fejlesztése
- Tóth Fruzsina:* Multifunkcionális térelválasztó rendszer fejlesztése
- Veres Ádám:* Orvosi szívmonitorozó rendszerrel ellátott mobiltelefon tervezése
- Kovács Kitti:* Tengelyek csapágyazásának optimalizálási lehetőségei
- Bacsó Ádám:* Elemekből összeszerelt hobby autó
- Baló Tamás:* Szíjas variátor kerékpárhoz
- Bene Máté:* Fűkasza tervezése
- Dobos Richárd:* Hajtómű tervezése
- Göndör Dávid:* Napelem forgató berendezés tervezése
- Majoros Dávid:* Alternatív energiát termelő járólapp tervezése és korszerűsítése
- Molnár Péter:* Lánchajtás tervezése
- Szölösi Ákos:* Agyaggyúró gép tervezése
- Tamás Gábor:* Mézpergető tervezése
- Tenk Gergely:* Faesztérge tervezése
- Tuzsa Ákos:* Cellás adagoló tervezése
- Varsics Norbert:* Mechanikus hajtású fűnyíró gép tervezése
- Debreczeni Dániel:* Egyenes fogú hengeres külsőfogazatú fogaskerék fogprofiljának meghatározása
- Kertész Tamás:* Ipari légűtő végelelemes vizsgálata
- Jónás Szabolcs:* Láncok kopási mechanizmusának vizsgálata
- Csáti Zoltán:* Áramlási jellemzők vizsgálata nyugvó közegben mozgó felületen

## I. szekció, Nagyterem, I. emelet 2013. november 8. (péntek) délelőtt

**SZEKCIÓVEZETŐ:** Vadászné Dr. Bognár Gabriella CSc., habil. tanszékvezető egyetemi docens, Dr. Péter József CSc., egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék

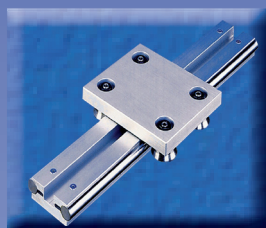


DIN EN ISO 9001:2008  
minősítési tanúsítvánnyal  
rendelkezőnk

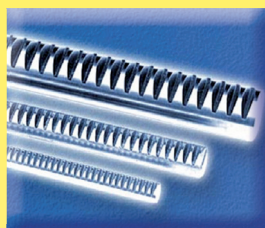
# 50 éve a meghajtástechnika és a lineáris rendszerek szakértői

Áruszállítás mindennap világszerte hamburgi raktárunkból

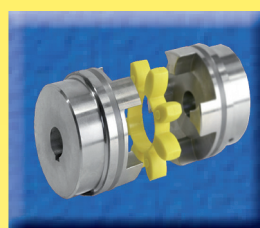
alumínium görgős vezetések



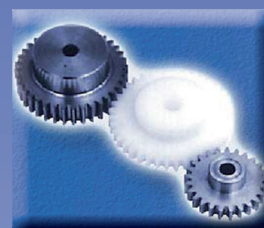
fogasléc



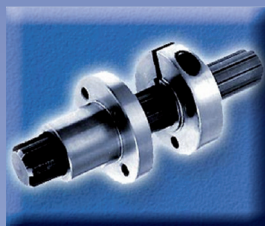
tengelykapcsolók



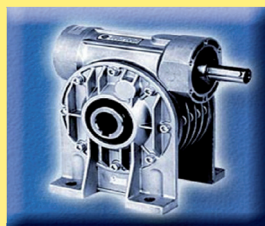
fogaskerek



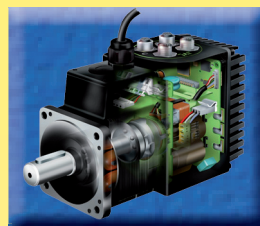
bordástengelyek



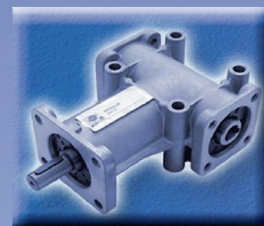
csigahajtások



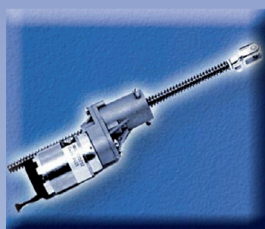
szervomotorok



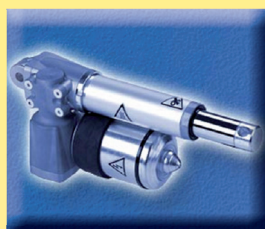
kúpkerekes hajtóművek



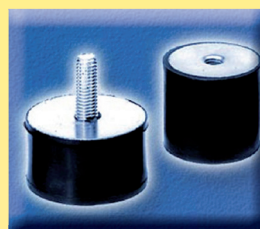
mini csavarorsós hajtómű



csavarorsós hajtómű



gumi- fémkütközők



mágneses tengelykapcsolók



csuklós tengelyek



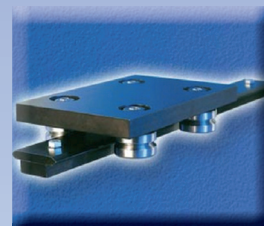
szabadonfutók



géplábak



lineáris rendszerek



Látogassa meg weboldalunkat és kérje ingyenes katalógusunkat!



Technische Antriebselemente GmbH - Lademannbogen 45 - 22339 Hamburg  
Tel: + 49 40 5388921-0 | Fax: + 49 40 5388921-29 | Mail: [info@tea-hamburg.de](mailto:info@tea-hamburg.de)  
Web: [www.tea-hamburg.de](http://www.tea-hamburg.de) | [www.tea-hamburg.com](http://www.tea-hamburg.com) | [www.tea-hamburg.eu](http://www.tea-hamburg.eu)