

# GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



2017/4.

**nka**  
Nemzeti Kulturális Alap

96 oldal  
LXVIII. évfolyam

# GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXXIII. SZEMINÁRIUMA

MISKOLC, 2017. november 9–10.

## TISZTELT GÉPTERVEZŐ ÉS TERMÉKFEJLESZTŐ KOLLÉGA!

Örömmel tudatjuk, hogy a szerzők hatvanhárom előadással jelentkeztek a Géptervezők és Termékfejlesztők 2017. november 9–10-én a MTA Miskolci Területi Bizottságának épületében (Miskolc, Erzsébet tér) megrendezésre kerülő szemináriumára. Az előadások jelentős része nyomtatott formában a GÉP folyóirat soron következő számában is megjelenik. Köszönjük a szerzők és a lektorok munkáját.

A szeminárium szervezői november 9-én 9 órától és 10-én 8.30 órától várják a résztvevőket. Az előadók előadásait sötétíthető teremben tartják és számítógépes projektor áll rendelkezésükre.

A részvételi díjról és a publikálás költségéről szóló számlákat a Gépipari Tudományos Egyesült elküldte. Tisztelettel kérünk mindenkit, hogy az átutalásáról legyenek szívesek intézkedni és azt leellenőrizni.

**Tudjuk, hogy az előadók és a társszerzők elfoglaltak, ennek ellenére kérjük, hogy jelenlétükkel tiszteljék meg a plenáris ülést és a szekciók előadóit.**

Levelünkhöz mellékelte a Szeminárium programját, ami egyben meghívóként is szolgál. Az esetleges észrevételeket e-mail címünkön köszönettel fogadjuk.

Miskolc-Egyetemváros, 2017. október 20.

A szeminárium szervezői nevében szeretettel várja

*Dr. Péter József  
a Szeminárium titkára*

**Géptervezők és Termékfejlesztők XXXIII. Szeminárium**

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

**MTA Miskolci Területi Bizottsága**

**Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet**

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

**2017. november 9 (csütörtök) - 10 (péntek)**

*Címünk: Géptervezők és Termékfejlesztők  
XXXIII. Szeminárium  
Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet  
H-3515 Miskolc-Egyetemváros  
Telefon/Fax: (0036)-46-327-643  
E-mail: machpj@uni-miskolc.hu*

**Géptervezők és Termékfejlesztők XXXIII. Szeminárium  
Miskolc, 2017. november 9-10.**

### **I. EMELET, NAGYTEREM**

**2017. NOVEMBER 9. (CSÜTÖRTÖK), DÉLELŐTT 10.00-TÓL**

**Elnök:** **Vadászné Dr. Bognár Gabriella** az MTA doktora, intézetvezető egyetemi tanár

**10.00-10.05** Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella az MTA doktora, intézetvezető egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Megnyitó.

**10.05-10.20** Dr. Piros Attila egyetemi docens, BME Gép- és Terméktervezési Tanszék: A géptervezés digitalizálása.

**10.20-10.35** Nagy Abonyi Tamás termékfejlesztési irodavezető Electrolux Lehel Kft. Home Care szektor: Kihívások- és ellentmondások a termékfejlesztésben.

**10.35-10.50** Igaz Antal ügyvezető, Carl Zeiss Technika Kft.: Modern érintés mentes mikrotopográfiai mérési módszerek.

**10.50-11.05** Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella az MTA doktora, intézetvezető egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Felületgeometria numerikus vizsgálata vékonyfilm bevonati rétegekre.

**11.05-11.20** Dr. Lovas László egyetemi docens, BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék, Pietro Fierro, Salernói Egyetem, Ipari Mérnöki Kar: Koponya implantátum szilárdsági méretezésének kérdései.

**11.20-11.35** Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella az MTA doktora, intézetvezető egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Terméktervezés nemzetközi projekt-munkában (HEIBus).

**11.35-11.50** Dr. Hegedűs József: Az értékalakítással segített géptervezés általánosítása. Ötven éves innovációs kutatás lezárása, értékelése.

**11.50** Dr. Péter József c. egyetemi tanár Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: A szemináriummal kapcsolatos tudnivalók összefoglalása.

### **I. SZEKCIÓ, I. EMELET, NAGYTEREM 2017. NOVEMBER 9. (CSÜTÖRTÖK), 14.00-TÓL**

**Szekcióvezető:** **Dr. Siposs István** c. egyetemi tanár, regionális igazgató, **Dr. Sarka Ferenc** egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet, **Dr. Horváth Richárd** egyetemi docens, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

**14.00-14.15** Dr. Siposs István c. egyetemi tanár, regionális igazgató: A Magyar Innovációs Szövetség középtávú stratégiája.

**14.15-14.30** Dr. Szabó Gyula egyetemi docens Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet: Biztonsággal kapcsolatos gépészmérnöki kompetenciák fejlesztése

**14.30-14.45** Dr. Sarka Ferenc egyetemi docens, Tóbiás Zsolt mesteroktató Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: A 3D scannelés és prototípusgyártás alkalmazási lehetősége csomagoló szerszámok gyártásában – esettanulmány.

**14.45-15.00** Dr. Kiss Gábor egyetemi docens Óbudai Egyetem Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet: A gépész hallgatók jelszóhasználati szokásának változása információbiztonsági kurzus után.

**15.00-15.15** Péter Bence evopro systems engineering Kft, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Hegedűs Gergely evopro systems engineering Kft, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Dr. Czigány Tibor MTA levelező tagja, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,

Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, MTA – BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport: Challenges of the T-RTM manufacturing focusing on the preforming process, sensing and handling of reinforcement materials.

**15.15-15.30** Dr. Horváth Richárd egyetemi docens, Nagyné Halász Erzsébet főiskolai adjunktus, Oláh Ferenc, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar: Fémgömb héj erősítésű alumínium mátrixú kompozitok fúrási vizsgálata.

**15.30-15.45** Dr. Bihari János egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Kisméretű műanyag fogaskerék-hajtóművekre ható külső hatások vizsgálata.

**15.45-16.00** Dr. Blága Csaba, egyetemi docens, intézetigazgató, ME Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet: Elektrotechnika oktatás Selmecbányán.

**16.00-16.15** Trautmann Laura PhD hallgató, Dr. Piros Attila egyetemi docens BME Gép- és Terméktervezési Tanszék: Emberi tényezők integrálása a mintázatkeszítés folyamatába.

**16.15-16.30** Dr. Simonovics János egyetemi adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék: Egyedi teherviselő állkapocs implantátum optimalizálásának lehetőségei – 2. rész.

**16.30-16.45** Dr. Péter József c. egyetemi tanár, Németh Géza egyetemi adjunktus Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Forgó és haladó mozgás átadása mozgó tömitések nélkül.

**16.45** A szekció munkájának értékelése

### **II. SZEKCIÓ, I. EMELET, DEÁK TEREM 2017. NOVEMBER 9. (CSÜTÖRTÖK) 14.00-TÓL**

**Szekcióvezető:** **Dr. Döbröczöni Ádám** professor emeritus, Miskolci Egyetem, **Dr. Czifra Árpád** egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet, **Dr. Bihari János** egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

**14.00-14.15** Dr. Czifra Árpád egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet, Dr. Horváth Sándor c. egyetemi tanár Óbudai Egyetem: Műszaki felületek osztályozása mikrotopográfiai paraméterek alapján.

**14.15-14.30** Dr. Bihari Zoltán egyetemi docens, Bubonyi Andrea Bsc gépészmérnök hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Környezeti zajterhelés akusztikai vizsgálata (Esettanulmány).

# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

#### elnök

Vesza József

#### főszerkesztő

Dr. Jármái 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. Pálkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

### TISZTELT OLVASÓ!

A Géptervezők és Termékfejlesztők XXXIII. Szemináriumának szervezését a megszokott időben elkezdtük, a résztvevők számításba vehető körét leveleinkkel megkerestük, a jelentkezés határidejét kicsit módosítva a barátságos invitálást megismételtük, nem eredménytelenül. A Géptervezők és Termékfejlesztők XXXIII. Szemináriumára 69 előadással jelentkeztek, és 43 szakcikk érkezett; a terjedelmet tekintve annyi, mint az előző évben. A szakcikkek a Gép folyóirat két lapszámában jelennek meg

Az előadók, a szerzők és a társszerzők nevét vizsgálva a változás karakteres. Kitűnő, jól ismert szerzők hiányoznak, új és biztató nevek jelentek meg. Sok a fiatal előadó, a 43 szakcikk szerzője, társszerzője doktorandusz vagy egyetemi hallgató. A jelenség nem egyedi, a világ más részén, és más tudományterületen is hasonló a változás, fogy a háború után született népes korosztály mellett vagy helyett lényegesen fiatalabb hölgyekkel és urak jelennek meg. Szívesen nézem a NASA űrkutatással foglalkozó oldalait, a tervezők és fejlesztők között sok a fiatal hölgy, akik a férfiakétól eltérő látásmódjukkal eredeti megoldásokat szülnek, - talán nem bántó a megfogalmazás.

A változás az előadások és a szakcikkek témájában is érzékelhető. Az előadók horizontja, az elérhető ismeretek és megoldható feladatok köre a korábrinál szélesebb, az előadásokban a matematika, a mechanika, az anyagtudomány, a gyártástudomány, a géptervezés, a tervezésemélet eredményei mellett az informatika, az ergonómia, a biológia, az orvostudományok, a pszichológia, az ipari formatervezés, és a természeti analógiák kutatásának eredményei is megjelentek. Örömmel írom, hogy ebben az évben van technikatörténettel foglalkozó előadás és szakcikk is, historia est magistra vitae.

Engedje meg a Tisztelt Olvasó, hogy a köszöntést személyes gondolattal zárjam; a napokban hunyt el Tarr Sándor nyugalmazott egyetemi docens, hajdani gyakorlatvezetőm, későbbi egyetemi oktatótársam, aki a tiszta, érthető fogalmazásra és a tanszék kitartó szolgálatára biztatott.

*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, 1147 Budapest, Czobor 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 Zrt. • Postacím: 1900 Budapest

Előfizetésben megrendelhető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél, [www.posta.hu](http://www.posta.hu) WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), e-mailen a [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu) címen, telefonon 06-1-767-8262 számon, levélben a MP Zrt. 1900 Budapest címen. Külföldre és külföldön előfizethető a Magyar Posta Zrt.-nél: [www.posta.hu](http://www.posta.hu) WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), 1900 Budapest, 06-1-767-8262, [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu)

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

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**A megjelent cikkek lektoráltak.**

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

# TARTALOM

1. Horváth Richárd, Nagyné Halász Erzsébet, Oláh Ferenc: FÉMGÖMBHÉJ ERŐSÍTÉSŰ ALUMÍNIUM MÁTRIXÚ KOMPOZITOK FŰRÁSI VIZSGÁLATAI.....5	11. Dr. Simonovics János, Schmidt Dorottya, Dr. Bujtár Péter: EGYEDI TEHERVISELŐ ÁLLKAPOCS IMPLANTÁTUM OPTIMALIZÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI – 2. RÉSZ.....53
2. Dr. Jálics Károly: POROELASZTIKUS ANYAGOK AKUSZTIKAI VIZSGÁLATA SZIMULÁCIÓVAL ÉS MÉRÉSSSEL..... 11	12. Sipkás Vivien, Vadászné Dr. Bognár Gabriella: MIKROKAPCSOLÓK GYORSÍTOTT ÉLETTARTAM VIZSGÁLATA.....57
3. Károsi Zoltán: A KERESZTÉNY IKONTÓL A DESIGN IKONIG..... 15	13. Dr. Szabó Gyula: BIZTONSÁGGAL KAPCSOLATOS MECHATRONIKAI MÉRNÖK KOMPETENCIÁK FEJLESZTÉSE.....61
4. Dr. Kelemen László: A PNEUMOBIL VERSENY 10 ÉVE A MISKOLCI EGYETEMEN.....21	14. Szabó Gyula, Dr. Váradi Károly, Dr. Felhős Dávid: SZÁLTEKERCESELT KOMPOZIT TÖMLŐ HORPADÁSA..... 65
5. Kiss Gábor: A GÉPÉSZ HALLGATÓK JELSZÓHASZNÁLATI SZOKÁSÁNAK VÁLTOZÁSA INFORMÁCIÓBIZTONSÁGI KURZUS UTÁN.....25	15. Ferenc János Szabó: CSAVARRUGÓ GRAFO- ANALITIKUS OPTIMÁLÁSA.....69
6. Pietro Fierro, Dr. Lovas László: KOPONYA IMPLANTÁTUM SZILÁRDSÁGI MÉRETEZÉSÉNEK KÉRDÉSEI.....29	16. Takács Ágnes: KÖRNYEZET SZEMPONTÚ AJÁNLÁSOK A KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉS SORÁN.....73
7. Nagy Abonyi Tamás: KIHÍVÁSOK ÉS ELLENTMONDÁSOK A TERMÉKFEJLESZTÉSBEN.....33	17. Tóth Sándor Gergő, Tóth Dániel, Dr. Takács György, Dr. Szilágyi Attila: KÚPOS HIDROSZTATIKUS CSAPÁGYAK VIZSGÁLATA.....77
8. Péter Bence, Hegedűs Gergely, Czigány Tibor: T-RTM ELJÁRÁSSAL GYÁRTOTT ALKATRÉSZEK GYÁRTÁSI FOLYAMATÁNAK KIHÍVÁSAI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZ ERŐSÍTŐANYAGOK KEZELÉSÉRE.....37	18. Trautmann Laura, Dr. Piros Attila: EMBERI TÉNYEZŐK INTEGRÁLÁSA A MINTÁZATKÉSZÍTÉS FOLYAMATÁBA.....81
9. Dr. Piros Attila, Dr. Zwierczyk Péter: A GÉPTERVEZÉS DIGITALIZÁLÁSA..... 43	19. Vadászné Bognár Gabriella: FELÜLETGEOMETRIA NUMERIKUS VIZSGÁLATA VÉKONYFILM BEVONATI RÉTEGEKRE.....85
10. Sarka Ferenc, Tóbis Zsolt: A 3D SCANNELES ÉS PROTOTÍPUSGYÁRTÁS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE CSOMAGOLÓ SZERSZÁMOK GYÁRTÁSÁBAN - ESETTANULMÁNY.....47	20. Dr. Varga Gyula, Ferencsik Viktória: GYÉMÁNTVASALT MUNKADARAB-FELÜLETEK KEMÉNYSÉGÉNEK ÉS MARADÓ FESZÜLTSGÉNEK VIZSGÁLATA.....89

# FÉMGÖMBHÉJ ERŐSÍTÉSŰ ALUMÍNIUM MÁTRIXÚ KOMPOZITOK FÚRÁSI VIZSGÁLATAI

## THE DRILLING INVESTIGATION OF ALUMINIUM COMPOSITE REINFORCED WITH METAL HOLLOW SPHERES

*Horváth Richárd, PhD, horvath.richard@bgk.uni-obuda.hu*

*Nagyne Halász Erzsébet, nagyne.halasz@bgk.uni-obuda.hu*

*Oláh Ferenc, olahf@citromail.hu*

### ABSTRACT

Since composites have numerous advantages, they have a prominent role in manufacturing. That is the reason why they might substitute conventionally used materials. Nowadays cutting processes are among the most commonly used finishing technologies. In case of composites the cutting tools have to meet particular requirements. This paper represents the machinability examinations of a special type of composites – iron hollow sphere filled aluminium matrix (Al-Si) – during drilling. The input cutting parameters, the feed ( $f$ , mm) and the cutting speed ( $v_c$ , m/min), were varied at a wide range according to Design of Experiment (a full factorial design was used). Drilling studies were carried out under dry conditions and with internal cooling lubrication as well. The axial force ( $F_z$ , N) was measured. Based on the experimental results, the different drilling conditions were compared. In addition, a proposal is made for cutting this kind of material. Moreover, the co-features of the materials of the aluminium matrix and the iron hollow sphere protuberances by cutting procedures were examined by scanning electron microscope.

### 1. BEVEZETÉS

A szintaktikus fémhabok magukban hordozzák a már ismert fémhabok jellemzőit, valamint a kompozitok előnyös tulajdonságait. Ilyen anyagok vizsgálata és kutatása az elmúlt években fokozatosan növekszik. Ezen anyagok remek mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, többek között energiaelnyelésük, nyomószilárdságuk, sérüléslokalizáló képességük is nagyon jó, amellett, hogy sűrűségük igen alacsony, mely köszönhető a könnyűfém mátrixnak és az üreges gömbhéjaknak.

Az erősítő anyag alapvetően két fő csoportra osztható, melyek fém és kerámia alapú gömbhéjak [6]. Ezek például a Hollomet GmbH [2] forgalmazásában a kerámia gömbhéj (globocer, GC), valamint vasgömbhéjak (globomet, GM).

Számos kutatás foglalkozik az ilyen féle anyagok anyagtulajdonsági vizsgálataival [7]. Az ilyen anyagok zömíthetősége igen jó. Három különböző fémmátrix szintaktikus hab zömítési viselkedését vizsgálta Orbulov és Ginsztler [10] (ahol a mátrix anyag Al99,5 az erősítő anyag pedig három féle kerámia gömbhéj volt). A kerámia gömbhéjak főként átmérőjükben tértek el egymástól (100  $\mu\text{m}$ ; 150  $\mu\text{m}$ ; 1450  $\mu\text{m}$ ). Az eredmények azt mutatták, hogy a gömbhéjak mérete, és a vizsgálatok hőmérséklete jelentős hatást gyakorol a nyomószilárdságra. A kisebb vékonyfalú gömbhéjak nagyobb nyomószilárdságot biztosítanak. A vizsgálatokat szobahőmérsékleten és 220 °C-on végezték el. A növelt hőmérsékleten végzett tesztek ~30% -kal csökkentették a nyomószilárdságot. Egy másik kutatásban szintén kerámia-gömbhéjú alumínium mátrixú kompozitok zömíthetőségét vizsgálta Kiser et al. [4]. A kísérletben A201 jelű alumínium ötvözet és 55%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kerámia-gömbhéjú kompozitot valamint A360 jelű alumíniummátrixú és 60% kerámia-gömbhéjú kompozitot vizsgáltak. Az eredmények azt mutatták, hogy a vizsgált anyagok energiaelnyelő képessége nagyban függ a terhelés paramétereitől, viszonyaitól. Az ilyen fajta anyagok igen jól alkalmazhatóak a helyi behatolással (pl.: lövedékekkel) szemben. Szlancsik et al. [12] különböző mátrix anyagú (Al99.5, AlSi12, AlMgSi1 és AlCu5) Globomet erősítő anyaggal készült kompozitok zömíthetőségét vizsgálta. A felvett zömítési (kis meredekséggel növekvő) görbék alapján a vizsgált kompozit nagy energiaelnyelési képességgel rendelkezik. Megállapították még azt is, hogy a mátrixanyag és a hőkezelés erősen

befolyásolja a kompozit mechanikai tulajdonságait, így a megfelelő igények alapján a mechanikai tulajdonságok széles tartományban változtathatók. A mátrixanyag és a hőkezelés erősen befolyásolja az elkészített kompozit mechanikai tulajdonságait. Így a megfelelő kiválasztás révén a jellemző tulajdonságok széles tartományon belül változhatnak. Hasonlóan az előző tanulmányhoz Orbulov és Ginsztler [11] négy különböző mátrix anyagú (Al99.5, AlSi12, AlMgSi1 és AlCu5) viszont kétféle átmérőjű kerámia gömbhéj (100  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ ) erősítéssel rendelkező kompozit zömítő vizsgálatainak eredményei azt mutatták, hogy a kisebb gömbhéjű kompozitok nagyobb nyomószilárdságot és jobb merevséget biztosítanak, mint a nagyobb átmérőjű erősítő anyaggal rendelkező kompozitok.

Nyitott cellás SiC-val erősített alumínium mátrixú kompozit forgácsolhatósági (marási) vizsgálatát végezte Karabulut és Karakoç [3] bevonatolatlan keményfém szerszámmal. A vizsgálatokat Taguchi L27-es terv alapján végezték és optimalizálták a felületi érdességet a bemenő forgácsolási paraméterek függvényében. Az eredmények azt mutatták, hogy az előtolási sebességnek volt a legnagyobb hatása a forgácsolt felületi érdességre. Szilumin és SiC kompozit vágathatóságát vizsgálta Krajewski & Nowacki [5]. A vizsgálatba vont kompozitot fűrészelésnek, vízsugaras vágásnak (abrazív anyag hozzáadása nélkül és abrazív anyag hozzáadásával), lézeres vágásnak, szikraforgácsolásnak valamint plazma vágásnak vetették alá. Számos 2D és 3D érdességi paraméterrel jellemezték a felületeket majd a kapott eredmények alapján meghatározták a legkedvezőbb vágási körülményeket. A porozitás és a forgácsoló erő kapcsolatát vizsgálta Fakhri et al. [1] titán haboknál. Vizsgálataikból megállapították, hogy az eredő forgácsoló erő szoros korrelációt mutat a porozitással (szilárd anyag aránnyal). Nem hagyományos forgácsolótechnológiával is vizsgálták alumínium hab viselkedését. B.S. Yilbas et al. a vágott felületet méretét vizsgálta lézervágás technológiájánál háromszög [13] valamint furat [14] alakú geometriáknál.

Ebben a cikkben egy eutektikus alumínium mátrixú vasgömbhéj erősítésű kompozit fűrészi vizsgálatát (száraz és belső hűtés kenés körülményei között) és annak eredményeit mutatjuk be.

## 2. FELHASZNÁLT ALAPANYAG ÉS ESZKÖZÖK

A gyártáshoz eutektikus alumínium-szilícium ötvözetet (AlSi12) használtunk mátrixanyagként és 100% Fe összetételű globometet erősítő anyagnak. Az alumínium ötvözet összetevői: Al=87,1 tf%, Si=12,8 tf% és Fe=0,1 tf%. A vasgömbhéjak a Hollomet GmbH által forgalmazott globometek [2] voltak, melyek 1,4-1,8 mm jellemző átmérővel valamint 0,2 mm falvastagsággal rendelkeznek. A gyártásnál infiltrációs eljárást alkalmaztunk [8]. A kész munkadarabok az 1. ábrán láthatóak melynek befoglaló méretei: 35×45×85 mm.



1. ábra. Fűrészi kísérletre előkészített munkadarabok

A forgácsolási kísérletek elvégzésére egy MAZAK VCN 410A-II típusú szerszámgépet alkalmaztunk ( $n_{max} = 12000$  1/perc;  $P_{max} = 11$  kW).

A fűrészi kísérletekhez a Dream Drills alumíniumhoz alkalmazott fűrészalád D5433100 5XD típusú szerszámot alkalmaztunk [9] ( $\varnothing 10$  mm) mely belső hűtőfuratokkal rendelkezik.

Az erő mérésére Kistler 9257b típusú erőmérő platformot és KISTLER 5019-es típusú jelerősítő és feldolgozó készüléket alkalmaztunk, mellyel mértük az előtolás irányú erőket. A mért erők feldolgozását DynoWare programmal végeztük.

A fűrés forgácsolási paramétereit, mind a forgácsoló sebességet –  $v_c$ , m/min; mind az előtolást –  $f$ , mm négy szinten változtattuk:  $v_c=80-120-160-200$  m/min;  $f=0,1-0,2-0,3-0,4$  mm. Az így kialakult 16 mérési pontot az 1. táblázat tartalmazza. A forgácsolási kísérleteket szárazon és belső hűtéssel is elvégeztük.

1. táblázat. Fúrási kísérletek mérési pontjai

Mérési pontok	$v_c$ , m/min	$f$ , mm
1	80	0,1
2	80	0,2
3	80	0,3
4	80	0,4
5	120	0,1
6	120	0,2
7	120	0,3
8	120	0,4
9	160	0,1
10	160	0,2
11	160	0,3
12	160	0,4
13	200	0,1
14	200	0,2
15	200	0,3
16	200	0,4

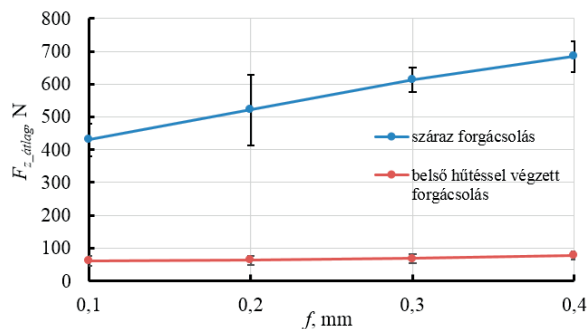
A fúrási kísérleteket száraz és belső hűtéssel is elvégeztük. Hűtő-kenő közegként 4 tf%-os olajos emulziót használtunk, AGIP AQUAMET 4 HS-BAF ásványolaj alapú fémmegmunkáló kenőanyagból.

### 3. EREDMÉNYEK

A fúrási kísérletek során a  $z$  irányú  $F_f$  erőket rögzítettük. Szignifikancia vizsgálatot végeztünk, hogy mely forgácsolási paramétereknek van jelentős hatása a mért  $F_f$  erő komponensre. Ennek eredménye, hogy az  $F_f$  erő komponensre csak az előtolásnak volt szignifikáns hatása. Ezért a továbbiakban az előtolás hatásának elemzését mutatjuk be.

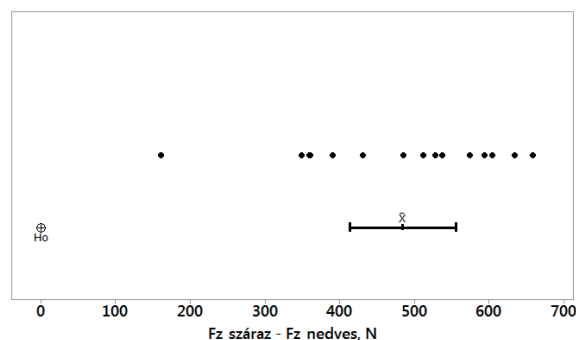
#### 3.1. Előtolás hatása az előtolás irányú erőre

A kapott erő értékek átlaga látható a 2. ábrán hűtő-kenő-közeg alkalmazása és száraz forgácsolás körülményei között. Jól látható, hogy az erő értékek száraz forgácsolás esetén sokkal nagyobbak, mint belső hűtéssel történő forgácsoláskor.



2. ábra. Előtoló erő értékek az előtolás függvényében egyes sebességek átlag értékén

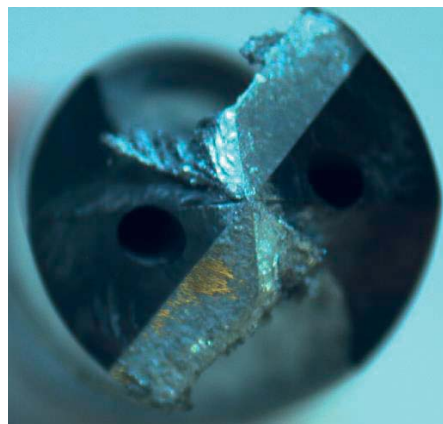
Megvizsgáltuk a kapott erő adatokat páros t-próbával is, melynek eredménye alapján kimondható, hogy átlagosan 484,8 N-nal nagyobb az előtolás erőigénye szárazforgácsolás esetén. (3. ábra).



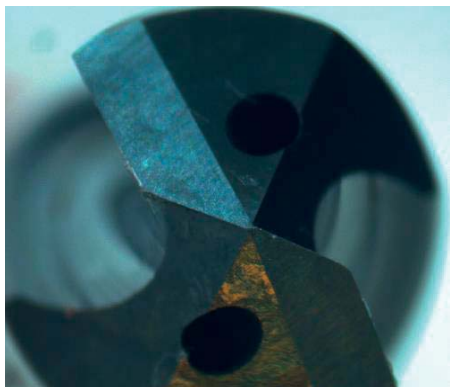
3. ábra. Páros t-próba eredménye

#### 3.2. Élratét és sorja képződés vizsgálata

A furatok elkészítését követően a szerszámot megvizsgálva az tapasztalható, hogy szárazforgácsolás esetén minden esetben élratét jött létre, míg belső hűtés alkalmazása esetén ez egyáltalán nem jelentkezett. A 4. ábrán jól látható a szárazforgácsoláskor képződött élratétes szerszám, valamint az élratét nélküli forgácsolás a belső hűtés-kenés alkalmazását követően.



a) élratétes szerszám száraz forgácsolás körülményei között



b) élratét nélküli szerszám belső hűtés-kenéssel történő forgácsolás körülményei között

4. ábra. Élratét kialakulása

Ezt követően megvizsgáltuk az átmenő furatok kilépő oldalain képződött sorjakat. A száraz forgácsolás körülményei között minden esetben képződött sorja a kilépő oldalakon, míg belső hűtés-kenés használatakor ilyen jelenség nem tapasztalható (5. ábra).



b) furatok kilépő oldalai belső hűtés-kenés alkalmazásakor

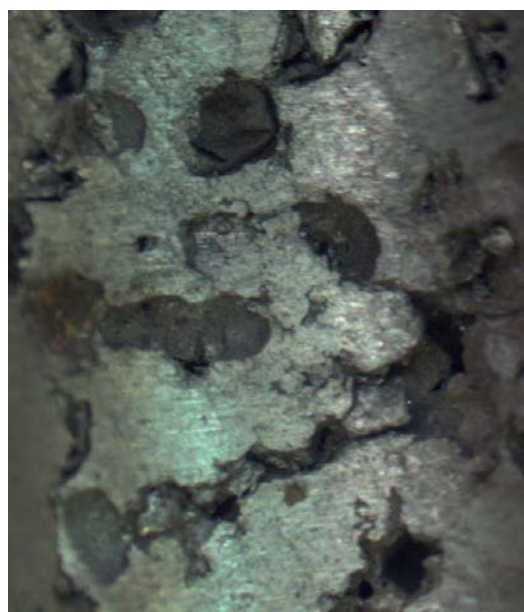
5. ábra. Sorja képződés a furatok kilépő oldalain



a) furatok kilépő oldalai száraz forgácsolás körülményei között

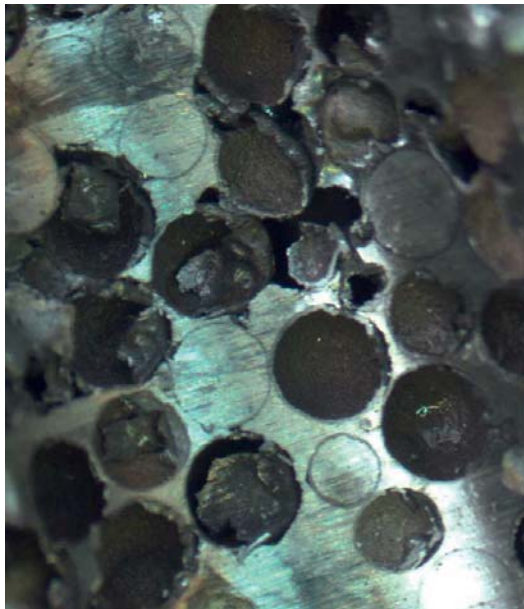
### 3.3 Forgácsolt felületek vizsgálata

A furatok belsejét megvizsgálva az tapasztalható, hogy a száraz forgácsolás esetén minden esetben elkenődött a mátrixanyag, a gömbhéjak kiszakadtak a helyükről. Ezzel szemben a belső hűtés használata mellett jobbak a forgácsolási körülmények a mátrix alumínium anyag forgácsolása megtörténik valamint a gömbhéjakat is sikerült elvágni. Kiszakadt gömbhéjak belső hűtés esetén sokkal kisebb arányban jelennek meg. A furatok belső felületéről készült mikroszkópos képeket mutatja a 6. ábra.



a) száraz forgácsolással készült furat felülete

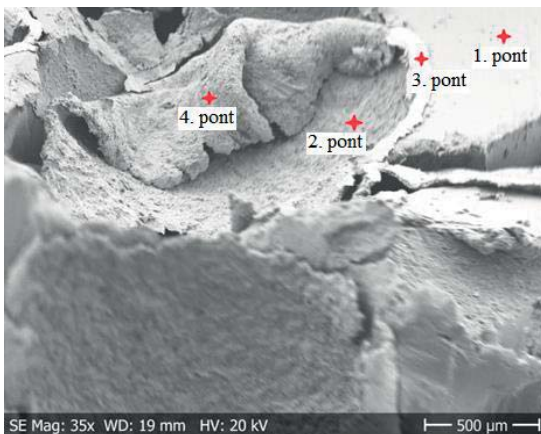




b) belső hűtés-kenéssel készült furat felülete  
6. ábra. Furatok belső felületeinek vizsgálata

Az 6. ábrán látható fénymikroszkópos képek alapján levont következtetéseket elektronmikroszkópos felvételekkel bizonyítottuk.

A furatok belső forgácsolt felületét elektronmikroszkóppal több ponton is vizsgáltuk. Az Fe, Al és Si atomok térfogatszázalékát elemeztük a forgácsolt felületen (7. ábra). A 7. ábrán látható mérési pontok anyagösszetételét az 2. táblázat tartalmazza.



7. ábra. Elektronmikroszkópos felvétel a furat belső felületéről (belső hűtés-kenéssel végzett fúráskor)

2. táblázat. Anyagösszetétel vizsgálat eredményei a forgácsolt felületben (7. ábra alapján)

Vizsgált pontok	Al, tf%	Si, tf%	Fe, tf%
1.	83,55	14,65	1,80
2.	2,84	0,51	96,65

Vizsgált pontok	Al, tf%	Si, tf%	Fe, tf%
3.	14,00	1,46	84,54
4.	26,17	0,64	73,2

Az első mérési pontban a varakozásoknak megfelelően tiszta mátrixanyag található.

A második mérési pontban egy elforgácsolt gömbhøj belső fala lett elemezve melyben szinte csak tiszta vas alkotó található meg.

A harmadik mérési pont a forgácsolt gömbhøj falának vizsgálatát mutatja Ebben az esetben is hasonlóan túlnyomó részt vas található meg, de kis mennyiségben oldódott alumínium is látható a spektroszkópián. Ennek oka lehet az infiltrálási eljárás, mely során lehetősége van a mátrix és az erősítő anyagnak az oldódásra.

A 4. pont egy a forgácsolás során behajtott, erősítő gömbhøj falát vizsgálja. Itt jelentős mennyiségű alumínium összetevő is jelentkezett. Látható a 7. ábrán, hogy a gömbhøj két oldalával eltérő módon találkozott a szerszám a felső oldalt az előtolás hatása miatt behajtotta, míg a gömbhøjből való kilépéskor átvágta azt. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy behajlításnál a szerszám a gömbhøj külső felületével érintkezett, míg a szerszám a gömbhøjből való kilépéskor annak belső felületével.

#### 4. KONKLÚZIÓ

A cikkben bemutatott szintaktikus fémhabon fúrasi kísérleteket hajtottunk végre száraz forgácsolás és belső hűtés körülményei között (széles paramétertartományban változtatva az előtolási és forgácsolósebesség paramétereit).

A vizsgálatokból az alábbi eredmények vonhatóak le:

- A forgácsolási paraméterek közül csak az előtolásnak van szignifikáns hatása az előtolási ( $F_f$ ) erőre, mind belső hűtés-kenés használata esetén, mind pedig száraz forgácsolás esetén. A forgácsolási sebesség hatása elhanyagolható az előtolási erőt vizsgálva.
- A szárazforgácsolás esetén az előtolás erő igénye akár 8-10-szer nagyobb is lehet, (átlagos eltérés 484N).
- Száraz forgácsolás esetén minden mérési pontban képződött élrátét a szerszámon, valamint sorja is a furatok kilépő felületein, míg belső hűtés-kenés

körülményei között ezek a jelenségek nem tapasztalhatóak.

- Az ilyen anyagok fúrásához a szárazforgácsolás nem ajánlott, mert az erőnövekedés és a kilépésnél található sorja, a szerszámra tapadó élrátét valamint az el nem vágott gömbhéjak rontják a felületminőséget, a furat minőségét és a szerszámélettartamot.
- Belső hűtés körülményei között a mind a mátrix anyag mind az erősítő gömbhéjak forgácsolása megtörténik, bár a forgácsolás hatására az egyes gömbhéjak, (orientációtól függően) deformálódnak, illetve elvágásra kerültek. Ez a jelenség elektronmikroszkópos és anyagösszetétel vizsgálatokkal lett bizonyítva.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült”

A szerzők köszönetüket szeretnék kifejezni GranTOOL Kft.-nek, hogy biztosította a vizsgálatok elvégzéséhez szükséges szerszámokat.

#### IRODALOM

[1] Fakhri, M. A., Bordatchev, E. V., Tutunea-Fatan, O. R. (2012). An image-based methodology to establish correlations between porosity and cutting force in micromilling of porous titanium foams. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60(9-12), 841-851.

[2] <http://www.hollomet.com/produkte.html>

[3] Karabulut, Ş., Karakoç, H. (2017). Investigation of surface roughness in the milling of Al7075 and open-cell SiC foam composite and optimization of machining parameters. *Neural Computing and Applications*, 28(2), 313-327.

[4] Kiser, M., He, M. Y., Zok, F. W. (1999). The mechanical response of ceramic microballoon reinforced aluminum matrix composites under compressive loading. *Acta Materialia*, 47(9), 2685-2694.

[5] Krajewski, S., Nowacki, J. (2015). Structure of AlSi-SiC composite foams surface formed by mechanical and thermal cutting. *Applied Surface Science*, 327, 523-531.

[6] Májlinger, K., Kalácska, G., Orbulov, I. N., Zsidai, L., Bozóki, B., Keresztes, R. (2017).

Global Approach of Tribomechanical Development of Hybrid Aluminium Matrix Syntactic Foams. *Tribology Letters*, 65(1), 16.

[7] Májlinger, K., Orbulov, I. N. (2014). Hibrid szintaktikus fémhabok szilárdsági jellemzői. *Bányászati és kohászati lapok* 147(1).

[8] Májlinger, K., Orbulov, I. N. Fémgömbhéj erősítésű fémhabok mikroszerkezeti tulajdonságai. *XXI. Nemzetközi Gépészeti Találkozó*, 253-256.

[9] Ø10 DreamDrills Alu fúró (D5433100) GranTool katalógus adatai: [http://www.toolontool.hu/DNNGranTool/PDF/YG-1\\_Drill\\_D5433.pdf](http://www.toolontool.hu/DNNGranTool/PDF/YG-1_Drill_D5433.pdf)

[10] Orbulov, I. N., Ginsztler, J. (2012). Compressive behaviour of metal matrix syntactic foams. *Acta Polytechnica Hungarica*, 9(2), 43-56.

[11] Orbulov, I. N., Ginsztler, J. (2012). Compressive characteristics of metal matrix syntactic foams. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(4), 553-561.

[12] Szlancsik, A., Katona, B., Bobor, K., Májlinger, K., Orbulov, I. N. (2015). Compressive behaviour of aluminium matrix syntactic foams reinforced by iron hollow spheres. *Materials & Design*, 83, 230-237.

[13] Yilbas, B. S., Akhtar, S. S., Keles, O. (2013). Laser cutting of triangular geometries in aluminum foam: Effect of cut size on thermal stress levels. *Optics & Laser Technology*, 48, 523-529.

[14] Yilbas, B. S., Akhtar, S. S., Keles, O. (2013). Laser hole cutting in aluminum foam: Influence of hole diameter on thermal stress. *Optics and Lasers in Engineering*, 51(1), 23-29.

# POROELASZTIKUS ANYAGOK AKUSZTIKAI VIZSGÁLATA SZIMULÁCIÓVAL ÉS MÉRÉssel

## INVESTIGATION OF ACOUSTIC PROPERTIES OF PORO- ELASTIC MATERIALS WITH MEASUREMENT AND SIMULATION

Dr. Jálies Károly PhD, machijk@uni-miskolc.hu

**ABSTRACT.** Poro-elastic materials are widely used in the vehicle industry. They build primary the surface of the passenger compartment (e.g. dashboard, door panel, seats, etc.), and their main function is to ensure a good personal feeling concerning touch, sight and of course the excellent interior acoustic environment of a car. For that purpose it is essential, that the material properties of poro-elastic materials are well known. This paper provides a short description about the identification of that properties and also about a possible mathematical descriptions in the SEA simulation method. The paper also shows the comparison of results between measurement and simulation.

### 1. BEVEZETÉS

A járműiparban gyakran alkalmazzák a különböző poro-elasztikus anyagból készült elemeket. Ezek fizikai jellemzőinek megfelelő szintű ismerete elengedhetetlen e szerkezet szilárdságtani, élettartam és akusztikai tervezéséhez. A por-elasztikus anyagból készült szerkezetek elsősorban burkolati elemekként használtak (pl. műszerfal, ajtóburkolat, ülések), funkciójukat tekintve a megfelelő tapintásérzet, a kellemes optikai tulajdonságok valamint az gépjármű belső terének megfelelő akusztikai kialakítása a fő feladata. Hátrányuk azonban a jelenleg műszaki szempontból kevésbé ismert anyagjellemzők és jelen cikk megírásának szempontjából fontos akusztikai jellemzők. A cikk a következőkben a poro-elasztikus anyagok akusztikai jellemzők meghatározásával foglalkozik, és példákon keresztül bemutatja az akusztikai jellemzők előrejelezhetőségének problémakörét.

### 2. ANYAGJELLEMZŐK ÉS MÉRÉSÜK

Egy poro-elasztikus anyag összetett, kompozit anyagnak tekinthető, akusztikai jellemzőinek pontos leírásához a BIOT- elmélet

szerinti anyagjellemzők meghatározására van szükség. Ezek az anyagjellemzők a következők:

**Áramlási ellenállás:** egyenletesen áramló közegbe (levegőbe) helyezett porózus anyagon fellépő nyomásvesztéssel és a térfogatárammal arányos mennyiség. A mérést a DIN EN 29053:1993-5 szabvány szerint lehet elvégezni.

$$R = \frac{\Delta p}{q} \quad (1)$$

ahol  $\Delta p$  a nyomásvesztés (nyomáskülönbség az anyag előtt, ill. után) és  $q$  az anyagmintán átáramló térfogatáram.

**Porozitás:** A porozitás vagy relatív hézagterfogat a szemcsék közötti hézagterfogatnak az összes térfogathoz viszonyított értéke. Mérése a dinamikus kompresszibilitás meghatározásán alapul, mely során a levegőre és levegővel „megtöltött” anyagra mért kompresszibilitás összehasonlítás történik. A számítás menete a 2-4. egyenletek segítségével történik:

$$\sigma = \left( 1 - \frac{V_0}{V_m} \left( 1 - \frac{p_0}{p_m} \right) \right) \frac{1}{\bar{\kappa}} \quad (2)$$

ahol

$$\bar{\kappa} = \frac{1 + 1,4X}{1 + X} \quad (3)$$

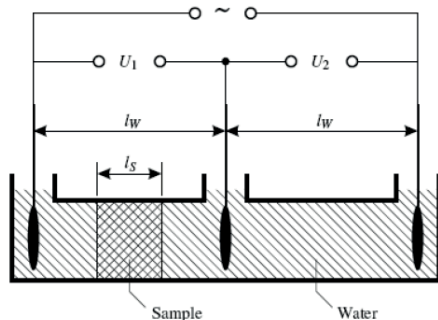
melyben

$$X = \frac{c_m \rho_m}{c_p \rho_0} \quad (4)$$

Az előző összefüggésekben a következő paraméterek szerepelnek:  $V_0$  kitöltetlen levegőterfogat,  $V_m$  az anyag térfogata,  $c_p$  az állandó nyomáson mért és  $c_m$  a moláris hőkapacitás az anyagra és a levegőre vonatkoztatva,  $p_0$  és  $p_m$  az anyaggal és nélküle

mért hangnyomás, valamint  $\rho_0$  a levegő és  $\rho_m$  az anyag sűrűsége.

**Tortouzitás** (labirintus faktor, tekervényesség): egy porózus anyagban az anyagáramlás tekervényességének fokát jelenti és ezen anyagok egyik fontos anyagjellemzője. Meghatározás méréssel lehetséges, amely az elektromos tortouzitás mérése alapján történik. Méréshez a próbatestet egy elektrolittal (víz) töltött csőben helyezik el. Egy vákuumpumpa biztosítja a pórusok, üregek elektrolittal való teljes feltöltését. A mérési elv a próba és az elektrolit vezetőképességének összehasonlításán alapul.



1. ábra: A tortouzitás mérésének elvi vázlatja

Az 1. ábra szerinti elvi elrendezés alapján elvégezhető a tortouzitás számítása:

$$\tau = \sigma \left[ \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \frac{l_w}{l_s} + 1 \right], \quad (5)$$

ahol  $\sigma$  a porozitás,  $l_w$  a vízzel töltött cső hossza,  $l_s$  a próbaanyag hossza, és  $U_1$  ill.  $U_2$  a mérhető feszültségek.

**Hangelnyelési tényező:** azt mutatja meg, hogy a porózus anyagba beeső hanghullámok energiájának hány százaléka kerül az anyagban elnyelésre, ill. hány százaléka verődik vissza. Mérése nagyméretű anyagpróbák esetén az ISO 354:2003 szabvány szerint az úgynevezett zengőszobában történik, míg kisméretű anyagpróbák esetén az DIN-EN ISO 10534-2:2001 szerint impedancia-csőben (a Kund-féle cső változata) történik. A mért értékek 0 és 1 közötti értékeként a frekvencia függvényében mutatják az elnyelt energiahányadot.

**Rugalmassági modulus és veszteségtényező:** periodikus igénybevételkor az anyagok feszültsége és deformációja nincsen fázisban egymással, ezért terheléssel szembeni viselkedésüket nem tudjuk kizárólag a rugalmassági modulussal ( $E$ ) jellemezni,

szükség van a fáziskésés ( $\delta$  vagy  $tg\delta$ : veszteségtényező) megadására is. A Rugalmassági modulusot tehát felbontjuk egy valós ( $E_{Re}$ ) és egy képzetes részre ( $E_{Im}$ ). A két komponens hányadosa a veszteségi tényező ( $tg\delta$ ), ami az egy ciklusban hővé alakult és a tárolt energia hányadának felel meg. Meghatározása az úgynevezett dinamikai mechanikai vizsgálattal (DMA) végezhető el, pl. az MSZ EN ISO 6721-3:1999 szabvány előírásai szerint. Az anyag mechanikai tulajdonságait öt alapvető tényező befolyásolja: a terhelés időtartama, hőmérséklete, frekvenciája, a feszültség és a deformáció. Egy tipikus DMA vizsgálat során a minta ható feszültséget és annak frekvenciáját konstans értéken tartjuk a vizsgálat időtartama alatt. A minta hőmérsékletét meghatározott módon (általában az időben egyenletesen) változtatjuk, és mérjük a kialakuló deformációt. Ezekből és a minta geometriai adatiból (a készülékállandók ismeretében) az anyagok mechanikai jellemzői számíthatók.

Néhány kiválasztott poro-elasztikus anyagra vonatkozó mérési eredményeket közöl az 1. táblázat.

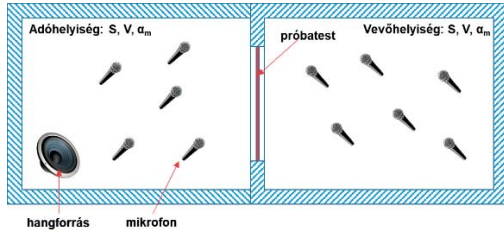
anyag	porozitás	tortouzitás	áramlási veszteség [kPa s/m <sup>2</sup> ]
1.	0,87	2,1	180
2.	0,89	2,3	197
3.	0,94	1,3	85,4

1. táblázat: Mért anyagjellemzők néhány kiválasztott anyagra vonatkozóan

### 3. A HANGGÁTLÁS MÉRÉSE

Alkalmazási példaként egy lemezszerű alkatrész hanggátlásának meghatározásának elvét mutatja be a 2. ábra. Két közel hasonló térfogatú ( $V \approx 65 \text{ m}^3$ ), kis átlagos hangelnyelési tényezőjű terem ( $\alpha < 0,1$ ) közötti, nagy hanggátlású falban elhelyezkedő nyílásba elhelyezett, kb. 10 mm vastagságú poro-elasztikus kompozit anyagból készült lemez hanggátlásának meghatározása történt. A mérési előírásokat az MSZ EN ISO 140 szabványsorozat tartalmazza, mely alapján a méréseket ténylegesen elvégeztem. Ehhez az adó- és vevőhelyiségbe mikrofonokat kell elhelyezni, valamint az adóhelyiségben egy gömbkarakterisztikájú hangszórót, amely biztosítja a hangtér diffúzitását. Méréskor a bekapcsolt hangszóró kikapcsolása után az adó- és a vevőhelyiségben a hang lecsengési idejét

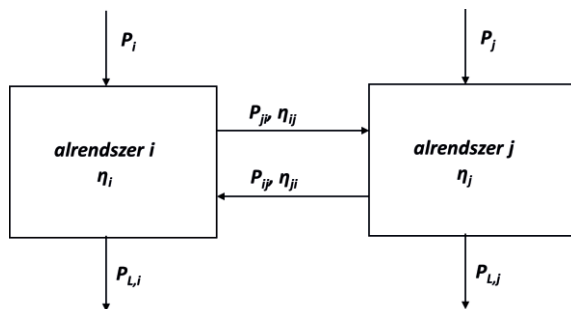
mérjük (míg a hangnyomásszint 60 dB-lel csökken). A hanggátlás végeredményben a két helyiségben mért hangnyomásszintek különbségéből és egy a vevőhelyiségre vonatkozó korrekciós tényezőtől számítható.



2. ábra: A hanggátlás mérésének elvi elrendezése

#### 4. SZIMULÁCIÓ A STATISZTIKUS ENERGIAFOLYAM ANALÍZISSEL (SEA)

A módszer alapját következő teljesítményegyensúlyi egyenletek adják, melyeket a 3. ábra is illusztrál két alrendszerből álló rendszer esetén.



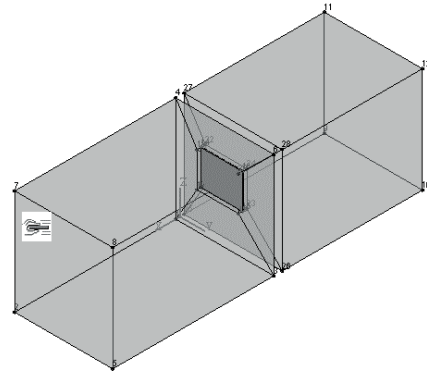
3. ábra: A SEA módszer alapja

Alrendszernek a SEA módszer szempontjából azt a szerkezeti elemet értjük, amely viszonylag függetlenül a többtől rezgéseket végezhet. Persze a kifejezés „független” nem lehet teljesen helytálló, hiszen az egyes elemek egymással fizikai kapcsolatban állnak. Másrészt egy elemen belül többfajta hullám is terjedhet (nyíró, kompressziós, stb.), melyeket külön alrendszerként kezelünk. Ez azt jelenti, hogy egy elem akár 4 alrendszert is generálhat. Egy tetszőleges méretű rendszerre tehát a SEA alapegyenlet-rendszert a következőképpen lehet felírni:

$$\begin{bmatrix} P_i \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} = \omega \begin{bmatrix} \eta_i n_i & \cdots & -\eta_{in} n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ -\eta_{in} n & \cdots & \eta_n n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_i/n_i \\ \vdots \\ E_n/n_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

ahol  $[P_i]$  a bevezetett teljesítmények vektora,  $[E_i/n_i]$  az egyes alrendszerek modális energiája,

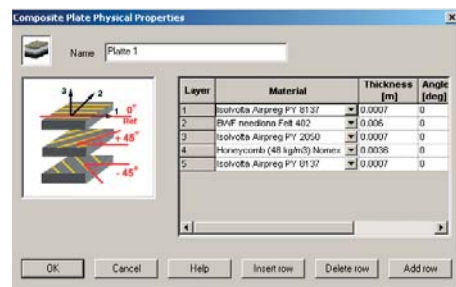
$\eta_i$  a belső veszteségtényező (internal loss factor),  $\eta_{in}$  az átmeneti veszteségtényező (coupling loss factor). Ezek alapján felépíthető egy SEA modell a 3. fejezetben leírt mérés elrendezéséről. Ezt mutatja a 4. ábra.



4. ábra: Egy lemez hanggátlásának számítására alkalmas SEA modell

Az ábrából azonban nem olvasható le a lemezalkatrész SEA modellje. A lemez modellezése háromféleképpen történt:

- mint szendvicslemez: egyforma két lemez, egy könnyű közbenső anyagkitöltéssel, hangnyelési tényező és csillapítás megadásával
- mint kompozit lemez: többrétegű lemezek modellezésére alkalmas eljárás, többirányú anyagjellemzőkkel. A hangnyelési tényező és csillapítás megadása lehetséges. (5. ábra)
- mint általános rétegelt lemez: rétegenkénti anyagjellemzők megadása lehetséges. A hangnyelési tényező megadása lehetséges, a csillapítást már tartalmazza.



5. ábra: Példa egy kompozit lemez megadása az SEA modellben

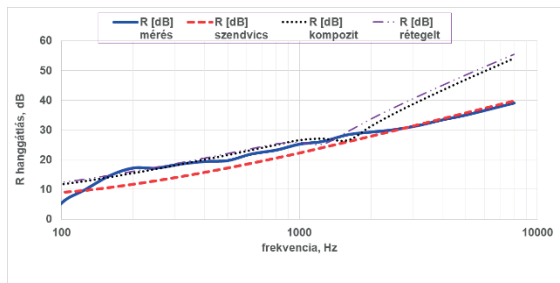
Az  $R$  hanggátlás végeredményben a következő összefüggés segítségével számítható:

$$R = 10 \lg \left[ \frac{A_2 \omega}{8\pi^2 n_1 c_1^2 \eta_3} \left( \frac{E_1}{E_3} - \frac{n_1}{n_3} \right) \right] \quad (7)$$

ahol  $A_2$  az effektív lemezfelület,  $c$  a hangterjedési sebessége,  $\omega$  a terc középfrekvencia,  $E$  az alrendszerek közepes energiája,  $n$  az alrendszerek modális sűrűsége. Az összefüggésben az 1. index az adóhelyiségre, a 2. index a lemezre, a 3. index a vevőhelyiségre, mint SEA alrendszerekre utal.

## 5. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉS A SZIMULÁCIÓ ÖSSZEHOSONLÍTÁSA

A mérések és a számítások elvégzése után összehasonlíthatjuk az eredményeket, majd esetlegesen változtathatunk a modelleken, vagy akár más modell-leírást is alkalmazhatunk. Az eredmények összehasonlítását a 6. ábra mutatja. Ebben egy kiválasztott poro-elasztikus lemezre vonatkozóan mutatom be a lemez hanggátlását mérésrel, és 3 különböző módszerrel modellezve az SEA rendszeren belül. A görbéket összehasonlítva láthatjuk, hogy a kompozit lemezes és a rétegelt lemezes modellek 200 Hz és 2000 Hz között igen jó egyezést mutatnak a mérési eredménnyel. 2000 Hz fölött azonban jelentős eltérés mutatkozik ezzel a két modellel. Ebben a tartományban a szendvicslemezes modell mutat igen jó egyezést a mérésrel.



6. ábra: Mérési és szimulációs eredmények összehasonlítása egy kiválasztott lemeztípus esetén

Ennek okát elsősorban abban kereshetjük, hogy az anyagcsillapítási értékek (2. fejezet) nem ismertek pontosan ilyen magas frekvenciatartományban ( $f > 2000$  Hz), egy állandó értéket feltételeztünk, amely itt már túlságosan magasnak bizonyult, és végeredményben túlbecsülték az  $R$  hanggátlás értékét. Ezért első közelítésben javasolt a szimulációt frekvenciatartományokra osztva, külön-külön a megfelelő modell-leírással elvégezni. A későbbiekben szükség lehet a csillapítási tényező mérésrel történő

meghatározására a magas frekvenciatartományra ( $f > 2000$  Hz) vonatkozóan is, erre azonban jelenleg nem ismert gyakorlatban jól alkalmazható módszer.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A poro-elasztikus anyagokból készült lemezszerű alkatrészek modellezési lehetőségeit mutattam be az SEA módszer keretein belül. Három féle modell-leírás szerinti, hanggátlásra vonatkozó számítási eredményeket hasonlítottam össze a konkrét mérésrel. A modell leírásához szükséges anyagjellemzőket is külön mérésrel határoztam meg. Végeredményként elmondható, hogy a jelenlegi mért anyagjellemzőkkel nem fedhető le a teljes vizsgálni kívánt frekvenciatartomány, ezt a megfelelő szimulációs eredmények eléréséhez legalább két részre kell bontani, és részenként más modell-leírást kell alkalmazni. A frekvenciatartomány összevonására akkor van lehetőség, ha egy gyakorlatban is jól alkalmazható mérési eljárást dolgozunk ki a nagyfrekvenciás csillapítási tényező meghatározására poro-elasztikus anyagokhoz.

## IRODALOM

- [1] Jalics, K: Az akusztikai szimuláció statisztikai módszerei, GÉP 2016/5-6, 2016.
- [2] Fahy, F.J.: Foundations of Engineering Acoustics, 1st ed., San Diego, Calif. □; London, Academic Press, 2000.
- [3] Lyon, R.H.: Theory and application of statistical energy analysis, 2nd ed. Boston, Butterworth-Heinemann, 1995.
- [4] Lyon, R.H., Dejong, R. G.: Theory and Application of Statistical Energy Analysis, 2. ed., Butterworth-Heinemann, 1995
- [5] Kováts A., Zaj- és rezgésvédelem, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1995

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

# A KERESZTÉNY IKONTÓL A DESIGN IKONIG

## FROM CHRISTIAN ICONS TO DESIGN ICONS

Károsi Zoltán DLA/ egyetemi adjunktus karosi.zoltan@gt3.bme.hu

### ABSTRACT

At first glance, the product icons of the industrial mass culture are not very similar to those of the Greek Orthodox Church, whose mystical and narrative images convey a powerful message, especially to those familiar with their rich symbolic language.

‘Why is the word *icon* used for describing certain modern objects? Why has society accepted this usage?’, Reyer Kras asks in the foreword to the book titled *Icon of Design! In 20th Century*.

The writer of the present paper, a designer himself, seeks his own responses to these ideas, questions, and findings elaborated on in the foreword.

### BEVEZETÉS

Első pillantásra az ipari tömegkultúra termékikonjai kevésbé hasonlítanak a görög ortodox egyház ikonjaihoz, amelyek misztikus és narratív ábrázolásai erőteljes üzenetet közvetítenek, különösen a gazdag szimbolikus nyelvük ismerőinek.

– Vajon miért használja a szakirodalom „ikon” szót bizonyos modern tárgyak leírására? Miért fogadta el ezt a szóhasználatot a társadalom?[1] – teszi fel kérdéseit Reyer Kras formatervező az „Icons of Design: The 20th Century” című könyv előszavában.

Az értekezés írója – maga is formatervező – ezekre az előszóban kifejtett

gondolatokra, kérdésekre, megállapításokra keresi a saját válaszait.

### 1. A KERESZTÉNY IKON

Az *ikon* kifejezés a Bizánci Birodalomban az első században tűnt fel, amikor a császár szétküldette saját portréit a birodalom legtávolabbi sarkaiba is, véget vetve az ismétlődő képrombolási korszakoknak. Az ezt követően mindenütt jelen lévő hiteles császári portré a birodalom abszolút egységét és törvényességét jelképezte.

A császár ezzel a tettel a liturgiában, egyházi szertartásban elfoglalta a gyülekezetben a pap és az istenség közötti közvetítő szerepet, és képviselte az egyház és az állam oszthatatlanságát.

Az államfő portréja még ma is gyakran megtalálható a törvényszékeken, ez azt jelképezi, hogy a bíró a döntéseit nem a saját nevében, hanem az állam törvényeinek szellemében hozza.

A bizánci birodalom papjai a császári portrék hagyományát a szentekéhez igazították és misztikus értelmezéssel ruházták fel képeiket, hogy a hatalom üzenete az írástudatlan tömegekhez is eljusson.

A fennálló platóni<sup>2</sup> hagyomány szerint úgy gondolták, hogy a kép és a gondolat azonos egymással. Ezért az ikonokat a mély és titokzatos igazság tükrének tekintették. (Az igazság csak a képi szimbolika nyelvén keresztül sejthető meg. Az ikon összeköti az

<sup>1</sup>[1] Kras, Reyer: *Foreword*, In: Albus, Volker – Kras, Reyer et al.: *Icons of Design! The 20th Century*. Prestel, New York. 2000. 8. o.

<sup>2</sup> **Platón ideatana**; kétféle létező van. Az egyedi létező érzékelhető, keletkező, pusztuló. Ezek az ideák árnyképei. Az általános (forma, idea) nem változó és érzékelhető létező. Az idea az egyetlen igazi létező. A megismerés a lélek visszaemlékezése (anamnézise) a születés előtti az ideák világában eltöltött időre.

embert Istennel.) Aki imádta a képet, a benne foglalt eszmét is imádta. A vallási ikon kommunikációs eszközként közvetített a megfigyelhető valóság és az azon túli misztikum között.

Vallási jelentőségük ellenére az ikonok hamarosan újabb szerepet kaptak, árucikként kezdtek el működni. A kolostorokban működő műhelyekben készültek, és vallási termékeként értékesítették őket. A modern gyártási mechanizmushoz hasonlóan, itt is érvényesült a munkamegosztás: egyes szerzetesek csak Szent Péter figuráit festették, míg mások csak a Boldogasszony képét vagy a háttérrel ábrázolták. Alapvető elvárás volt az eszményi, pontos kép, a *vera eikon* (igaz kép) elérése.

Összefoglalva a keresztény ikon:

- Két elválaszthatatlan és egyenértékű réteg: a fizikai illusztráció és az eszmei gondolat képe volt.
- Képviselte a jelen nem lévő főhatalmat.
- Egy eszményi, pontos kép - a „*vera eikon*” (igaz kép): feladata volt, hogy erőfeszítés nélkül felidézze a folytonosságot.
- Az egyházi szertartás részét képezte, ezért világos, strukturált interakció volt az hívő és az ikon között.
- Jól szerkesztett, csak a hívők számára felismerhető attribútumokból álló képi nyelvet használt.
- A termelés megfelelő szervezésével és a munkamegosztással lehetett egyedi és tömegcikk is.
- Az áhítat eszköze, egyben áru, mivel eszmei értéke és piaca is volt.
- Érthető és következetes vallási érték formájában tartalmazta a meggyőzés és a kommunikáció elemeit.[3]

Egyes kolostorok olyan különleges képeket készítettek, amelyek máshol nem voltak megtalálhatók. Ekkor jöttek létre olyan jelentős festészeti központok, mint

Konstantinápoly, Thesszaloniki, Ravenna, Alexandria, továbbá a kopt és szíriai iskolák.

A helyi csoda – mint valami hirdetés – arra ösztönözte a keresztény zarándokokat, hogy látogassák meg kolostorukat. A csodát elbeszélő ikonok maguk is vonzó utazási „prospektusnak” bizonyultak. A kolostorok értékesítési helyeket hoztak létre a zarándokok által végigjárt legfontosabb útvonalak mentén, arra csábítva őket, hogy tegyenek egy kis kitérőt. Az ikonok mellett jelvényeket és kisebb szobrokat kínáltak, de az egyes helyek vallási jelentőségének felmagasztalására szolgáló dalok kottáit is. A zarándok az ikonokat nagy mennyiségben vásárolta meg, néhányat ajándékként, másokat a viszontagságos utazásának kézzelfogható bizonyítékaként. Ezeket az árucikkeket a termék *minőségétől* függően *árasták* be.

Ebben a korban a hit annyira összefonódott a mindennapi élettel, és a remélt hívek meggyőzése olyan szorosan kapcsolódott a valláshoz és az aktív istentisztelethez, hogy az ikon – minden jelentőségével és funkcióival – logikusan illeszkedett a kommunikáció és *kereskedelem* szabályaihoz.

Mint minden iparágban, az ikoniparban is voltak jóléti és recessziós időszakok. Az újítás és lemásolás, a fejlesztés és eklektika váltogatta egymást.

A fentiek további kérdéseket vetnek fel. Ezen szempontok vajon csak a keresztény ikonra jellemzőek? Lehetséges, hogy szélesebb körben alkalmazhatók az anyagi világra, például a mindennapi tárgyakra?

Ha ezeket a szempontokat alaposan elemezzük – elfogadva a keresztény ikon vallási és hiterősítő céljait –, elgondolkodtató, hogy az ikon sikeres *kettős működésének* a legmegfelelőbb mechanizmusait találták meg.

A gondolatot folytatva az egyházat a vállalati arculat és egyben a marketing megteremtőjeként, a vallási zarándokokat célközönségként definiálhatjuk.

<sup>3</sup>[2] Ibid., 9-10. o.



## 2. TERMÉKBŐL DESIGNIKON

„Kiderült, hogy a legtöbb hétköznapi tárgy nem más, mint gyorsan eltűnő árnyék, nem hagy nyomot. Időnként azonban feltűnik egy ikon. Ez nem valamilyen előre megtervezett ok miatt alakul így. Az idő katarziséban jön létre, emlékezetes eseményeken és azon a kollektív emberi tapasztalaton keresztül, amelyben kiemelkedő szerepet játszott. Egy bizonyos idő elteltével azonossá válik az emlékekkel és a tapasztalatokkal. A kollektív emlékezet révén nevezik ezeket ikonoknak.”[4]

A termékikonok olyan „időgépek”, amelyek életben tartják az emlékeket. A névtelen emberek és azok a társadalmak, amelyekben létrejöttek, őket ikonoknak tükörképnek tekintik.

A termék születésének *profán* körülményei eltűnnek, a *mítosz* marad. Minél jobban átérezzük szellemiségüket, annál érdekesebbek a tárgyak, és annál nagyobb a presztízsük.

Tehát az eredeti észlelés transzcendenciája, felemelkedettsége, természetfelettsége az ipari ikonok esetében is jelen van.

E tárgyak érdeme az, hogy nem tűntek el a történelemben, mint sok más termék, hanem tartós helyet vívtak ki maguknak a kollektív emlékezetben. Egyedülálló történelmi markerekké váltak, státuszuk messze meghaladja eredeti jelentőségüket.

Ebben az esetben az alkotóknak a mélyemlékezetben, *anamnézisben* meglévő ideális állapotot sikerült minél hívebben és harmonikusabban megidézni a termékben. (Az új-platóni ideatan<sup>5</sup> felfogásával ellentétben.)

<sup>4</sup>[2] Ibid., 9-10. o.

<sup>5</sup> **Az új-platóni ideatan:** A kereszténység tagadja az anamnézis meglétét. Isten saját képére teremtette az embert, ezért önkéntes tanítóként tárja fel előtte a titkokat, hogy az ember megismerhesse azokat. A platóni ideák Isten elméjében lakoznak. Isten a kezdetektől összeköti a két világot. (A keresztény felfogásában a képek szerepe felértékelődik: „És az ige testté lön” – olvashatjuk Szent János evangéliumában).

A fenti gondolatokat kiegészítve: Tény, hogy ösztönös mechanizmus lép működésbe, amely befolyásolja azt a módot, ahogyan a körülöttünk lévő dolgokat érzékeljük. Ez a mechanizmus azonban valamilyen okból csak korlátozott számú tárgyhoz kapcsolódik.

Az ugyanakkor biztos, hogy akkor, amikor a később ikonná vált termékek piacra kerülnek, már egyértelműen értékes jegyeket mutatnak, amelyek más terméktől megkülönböztetik őket. A termékben minden esetben teljesül az ikonnal szemben támasztott nyolc elvárás. Ezek mindig a társaik közül kitűnő, *tudatosan formált*, megfelelő helyre és időben érkező tárgyak.

A termék kiválasztódási folyamata leírható:

- A termék üzleti haszon reményében születik.
- Olyan funkcióként, amely hasznos és értékesíthető.
- Olyan kinézettel, amely üzenetével segíti a kitűzött célt.

Az üzleti haszon elapadását a funkcionális érték elapadása okozza. A funkció hasznosság általában nem állítható helyre. Amennyiben a forma élményszerűsége nosztalgiát ébreszt, a termék kulturális értékévé válhat.

A folyamat alábbi képlettel írható le;

**(kor+ kreativitás+ stílus)-sablonosság = designikon**

A fentiek alapján meghatározhatjuk a designikon fogalmát: Amennyiben az ipar által gyártott használati tárgyak hasznossága, aktualitása megszűnik, azok csak akkor képesek fennmaradni a köztudatban, ha a hozzátett stílus révén képesek kollektív nosztalgiát gerjeszteni, kulturális értékévé válni. A termék designikonná válásának életfolyama a következő:

- Hasznos tárgyként születik.
- Ihletettsége teszi széppé.
- Mondanivalója teszi művészetté.
- A benne összesűrített üzenet teszi követendő példává.

- Követendő példaként lesz ideál.
- Kortalansága teszi ikonná.

### 3.A DESIGNIKON

Az ipari formatervezés<sup>6</sup> a vallási ikonok mintájára tudatosan használja a kapcsolódó mechanizmusokat, ezért az átlagember kapcsolatot érzékel a kettő között.

Az ok nem a megjelenés hasonlósága, vagy a tervezés mikéntje, mivel a különbségek túl nagyok. Az ok a működés és felhasználás **kettőssége**.

Minden ikon csak vizuálisan érzékelhető, míg a mindennapi tárgyak használata egy adott feladathoz rendelt. Annak érdekében, hogy megértsük az ipari ikonnak a keresztény ikonhoz való hasonlatosságát, a mindkét fél számára közös jelentésszint mélyére kell hatolni.

A keresztény ikonhoz a belső jelentések egész rendszere kapcsolódik. Van benne valami olyan, amely hasonló az ipari ikonhoz?

Ha ebből a szempontból vizsgálunk designikonokat, könnyebben azonosítjuk az általa képviselt eszmei elképzelést – a tárgy platóni képét. Ha megnézünk néhány modern példát, a dolgok talán a helyükre kerülnek.

A designikonok mindegyike hasonló történetet mutat: Minden olyan termék, amely többet nyújt, mint csupán egy külső látvány, portré: egy képet egy elképzelésről, amely a közömbös létezésből vezet, az absztrakció magasabb szintjére. Az ok a belső jelentés.

A vizsgált ikonikus tárgyak a mindennapi élet használati tárgyai.

Az ikonkép és a termékikon közötti kapcsolat remek példája az 1931-ben **Haddon Sundblom** által festett, a Coca Cola kampányt támogató **Santa Claus**-a. Hogyan kapcsolták össze a kereskedelmet egy szent, Miklós<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Az **ipari formatervezés** alkalmazott művészet, stílus, az ipar által gyártott, fejlesztett használati tárgyak aktuális alaki tulajdonságainak tudatos és célzott meghatározása oly módon, hogy egyben képes élményszerű és harmonikus kapcsolatot teremteni a termék és használója között.

<sup>7</sup> **Mürai Szent Miklós** általában minden nehéz körülmények között élő védőszentje.

profanizált ábrázolásával? A kampány karácsonykor zajlott, és benne a *darwini evolúció* erejét használták fel a tömeges fogyasztás ipari kultúrájának támogatására. A kép az ajándékozás *metaforájává* vált világszerte.

A **Henry C. Beck** által 1933-ban rajzolt *londoni metróterkép* egy főváros háromdimenziós közlekedési rendszerének kétdimenziós ábrázolása, amely nem azonos semmilyen térképpel. Mégis tökéletes képet nyújt a londoni metróról mint városi közlekedési rendszerről. Valójában a térkép *absztrakt* kép, amely a műszaki rajzokra jellemző grafikai jelekből áll, amelyek a valóságban csak azok számára ismerhetők fel, akik ismerik a tervrajzokat. Sokak számára a térkép olyan rejtély, mint az ikon. A városi társadalom azonban az *egységes iskoláztatás* miatt remekül elboldogul a jelekkel.

**Raymond Loewy** által 1934-ben tervezett „Teardrop” *ceruzahegyező* olyan tárgy, amelyről elmondható, hogy az amerikai megszállottságot képviseli a *stílustisztaság* egyértelmű jeleivel. Ez egyúttal metaforája a *darwini evolúció* megnyilvánulásának, amely egyértelműen utal a tömegtermelés és fogyasztás ipari kultúrájának folyamatos változás iránti igényére az Egyesült Államokban. A ceruzahegyező kulturális hatására jellemző, hogy az amerikaiak zöme úgy emlékszik, hogy neki is volt ilyen otthon.

A hegyezőtől egyébként mindössze egy tucat készült.

Az 1953-ban **P. Horváth György** által megformált Ikarus 55 az *autóbusz*, amely egy olyan korszakban keletkezett, amelyről a magyarok sok jót nem mondhatnak el. Az akkori államvezetés egy olyan terméket akart létrehozni, amely a kapitalista országok felé bizonyítja az eszme minőségét és felsőbbrendűségét. A közösségi társadalom olyan *közösségi termékére* esett a választás, mint az autóbusz. A forma dinamikusnak, kényelmesnek és elegánsnak látszik. A

megcélzottak úgy tűnik, hittek a gondoskodó, sőt kényeztető állam *metaforájának*. Az autóbusz a nemzetközi designikonok közé bevásárolt három hazai termék egyike.

A *Max Bill* által 1956-ban alkotott Junghans „Lines” *falióra* a svájci *minőség*, a korszerűség és pontosság platóni képe, az idő pontos mérésére szolgál. Mint ilyen, mindenki számára hozzáférhetővé vált, tekintet nélkül társadalmi státuszára.

#### 4. AZ ORSZÁGIMÁZS

Több jelentősebb ipari társadalom tudatosan próbálkozik az országimázs-építésben fontosnak vélt gyáripari termékek emlékének életben tartásával, példaképek állításával.

A Nagy-Britanniában kiadott bélyegsorozaton olyan megformált termékeket kívántak egy csoportba gyűjteni, amelyek hitelesen mutatják be a huszadik századi országot, márkázzák a nemzetet.<sup>8</sup>

A felhívásra termékek sokasága gyűlt össze. A globális szűrés után a következőket választották ki az emlékbélyegeken való megjelentetésre: a Spitfire repülőgép, a miniszoknya, a K2 telefonfülke, a polipropilén szék, a Mini autó, a Concorde repülőgép, a Penguin könyvek, a londoni metrótérkép, az Anglepoise lámpa, és az emeletes autóbusz.

Az Egyesült Államok és Németország is adott ki hasonló bélyegsorozatot. Mindkét ország esetén hasonló meglepetést okozott a végeredmény, amely jelentősen eltért az eredetileg várttól. Egészen más képet mutatott az országról, mint amilyenre a kiírók számítottak.

Bebizonyosodott, hogy a reklám és a kiépített Network hatása csak rövid ideig befolyásolja az emberek véleményét, hatásuk hosszú távon mérsékelte.

Az azonban egyértelmű, hogy a kiválasztott termékikonok minden esetben a *városi populáris kultúrához* kötődnek.

<sup>8</sup> A **nemzet márkázása**: néhány éven belül egy valóban sikeres márka a nemzeti érték része lesz.

#### 5. AZ ÚJ ANYAG AZ IDEA?

A huszadik században a hétköznapi tárgyak esztétikája és technológiája visszhangozta a tizenharmadik és a tizenkilencedik század nagy technikai és ipari forradalmát, a mechanizmusok korát.

Az elektronikai forradalom, amely a huszadik század első évtizedeiben kezdődött, az elmúlt két évtizedben új értelmet nyert. Ezek alapvetően megváltoztatták a viszonyt a mechanikus berendezésekhez. A chip, a merevlemez vagy a digitális hálózat új utakat nyitott. Bizonyos funkciók, amelyek eddig csak egyfunkciós fizikai termék, funkciószobor segítségével voltak érthetőek, eltűntek. A termék, mint tapintható objektum megszűnik, míg a funkció továbbra is létezik és bővíti.

Az *okostelefon* magába integrálja a telefont, a jegyzetlőket, az újságot, a fényképezőgépet, a fényképalbumot, a kamerát, a könyvet, a lemezzátszót, a magnetofont, a rádiót, a televíziót. Elmondható, hogy a funkció átvette a termék fizikai jelenlétét. Megszűntek a forma funkciókat hordozó, testet öltő jellegzetességei.

„A korabeli technológiai fejlődés fényében a császári portré platóni elvének figyelembevételével nyilvánvaló, hogy a kép eltűnik, miközben a gondolat él. Ha a fizikai kép már nem létezik, hogyan ismerhető fel a funkció?

A platóni világ ideája csak a valós világban testet öltött anyagi formaként létezhet. Amennyiben a funkció fizikai formája már nem látható, a platóni elvek nem használhatók? A kérdés megválaszolásra vár.

Eddig a tervező feladata olyan fizikai tárgyak létrehozása volt, amelyek harmonikusan ötvözik a technológiát, az ergonómiát és az esztétikát. Ha a termék tervezésének szükségessége – a kép – eltűnik, mi lesz? Ez lesz a szakma vége? A tervező képes-e egy immateriális, eszmei kontextust létrehozni? A jövőben ez a tervező egyik legnagyobb kihívása.” [9]

<sup>9</sup>[3] Ibid. 11. o.

Reyer Kras írása az ezredforduló idején keletkezett, ezért ezek a kérdések akkor jogosak voltak. Azonban az eltelt idő bebizonyította, hogy a designban van még életerő.

Az idézett szerző rendszeresen hivatkozik a platóni filozófiára. Az azonban mindvégig homályban marad, hogy az eredeti platonizmust, vagy az ortodox új-platonizmus jelenti számára az igazodási pontot.

E sorok írója úgy véli, hogy az írás döntő része az új-platonizmus talaján áll. A megállapítása a test és a gondolat kölcsönhatásáról szintén.

Az eredet platonizmus *anamnézise*, a lélek visszaemlékezése a születés előtti az ideák világában eltöltött időre azonban nem szól a test és idea együttéléséről. Ő a forma és az idea (eszme) együttéléséről írt.

Az idea ugyanúgy hat és összeköt, mivel a forma nem tűnt el, továbbra is képes bevonzani az aurájába. Az idő bizonyította, hogy a funkciót nem csak a mechanikát sejtető funkciószobor mutathatja meg.

Ehhez a sikeres integrációra a formatervezőket jellemző alkotói kreativitásra, ideára volt szükség.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A designfilozófiai gondolat, miszerint a vallási jelképhordozó és az ipari termékekből kiemelkedő ikon párhuzamosan vizsgálható, szokatlan. A szokatlan oka egyszerű: a tudományok, így a humántudományok is az *örök állandót* kutatják. Az ipar és a kereskedelem viszont darwini elvek szerint működik. Az *állandó változás* és kiválasztódás tartja működésben.

Mi a különbség a kettő között? Az **idő**höz való viszonyuk! Az előbbi esetén nem játszik kiemelt szerepet, az utóbbinál viszont döntő jelentőséggel bír.

Egy világi személy, a császár ikonképként elérte a tökéletességet, és bekerült a halhatatlanok közé.

A profán ipari termékek némelyike szintén bekerülhetett a transzcendens világába,

a halhatatlanok közé: ikonná vált. Ezért a szakmai nyelv és a köznyelv teljesen jogosan használja a profán termékekre is vonatkoztatott ikon kifejezést.

A megállapításokat tudomásul véve jelen cikk írója még szembesült néhány megválaszolendő kérdéssel: A halandók és alkotásaik valóban eljuthattak-e az ideák tökéletességbe? A halandók és alkotásaik valóban halhatatlanokká lettek-e? Mennyi idő a halhatatlanság?

## FELHASZNÁLT IRODALOM:

[1] In: Albus, Volker – Kras, Reyer et al.: *Icons of Design! The 20th Century*. Prestel, New York 2000. 8. o.

[2] Gombrich, Ernst: *Művészet és illúzió* Kossuth 1972. 61-62.o.

[3] In: Albus, Volker – Kras, Reyer et al.: *Icons of Design! The 20th Century*. Prestel, New York 2000. 9-10. o.

[4] In: Albus, Volker – Kras, Reyer et al.: *Icons of Design! The 20th Century*. Prestel, New York 2000. 9-10. o.

[5] Gombrich, Ernst: *Művészet és illúzió* Kossuth 1972. 61-62.o.

[6] szerk. Szerdahelyi, Zoltai: *Eszztétikai Kislexikon* Kossuth 1979. 308 o.

[7] szerk. Jutta Seibert: *A keresztény művészet Lexikona*, Corvina 1986. 321-323 o.

[8] Wally Olins: *A márkák, Józsoveg*, Budapest 2004. 166. o.

[9] In: Albus, Volker – Kras, Reyer et al.: *Icons of Design! The 20th Century*. Prestel, New York 2000. 11. o.

# A PNEUMOBIL VERSENY 10 ÉVE A MISKOLCI EGYETEMEN

## 10 YEARS OF PNEUMOBILE COMPETITION AT THE UNIVERSITY OF MISKOLC

Dr. Kelemen László PhD

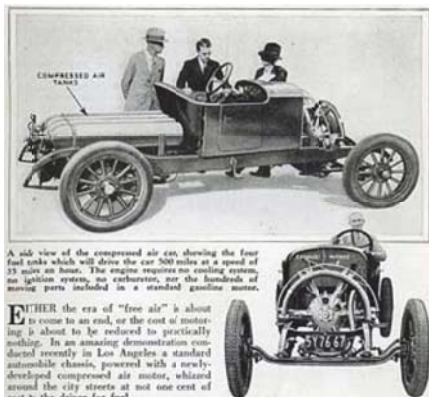
### ABSTRACT

*The 10th International Pneumobile Competition was held in May by Aventics Company. The University of Miskolc have had a great tradition in this awesome race because in the first competition three vehicle have been built. Since them 15 vehicles have been made and more than 50 students from our University have been involved in the work. In this article, the history of the Pneumobile Competition have been summarized.*

### 1. BEVEZETÉS

Idén májusban került megrendezésre a 10. Nemzetközi Pneumobil verseny. A Miskolci Egyetemnek már nagy hagyománya van a Pneumobil járművek építésében, mivel már az első versenyen is három autóval vettek részt egyetemünk hallgatói. Azóta összesen 15 autó készült, melyek tervezésében és építésében már több mint 50 miskolci hallgató vett részt.

### 2. SŰRÍTETT LEVEGŐVEL MŰKÖDŐ JÁRMŰVEK



1. ábra. Sűrített levegővel működő jármű (1934) [2]

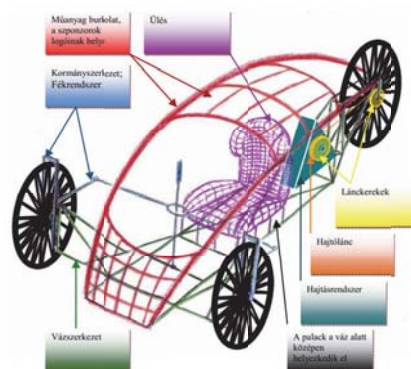
Az első Pneumobil versenyt ugyan csak 2008-ban rendezte meg a Bosch Rexroth Kft. (ma Aventics Kft.), viszont a sűrített levegőben tárolt energia hajtásként való alkalmazásának ötlete már jóval korábban felmerült a mérnökökben. Ezt a megoldást elsőként 1828-ban

Charles Carpenter Bombas szabadalma említi, az első működő járművet pedig 1838-ban Franciaországban építették meg [2]. A XIX. század második felében, valamint a XX. század elején a robbanásveszélyes bányákban általánosan alkalmazott megoldás volt a sűrített levegővel működő járművek alkalmazása.

1926-ban Lee Barton Williams építette meg az első sűrített levegővel működő autót. Napjainkban több kísérlet folyik a belsőégésű motor kiváltására, amelyre az elektromos és energiasejtés megoldások mellett a sűrített levegő is egy megfelelő alternatívát biztosíthat [3].

### 3. A VERSENY FEJLŐDÉSE

A Pneumobil verseny alapötlete a szervező cég egyik dolgozójának, Bolyki Ferecnek ötletéből született. A verseny célja a cég termékeinek népszerűsítése mellett olyan gyakorlatorientált feladat biztosítása a felsőoktatási intézmények részére, mellyel a jövő mérnökei játszva sajátítják el a pneumatika, valamint a tervezés alapjait.



2. ábra. Az egyik első Pneumobil terve

Az első versenyen tíz magyarországi egyetem tizenhat csapata vett részt. A megépített járműveket az egyszerű és olcsó megoldások jellemezték, így gyakori volt a kerékpáralkatrészek alkalmazása [4]. Az első dokumentációkban még inkább vázlatokkal, nem pedig részle-

tesen kidolgozott tervekkel találkozhattunk (2. ábra).



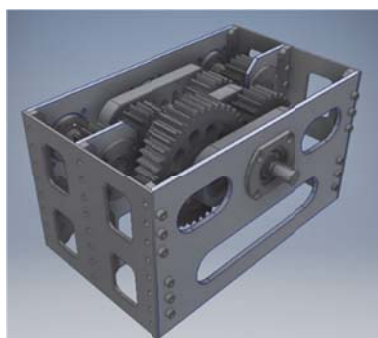
3. ábra. A KeSzKoSz csapat első járműve (2008)

Az első járművek alaptervénél több csapat is kerékpárból indult ki. Jellemző volt az olyan megoldás, amikor két kerékpárház összehegesztésével hozták létre a vázszerkezetet. A Pneumobilokat gyakran nagy méretű keskeny kerekkel látták el (3. ábra). Ez a megoldás már az első versenyen is több csapat számára végzetesnek bizonyult, gyakori probléma volt a keréktörés. [4]

A verseny tíz éve során a járművekben többféle hajtásrendszer is alkalmazásra került, melyet pneumatikus munkahengerekkel meg lehet valósítani. Forgattyús hajtások különböző megvalósítása (soros, csillag vagy boxer elrendezés) mellett különféle lineáris hajtások is épültek [4].

Az autó teljesítményére azonban a hajtás kialakításánál nagyobb befolyással bír a vezérlés, ma szinte elképzelhetetlen PLC vagy micro-controller nélkül jelentős sikereket elérni. Ezen kívül a mai járművek nagy része komplett diagnosztikai rendszerrel, valamint online állapotfigyeléssel (telemetriai rendszerrel) rendelkezik.

Az évek során nem csak a járművek, hanem azok tervei is sokban fejlődtek. Az egyik legújabb tervek a 4. ábrán látható, melyen szembeutó a különbség az első versenyre készült vázlatához képest (2. ábra).



4. ábra. Az Airmeks csapat hajtóműve (2017)

#### 4. A CSAPATOK NEHÉZSÉGEI

Az évek tapasztalatai alapján minden egyes csapatnak hasonló problémákkal kell megküzdeni a versenyre történő felkészülés során. A felkészülés három szakaszra osztható: csapatépítési, tervezési, valamint építési fázisra. A továbbiakban azokat a nehézségeket mutatom be, mellyel minden egyes csapatnak meg kell küzdenie a felkészülés és a verseny során.

##### 4.1. A felkészülési fázis

A Pneumobil versenykiírása hagyományosan szeptember végén, október elején jelenik meg. A felkészülés viszont már az előző verseny után a tapasztalatok összegzésével megkezdődik. Jellemzően az új csapattagok keresése szeptember elején kezdődik. Az egyetemeken a hallgatók nagy része viszont csak túl akarja élni a félévet, nem célja semmilyen extra energia befektetése, így a megfelelő új csapattagok megkeresése sokszor nehézkes.

##### 4.2. A tervezési fázis

Miután a Pneumobil csapat megalakult, megkezdődhet a jármű tervezése. A tervekben részletesen ki kell térni a járműben alkalmazott valamennyi műszaki részletre, különös tekintettel a hajtásláncre, a pneumatikus kapcsolásra, a szelepek vezérlésére, valamint a biztonsági előírásokra. Ezen kívül részletesen ismertetni kell a jármű vázszerkezetét, a felfüggesztés és a kormánymű kialakítását is.

1. táblázat. A dokumentációik eredményei

Csapatnév	Első évben	Második évben
Puffogók	84	95
MEckmestAIR	98	98
Dairp	68	90
Airmeks	45	85
RockAIR	51	-

A dokumentációt minden évben legkésőbb december 31-ig kell benyújtani a zsűrinek, melyet a zsűri ellenőriz és értékeli (a maximálisan szereshető pont: 100). Az 1. táblázatban a Miskolci Egyetem néhány korábbi Pneumobil csapatának eredményei láthatók az első és második részvételük esetén.

Ahogy az 1. táblázatban is látható, minden csapat jóval több, vagy ugyan annyi pontot ért el a második évben, mint először. A MEckmestAIR csapat tagjai között több MSc szintű hallgató volt, ami az első éves kiemelkedő eredmény fő oka. A RockAIR csapat eddig egyszer vett részt a versenyen, így nekik csak

egy eredményük van. Minden egyes dokumentáció során teljesíteni kell ún. KO kritériumokat. A KO kritériumok a szabályzat olyan kritikus pontjai, amelyeket kötelező betartani a csapatoknak. Nem teljesülése esetén a csapatot kizárják a versenyből. A csapatok a második évtől kezdve minden KO kritériumot elsőre teljesítettek.

A csapatok elsőéves gyenge szereplésének több oka van. Jellemzően az új csapatoknak komoly problémáik vannak a versenyszabályzat értelmezésével. Általánosan megállapítható, hogy a szabályzat lényegét megértik, viszont a részletekre gyakran nem fordítanak elegendő figyelmet. Így a tervek könnyedén tartalmazhatnak olyan hiányosságokat is, melyekre a szabályzat külön felhívja a figyelmet. Ezen kívül az új csapattagoknak még kevés tapasztalata van dokumentációk, jegyzőkönyvek készítésében, amely szintén negatívan hat az értékelésre.

Az új csapatok általában nem tudják pontosan, hogy a tervezést a jármű melyik részével kellene megkezdeniük. Gyakran kerülnek olyan helyzetbe, hogy részletes tervet kezdenek készíteni az autó egyik részéről, míg egy másik részről teljes egészében megfelelnek. Így például hosszú időt töltenek a munkahenger és a hajtómű elemzésével, viszont pl. a kormánymű megtervezésére kevesebb figyelmet fordítanak.

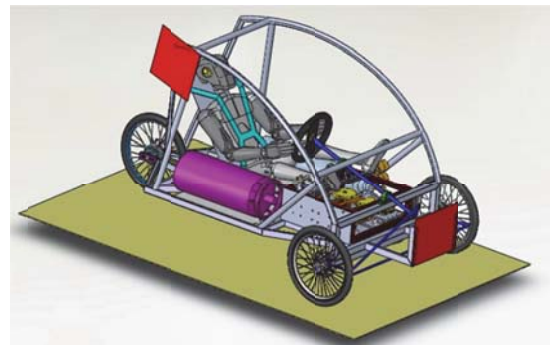


5. ábra. Az Dairp csapat terve az első évben (2012)

Jellemzően az első évben benyújtandó tervek felületesen kialakítottak. A csapat célja, hogy a zsűri felé közel arányosan bemutassa a jármű működését. Az így létrehozott tervek több elnagyolást, felületes kidolgozást tartalmaznak (5. ábra).

Az így kialakított tervek viszont hosszútávon több nehézséget is adnak a csapatoknak. Mivel a tervek felületesek, így a jármű megépítése során többször rögtönözniük kell a csapatoknak. A rögtönzött félmegoldások viszont ritkán vezetnek tökéletes megoldásra. Jellemzően év „szenvadás” a félkész tervekkel azt

eredményezi, hogy a csapattagok a következő évben már nem csak a zsűrinek akarnak megfelelni, hanem már saját maguk miatt akarják a terveket a lehető legrészletesebben kidolgozni. A Dairp csapat az első év után módszeresen újratervezte járművét. A 6. ábra a csapat második évben készített tervét mutatja. Habár a két terv ugyan arról a járműről készült, mégis közöttük szembevetendő különbség van.



6. ábra. Az Dairp csapat terve a második évben (2013)

#### 4.3. Építési fázis

Mivel a magyarországi egyetemeken januárban vizsgaidőszak van, ezért a járművek építése jellemzően február közepén kezdődik meg.

A járművek megépítéséhez a csapatoknak az anyagi forrást maguknak kell megteremteniük, melyre 300.000 Ft. körüli összegre van szükségük. A járművek összértéke ennél jóval magasabb, mivel a versenyt szervező Aventics Kft. a pneumatikus alkatrészeket ingyen biztosítja a csapatoknak. Az Egyetem a szereléshez szükséges hely és szerszámok biztosítása mellett speciális pályázatokkal segíti a hallgatók munkáját. A fennmaradó összeget viszont szponzorok segítségével, vagy önerőből kell biztosítaniuk.

Amennyiben egy csapatnak nem áll rendelkezésére elegendő támogatás, akkor olcsó és kreatív megoldásokat kell választaniuk. Erre egy lehetőség lehet a korábbi csapatok által megmaradt alkatrészek újrahasználatára. 2016-ban egy extrém példát láthattunk az Airmeks csapattól, miután a verseny előtt 1,5 hónappal a legnagyobb szponzoruk visszalépett. A jármű újratervezése után az általuk épített jármű 80%-a már korábbi csapatok után megmaradt egységek beépítésével valósult meg.

A hallgatónak nagy problémát szokott okozni a vázszerkezet elkészítése. Az autók vázszerkezetét a kisebb súlya miatt érdemes alumínium zártszelvényből építeni, viszont ez

további problémákat szül. Az első gondot a váz összeállítása jelenti, mivel az alumínium hegesztéséhez speciális gép és képzett személyzet szükséges. Ezen kívül gyakran nem számolnak a hegesztés során fellépő deformációval, amely így alapvetően befolyásolja a jármű alapját képező rendszert.

Az építés során gyakran váratlan helyzetek lépnek fel. Általános gondot szokott okozni, hogy nem tudják előre, melyik részegységet pontosan hova fognak rögzíteni, így a rögzítéshez szükséges furatokat csak hegesztés után tudják elkészíteni. Gyakran előfordul, hogy a vázszerkezet megtervezésénél nem számolnak azzal, hogy a megmunkáláshoz a szükséges gépeknek és szerszámoknak is elegendő helyet kell biztosítani (7. ábra). Ebben az esetben az egyetlen megoldás a váz kivágása, majd megmunkálás után annak visszahegesztése lehet.



7. ábra. Szükséges furatok a vázon

A csapatoknak a műszaki kihívások mellett az időmenedzsmentet is meg kell tanulniuk. A hallgatók tapasztalat híján nem tudják felmérni, hogy egy adott munkát mennyi idő alatt lehet elvégezni. A feladatok jellemzően 4-5-ször több idő alatt végezhetőek el, mint amennyire a hallgatók elsőre gondolnak. Így gyakran túl későn kezdik meg az autók építését, amely eredményeként az utolsó napokon akár napi 18-20 órán keresztül is a műhelyben dolgoznak. Mindezek mellett természetesen a tanulmányaikra is megfelelő figyelmet kell fordítaniuk. Jellemző, hogy a csapattagok már a végzés előtt gyakornoki munkát kapnak egy cégnél, amely további elfoglaltságot jelent számukra.



8. ábra. Törött tengely

#### 4.4. A verseny

Mivel a csapatok késve kezdik meg az építést, így általában nem marad elegendő idejük a járművek tesztelésére. Ennek következtében a versenyen gyakoriak a hirtelen meghibásodások, váratlan helyzetek. Az ilyen események minden esetben azonnali megoldásokat követelnek még abban az esetben is, ha az a jármű valamely funkciójának sérülésével jár. A 8. ábrán egy, a verseny során eltört tengely látható.

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt tíz évben a Pneumobil verseny hatalmas változásokon ment keresztül. Ma a járművek végsebessége akár az 50 km/h-t is meghaladhatja, miközben az egy palackkal megtett távolság is folyamatosan növekedett. Ugyan maga a verseny, valamint az arra történő felkészülés a hallgatóknak rengeteg plusz feladatot jelent, mégis az egyik legnagyobb lehetőség is, mivel az elméleti tudás mellett olyan gyakorlati tudást is szereznek, melyre egész életük során építhetnek.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben/előadásban/tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### IRODALOM

- [1] J. Bihari, Pneumobile competition and education, *Advanced Engineering 2* (2012) 125-134.
- [2] Tóth, I. T.: Compressed Air, as an Alternative Fuel, *Proceedings of the 1st Agria Conference on Innovative Pneumatic Vehicles – ACIPV 2017*. pp. 17-21. (ISBN:978-963-449-022-7)
- [3] [www.mdi.lu](http://www.mdi.lu)
- [4] <http://pneumatika.hu/2017/04/12/jubilalo-pneumobilok/>
- [5] [www.pneumobil.hu](http://www.pneumobil.hu)



# A GÉPÉSZ HALLGATÓK JELSZÓHASZNÁLATI SZOKÁSÁNAK VÁLTOZÁSA INFORMÁCIÓBIZTONSÁGI KURZUS UTÁN

## DIE VERÄNDERUNG DER KENNWORT NUTZUNGSGEWOHNHEIT DER MASCHIENENBAUINGENIEUREN NACH EINEM INFORMATIONSSICHERHEITSKURS

*Kiss Gábor, PhD., gabor.kiss@bgk.uni-obuda.hu*

### INHALT

In dieser Publikation wollten wir analysieren die Veränderung der Kennwort Nutzungsgewohnheit der Maschinenbauingenieuren. Vor dem Kurs und nach dem Kurs sollten die Studenten ein Fragebogen ausfüllen, die enthält verschiedene Fragen über die benutzten Kennwörter (wie lang, wie kompliziert, wie unterschiedlich, usw). In dem Kurs haben wir für die Studenten über Blackboard und Power Point basierte Vorlesungen mit Videounterstützung, wie schnell kann man ein kodierte Kennwort hacken, wenn es nicht denug lang und kompliziert ist. Die Analyse zeigt, wie diese Eigenschaften der benutzer Kennwörter verändern. Nach dem Analyse können wir schon sehen, die Maschinenbauingenieuren konnten nicht die Vorteil der neue Informationen über die sicherer Kennwörter benutzen um die eigenen sensitive Daten sicherer zu lagern. Wir müssen anderen didaktische Methode ausprobieren, wie die Softwareunterstützte, wo kann man die kodierte Kennwörter mit unterschiedlichen Programme hacken, so kann man leichter erkennen, wie lange dauert es bei einem kurzen und einfachen Kennwort.

### 1. BEVEZETÉS

A nemzetközi tapasztalat alapján hiába jelennek meg a médiában és az információbiztonsággal foglalkozó cégek oldalán cikkek azzal kapcsolatban, hogy éppen melyik szolgáltatónál lévő felhasználók adatait (esetenként több millió embert érintve) szerezték meg feketekalapos hackerek[1], esetenként még ki is téve közfelhasználásra az adatokat az internetre [2], a felhasználók továbbra is gyenge, könnyen kitalálható, illetve visszafejthető jelszavakat használnak [3][4]. Előfordul, hogy a jelszavak visszafejtésével sem kell törődni, hiszen a rendszerben eredeti formájában tárolják azokat [5]. Az emberek többsége napjainkban sincs tisztában a szenzitív adatainak megfelelő

védelméről, és nem használ nehezen feltörhető jelszavakat. Az Óbudai Egyetem gépészmérnöki szakán végző hallgatók többnyire nemzetközi cégekhez kerülnek, ahol szenzitív adatok kerülnek a bírtokukba és fontos, hogy tudatában legyenek ezek védelmi lehetőségeinek, ezért információbiztonsági kurzuson vehettek részt.

Az információbiztonsági kurzuson áttekintettük az egyes titkosítási módszereket, majd átbeszéltük a titkosított jelszavak feltörési módjait, táblán, PowerPoint prezentációval, esetenként videófelvétellel bemutatva a gyenge jelszavak feltöréséhez szükséges időt a rendelkezésre álló erőforrás függvényében.

A hallgatók mind a kurzus előtt, mind a kurzus után kitöltöttek egy kérdőívet, melyben a jelszóhasználati szokásikra kérdeztünk rá. Az adatokat összehasonlítva akartunk fényt deríteni arra, hogy az oktatás során használt módszer milyen változásokat gyakorol a hallgatók által használt jelszavak egyes tulajdonságaira?

### 2. ELEMZÉS

A kurzus előtt 82 gépészhallgató töltötte ki a kérdőívet, a kurzus után 38 fő. Az ő általuk megadott adatokat dolgoztuk fel.

A jelszóhasználati szokásaikról megadott adatokat biztonságos/kockázatos voltuk alapján pontoztuk, sorrendi skálán mértük. A változás- és eltérésvizsgálatot leíró statisztikákkal, a szignifikanciatesztelést nemparaméteres próbákkal végeztük.

#### 2.1. A jelszótulajdonságok pontozása

Első körben az egyes jelszótulajdonságokhoz rendelt adatokat kellett sorrendi skálán pontoznunk, hogy a statisztikai elemzést elvégezhessük.

Minél különbözőbb jelszavakat használt valaki az egyes internetes szolgáltatásokhoz, biztonsági szintjét tekintve annál több pontot kapott (1. táblázat).

1. táblázat. Jelszavak különbözőségének pontértéke

Jelszókülönbség	pont
azonosak	1
van egy közös, állandó részük	2
teljesen különbözőek	3

Ha valaki állandó jelszavakat használ, akkor biztonságosság szempontjából alacsony pontszámot rendeltünk hozzá, miközben a jelszavakat gyakran változtatókhöz magasat (2. táblázat).

2. táblázat. Jelszót változtatás pontértéke

Jelszót változtatás	pont
nem cserélem	1
ha fölmerül a gyanú, hogy valaki megtudhatta	2
évente vagy ritkábban	3
3-6 havonta	4
1-2 havonta	5

Amennyiben valaki 8 karakternél rövidebb jelszavakat használ, alacsony pontot kapott erre a tulajdonságra a magasabb kockázata miatt (3. táblázat).

3. táblázat. Jelszavak hosszához rendelt pontértékek

Jelszavak karakterhossza	pont
<8 karakter	6
8-10 karakter között	9
11-13 karakter között	12
14-16 karakter között	15
>16 karakter	18

4. táblázat. Jelszavak komplexitásához rendelt pontértékek

Jelszavak komplexitása	pont
Csak kisbetűt használ	1
Nagy- és kisbetűt vegyesen használ	2
Nagybetűt, kisbetűt és számokat vegyesen használ	3
Nagybetűt, kisbetűt számokat és egyéb karaktert (pl. írásjel, #, &, @, stb.) használ	4

Az egyes internetes szolgáltatások egyre szigorúbb előírást tartatnak be a felhasználókkal a jelszó komplexitását tekintve, ezzel is biztonságosabbá téve az általuk nyújtott szolgáltatást, mégis találkozunk még napjainkban is olyan rendszerekkel, amelyeknél nem kötelező

a számok, illetve speciális karakterek használata a jelszóképzésnél, melyre a legmagasabb pontot adtuk az elemzésünknel (4. táblázat).

5. táblázat. Jelszókezeléshez rendelt pontértékek

Jelszókezelés	pont
Mindent felírom	1
Van, amelyiket felírom	2
megjegyeztetem egy részét a böngészővel	3
Mindent megjegyzem	4
Jelszómenedzser programot használok	5

Amennyiben valaki minden jelszavát felírja, a megítélésünk szerint a legkevésbé biztonságos jelszókezelési módon jár el, ugyanis, ha azt valaki megtalálja, minden rendszerbe beléphet az illető nevében. A jelszómenedzser programok esetében csak egy jelszót kell megjegyeznünk a többi jelszóhoz való hozzáféréshez, így azok tetszőlegesen összetettek és hosszúak lehetnek, ezért ítéltük ennek a választásnak a legmagasabb pontszámot (5. táblázat).

A hallgatók által megadott értékeket ordinális skálán lévő pontszámra váltva elvégeztük az egyes jelszót változók esetében az átlag és szórás számítását (6. táblázat). Az adatok lényeges javulást nem mutatnak a kurzus végére, sőt a jelszavak különbözőségi értékének átlaga alacsonyabb is lett, de ahhoz, hogy a szignifikáns különbséget igazolni, vagy elvetni tudjuk mélyebb statisztikai elemzésre van szükség az egyes jelszótulajdonságoknál.

6. táblázat. A kurzus előtt és után megadott jelszótulajdonságokhoz rendelt pontok átlaga, szórása

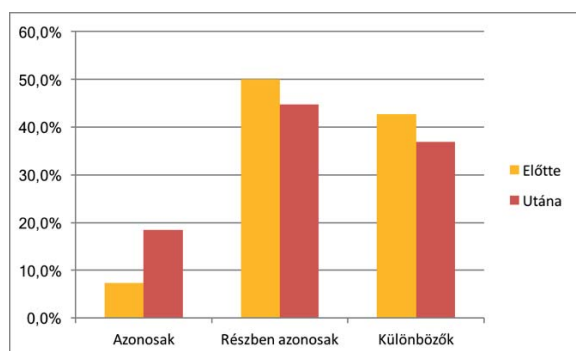
	Előtte		Utána	
	átlag	szórás	átlag	szórás
Jelszó-különbség	2,35	0,61	2,18	0,72
Jelszó-változtatás	2,44	1,04	2,58	1,08
Karaktorszám	11,45	3,27	11,13	3,03
Karakterfajta	3,24	0,46	3,29	0,51
Jelszókezelés	3,15	1,01	3,71	1,01

2.2. Jelszótulajdonságok gyakoriságértékei a kurzus előtt-után

Az alábbiakban az egyes jelszótulajdonságok értékeinek gyakoriságát vizsgáljuk az információbiztonsági kurzus előtt és után.

A jelszavak megválasztása az egyik sarkalatos kérdése az adataink védelmének, ugyanis, ha azonos jelszavakat használunk a különböző rendszereknél, abban az esetben, ha az egyik rendszerből a támadó sikeresen megszerzi a titkosított jelszavunkat, a többi rendszerbe is beléphet vele a nevünkben.

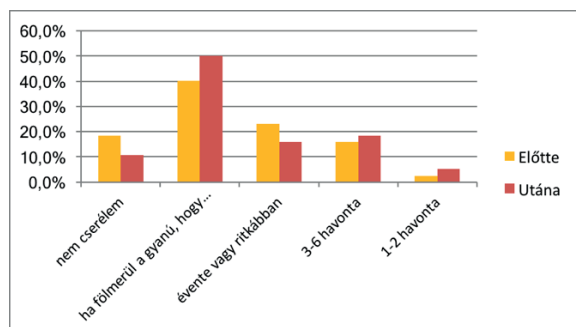
A hallgatók több, mint 42%-a teljesen különböző jelszavakat használt a kurzus előtt, 50%-uk pedig részben azonosat. Az információbiztonsági kurzus után meglepően a teljesen azonos jelszavakat használók tábora nőtt, a különböző jelszavakat használók tábora csökkent (1. ábra).



1. ábra. Jelszókülönbsőségek információbiztonsági kurzus előtt és után

Ezzel szemben a kurzus végére 18,3%-ról 10,5%-ra csökkent azok száma, akik egyáltalán nem cserélik a jelszavukat, ahogy a gyanú esetén váltóké is (40,2%-ról 50,0%-ra) (2. ábra).

Nőtt azok száma, akik 3-6 havonta (15,9%-ról 18,4%-ra), illetve 1-2 havonta váltogatják őket (2,4%-ról 5,3%-ra), mégis nem túl szembetűnő a pozitív irányú változás.

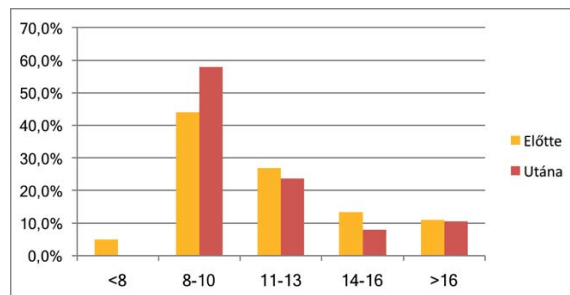


2. ábra. Jelszaváltoztatási szokások információbiztonsági kurzus előtt és után

Az információbiztonsági kurzus előtt még a hallgatók 4,9%-a használt 8 karakternél rövidebb jelszavakat, a kurzus végén már senki, ami előrelépést mutat.

A legnagyobb változás a 8-10 karakter hosszú jelszavakat használók létszámában történt, 43,9%-ról 57,9%-ra emelkedett az arányuk. Az

ennél hosszabb jelszavak esetében inkább kis mértékű arányvesztés figyelhető meg (3. ábra).

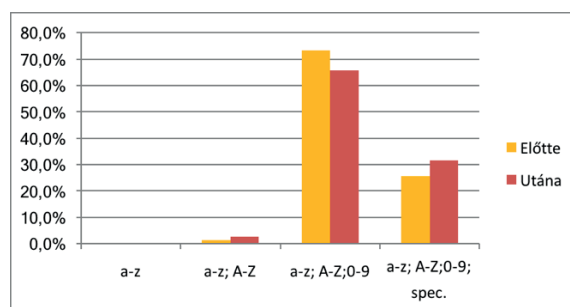


3. ábra. Jelszavak hossza információbiztonsági kurzus előtt és után

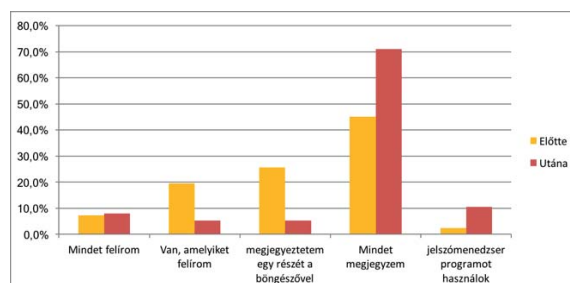
A jelszavak komplexitása a képzésük során felhasznált karakterek sokféleségében mutatkozik meg. A kurzus előtt és után sem használt senki csak kisbetűből álló jelszavakat, és elenyésző azok aránya is, akik csak kis- és nagybetűt használnak.

Korábban említettük, hogy a szolgáltatók egy jelentős része már összetett előírással rendelkezik a kötelezően használandó karakterfajtákra vonatkozóan, mégis találunk olyan rendszereket napjainkban is, melyeknél semmilyen előírás nincs a jelszavakra.

A betűket és számokat használók száma a kurzus végére alacsonyabb lett (73,2%-ról 65,8%-ra csökkent), a speciális karaktereket használók aránya pedig emelkedett (25,6%-ról 31,6%-ra), ami öröndetes változás (4. ábra).



4. ábra. Jelszavaknál használt karakterfajták információbiztonsági kurzus előtt és után



5. ábra. Jelszókezelés információbiztonsági kurzus előtt és után

A jelszókezelés tekintetében szintén pozitív irányú változást láthatunk (5. ábra).

Ugyan valamivel nőtt azok aránya az információbiztonsági kurzus végére, akik minden jelszavukat felírják (7,3%-ról 7,9%-ra), viszont csökkent azok száma, akik a jelszavaik egy részét felírják, vagy a böngészővel jegyeztetik meg, amelyből egy kártékony kód akár távolról is elérhetővé teszi a támadó számára azokat.

Lényegesen nőtt viszont azok aránya, akik minden jelszavukat megjegyzik (45,1%-ról 71,1%-ra), és többen használnak kifejezetten a jelszavak biztonságos tárolásához kifejlesztett jelszószerű programokat (2,4%-ról 10,5%-ra nőtt az arányuk).

### 2.3. Mann-Whitney-próba

A kurzus előtti és utáni jelszóhasználati szokások statisztikai eszközökkel történő összehasonlításához a Mann-Whitney-próbát alkalmaztuk a pontok sorrendi skálája miatt [6].

A Mann-Whitney-próba a két időszakra jellemző jelszótulajdonságok között nem mutatott szignifikáns eltérést. A jelszókezelésnél, a kurzus végén viszont szignifikáns javulás figyelhető meg (7. táblázat).

7. táblázat. Mann-Whitney-próba eredménye az egyes jelszótulajdonságok esetében

Jelszótulajdonságok	<i>p</i>
Jelszó-különbözőség	0,252
Jelszócsere	0,585
Jelszóhossz	0,535
Karakter-fajták	0,590
Jelszó-kezelés	0,001

Ez azt jelenti, hogy a táblás, PowerPoint alapú előadás videofelvétellel támogatva, ami passzív befogadást jelent, nem volt elég erős hatással a hallgatók jelszóhasználati szokásaira. Ugyanazt az eredményt érjük el vele, mint a médiában az adott témában megjelenő cikkekkel.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunkban arra kerestük a választ, milyen hatással van az információbiztonsági kurzuson használt tanítási módszer a hallgatók jelszókezelési szokásaira.

Egyre több helyen olvashatunk arról, hogy újabb és újabb internetes szolgáltató által kezelt személyes adatainkhoz jutottak hozzá a rendszer támadói megszerezve így az általunk használt jelszavak titkosított változatát. A visszafejtésének ideje nagyban függ attól, milyen hosszú és milyen összetett jelszót választottunk. A többi rendszerben tárolt adataink biztonsága pedig attól,

mennyire eltérő jelszavakat használunk az egyes rendszereknél.

A kurzus elején és végén a hallgatók által megadott jelszótulajdonsági adatokat ordinális skála szerint pontoztuk annak érdekében, hogy statisztikai elemzést végezhessünk.

A Mann-Whitney-próba eredménye azt mutatta, hogy a hagyományos eszközöket felvonultató oktatás (tábla, PowerPoint prezentáció) megtámogatva esetenként videofelvételkel, melyek szemléltetik a különböző jelszavak feltöréséhez szükséges időt, nem bizonyultak túl hatékonynak a hallgatók jelszóhasználati szokásainak biztonságosabbá tételéhez. Egyedül az jelszótárolásban lettek szignifikánsan tudatosabbak a hallgatók és használnak biztonságosabb megoldást, mely csak részben védi őket jobban egy célzott támadás esetén a többi tulajdonság nem megfelelő mértékű változása esetén.

A tábla, PowerPoint prezentáció és videofelvétel a hallgatók részéről passzív befogadást jelent. Érdemes kipróbálni a hallgatók részéről aktivitást igénylő módszerek használatát az információbiztonsági képzés során, vizsgálva annak hatását az információbiztonsági attitűdjükre.

### 4. IRODALOM

- [1] Larson S.: Every single Yahoo account was hacked - 3 billion in all, 2017. október 4. <http://money.cnn.com/2017/10/03/technology/business/yahoo-breach-3-billion-accounts/index.html>
- [2] Pleasant R. 200 million emails compromised: Is yours on the list? 2016. május 4. <https://siliconangle.com/blog/2016/05/04/200-million-emails-compromised-is-yours-on-the-list/>
- [3] Pauli D.: Just give up: 123456 is *still* the world's most popular password, 2017. január 16. [https://www.theregister.co.uk/2017/01/16/123456\\_is\\_still\\_the\\_worlds\\_most\\_popular\\_password](https://www.theregister.co.uk/2017/01/16/123456_is_still_the_worlds_most_popular_password)
- [4] Keszthelyi A.: About passwords, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 10., 2008, pp: 99-118., 2013, ISSN: 1785-8860.
- [5] Sixx: Bárki feltörheti a BKK elektromos jegyvásárló rendszerét, 2017. július 15. [http://index.hu/tech/2017/07/15/barki\\_feltorheti\\_a\\_bkk\\_elektromos\\_jegyvasarlo\\_rendszeret/](http://index.hu/tech/2017/07/15/barki_feltorheti_a_bkk_elektromos_jegyvasarlo_rendszeret/)
- [6] T.P. Hettmansperger, J.W. McKean, :Robust nonparametric statistical methods. Kendall's Library of Statistics. 5 (First ed., rather than Taylor and Francis (2010) second ed.). London; New York: Edward Arnold; John Wiley and Sons, Inc. pp. xiv+467. ISBN 0-340-54937-8., 1998

# KOPONYA IMPLANTÁTUM SZILÁRDSÁGI MÉRETEZÉSÉNEK KÉRDÉSEI

## NOTES ON CRANIAL BONE IMPLANT DIMENSIONING

*Pietro Fierro\*, Dr. Lovas László egyetemi docens\*\*, lovas@kge.bme.hu*

*\*Salernói Egyetem, Ipari Mérnöki Kar, \*\*BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék*

**ABSTRACT.** This paper discusses how a plastic implant can react to the requirements of a growing cranial bone. Shape keeping, load transmission, fixation, implant geometry and material law are discussed. Numerical computation tools are accurate enough to study the problem. Use of elementary models allows model building and first conclusions concerning material creep can be formulated.

### 1. BEVEZETÉS

A koponya implantátumok készítése évtizedek óta ismert, jól bejáratott elveken alapul. Vagy az orvos készíti műtét közben gyors formázással, vagy előre gyártott fém lemezt alakítanak pontosan méretre, vagy a koponya CT felvételsorból kinyert 3D modellje alapján készül méretpontos alak.

Az implantátumok rögzítése kétféle módon történik. Lehetséges fonállal rögzíteni, illetve csavarok és rögzítő fémhevederek segítségével. Mindkét esetben pontszerű, kis zónában történik az erő átadása a koponyacsont és az implantátum között. Tekintve, hogy az implantátum és a koponyacsont mechanikai terhelése minimális, a rögzítés feladata jellemzően a helyzetben tartás.

### 2. NÖVÉSBEN LEVŐ KOPONYÁKKAL KAPCSOLATOS PROBLÉMÁK

Felnőttek esetében a koponya implantátum probléma mentes esetben egész életre szól. Gyermekes esetében azonban több problémával találkozunk. A gyermek koponyája az idő múlásával növekedik, a csontok mérete, alakja, helyzete megváltozik. Emiatt gyermekeknél az implantátumok rendszeres cseréje szükséges. Felmerül a kérdés, hogy kidolgozható-e olyan implantátum, amely viszonylag sokáig képes követni a növekedést, ezzel csökkentve a műtétek számát és a gyermekre ható terhelését? Nézzük meg, milyen követelményeknek kell megfelelni egy ilyen „alkatrésznek”.

#### 2.1. Alakváltoztatási képesség

A koponya növekedését minden irányban követni kell tudni. Ezt úgy lehet elérni, hogy az implantátum vagy olyan speciális kialakítású, hogy követni tudja a csonthiány alakváltozását, vagy olyan anyagú, amely beindítja a csont növekedést, engedi a beépülést, majd lassan felszívódik. E cikkben a beépülő-felszívódó változatot nem tárgyaljuk.

#### 2.2. Implantátum anyag

Szokásosan saját csontot vagy idegen anyagokat alkalmazunk. Idegen anyagú implantátumként fémes vagy polimer anyagok használatosak. A fémek szilárdsága nagyságrendekkel nagyobb a koponyacsonténál. A polimer anyagok szilárdsága nagyságrendileg megegyezhet a csontok szilárdságával, így ilyen anyagból jobban készíthető olyan implantátum, amely a terhelhetőség szempontjából egyenszilárdságú.

#### 2.3. Implantátum rögzítése, terhelés átadás

Egy műanyag implantátum legnagyobb terhelését a rögzítés környezetében kapja. Fonallas rögzítés esetén viszonylag eloszlik a terhelés, nagyobb lehet a felvevő felület. Csavaros rögzítés esetén a menet környezete igen nagy, koncentrált terhelést kap.

Növekedő koponya esetén a koponya és az implantátum közötti erőket a rögzítő elem közvetíti. Az erők az implantátum felületéhez képest érintő irányban lépnek fel. Probléma lehet, hogy a többleterők a már így is rendkívül terhelt rögzítési pontok környezetében lépnek fel.

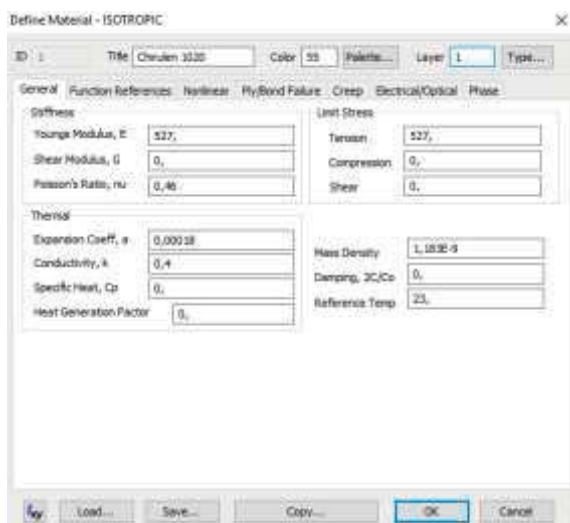
#### 2.4. Alakmegőrzés, alakkövetés

Az implantátumok mérete, elhelyezkedése változatos. Kis méret esetén közelíthetőek sík felülettel vagy henger felülettel. Nagy méret esetén gömb vagy ellipszoid felület lehet elfogadható közelítés. Henger, gömb vagy ellipszoid esetén alapvető kérdés, hogyan marad az implantátum

görbülete változatlan a méret változása esetén? Ez azért szükséges, hogy az implantátum méretváltozás esetén is megőrizze esztétikus jellegét.

### 3. VIZSGÁLATOK A FELTÉTELEKNEK MEGFELELÉS KAPCSÁN

A továbbiakban ismertetjük azokat a vizsgálatokat, amelyeket numerikus szimulációs eszközökkel végeztünk az előző fejezetben tárgyalt kérdések kapcsán. Anyagnak a kereskedelemben kapható GUR 1020 márkanévű ultra nagy molekula súlyú polietilénen alapuló orvosi anyagot választottuk. Az anyagjellemzőket a gyártói adatlap alapján az 1. ábra tartalmazza.

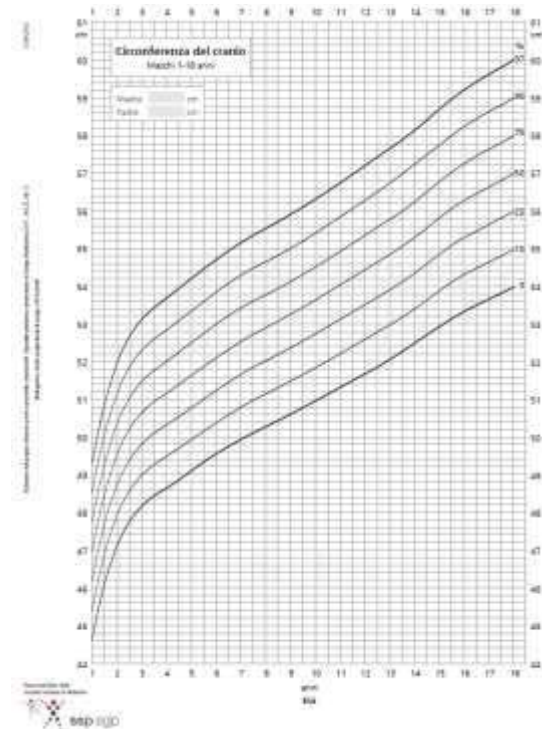


1. ábra: A Chirulen 1020 polimer anyagjellemzői

Tudjuk azt, hogy a polimerek, különösen a hőre lágyulóak hajlamosak a kúszásra. Kérdés, hogy a kúszás megfelelő sebességű-e, követni tudja-e a koponya növekedését. A Svájci Gyermekorvos Szövetség mérései [1] alapján ismert, hogy a koponyakörméret növekedése közel lineáris 4-18 éves kor között. A 2. ábra alapján évi 0,8% növekedés olvasható le. Ezt felfelé becslülve évi 1% méretnövekedés elfogadható érték a számítások megkezdéséhez.

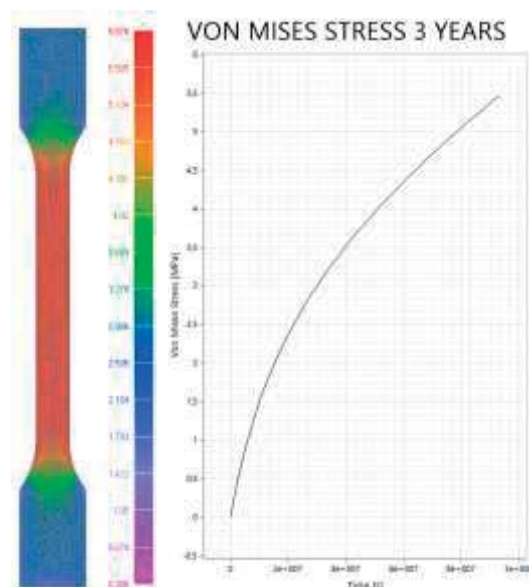
A szakirodalomban nem találtunk az UHMW-PE anyag kúszására mérési adatot, így első közelítésként egy viszonylag hasonló PEEK anyag tapasztalati kúszási törvényét használtuk fel:

$$\frac{d\epsilon}{dt} = 6,9231 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma^{2,5} \cdot t^{0,13} \quad (1)$$

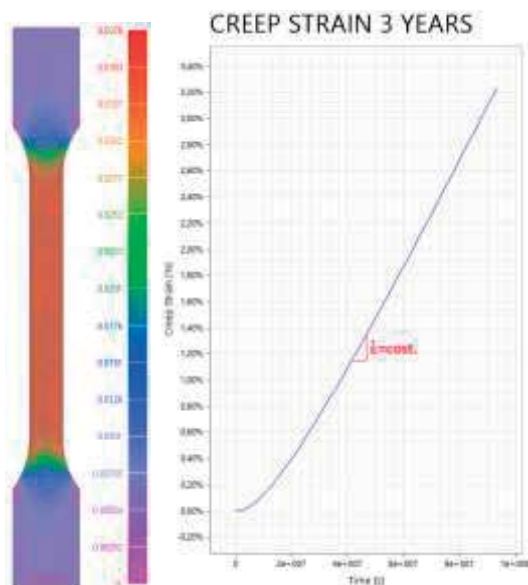


2. ábra: Fej terület növekedése kor alapján [1]

Első lépésként egy szabványos húzó próbatest szimulációjával vizsgáltuk, képes-e a szoftverünk a kúszás számítására. A próbatest egyik végét megfógtuk, másik végét állandó erővel meghúztuk, és 3 év idő hatását szimuláltuk. A szoftver képes volt azt a viselkedést követni, ahogy az anyagban a feszültség lecsökken, és a nyúlás megnő (3. ábra, 4. ábra).

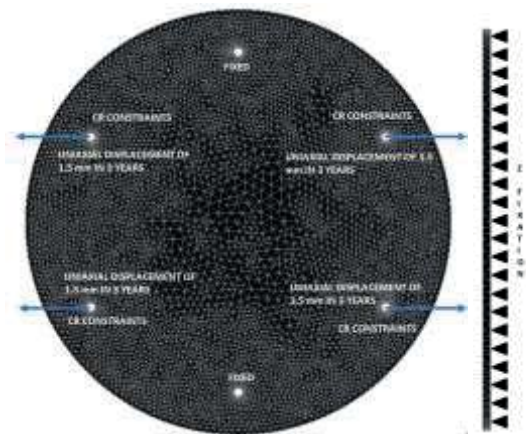


3. ábra: Próbatest feszültség eloszlása 3 év után, és annak változása egy elem esetén



4. ábra: Próbatétel nyúlás eloszlása 3 év után, és annak követése egy elem esetén

Ezek után szakirodalmi példa [2] alapján egyszerű alakzatokat vizsgáltunk: kört és háromszöget. Arra voltunk kíváncsiak, hogy a nagy felületű anyagban a rendszerint pontszerű terhelés bevezetés hatására milyen feszültség eloszlás ébred, illetve hogy hogyan változik az alak a kúszás során.



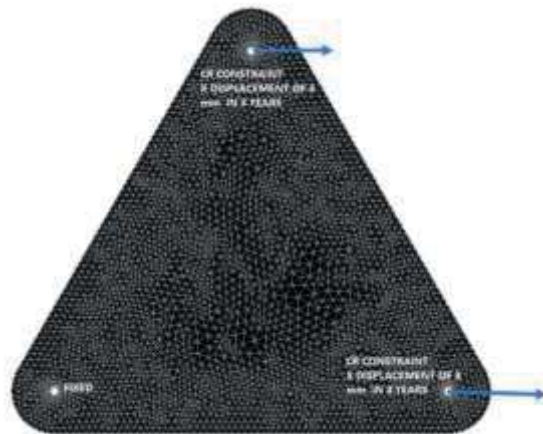
5. ábra: Körlemez terhelés és megfogás modellje

Az 5. ábra mutatja a körlemez modell kialakítását. Első közelítésként egyszerű tetraéder elemekből készült egy lemez, 100 mm átmérővel és 5 mm vastagsággal. Ezek megfelelnek az orvosi gyakorlatban tapasztalható szokásos implantátum méret nagyságrendeknek. A lap egyik oldalán a Z irányú elmozdulást megtiltottuk, ezzel modellezve a koponya belsejének nyomását. Az elem rögzítésére egyenes eloszlásban 6 furatot készítettünk, amelyből 4

furatra adtuk rá a terhelést. A hálót 1,5mm élhosszú tetraéder elemek alkották.

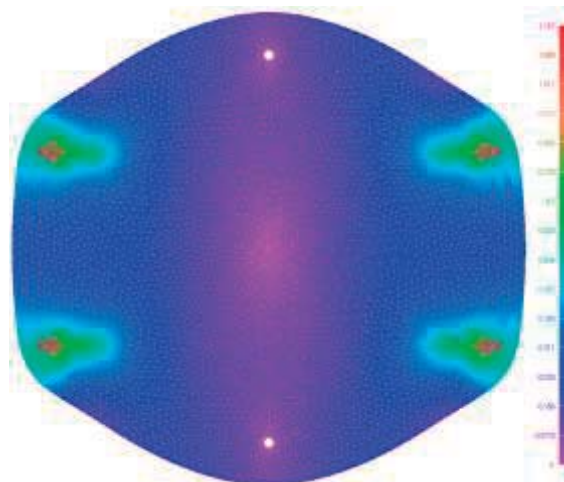
A terhelés egytengelyű elmozdulás kényszer volt, időarányosan az elmozdulás irányába eső méret évi 1%-ának felvéve.

A háromszög lemez egyenlő oldalú, magassága 100 mm volt. Vastagsága megegyezett a körlemezével, és a használt elemtípus is ugyanaz. A terhelés modelljét a 6. ábra mutatja.

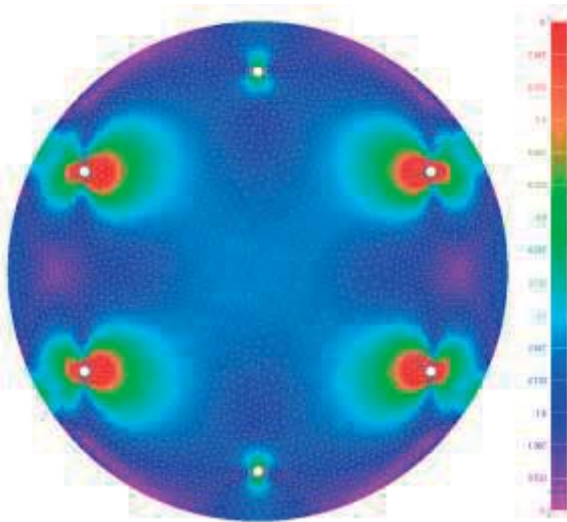


6. ábra: Háromszög lemez terhelés és megfogás modellje

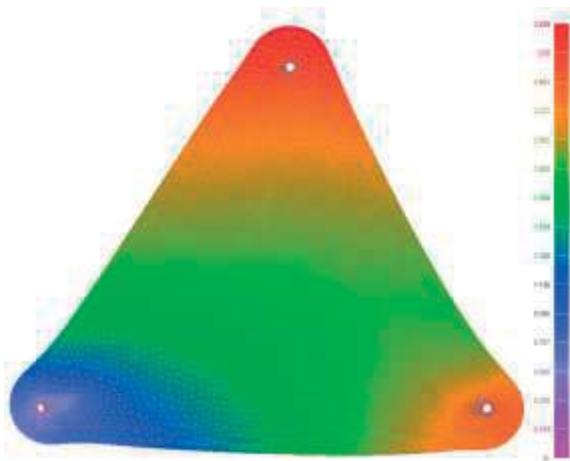
Az alábbi ábrákon a terhelés hatására kialakult feszültségeloszlás látszik a különböző alakú anyagokban. Közös bennük, hogy a pontszerű terhelések környezetében a feszültség viszonylag hamar, a kitűzött idő intervallum elérése előtt eléri az elasztikus határt. A pontszerű terhelés környezetében megjelenő feszültség csúcs a szakirodalomban [2] is megjelenik. A terhelés bevezetési zónáktól kellően messze azonban alacsony marad a feszültség.



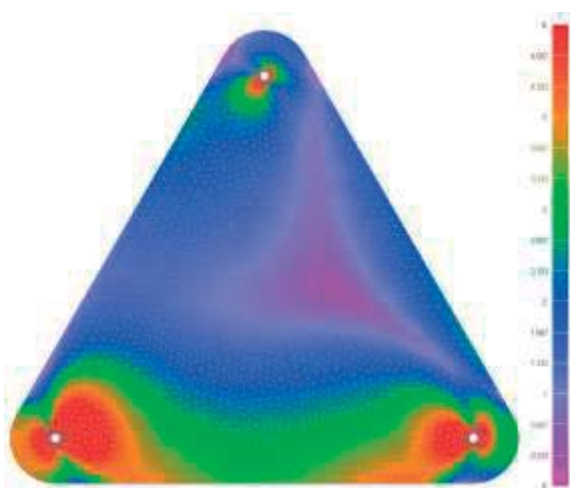
7. ábra: Körlemez elmozdulás képe



8. ábra: Körlemez feszültség eloszlása



9. ábra: Háromszög lemez elmozdulás képe



10. ábra: Háromszög lemez feszültség eloszlása

Az orvosi gyakorlatból tudjuk, hogy a koponyacsont nem egy homogén egység, hanem

különböző csontok összekapcsolódásából épül fel. Bár az egyes csontok szakítószilárdsága 70-100 MPa nagyságrendű, az összekapcsoló varratok ennél egy nagyságrenddel gyengébbek. Fontos az, hogy az implantátum hosszirányú merevsége és feszültségintje legfeljebb a varratokét érje el. Így növekedéskor a varratok nem szakadnak fel, az alakváltozás folyamatos maradhat.

A növekedéssel kapcsolatban a fentiek alapján látható, hogy az egyszerű síklemez geometria kialakítás nem megfelelő a növekedést követő implantátum alak számára. A lemez kerülete a terhelési furat környezetében deformálódik, a folyamatos kontúr alaktartása nem megfelelő.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A növekedésben levő koponyacsont különleges feltételeket támaszt az implantátumokkal szemben, ha követni akarjuk vele a méret- és alakváltozást. A szerves anyagú pótlások közül a PEEK anyagok kúszási görbéjük alapján képesek lehetnek a kis mértékű, hosszú időn át tartó alakváltozás követésére. A kúszás numerikus modellezése számításaink szerint lehetséges. Az implantátumoknál általunk alkalmazott Chirulen 1020 anyag további anyagvizsgálata szükséges a kúszási jellemzők kísérleti meghatározásához. További munka szükséges a terhelésátadás és a deformáció mentes méretváltozás vizsgálatában.

## 7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt a Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal támogatásával az NKFIH alapból valósul meg. A projekt címe: *Egyénre szabott orvosi-biológiai implantátumok és segédeszközök új generációs gyártási folyamatának kidolgozása additív technológiákra*. A pályázat azonosító száma: NVKP\_16-1-2016-0022

## 8. IRODALOM

- [1] A Svájci Gyermekorvos Szövetség ajánlása az interneten: <https://es.scribd.com/document/82104218/Curve-Crscita-Svizzera>, olvasás dátuma: 2017.09.25
- [2] Ridwan-Pramana A., Marcián P., Borák L., Narra N., Forouzanfar T., Wolff J. Structural and mechanical implications of PMMA implant shape and interface geometry in cranioplasty – A finit element study. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, vol. 44, pp 34-44, 2016.



# Kihívások és ellentmondások a termékfejlesztésben

## Challenges and contradictions in product development

Nagy Abonyi Tamás, MSc, [tamas.nagy-abonyi@electrolux.com](mailto:tamas.nagy-abonyi@electrolux.com)

### ABSTRACT

Electrolux decided to develop its S-bag (vacuum cleaner dust bag) further, with keeping the bag/filter and create a new collar as new interface. All project teams face with several contradictory requirements in product development. As hard point, S-bag development team had to deal with different requirements of 60 different vacuum cleaner platforms. Team chose plastic as raw material to replace the paper collars, but in order to reach the technical targets, it was needed to apply FEM and automation deeply in order to keep the project in time and budget.

### 1. BEVEZETÉS

Electrolux csoport Magyarországon több milliós darabszámban 4 gyáregységben készíti az akár A+++ -os hűtőszekrényeket, fagyasztóládákat és padlóápolási termékeket. Cégünk küldetése, hogy jobbá és könnyebbé tegyük az emberek mindennapjait. Olyan megoldásokat fejlesztünk ki, amik kellemessé teszik az otthonokat, még élvezhetőbbé az ételeket, és varázslatossá az öltözetünk. Ilyenek például az alacsony energiafelhasználású készülékek, az egészséges és friss ételek tárolását és elkészítését segítő megoldások, az ételpazarlás csökkentése. Mosási és szárítási technikákat dolgozunk ki, amivel a ruháink élete meghosszabbodik. Olyan otthonokat építünk ahol, a tisztaságot és a kiváló levegőt a légkondicionáló, a légszűrő, az automata ablakok és robot porszívók biztosítják. Termékeinkben nagy százalékban használunk újrahasznosított műanyagokat, hogy fenntarthatóvá tegyük a fejlődést és biztosítsuk gyermekeink jövőjét.

Közel 50 fő tevékenykedik nap, mint nap a jászberényi porszívógyár termékfejlesztésén, hogy

szenvédélyes innovációval, folyamatos fejlesztésekkel érjük el a megálmodott eredményeket. Stockholm és Shanghai metropoliszok fejlesztőirodái között megállja a helyét a jászvárosban világszínvonalon működő termékfejlesztés, projektiroda, tesztlabor és termékmérnökség.

### 2. AZ S-BAG PROJEKT

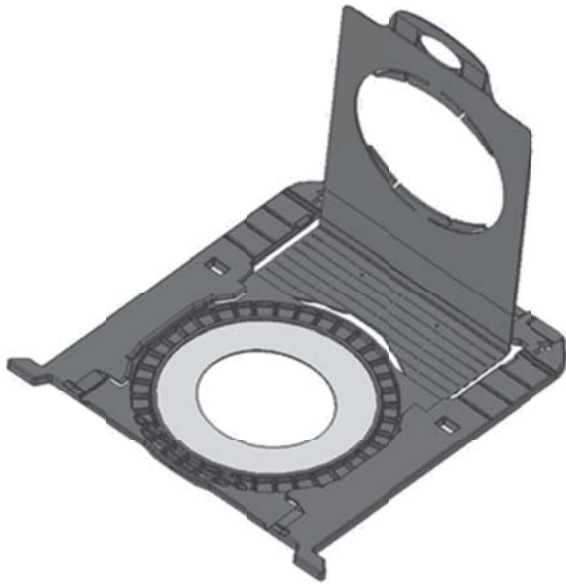
2016. januárban új projekt indult, egy érdekes feladattal. Egy alkatrészt kellett megtervezni, egy gallért a már meglévő és jövőbeni új porzsákokhoz. A termék, az Electrolux egyik kulcsterméke, az S-Bag porzsák. 17 éve alkották meg az alapjait, azóta változatlanul gyártják évi 30 milliós darabszámban, és az idők során több mint 42 platformba épült be. Eljött az újabb korszakváltás ideje, a vevői élmény növelése, pormentesebb, higiénikusabb felhasználás megalkotása, későbbre a beépítési méretcsökkenés lehetőségének biztosítása.



1. ábra. A leváltandó S-Bag porzsák.

A feladatra megalakult a projektcsoport. A fejlesztés, projektvezetés, szerszámos támogatás Jászberényből, minőségügy, beszerzés, labor-

tesztek, Nygardból (Svédország), modulfelelős, tesztvezető Stockholmból.



1. ábra. A porzsák gallér CAD modellje.  
Polipropilén gallér, TPE tömítő membrán  
középen.

### 3. A koncepció meghatározása

A koncepció kidolgozása közben körvonalázódott, hogy a szokásos konstrukciós kihívásokon kívül meg kell küzdeni olyan nem elhanyagolható körülményekkel, hogy bár mindenki a maga területén tapasztalt, de ehhez a termékhez hasonlóval senkinek sem volt eddig dolga. A magyar csapatnak nem volt tapasztalata a nagysebességű tömeggyártásban ahol 2 db/sec ciklusidővel készülnek a darabok (szemben a mi 30-40 sec/db kapacitású sorainkkal), a porzsák gyár papírral dolgozott az elmúlt 17 évben, nem épült ki műanyag feldolgozási ismeret. Mindezekon felül a nagy kapacitású és speciális gyártósorok miatt nem létezik gazdaságos lehetőség a visszaállásra a módosítások bevezetése után. Összességében elmondható, a projektcsapat komoly feszültségnek volt kitéve. A kihívások közé felkerült, hogy az albeszállító valószínűleg 1500 kilométerre levő valamelyik balti országból fog kikerülni, onnan fogják közúton szállítani százezer számra az egymásra pakolt porzsák gallérokat. Az 1 mm falvastagságú 44 MFI folyás indexű polipropilén

darabnak a maximális elfogadott síklapúsági tűrése beérkezés után +/-0,2mm belül kellett lennie.

A 3D modellek megalkotása során csupa egymásnak ellentmondó feltétel realizálódott. Legyen kompatibilis az elmúlt 17 év összes porzsákos platformjához, de adjon szabadalmi védettséget a jövőbeni termékekhez, legyen robusztus egyes alkalmazásokban, de ugyanott flexibilis, hajlítható is, más alkalmazásokban. Legyen prémium, de ne kerüljön többre, mint a jelenlegi papír változat. Legyen alacsony ciklusidővel gyártható, de mellőzzük a különleges technológiákat. További kihívás, hogy csak automatizálható konstrukció lehetséges, kézi szerelési művelet kizárt ekkora darabszámnál.



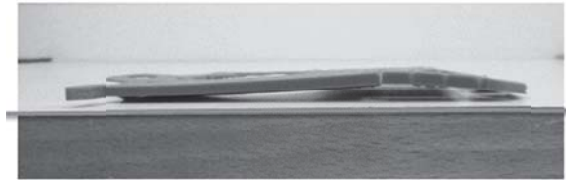
2. ábra. Porzsák gallér, egyenes alkalmazás



3. ábra. Porzsák gallér, hajlított alkalmazás

Elkészült egy már működőképesnek látszó és szerszámozható Catia modell, sajnos a ma elérhető gyorsprototípus gyártó eljárások itt nem

működhetek, így egy 2 komponensű egyfészkes mintaszerszám került megrendelésére, ami által tényleges alapanyagból, valódi darabokon keresztül tudtunk meggyőződni a fizikai tulajdonságokról.



4. ábra. Az első darabok a prototípus szerszámból.

Az első darabokon lényeges eltérések mutatkoztak a tervhez képest. A darab nem volt egyenes, ahol hajolni kellett volna, merev volt, ahol merevnek kellett volna lenni elhajlott, eltört. A behúzható roló fennakadt vagy csak 3 cellánként volt hajlandó megtörni, ha sikerült bezárni nem lehetett kinyitni. Ezek a hibák 10 – 30 % selejtarány okoztak a mintázásnál.

Ekkor a tervező csapat a véges elemes szimulációkat segítségül hívva fordult a digitális világhoz. Moldflow segítségével áthelyezésre kerültek a beömlések - másféle kitöltést produkálva, zónánként meg lettek változtatva a falvastagságok és a lamellák méretei. Több mint 30 ponton módosult a konstrukció. A módosítási ötletek tesztelésére nem lett volna gazdaságos a folyamatos szerszámmódosítás, ami hónapokat és jelentős anyagi befektetést vett volna igénybe.



5. ábra. Az összekötő híd torzulása az első komponensnél

Az 5. ábrán látható a szilárdsági szempontból kritikus összekötő híd torzulásának képe. Külön-

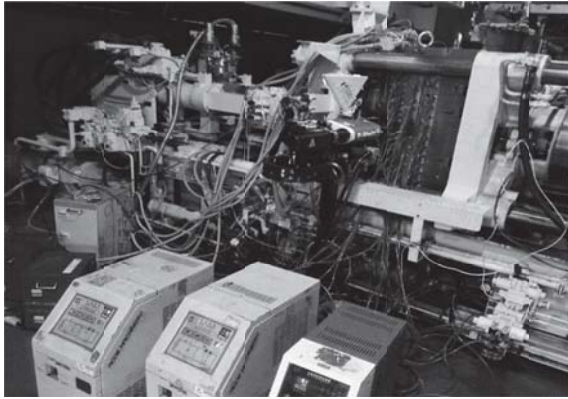
böző bordastruktúrák szerepe lett volna megakadályozni a híd torzulását, de pontszerű beszívódások keletkeztek, amik a második komponens anyagkifolyását eredményezték. Szilárdsági szempontból több különböző megoldás lett összehasonlítva. A 3D modelleken geometriai egyszerűsítéseket kellett végezni, a nem releváns elemek el lettek távolítva a vizsgált modellből. Fél modell elegendő volt, a terhelések geometriai szimmetriájának köszönhetően. A porzsák gallér ellendarabját is előkészítették, hogy azon csak a közvetlenül érintkező felületek maradjanak meg. Az anyagtulajdonságok hozzárendelése után véges elemes háló készült Catia Analysis beépített hálózási algoritmussal. A vizsgálandó bordák környezetében hálósűrítést alkalmaztunk, hogy megfelelő pontosságú legyen a feszültség részletesség ebben a kritikus zónában.

Peremfeltételeknek feltételeztük, hogy a flexibilis membrán egyenletesen adja át a terhelést, függőleges irányban fixen rögzített ellenalkatrész felületei gátolják az elmozdulást. A vizsgált digitális modellek alapján megalapozott és gyorsabb döntést lehetett hozni a termék változtatásaihoz.

A módosítások utáni darab hozta az elvárt minőségi- és statikai tulajdonságokat, pár apróbb finomhangolás, élettartam vizsgálatok, dinamikus- és statikus tesztek követően a végső szerszám megrendelésre került a kapcsolódó automatizált gyártócellával. A módosítások után a selejtarány is lecsökkent az 1% alatti kitűzött szintre.

A fröccsszerszám Shenzenben (Kína) készült, 150 cm magas 80cm méretben, hidas kialakítású forrócsatornával. A forrócsatorna rendszer kivitelezése a kezdetekben nem látszott megvalósíthatónak a szállítója szerint. A szerszám 12 sima torpedóval, és 12 tűzárású befecskendező fejjel van ellátva, 56 csatornás vezérlő szükséges a rendszer működtetéséhez. A gyártás flexibilitásának biztosításához nem 2K fröccsöntő gépre lett a szerszám tervezve, hanem egy úgynevezett külső fröccsegységgel támogatott egyszerű, általánosan alkalmazott 1K fröccsöntő gépre. A második lágy komponenst a külső kiegészítő

befecskendező egység szerszámra csatlakoztatásával adagoljuk. Ennek az egységnek egy 25mm átmérőjű elektronikusan mozgatott és vezérelt csigájával pont elegendő nyomással és mennyiségben tudjuk a TPE-t befröccsönteni. (6. ábra)



6. ábra. A vezérlő, és a kiegészítő fröccsegység a szerszám mellett.

A szerszám elkészülte után Shenzenben került sor a szerszámpróbara. 5 nap alatt sikerült a szerzámot, a kiegészítő fröccsegységgel és a vezérléssel működésre bírni. Mind a működés, mind a darabok megfelelőek voltak, ezért a szerszám jóváhagyása után hazaszállítása került Rigába.



7. ábra. A projekt kivitelezés területi nehézségei.

A szerszám leszerelését, konzerválását követően becsomagolták, majd feladták Kínából. Egy hét múlva Rigában a kicsomagolás és tisztítás után újra fröccsöntő gépre került. A megismételt technológiai beállítás után már nem tudott újra stabilan, alacsony selejt mennyiséggel gyártani. A víztemperálók nem tudták tartani a 30 fokos

hőmérsékletet, a több napos járatás alatt pedig elmelegedett a mag. Ez a 650 mm hosszú persely dilatációjában 0,1 mm eltérést okozott, ami miatt nem töltődtek ki a darabok a leszűkített formáüregben. A szerszám szétszerelése, módosítása után folytatódott újra a finomhangolás a fröccsparaméterek beállításával. Közben elkészült az Electrolux által tervezett és kivitelezett automata gyártócella is. A tapasztalt kollégáknak köszönhetően a bekért árajánlatoktól 60%-al olcsóbban és fele idő alatt készülhetett el a gyártó cella.

A szerszám – robot - gyártó cella sorozatban 34 másodpercenként 12 darab 2 komponensű tökéletes minőségű porzsák gallért gyárt, kivesz, átad, összehajt, optikai úton 90 ponton ellenőriz, majd jónak minősített darabokat egymásra pakolja a nap 24 órájában a hét minden egyes napján. Emberi erőforrásra csak a dobozba pakolás-hoz van szükség.



8. ábra. A gyártócella a hajtogató egységgel.

Megszámlálhatatlan munkaóra, végeláthatatlan utazások, hónapokon át tartó tesztelések, próbaszállítások és jóváhagyások során, egy hihetetlenül kreatív, profi és eredményorientált csapat kovácsolódott össze a közös cél érdekében. Ezen a módon legyen bármilyen kihívás vagy ellentmondás egy technikai fejlesztésben, a kívánt eredmény nem marad el.

# T-RTM ELJÁRÁSSAL GYÁRTOTT ALKATRÉSZEK GYÁRTÁSI FOLYAMATÁNAK KIHÍVÁSAI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZ ERŐSÍTŐANYAGOK KEZELÉSÉRE

## CHALLENGES OF THE T-RTM MANUFACTURING FOCUSING ON THE PREFORMING PROCESS, SENSING AND HANDLING OF REINFORCEMENT MATERIALS

*Péter Bence<sup>1,2</sup>  
Hegedűs Gergely<sup>1,2</sup>  
Czigány Tibor<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>*evopro systems engineering Kft.*

<sup>2</sup>*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék*

<sup>3</sup>*MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport*

### ABSTRACT

The aim of this study is to give an overview of the new possibilities of composite materials manufacturing as well as the methods of preform making. Furthermore we introduce a test plan designed for study of pre-preg textile wrinkle. That is important from preforming process point of view. The results will be used for design of a newly setup production line of modern composite products.

### 1. BEVEZETÉS

Kompozitnak azon több komponensű anyagot nevezzük, amely szívós mátrixból, és a teherviselés kitüntetett irányában a szerkezeti anyag szilárdságát növelő, nagy szilárdságú és rendszerint nagy rugalmassági modulusú erősítőanyagból áll. Közöttük kiváló adhéziós kapcsolattal, amely hosszú távon, tartós- és ismétlődő terhelések esetén is fennáll. Bár az emberiség évezredek óta használ természetes alapú kompozitokat (pl. vályogtégla), műszaki célú felhasználásuk az utóbbi nyolc évtizedben valósult meg [1]. Műszaki célú kompozitok fejlesztésére az utóbbi két évtizedben egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek járműipari és egyéb ipari szereplők. Ennek oka a törekvés a gyártott járművek tömegcsökkentésére, ugyanis a kompozit alkatrészek tömegre vetített szilárdsága jobb a fémekénél, továbbá az erősítés irányfüggően testre szabható, így a terhelés

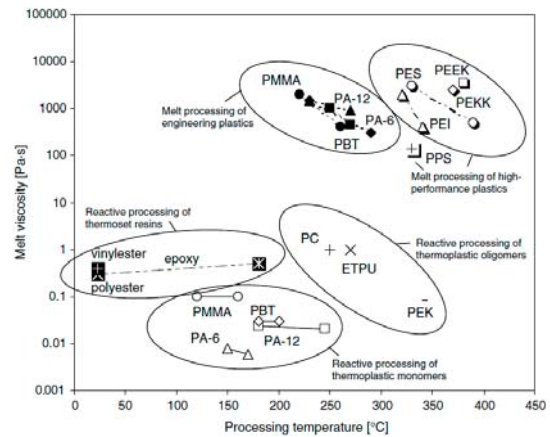
irányának megfelelően tartalmazhat erősítést az adott alkatrész. A tömegcsökkentést a gazdaságosabban üzemeltethető járművek gyártása indokolja, ami környezetvédelmi szempontok miatt fontos fejlesztési irány [2]. Műszaki felhasználású polimer kompozitok hőre lágyuló vagy hőre keményedő polimer mátrixból és általában szálerősítésből (szén-, üveg-, bazaltszál) állnak. Hőre keményedő mátrix végfelhasználás előtt oligomer állapotban van, gyártás során jön létre a sűrűn térhálós polimer szerkezet, másszóval kémiai reakció játszódik le a feldolgozás során. Gyakori gyártási eljárások közé tartozik a kézi laminálás és a nyomásos impregnálás (RTM). Kézi laminálás során az erősítőanyag manuális módszerrel kerül a mátrixszal átítatásra, így a technológia sorozatgyártott alkatrészek készítésére gazdasági szempontból nem alkalmas. A második világháború partraszálló csónakjait készítették például ezzel a technológiával [1]. Nyomásos impregnálás esetén száraz erősítőanyagot helyeznek a gyártandó termék negatív szerszámába, majd nyomás és esetleg vákuum segítségével átítatják mátrixanyaggal. Ez a technológia már nem igényel nagy mennyiségű kétkézi munkát, ciklusideje azonban még mindig túl nagy a nagysorozatú gyártáshoz. A hőre keményedő polimerek további hátránya az, hogy életciklusuk végén újrafelhasználásuk nehézkes [1].

### 1.1. Termoplasztikus mátrixú kompozitok

Hőre lágyuló mátrix felhasználásával ezidáig egészen más jellegű kompozitok készültek, mint hőre keményedővel. A hőre lágyuló polimerek egyik legjellemzőbb feldolgozási módja a fröccsöntés. A fröccsöntéssel előállított kompozit esetén, a granulátumba adagolt vágott szálak adják az erősítést. Ezzel a technológiával korlátozott erősítés érhető el, ám a ciklusidő rövidege miatt alkalmas nagy sorozatú, nagy méretpontosságú alkatrészek gyártására. Van lehetőség préseléses gyártási eljárásra is, ahol a folytonos erősítésű termék az erősítőanyagra helyezett polimer film megolvastásával és préselésével készül, elterjedtsége azonban alacsony [3]. A hőre lágyuló kompozitok terjedését gátolja, hogy a feldolgozás során ömledék állapotba kerülő polimer viszkozitása túl nagy a folytonos erősítőanyag megfelelő átításához [3]. A hőre lágyuló polimerek sajátos mechanikai tulajdonságai (ütésállóbb, szívósabb) és újrafeldolgozhatósága indokolja olyan új gyártástechnológiák kifejlesztését, amellyel alacsony ciklusidővel, magas fokú automatizáltsággal készíthetőek hőre lágyuló polimer mátrixú kompozitok, amelyek erősítőanyagként tekintetben felveszik a versenyt a hőre keményedőkkel, és életciklusuk végén újrahasznosíthatóak. A megoldást a polimerek reaktív feldolgozása, azon belül is a hőre lágyuló injektálási (T-RTM) technológia jelentheti [3].

### 1.2. Reaktív feldolgozás lehetőségei.

A reaktív feldolgozás során a hőre lágyuló polimerek monomer, vagy oligomer állapotban kerülnek feldolgozásra és a folyamat végére polimerizálódnak. Más szóval a hőre keményedő polimerekhez hasonlóan kémiai állapotváltozás zajlik le a folyamat során, ám a végeredmény hőre lágyuló, keresztkötéseket nem tartalmazó polimer lesz. Több polimer többféle módon történő feldolgozására van laboratóriumi példa, amely alkalmas lehet a reaktív technológiához. Lehetséges termoplasztikus poliuretánok, polibutilén-tereftalát, polikarbonát, poliéterketon és poliamidok feldolgozása is ilyen módon. Az 1. ábra jól szemlélteti a különböző polimerek ömledékének viszkozitását a hőmérséklet függvényében [3].



1. ábra Áttekintés a különböző polimerek reaktív feldolgozási módjánál használatos hőmérséklet és viszkozitás értékekről. [3]

A legígéretesebb a poliamidok családja, azon belül is a PA6. Ennek az anyagnak a reaktív feldolgozása igényli a legkisebb hőmérsékletet a kis viszkozitás mellett. Több kutatócsoport [4, 5] is vizsgálta a reaktív feldolgozással készített poliamid alkatrészek tulajdonságait a gyártási folyamat során. A kísérletek eredményei igazolták, hogy a reaktív eljárással készített poliamid alkatrészek mechanikai tulajdonságai kiválóak lehetnek kompozit alkatrészek készítésére. Poliamid reaktív feldolgozására napjainkban már az ipar szereplői is kínálnak megoldásokat [6, 7]. A jellemző feldolgozási módszer az úgynevezett T-RTM eljárás, amely során az előformázott erősítőanyagot egy zárható szerszámba fektetik, majd a temperált szerszámba a poliamid 6 monomerét, kaprolaktámot befecskendezik. A monomer megfelelő aktivátor és katalizátor hozzáadásával polimerizálódik. Ezen gyártástechnológia kihívása a kellően rövid ciklusidő elérése, amely nagyfokú automatizáltság esetén pár percre szorítható le. Neves külföldi gyártók komplex megoldásokat kínálnak T-RTM gyártósorra. A Krauss-Maffei és az Engel megoldásai mind teljesen automatizáltak, a gyártósor a 2D erősítőanyagot formára szabja, előformázza, majd T-RTM présben elkészíti a kész kompozit terméket, mindezt emberi kéz érintése nélkül. Az így készített alkatrész erősítőszál-tartalma magas, utómunkálást nem igényel. Készítenek így a bemutató gyártósorokon lapátokat, de sportautó tetőpanelt is [8, 9]. A gyártósor egyik nagy kihívása a különböző folyamatok összehangolása az automatizált

mozgatórendszerek használatával, továbbá a pontos előformázási folyamat kialakítása, hiszen a 2D erősítőanyag megfelelő formára alakulása meghatározó a nagyfokú pontosság eléréséhez.

### *1.3. Erősítőanyagok kezelésének kihívásai*

Az előformázási folyamat paraméterei nagyban befolyásolják a késztermék méretpontosságát. Fontos tényező az erősítőanyag és az előformázott félkész termék pozicionálásának pontossága. Mivel e tekintetben nem áll rendelkezésre általános érvényű információ a szakirodalomban, így az alkatrész geometriájától függően mindenképpen szükséges a különböző megoldások áttekintése és az egyes megoldási módok szimulálása, tesztelése. Az erősítőanyag automatizált mozgításakor az anyag rögzítésére többféle megfogót alkalmaznak. Létezik vákuumtappancsos, Bernoulli-szívókorongos és tús megfogós megoldás is [10-12]. A nagy pneumatikuselem-gyártók általában Bernoulli-rendszerű, vagy tús megfogós megoldásokat kínálnak szövetek mozgására. A különböző működési elvű eszközök tesztje elengedhetetlen a megfelelő pontosság eléréséhez. Az erősítő textíliát elő kell formázni a késztermék 3D geometriájának megfelelően, és ezt az előformázott erősítőanyagot lehet már a T-RTM prés szerszámba helyezni. Az előformázási eljárás a következőképp zajlik le. Az erősítő textília szálkötegei a formázó szerszámban súrlódóerő hatására elcsúsznak egymáson, majd a korábban felhordott, megolvasztott binder anyag lehűlésével a forma rögzül. Azonban ha az alakváltozás egy bizonyos mértéket meghalad, az erősítőszövet kötegei már nem tudnak elcsúszni egymáson és sérülhet a szövetet felépítő szálköteg, vagy nem tökéletes lesz az alakadás. Több kutatócsoport vizsgálta különböző típusú textíliák formázási tulajdonságait, illetve állítottak fel textilmechanikai összefüggéseket erősítőanyag előformázhatóságára. A vizsgálataik rávilágítottak arra, hogy a felállított matematikai modellek nem kellő pontossággal képezik le a valóságot, az előformázási folyamat vizsgálata az alkatrész geometriájától függően mindenképpen célszerű [13, 14]. A végleges termékformát megközelítő forma rögzítéséhez megfelelő binder anyagot kell használni. Ezt a kötőanyagot az erősítő textil rétegek közé kell

juttatni, majd hő hatására képlékeny állapotúvá tenni, hogy megtörténhessen az összeállított erősítőanyag rétegek formázása. A formázott textil+binder rendszer lehűlésével a geometriája rögzül, és kivehető a szerszámból. Több réteg erősítőanyag esetén rendkívül fontos a homogén átmelegítés, amely nagymértékben függ az alkalmazott melegítési technológiától (pl.: IR-, forrólevegős-, kontaktfűtés) és annak paramétereitől. A melegítés mellett további fontos paraméter a szerszámba kerülő erősítőanyag víztartalma, amely nagymértékben befolyásolhatja a végtermék minőségét.

A cikk célja egy tesztkészülék fejlesztésének bemutatása, amely egy automatizált, T-RTM eljárással működő termoplasztikus mátrixú, folytonos erősítő anyagú kompozit alkatrészt gyártó sor kivitelezéséhez kapcsolódik. A gyártósor egyes elemeinek (pl. manipulátorok, előformázó prés, előmelegítő egység) kialakításánál figyelembe kell venni az erősítőanyagok kezelhetőségét, és az ehhez kapcsolódó kihívásokat. A kísérleti gyártósor mozgató, előformázási és előmelegítési paramétereinek meghatározásához különböző kísérletek elvégzése, és ezen kísérletek elvégzéséhez egy tesztkészülék szükséges. Az elvégzendő méréseket célszerű egy összetett tesztsorozat keretében megvalósítani.

## **2. KÍSÉRLETI BERENDEZÉS FEJLESZTÉSE**

A következő fejezet a tervezett kísérletek leírását és a kísérletek elvégzéséhez szükséges tesztberendezés fejlesztését mutatja be.

### *2.1. Kísérletterv*

A korábban vázolt problémák alapján az elvégzendő kísérleteket három nagy csoportra osztottuk.

#### *Textil mozgása manipulátorokkal*

A legelső témakör, amiben információra van szükségünk az erősítőszövetet mozgató megfogók működésének elemzése. Vizsgálni kell, hogy az adott megfogó képes-e biztosan megemelni egy réteg erősítőszövetet. Ha igen, akkor érdemes tovább vizsgálni a működést. Amennyiben egy réteg erősítőanyaggal működőképes a megfogó, el kell végezni a kísérleteket több réteg erősítőanyag manipulálásával is. További kísérleteket kell

annak érdekében végezni, hogy megállapítsuk, egy megfogó körülbelül mekkora területű anyagot képes megemelni, és ezáltal számítható legyen a gyártósorban alkalmazandó megfogók száma. Célszerű kísérletek lefolytatása kombinált megfogókkal is (pl.: tús megfogók és Bernoulli szívókorongok, vagy vákuumtappancsok használatával). Bernoulli-megfogók, illetve vákuumtappancsok használata a már előformázott alkatrész estén tűnik célszerűbbnek. Ha lehetséges lenne egy készülékkel mozgatni a formára vágott nyers szövetet és a formázott előgyártmányt, akkor kiküszöbölhető lenne az emberi kézzel való mozgatás bizonytalansága, ismételhetővé válna. Ennek megfelelően a tesztkészülékben vizsgálni kell tudni a megfogók elhelyezésének geometriáját, az anyag lehajlási tulajdonságait, a megfogás közben és mozgatás alatt a textil pozicionálásának pontosságát, a pozicionálás ismételhetőségét és a textil viselkedését a présszerszám alá mozgás közben.

#### *Előmelegítés*

Célszerű vizsgálni a binder által kialakult kötés minőségét, merevségét, a megfelelő merevséghez szükséges binder réteg vastagságát, továbbá a manipulátor okozta hatásokat a binder rétegre, és ennek a befolyását a folyamatra. Vizsgálandó, hogy szükséges-e a présszerszám temperálása, vagy megfelelő lehet-e alumínium szerszámfelek használata, hőmérséklet-szabályzás nélkül a forma kialakításához. Az egyes rétegek felmelegítési és lehülési paramétereinek, hőmérséklet eloszlásának vizsgálatát érdemes a szövetbe integrált optikai szálas szenzorral (pl. FBG szenzorral) vizsgálni, mivel a szenzor kis átmérőjének és flexibilitásának köszönhetően könnyen beépíthető, nem árnyékol és így lehetséges lenne közvetlenül a minta hőmérsékletét és a rétegek közötti hőterjedést mérni.

#### *Préselés folyamata*

Préselési folyamat számos vizsgálandó paraméterrel rendelkezik. Mindenekelőtt különböző típusú erősítőszövetek formára alakíthatóságának elemzését érdemes elvégezni és felállítani egy listát a felhasználható anyagok típusáról. Továbbá a szerszámba helyezés

pontosságát is vizsgálni kell, a legfontosabb kísérlet, hogy a manipulátorral elérhető-e akkora pontosság, hogy az előformázott alkatrész utómunkálást (szélezést) ne igényeljen. A tesztkészülékben vizsgálni kell tudni a textil viselkedését a présszerszám lemozgása közben, a préselés után a kialakult geometria túrését, a préselés után a kialakult előforma visszarugózását, geometriai változásait, a geometriától függő rétegelrendezéseket, átlapolásokat, illetve ezek ismételhetőségét is.

#### *2.2. Tesztkészülék fejlesztése*

A tesztkészülék a fent leírt kísérletek elvégzésére készül. A tesztpadnak olyan méretűnek kell lenni, hogy felfogható legyen rá egy tesztprés, az erősítőanyagot mozgató megfogók és a melegítéshez használt fűtőelemek is. A tesztkészülékben lévő elemek mozgatása kézzel történik, fix ütközőkig, amely szimulálja a gyártósoron belül a manipulátorok programozott, ismételhető pozícióit, így el lehet végezni a fent leírt vizsgálatát a megfogóknak. További követelmény a szétszerelhető, könnyen szállítható szerkezet kialakítása is. Követelményként állítottuk fel továbbá, hogy a tesztek végeztével az építőelemek lehető legnagyobb része felhasználható legyen a végleges gyártósorban. A tesztkészülék alapvázát célszerű alumínium-hornyos profilos elemekből felépíteni (pl. Bosch-Rexroth). Megfelelő méretű lenne egy 1000x1000x800 mm méretű alapkeret készítése az 2. ábrán látható módon.

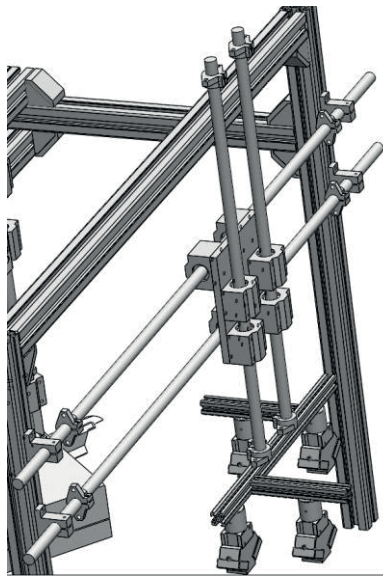


*2. ábra Az alapkeret koncepciója előformázás illetve manipulálás vizsgálatához.*

A megfogók rögzítése 20x20 mm-es hornyos profilokkal lenne ideális, ezeket 16 mm átmérőjű tengelyekre fogatnánk fel, amelyet lineáris golyós vezetéseken át rögzítenénk egy acéllemezhöz és az acéllemez vízszintesen a



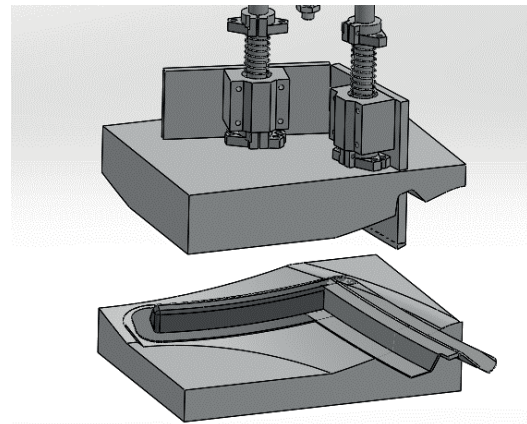
profilra rögzített tengelyeken futna, szintén lineáris csapágyakon. Így a manipulátoron lévő megfogók számára csak levegőellátást kell biztosítani, mozgásuk kézi erővel kivitelezhető mind vízszintes, mind függőleges irányban. A tengelyek, vezetékek és tengelyvégek mind beszerezhető, kereskedelmi forgalomban kapható elemek. A leírt készülék felépítését a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra A megfogók vizsgálatához készített alapkeret, amelyen a megfogók találhatóak.

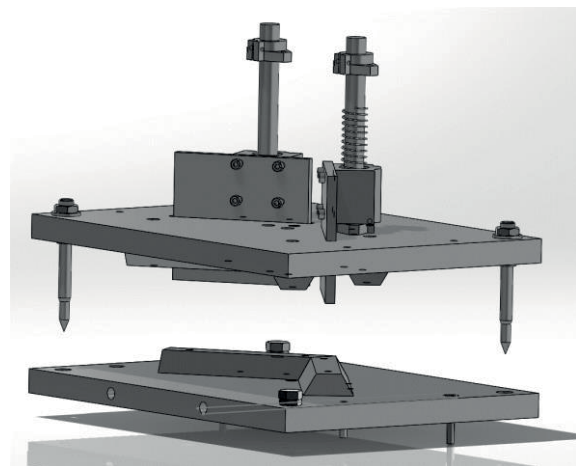
Az előformázó prés működésének szimulálásához pneumatikus munkahengert tervezünk használni. Mivel a később tervezett présszerszámhoz hozzá kell férni akár manuálisan is, így szükséges a tesztpad méreteit ennek megfelelően megválasztani (hozzá lehessen férni a szerszám rögzítéséhez), emiatt viszonylag hosszú löketű pneumatikus munkahenger (min. 200 mm) használatára van szükség. A munkahenger egy keresztben átmenő gerendára fogatható fel. Így egy munkadarabon próbálható ki a megfogás hatékonysága és a prés működése. Ennek megvalósításához szükség van a munkadarab mozgására. Ehhez szintén alumínium-profil elemekre rögzített lemezeket tervezünk használni. Egy lemezen elhelyezhető a présszerszám alsó fele, a másik pedig a mozgatható szükséges vizsgálatok alaplemeze lenne. Présszerszámot célszerű úgy kivitelezni, hogy a teszt során a lehető legtöbb hiányosságra fény derüljön. A felépítése a 4. ábrán látható. Az 5D felületen kettő darab, egymást metsző borda

lenne, a felső szerszámfelel rugós rögzítőlapokkal, az erősítőanyag pozícióját tartása érdekében.



4. ábra A présszerszám első konstrukciója 5D megmunkálható felülettel, a szerszámban egy mintdarabbal.

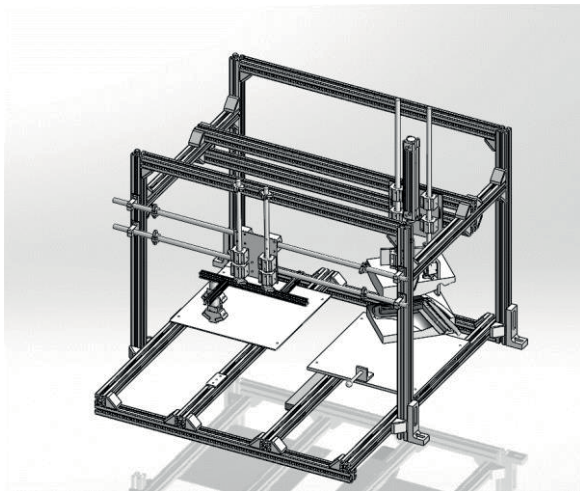
A vázolt szerszám legyártása azonban költséges a bonyolult geometria miatt, és a tesztszerszám jellege ezt nem is indokolja. Az előformázási folyamatból elhagyható az 5D felület, a metsző bordák használata viszont célszerű. A szerszámfelek elkészítéséhez a legköltséghatékonyabb megoldás hatszög alumínium profilok felhasználásával készített síklapú szerszám, így ez kerül megvalósításra. A szerszám sematikus ábrája az 5. ábrán látható.



5. ábra A végleges présszerszám megfogólapokkal, illesztőcsapok rögzítésével.

### 3. ÖSSZEGZÉS

Bemutattuk a jelenleg fejlesztés alatt álló, újgenerációs kompozit alkatrészt gyártó sor megvalósításának kihívásait. Látható, hogy a végső T-RTM eljárás sikeressége nagyban függ az előkészítő folyamatok milyenségétől, továbbá az egyes folyamatok közti mozgatható pontosságától. Leírtuk a szerintünk fontos paraméterek vizsgálatának módját egy kompakt tesztpadon. A fejlesztés következő fázisa a kísérleti berendezés megépítése, a tesztek lefolytatása és az elvégzett kísérletek kiértékelése lesz. A tesztpad teljes koncepcióját a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra A tesztpad koncepciója

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) NVKP (NVKP\_16-1-2016-0046) és OTKA (K 116070 és K120592) pályázatai támogatták.

A cikk az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-I. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

### 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000

[2] <http://www.acmanet.org/the-industry/benefits-of-composites>, 2017.10.02.

[3] Bersee H.N., Rijswijk van K.: Reactive processing of textile fibre-reinforced thermoplastic composites-An overview. Composites: Part A, 38, 666-681, 2017

[4] Bersee H.N., Beukers A., Lindstedt S., Rijswijk van K., Vlasveld D.P.N.: Reactive processing of anionic polyamide-6 for application in fibre composites: A comparative study with melt processed polyamides and nanocomposites. Polymer Testing, 25, 873-887, 2006

[5] Ben G., Nakamura K., Hirayama N., Nisida H.: Effect of molding condition on impact property of glass fiber reinforced thermoplastics using in-situ polymerizable polyamide 6 as the matrix, 18th International Conference of Composite Materials (ICCM), p6. Jeju Island, Korea, 2011

[6] <http://www.jeccomposites.com/knowledge/international-composites-news/thermoplastic-rtm-process-large-series>, 2017.10.02.

[7] <https://www.engel.at/fr/fr/actualites-presse/actualites-communiqués-de-presse/details/news/detail/News/composites-europe-2017-more-efficiency-in-frp-lightweight-engineering.html>, 2017.10.02.

[8] <http://www.compositesworld.com/blog/post/video-kraussmaffei-t-rtm-demo-at-k-2016>, 2017.10.02.

[9] <http://www.compositesworld.com/news/engel-to-present-pre-series-production-solutions-at-composites-europe>, 2017.10.02.

[10] Schmalz Vacuum Catalog, 2017

[11] Gimatic Plastics Catalog, 2017

[12] FIPA Vacuum technology catalogue, 2017

[13] Chey S., Dillon G., Gutowski T. G., Li H.: Laminate wrinkling scaling laws for ideal composites. Composites Manufacturing, 6, 123-134, 1995

[14] Advani G. S., Bickerton S., Guglielmi E. S., Simacek P.: Investigation of draping and its effects on the mold filling process during manufacturing of a compound curved composite part. Composites: Part A, 28A, 801-816, 1997

# A GÉPTERVEZÉS DIGITALIZÁLÁSA

## DIGITALIZATION IN THE MECHANICAL DESIGN

Dr. Piros Attila, PhD, egyetemi docens, piros.attila@gt3.bme.hu

Dr. Zwierczyk Péter, PhD, adjunktus, z.peter@gt3.bme.hu

### ABSTRACT

Nowadays the digitalization changes our life. Everything becomes digital from the paperless office to the digital manufacturing. This trend changes the mechanical design as well. This paper introduces a totally digital project: the design of a fully automated bicycle rack. The experiences of this project provide good establishment for design of future product produced by future technology.

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban az élet minden területén egyre nagyobb teret nyer a digitális technika, papírmentes irodáktól a digitális gyártásig. Maga a géptervezés egy meglehetősen összetett feladat, ahol számos tudományterület módszereit kell alkalmazni [1]. Ebből kifolyólag a gépészeti tervezés teljes digitalizációját sokáig késleltette az a tény, hogy minden egyes tervezési részfolyamat eltérő megközelítést igényel így ezeket a folyamatoknak a digitalizációját is különböző módon lehet végrehajtani. A következőkben egy tipikusnak nevezhető feladatnak, egy vezértárcsás mechanizmust is tartalmazó automatizált kerékpár tárolónak (1. ábra), a példáján keresztül kerül bemutatásra a géptervezésben előforduló tevékenységek digitalizálása.



1. ábra. A tároló prototípusa

Megbízóként az IT Quality Services Kft. rendelte meg a tervezést BME Gép- és Terméktervezés Tanszékétől. A megbízás egyik lényegi eleme egy olyan zármechanizmus kialakítása volt, amely jelentősen eltér a konkurens megoldásoktól és mechanikai kialakítása miatt lehetővé teszi egy nagymértékben egyszerűsített villamos hajtás alkalmazását (2. ábra). Az elkészült zárkonstrukcióval kapcsolatos szabadalmi kérelem 2017 júliusában került benyújtásra a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatalához.

### 2. ELŐTERVEZÉS

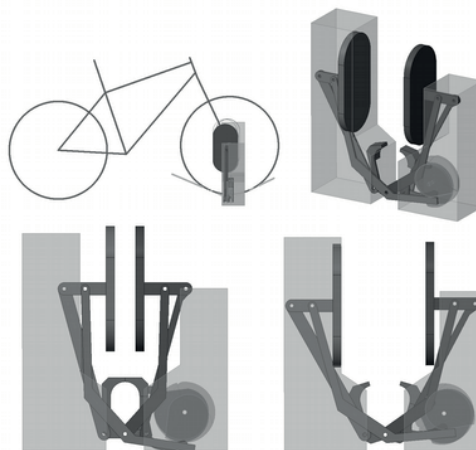
A konstrukció követelményeinek a meghatározásától a prototípus legyártásáig minden folyamat papírmentesen, teljes körű számítógépes támogatás mellett került végrehajtásra [3], a követelményrendszer felállításától az összeállítási dokumentáció elkészítéséig. A projekt első fázisában a zárszerkezet komponenseit és azoknak a működési tartományát kellett meghatározni a tárolt kerékpárok méretei alapján. Az interneten hozzáférhető

gyártói adattáblák, méretezett vázlatok és fényképek alapján készült el a számítógépes előterv (3. ábra).



2. ábra. A zárkonstrukció a kiemelt elektronikával

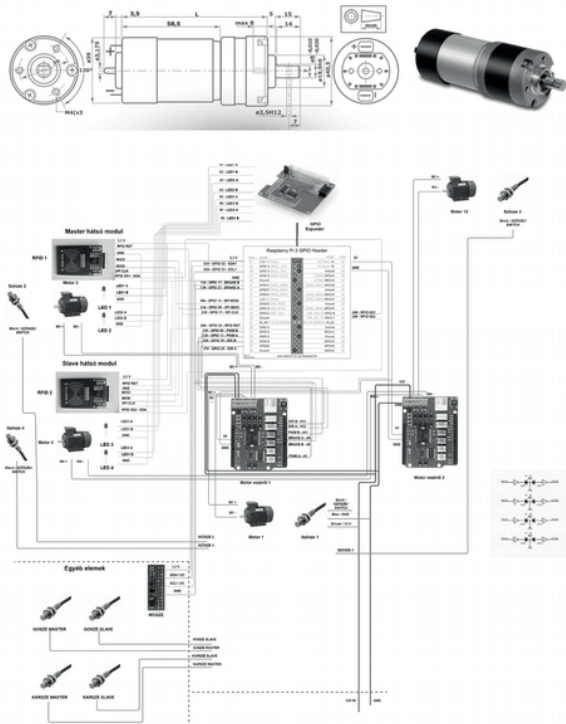
Ez az előterv az alkalmazott CAD rendszerben (PTC Creo 3) egy statikus skeleton modellként készült el. Maga a modell egy átlagos méretű kerékpár egyszerűsített vázát és a kerekeket tartalmazza. A vázlatok háttéréként gyártói katalógusképek szolgáltak, melyek rendkívül megkönnyítették az egyszerűsített geometria megrajzolását, valamint a működési és állítási tartományok meghatározását [2].



3. ábra. A tároló előterve

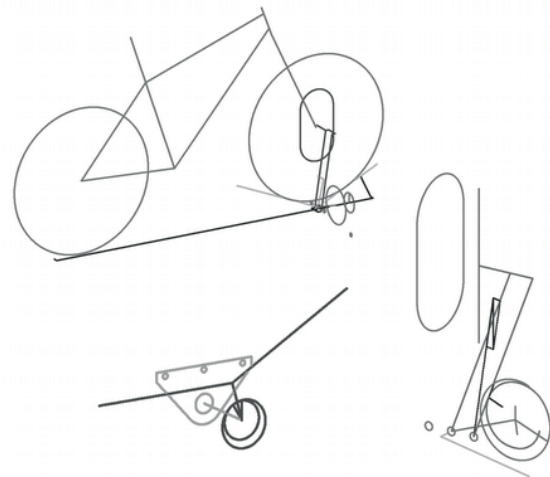
### 3. MECHANIZMUSOK TERVEZÉSE

A megoldandó feladatok közül kiemelkedett az egyedi zármozgató mechanizmus megtervezése. Ennek a mechanizmusnak úgy kellett biztosítani a kerékpár biztonságos rögzítését, hogy a lehetőség szerint minél egyszerűbb és olcsóbb legyen az alkalmazott villamos meghajtás. A követelményjegyzék alapján egyenáramú mikromotorokkal egybeépített bolygóműves hajtások biztosították a mechanizmus mozgását. A pozíciók érzékelését induktív szenzorok beépítésével lehetett megoldani. A speciális, kölcsönzési célokra készült kerékpárokkal (pl.: BUBI) szemben a kereskedelmi forgalomban kapható kerékpárok könnyen szétszerelhetőek, ezért azokat három ponton kell rögzíteni az eltulajdonítás megakadályozása végett, az első és hátsó keréknél, valamint a kerékpár vázájánál. Közös megegyezés alapján a három zárszerkezet mozgását két elektromos motorral kellett megoldani (4. ábra).



4. ábra. Elektronikai kapcsolási séma a 2 motorral, szenzorokkal és vezérlő mikroszámítógéppel

Ez az elv külön nehézséget okozott a kerékpár elején, mert ott az első kereket alakzárrással, míg a kerékpár villáját erőzárás alkalmazásával kellett rögzíteni. A rögzítést egy összetett vezértárcsás mechanizmus segítségével sikerült megoldani. A mechanizmusnak nemcsak a záróelemek pontos mozgását, hanem a szerkezet felfeszítését megakadályozandó önzárását is biztosítani kellett lenni. A rendelkezésre álló hely korlátozottsága miatt egy kompakt és meglehetősen komplikált megoldás született. A zárókarok mozgásának a tervezése iteratív folyamat volt, ahol minden lépésben ellenőrizni kellett a geometria önzárását is. Mindezek tervezésére és ellenőrzésére egy TOP-DOWN elven felépülő számítógépes modell készült, ahol a mechanizmus kinematikájának kialakítása egy mozgó előterv (motion skeleton) segítségével történt (5. ábra).



5. ábra. Mozgó előterv (Motion Skeleton)

A mozgó előterv segítségével elvégezhető volt a mechanizmus kinematikai szimulációja, ahol folyamatos kontroll alatt lehetett tartani a záróelemek mozgástartományait is. Mivel ehhez a szimulációhoz csak a mozgásban részt vevő, azt befolyásoló görbéket kellett felvenni [4], ezért az alapvető mozgatómechanizmust kevesebb mint egy hét alatt sikerült megtervezni. A motion skeleton technológia lehetővé tette a mozgás nyomatékszükségletének a meghatározását is. Ez a számítás is teljes számítógépes támogatással készült el. Az analitikus számítás a MathCAD szoftverben készült (6. ábra). Itt a műszaki mértékegységek támogatása mellett a geometriai méreteket közvetlenül a CAD modellből lehetett átvenni. A mechanizmus különböző pozícióiban gyorsan és hatékonyan lehetett részeredményeket kapni, mert az elemek pozíciója adaptív módon, automatikus frissítés mellett került be a számításba. Az erről a részről készült tervezési dokumentum is MathCAD-ben készült, mivel itt lehetőség van a képletek olvasható formában történő megadására és a magyarázó szöveg formázott beírására.

kar állásszöge (radiánban):

$$\alpha_{ph_G} = \frac{\alpha_{ph} \cdot \pi}{180} = 0.155$$

jobb oldali kar tömege / súlya:

$$S_G = 5.3612574 \text{ kg}$$

$$G_1 = S_G \cdot g = 52.576 \text{ N}$$

normál erő a tömegből:

$$G_N = \sin(\alpha_{ph_G}) \cdot G_1 = 8.12 \text{ N}$$

normál erő a tárcsán a nyomatéki egyensúlyból:

$$T_N = G_N \cdot \frac{K_G}{K_T} = 25.657 \text{ N}$$

súrlódóerő a tárcsán:

$$\nu_T = 0.3$$

$$T_S = T_N \cdot \nu_T = 7.697 \text{ N}$$

nyomaték a súrlódásból (1db tárcsán):

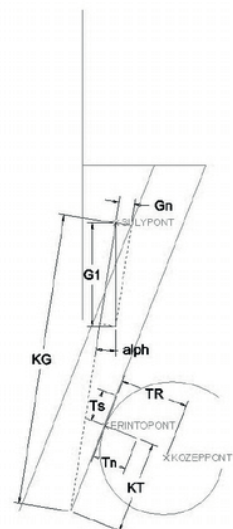
$$M_{S1} = T_S \cdot T_R = 510.103 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

számított nyomaték (2db tárcsán):

$$M_T = M_{S1} \cdot 2 = 1020.205 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

maximális nyomaték a dinamikai szimulációból:

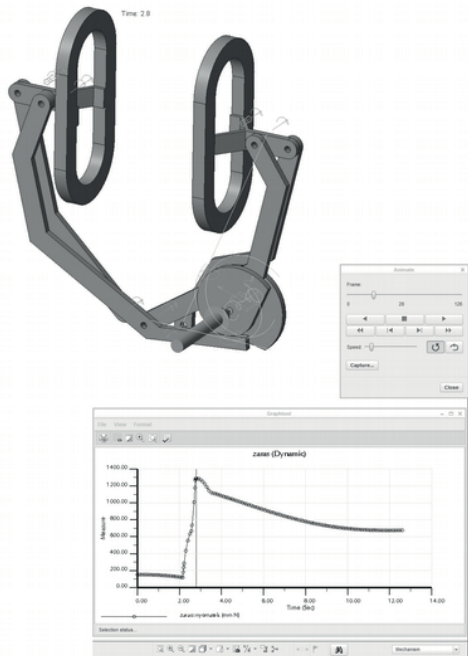
$$M_{max} = 1287 \text{ N}\cdot\text{mm}$$



6. ábra. Digitalizált analitikus számítások

Természetesen az analitikus számítások mellett numerikus szimulációk is készültek a kritikus komponensek mozgásáról (7. ábra). A szimulációkban figyelembe

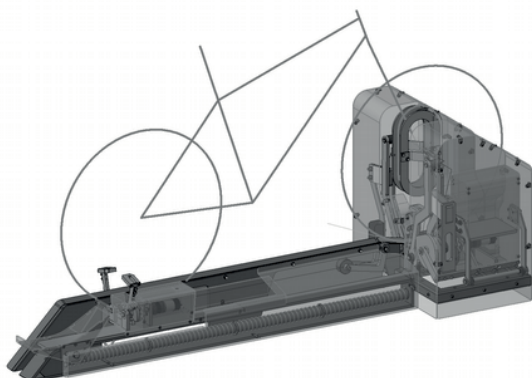
lehetett venni a kapcsolatok között fellépő súrlódási erőket is a mozgás elindulásakor és folyamatos üzemben is. A dinamikai szimuláció eredményei jól igazolták az analitikus számításokat, így nagy biztonsággal lehetett kiválasztani a mozgató motorokat. Utólag visszatekintve az analitikus számítások és dinamikai szimulációk jól visszaadták a megépített szerkezet mozgásviszonyait, hiszen a gyártási pontatlanságok ellenére is elsőre működőképes tárolószerkezetet lehetett összeszerelni.



7. ábra. Számítógépes dinamikai szimuláció

#### 4. RÉSZLETTERVEZÉS

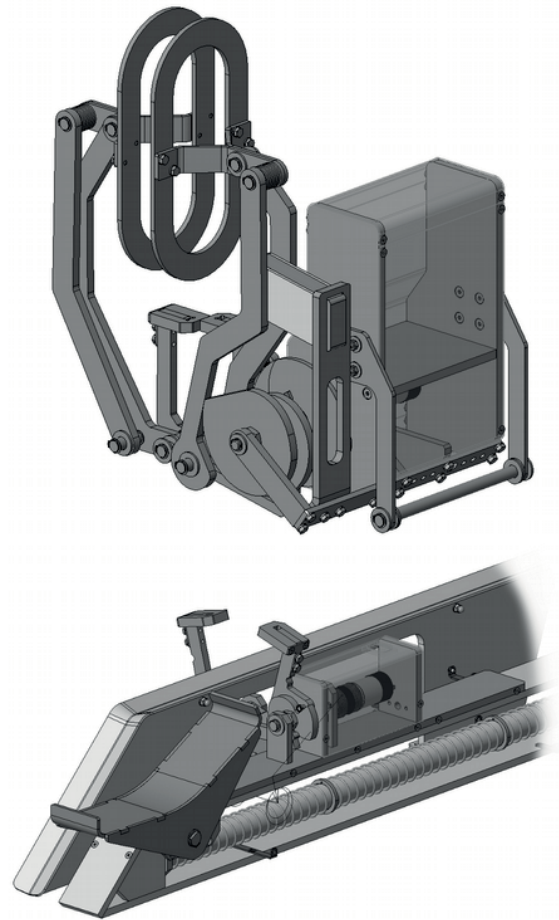
A TOP-DOWN tervezési technológia nagyban segítette a részlettervezés fázisát is. A skeleton modell alapján készültek el a szerkezet különböző részösszeállításai, ahol minden fontosabb konstrukciós és csatlakozó méret az előtervből került származtatásra (8-9. ábra). A részlettervezés során számtalan alkalommal kellett módosítani az egyes gépészeti elemek méretét a beépített elektromos komponensek változása miatt.



8. ábra. A teljes CAD modell

Ezek a módosítások sokszor több elemet is érintettek a mozgató mechanizmus pozicionálásától kezdve a burkolatig. A módosítások minden esetben az előterv szintjéről indultak ki és azután kerültek át a megfelelő részösszeállításokba. A TOP-DOWN elv következetes

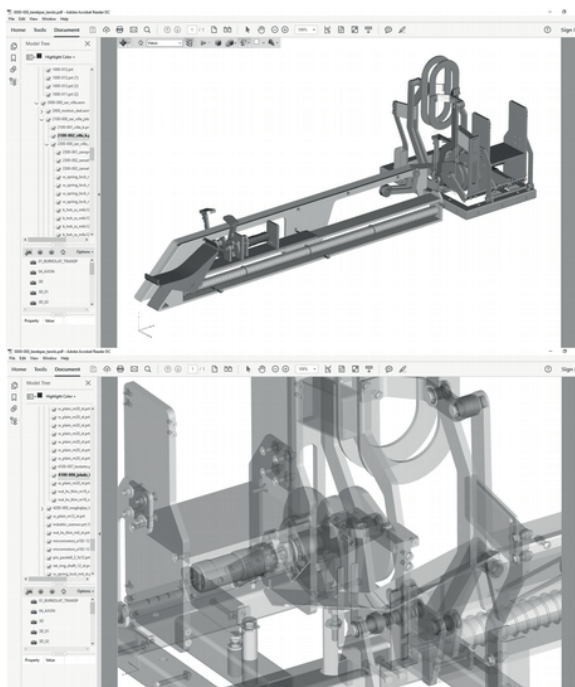
alkalmazása miatt minden változás gyorsan és zökkenőmentesen került végrehajtásra csökkentve a visszaellenőrzésre fordított időt és energiát.



9. ábra. Az első és hátsó mozgató mechanizmus

#### 5. GYÁRTÁSI DOKUMENTÁCIÓ

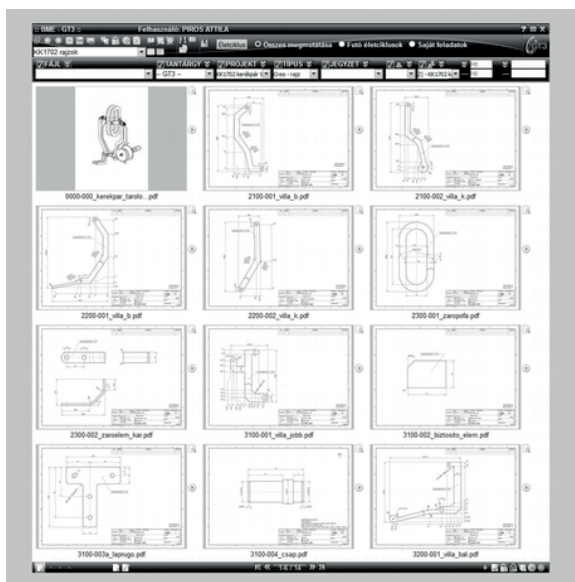
A gyártási fázishoz szükséges dokumentáció is teljesen papírmentes módon, kizárólag digitális alapokon nyugodott. Habár készültek műszaki rajzok, de azok nem kerültek kinyomtatásra, hanem PDF formátumban kerültek a megrendelőhöz. A gyártás folyamán jelentős arányban készültek olyan alkatrészek, melyekhez egyáltalán nem kért rajzot a gyártó, hanem a STEP formátumban átadott geometria alapján munkálták meg azokat. Itt nem bonyolult, szabad formájú felületek marására kell gondolni, hanem jellemzően lézerral kivágott alkatrészek utólagos megmunkálására, egyszerű furatok, menetek készítésére. Hagyományos értelemben vett összeállítási rajz sem készült. Ehelyett a CAD modell exportálás után 3D-s PDF formátumban segítette az összeszerelést (10. ábra). Ezt a fájlt Adobe Reader szoftverrel lehet olvasni, így például az elektromos rendszer szerelését végző szakemberek is hozzáférhettek a részletes geometriához vagy megtekinthették a modell struktúráját bemutató modellfát is. Mindezeket túl PDF formátumban is el lehetett rejtetni komponenseket, meg lehetett változtatni az átlátszóságukat vagy le lehetett mérni a méreteiket.



10. ábra. 3D PDF fájl az összeszereléshez

## 6. ADATOK TÁROLÁSA

A vonatkozó modelleket, rajzokat és egyéb műszaki dokumentumokat egy felhő alapú dokumentum tároló rendszerből lehetett elérni megfelelő felülírás elleni védelemmel és verziókövetéssel. A rendszer ezeken felül támogatta a feltöltött fájlok előzetes, letöltés nélküli megtekintését is (11. ábra). Az automatikusan generált vagy egyedileg feltöltött előnézeti képek megkönnyítették a projekt áttekintését és egyes konkrét dokumentációk kikeresését [5].

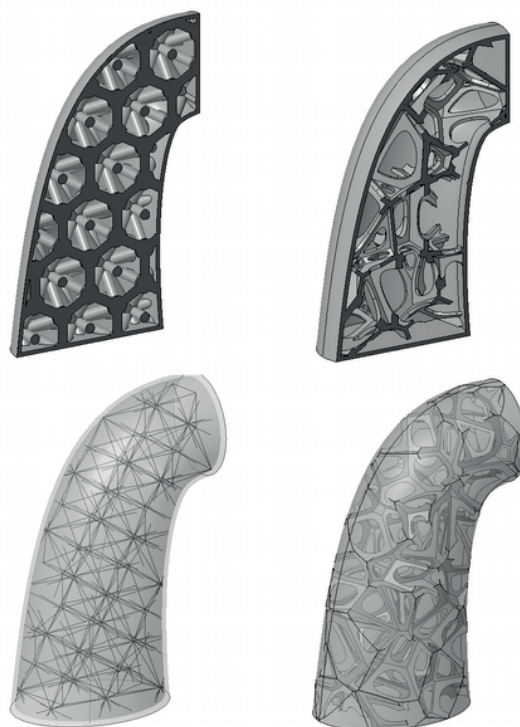


11. ábra. Adattárolás előnézeti képekkel

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

Mindezek alapján belátható, hogy a digitalizáció elterjedése úgy mint máshol, a gépészeti tervezés napi gyakorlatában is elkerülhetetlen. Ha egy kicsit előrettekintünk, akkor a jövő gyártási technológiai élükön az additív gyártással vagy a additív és hagyományos anyageltávolító technológiák keresztezésével, úgymint a 3D-s fémnyomtatással kombinált forgácsoló megmunkálás teljesen átalakítják a

gyártást. Ehhez a trendhez igazodva a gépészeti tervezésnek is igazodni kell. Már most is elérhetőek olyan eljárások a CAD rendszerekben, ahol például belső támasztó rácszatok alkalmazásával irány és terhelésfüggő szilárdsági tulajdonságok alakíthatók ki tetszőleges burkoló geometria esetén (12. ábra).



12. ábra. Belső támasztó szerkezetek kutatása, hagyományos rúdszerkezet és voronoi alapú dobozos támasztás

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönettel tartoznak az IT Quality Services Kft. munkatársainak és a cég vezetőjének, Varga Bálintnak, a projekt során biztosított támogatásukért. Külön köszönettel tartozunk a BME Gép- és Terméktervezés Tanszék munkatársainak, név szerint Szabó Györgynek és Kopasz Istvánnak, akik a tároló dokumentálását és annak összeszerelését sokszor szabadidejük egy részének feláldozásával segítették.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Jami J. Shah, Martti Mäntylä: Parametric and Feature-Based CAD/CAM, John Wiley & Sons, 1995.
- [2] Horváth I., Juhász I.: Számítógéppel segített gépészeti tervezés I. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1996.
- [3] P. Brunet, C. Hoffmann, D. Roller: CAD Tools and Algorithms for Product Design, Springer, 2013.
- [4] J. Rix, S. Haas, J. Teixeira: Virtual Prototyping, Springer, 1995
- [5] Ben Wang: Concurrent Design of Products, Manufacturing Processes and Systems, CRC Press, 1999.

# A 3D SCANNELÉS ÉS PROTOTÍPUSGYÁRTÁS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE CSOMAGOLÓ SZERSZÁMOK Gyártásában - ESETTANULMÁNY

## APPLICATION POSSIBILITIES OF 3D SCANNING AND PROTOTYPING IN THE MANUFACTURING OF PACKAGING TOOLS – CASE STUDY

*Sarka Ferenc\*, egyetemi docens, Tóbis Zsolt\*, mesteroktató*

*\*Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Gép- és Terméktervezési Intézet*

### 1. ABSTRACT

In this paper authors describe the result of an industrial base work. The task of the work was to make new packaging tools for different chocolate hollow figures. The used packaging machine was made in the former East Germany, and new tools are not available now. Two types of packaging tools were made in this work. One type was “polishing riffle”, the other type was lifting/pushing tool. We show the procedure of the making the mentioned tools from design to manufacture.

### 2. BEVEZETÉS, RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ INFORMÁCIÓK

Megkeresés érkezett az Intézetünk felé, hogy régi elhasznált csomagoló szerszámok helyett újakat készítsünk. A csomagológépek, melyekhez a szerszámok készítését a megrendelő kérte, még az egykori NDK-ban készültek. Ehhez a típushoz már nem rendelhető szerszám az eredeti gyártó megszűnése miatt.

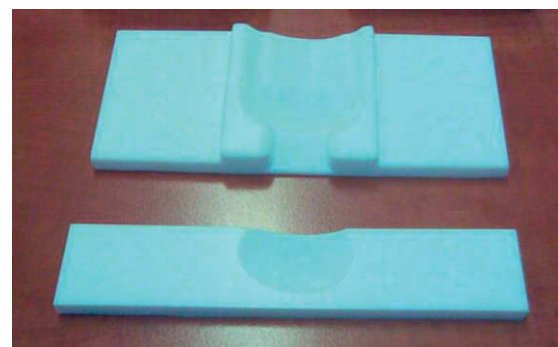


1. ábra. Egy 9 g-os figura gipszmintája

Ennek megfelelően a munkák részét képezte az is, hogy megtaláljuk azt a technológiát, amivel a meglévő gépekhez illeszthető szerszámokat készíthetünk.

A megbízó rendelkezésünkre bocsátotta azoknak az üreges csokoládéfiguráknak a gipszmintáját, melyekhez a szerszámokat készíteni kellett. Egy 9 g-os figura mintája látható az 1. ábrán.

A készítendő szerszámokat két csoportba sorolhatjuk. Az egyik csoport a fényező szerszámok, a másik a feladó/betoló szerszámok. A fényező szerszámokat a csomagolási folyamat végén használják, míg a feladó/betoló szerszámokat (2. ábra.) a csomagolási folyamat elején.



2. ábra. A feladó/betoló szerszámok 17,5 g-os csokoládé tojáshoz

A feladó/betoló szerszámok feladata, hogy a csomagolni kívánt terméket a csomagoló gépbe feladják, illetve a megfelelő pozícióba tolják. A fényezővályúban történik meg a termékek készre csomagolása. A csomagológép a vályúban (3. ábra)

végiggörgetve szorítja rá az alumínium csomagolófóliát a figurára. Az ilyen módon csomagolható figurák mind forgástestek.

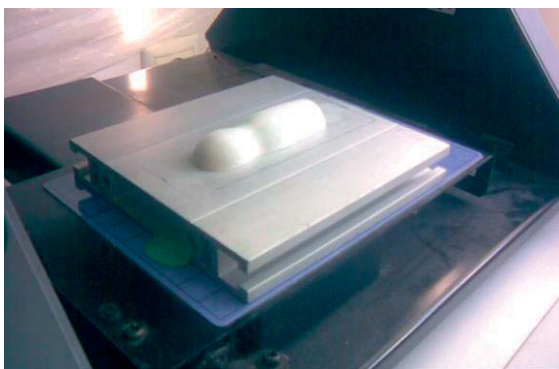


3. ábra. Egy 9g-os figurához készült fényezővályú

A régi elhasználódott csomagoló szerszámokat személyesen is megtekinthettük az üzemben, mely jó kiindulást nyújtott a feladat megoldásához.

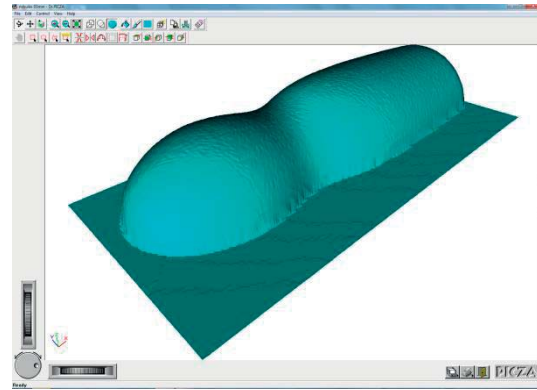
### 3. A MINTÁK SCANNELÉSE

A munkánkat a megrendelőtől kapott gipszminták digitalizálásával kezdtük. A digitalizálást egy Roland PIX4 típusú tapintós scannerrel végeztük (4. ábra).



4. ábra. 9 g-os figura gipsz mintájának scannelése Roland PIX4 scannerrel

A létrehozott felület a scanner vezérlő szoftverében megtekinthető volt (5. ábra). A beolvasás mindhárom irányban 0,3 mm nagyságú felosztással történt.



5. ábra. A scannelt állomány a Picza programban megjelenítve

A digitalizált adatokat a vezérlő program több CAD rendszerek által használt, fájlformátumba is képes exportálni (pl: step, igs, stl). Az stl formátumot választottuk a további munkánkhoz, melyet az rendelkezésünkre álló CAD szoftverrel (Solid Edge ST5) fel tudunk dolgozni. Továbbá a prototípusnyomatók közvetlenül tudnak ebből a formátumból nyomtatni. Kísérlet céljából készítettünk egy mintadarabot a scannelt állomány alapján, mindenféle beavatkozás nélkül, egy Roland MDX 650A típusú prototípus marógéppel. Azért, hogy összehasonlítsuk az eredeti gipszminta és a legyártott forma közötti eltéréseket, ha egyáltalán vannak (6. ábra.).



6. ábra. A Roland MDX650-el gyártott mintadarab (balra) és az eredeti gipszminta (jobbra)

### 4. A SCANNELÉSSEL LÉTREHOZOTT FELÜLET MÉRETPONTOSSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Az eredeti gipszmintát és a mintadarabot összehasonlítottuk. Könnyen mérhető méreteket kiválasztva vizsgáltuk a méretváltozást az eredeti és a gyártott mintadarab között. A könnyen mérhető méretnek a figura hosszát és magasságát választottuk. A következő két ábrán



(7., 8. ábra) láthatók a hosszmerések, melyeket egy digitális műhely tolómérővel végeztünk.

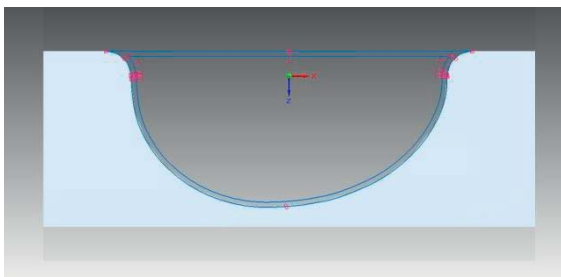


7. ábra. A módosítások nélkül legyártott mintadarab hossza



8. ábra. Az eredeti gipszminta hossza

A két méret között 0,52 mm különbség adódott (többszöri mérés átlagaként). Ez az eltérés az eredeti hossz 0,88%-a. Megmértük mind a gipszminta (9,66 mm), mind a gyártott mintadarab (9,8 mm) magasságát is. Az eltérés 0,14 mm. A magasságbeli eltérést így 1,4%. A két különböző irányban mutatott eltérést a szerszám kontúrjánál érvényesíteni kell. Az alkalmazott eltérést 1%-ban határoztuk meg, mellyel a fényszívóvályú alap kontúrjának méreteit csökkentettük egy eltolás művelettel, így megközelítve a gipszminta eredeti kontúrját (9. ábra). A scannelt állományok méreteltérésre több szakirodalom is felhívja a figyelmet, többek között [2].



9. ábra. A kontúr eltolása

## 5. A CSOMAGOLÓ SZERSZÁMOK TERVEZÉSE, PRÓBA DARABOK GYÁRTÁSA

A méretek ellenőrzése és a szükséges módosítások meghatározása után megkezdhattuk a szerszám tervezését. A tervezés a fényszívóvályú kontúrjának meghatározásával kezdődött. Itt figyelembe kellett venni a vályúba kerülő bélésanyagok vastagságát is. A bélés két rétegből épül föl. A vályúhoz kapcsolódik egy 4 mm vastag gumihab réteg, majd ehhez kapcsolódik egy szálerősítéses műanyag szövet, melynek vastagsága 0,9 mm. A vályú kontúrjánál ezt a 4,9 mm távolságot úgy vettük figyelembe, hogy ennyivel mozdítottuk el a kontúrt, olyan irányba, hogy a szerszámtest keresztmetszete csökkenjen.

Először egy 80 mm hosszúságú próba darabot készítettünk el, gőzölt bükk anyagból. Ez a hosszúság már elegendő, hogy a figurát végig lehessen gördíteni benne, legalább egy teljes körülfordulással.

A következő lépés a szerszámtest belsejébe beragasztani a gumi habot és az arra kerülő szálerősítéses műanyag szövetet.

A két ragasztásnál két-két különböző anyagot kellett egymáshoz ragasztani, fát gumihoz és gumit műanyaghoz. A megbízóval egyeztetve a választásunk a Pattex Palamatex típusú kontaktragasztóra esett. A megfelelő ragasztás eléréséhez az érintkező felületeknek, zsírmentesnek és szilárdnak kell lennie, illetve a felületeket egymáshoz is kell szorítani. A ragasztás erősségét nagyban befolyásolja az összeszorító erő nagysága [1].

A szorítást úgy kell létrehozni, hogy a lehetőleg a vályú teljes területét érje.



10. ábra. A vályútest próbadarab (forma és prés)

Erre a feladatra egy présformát terveztünk. A

présforma méretének meghatározásakor a fényező vályú kész méretéből indultunk ki. A 10-es ábrán látható a prototípus-marógép satujában, az elkészült próbadarab. A bal oldali a vályú teste, melybe a bélések kerülnek, a jobb oldali a présforma.

A ragasztást elvégeztük a próbadarabon, a hozzá készített présforma segítségével. A 11. ábrán látható az összeragasztott, préselt próbadarab.



11. ábra. A próbadarab ragasztása és préselése (17,5g-os csokoládé tojáshoz)

A próbadarabot a megbízó szakemberei megvizsgálták, csomagolásra szánt csokoládé figurával tesztelték, hogy az alumínium fóliát kellően rászorítja-e a létrehozott geometria. A szorítás megfelelőnek bizonyult.

## 6. A KÉSZ CSOMAGOLÓSZERSZÁM ELEMINEK GYÁRTÁSA ÉS A TELJES SZERSZÁM ELKÉSZÍTÉSE

A végleges profil elfogadása után nekiláthattunk a végleges szerszámtest elkészítéséhez. A szerszámtest anyagának olyan anyagot kellett választani, melyet a későbbiekben össze tudunk ragasztani. A ragasztásra azért volt szükség, mert a kész fényezővályú hossza 750 mm, a prototípus marógépben viszont csak 530 mm hosszúságig van lehetőség megmunkálásra a munkatér méretei miatt.

A szerszámtestnek PA6 anyagot választottuk, üvegszál erősítés nélkül. A PA6 anyaghoz olyan ragasztókat kellett keresnünk melyekkel a PA6 anyagot egymáshoz tudjuk ragasztani, illetve a PA6-hoz a bélésanyagot is hozzá tudjuk ragasztani. A ragasztók kiválasztásához igénybe vettük a Heinkel Magyarország Kft. Műszaki szaktanácsadását. A PA6 anyag ragasztásához Loctite 401 típusú pillanatragasztót ajánlották, a bélésanyag ragasztásához pedig a már korábban is használt

Pattex Palmataex ragasztót. A prototípus marógépen előgyártott elemeken utómunkálatokat kellett végezni, hogy pontosan egymáshoz illeszthetők legyenek. A 12. ábra az MDX-650 marógéppel készített előgyártmányokat mutatja.



12. ábra. A PA6 anyagból készített előgyártmányok

Az alkatrészek külső felületét ragasztás előtt előírt méretre és síkra munkáltuk, profilos felükkel egymás felé fordítva (13. ábra). A megmunkálást Wemomill FUS32 típusú, útmérővel ellátott, egytetemes marógépen végeztük.



13. ábra. A fényezővályú elemeinek megmunkálása egytetemes marógépen

A készre munkálás után következhetett a ragasztás. Az alkatrészeket egy síkfelületre (ISEL T-hornyos asztal) fektettük, hogy a vályú profilos felületének illeszkedését biztosítsuk. A ragasztandó felületeket gyógyszerertári alkohollal zsirtalanítottuk, majd a Loctite 401 típusú ragasztóval ragasztottuk össze (14. ábra.).



14. ábra. A fényezővályú alkatrészeinek ragasztása

A ragasztás erősségét kismértékben növeli a felületek összeszorítása. A összeszorítást szintén síklapon végeztük (15. ábra.).



15. ábra. A vályú alkatrészek összeszorítása

A ragasztó előírt száradási idejének letelte után a szorítást oldottuk és a fényezővályú teste elkészült (16. ábra).



16. ábra. Az összeragasztott fényezővályú

A fényezővályúhoz tartozó présformát is elkészítettük. Anyagául gőzölt bükköt választottuk. A prészszerzámnak csak a bélésanyagok beragasztásakor van szerepe. A 17., 18. ábrákon egy gőzölt bükk anyagból készített fényezővályú prototípus és a hozzá tartozó présforma látható. Mindkét szerzszámot alumínium szelvénnel erősítettük meg.



17. ábra. Az elkészült fényezővályú és a présforma felülnézetben



18. ábra. Az elkészült fényezővályú és a présforma alulnézetben. Jól láthatók az alumínium erősítések

## 7. FELADÓ- ÉS BETOLÓ SZERSZÁMOK TERVEZÉSE ÉS GYÁRTÁSA

A feladó és betoló szerzszámok a csokoládé figurák csomagolási folyamatának elején végzik feladatukat. Ezek a szerzszámok közvetlenül érintkeznek a csokoládé figurákkal, ezért anyaguk tekintetében szigorú előírásokat kell betartani. Olyan anyagot kellett választanunk mely megfelel az 1935/2004/EK rendeletnek, mely „az élelmiszerekkel rendeltetésszerűen érintkezésbe kerülő anyagokról és tárgyokról” szól. Továbbá megfelel a szükséges szilárdsági, forgácsolási és tisztíthatósági szempontoknak. A feltételeket megfontolva a PTFE anyagot választottuk a betoló és feladó szerzszámok anyagául.

A szerzszámnak pontosan és szilárdan kell tartania a csokoládé figurát, hogy a betoló

szerszám működése közben ne okozzon sérülést a terméken, illetve, hogy a csomagoló gépbe az előírt pozícióba kerüljön be. A betoláskor a figurának nem szabad elfordulnia csak legfeljebb saját tengelye körül.

A fent leírtakat betartva a feladó és betoló szerszámokra olyan mélyedéseket terveztünk melyek alakja a csokoládé figura alakjával egyezik meg. A mélyedés alakját a digitalizált gipszminta alapján készítettük.

A tervezett alkatrészeket először gőzölt bükk anyagból készítettük el (19-21. ábrák), hogy a gyárban tesztelhetők legyenek a csomagoló gépen.

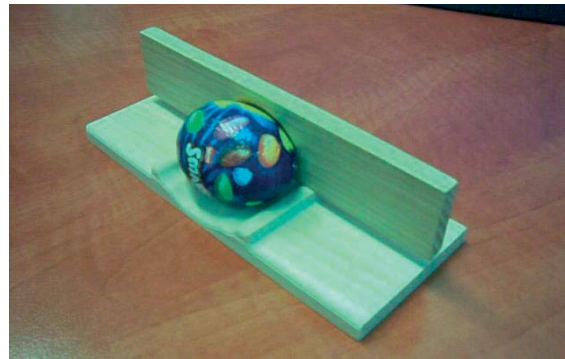


19. ábra. Gőzölt bükk anyagból készített feladó szerszám



20. ábra. Gőzölt bükk anyagból készített betoló szerszám

A próba után a szerszámokon kialakított mélyedések pozícióján kis változtatást kellett tennünk. A végleges geometria kialakulása után a szerszámokat PTFE anyagból is legyártottuk (2. ábra.).



21. ábra. Gőzölt bükk anyagból készített feladó és betoló szerszámok a becsomagolt csokoládétojással együtt

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

A szerszámok tervezése és gyártása során a napjainkban használt mérnöki módszereket alkalmazva (CAD, 3D scannelés, prototípus gyártás) jutottunk eredményre. Ennek fényében fontos, hogy ezen ismereteket át tudjuk adni a mérnökhallgatók számára, felhívva a figyelmet műszaki rajz készítésének és olvasásának fontosságára, mely a mérnöki kommunikáció alapja.

## 9. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1]: <http://www.pattex.hu/hu/termek/kontaktr-agasztok/palmatex.html>

[2]: Mikó B., Czövek I., Horváth Á.: Investigation of Accuracy of 3D Scanning, microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolci Egyetem, 2017. Pp D3-1. 7 p. ISBN: 978-963-358-132-2

## 10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka elvégzésében fontos szerepe volt Potyka Attila műszaki kollégánknak, akinek munkáját és az összeszereléshez nyújtott segítségét ez úton is szeretnénk megköszönni.

"A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatалodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"

# EGYEDI TEHERVISELŐ ÁLLKAPOCS IMPLANTÁTUM OPTIMALIZÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI – 2. RÉSZ

## OPTIMALIZATION POSSIBILITIES OF PATIENT SPECIFIC LOAD-BEARING MANDIBLE IMPLANT – PART 2

*Dr. Simonovics János egyetemi adjunktus, Schmidt Dorottya MSc, BME Gép- és Terméktervezés Tanszék, Dr. Bujtár Péter MD, DMD, MSc bio. eng. Department of Oral and Maxillofacial Surgery, University Hospitals of Leicester*

**ABSTRACT.** Based on our previous study 2 more scenarios were created to examine the most common possible mandible reconstruction cases.

Topological optimization was utilized in the same way like in the past to develop the best case patient specific load-bearing solution as mandible implant. After the geometrical refinements Finite Element Analysis was used to examine the von Mises stress distribution. The achieved final geometry provide less weight and more patient specific shape than the commonly used solutions on the clinical field.

### 1. BEVEZETÉS

Napjaink egyik legnagyobb problémája az egészségügyben zajló, tumoros betegségekkel kapcsolatos harc. Magyarország sajnálatos módon kiemelt helyet foglal el a szájüregi tumorok tekintetében az Európai Unión belül. A könnyű észlelhetősége ellenére a betegek nagy része későn vagy egyáltalán nem jut el az általános szűrővizsgálatokon keresztül a problémát időben kezelni tudó klinikai egységhez. A megfelelő időben történő segítségnyújtás elmaradásával a páciens egészségügyi feltételei és gyógyulási lehetőségei potenciálisan romlanak. A tüdő mellett a szervezet csontrendszere, mint primer szűrő viselkedik csonttátek tekintetében, így a szájüregi tumoroknál nagy az esélye a mandibula, azaz az állkapocs érintettségének.

A csontokat érintő tumoros megbetegedések esetében az orvoslás igen nagy százalékban az érintett csontszakasz eltávolítását jelenti, mely során mind a geometriai, mind a mechanikai folytonosság megszűnik. Ezen kimetszést a szakzsargon rezekálásnak nevezi, melynek rekonstrukciója annak érdekében válik indokolttá, hogy a páciens az eredeti feltételeket megközelítő vagy legalább kielégítő funkciókkal élhessen.

A rekonstrukciós műtétekhez több implantátumos megoldás létezik, így a repertoárba beletartoznak a rekonstrukciós lemezek, hálók, graftolások és a manapság már egyre gyakrabban páciensre szabott egyedi implantátumok is. Ezen implantátumokat a rezekálási végekhez általában csavarokkal rögzítik és biztosítják a rekonstrukció lehető legjobb stabilitását. Nem páciens specifikus implantátum esetén is a lemez helye, meghajlítása, száma vagy akár csak a felhasznált csavarok száma is teljes mértékben páciens függő lehet.

Itt meg kell jegyezni, hogy a technika fejlődésével a páciensre, illetve megfelelő mechanikai viselkedésre készített egyedi implantátumok nagymértékben javíthatnak a csontosodási paramétereken, illetve a páciens önképének megőrzésén. Kiindulási adatként ezért a páciensről orvosi képalkotó által készített felvételeket használják fel.

Az egyedi implantátumok kialakítását nagyban támogatja a korszerű gyártási eljárások közé sorolható 3 dimenziós gyorsprototípus gyártás. A legelterjedtebb megoldások a biokompatibilis fém porokhoz jellemzően a Selective Laser Sintering (SLS, szelektív lézer szinterezés), illetve az

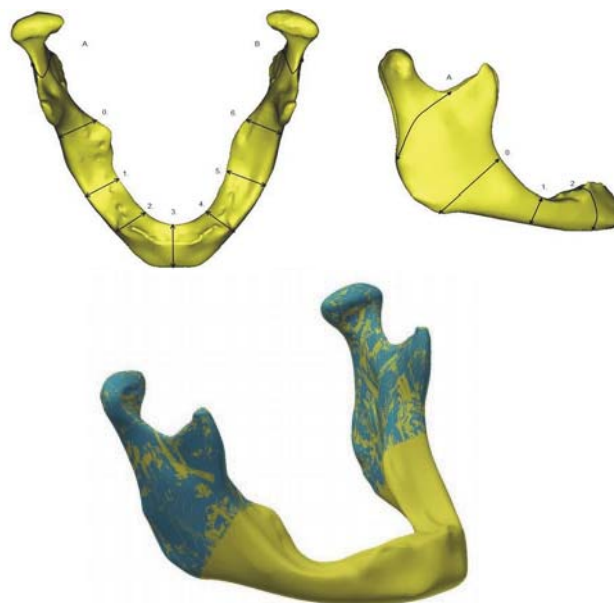
Electron Beam Melting (EBM, elektronsugaras megolvastás).

Az ez által létrejött nagymértékű tervezői szabadság kihasználáshoz az implantátum méretezésekor felhasználható a topológiai optimalítás, mely segítségével jelen kutatásnál a lemez vastagságának csökkentése, az egyedi geometria mellett a tömeg minimalizálása volt a kitűzött cél, az előző cikkben leírtakhoz hasonlóan.

### 2. MÓDSZER

A kutatásban az előző cikkben is már felhasznált idős hölgy fogatlan mandibuláján folytattuk a szükséges modellezési lépéseket, melyet Computer Tomográf által biztosított adatokból CAD-es (Computer Aided Design) környezet segítségével hoztunk létre. A korábbi rezekálási esetet kiegészítve, illetve egy korábbi doktori értekezlet nyomán további, a klinikai gyakorlatban gyakrabban előforduló esetet vizsgáltunk.

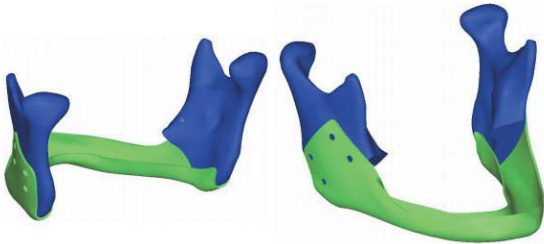
Az 1. ábrán látható az újabb rezekációs eset, mely a lehetséges rezekációs zóna határaihoz igazodik.



*1. ábra. Az újabb megvizsgált klinikai rezekációs szcenárió és a mandibula CAD geometriáján a rezekáció határok*

A kialakított rezekálási esethez a korábbiakhoz hasonlóan kialakítottuk az optimalizálni kívánt implantátum maximális terjedelmi határait, mely, mint burkoló felület öleli körbe a csontot. Az optimalizálás kiindulásához felhasznált implantátum vastagsága 1mm. A piacon fellelhető konkurens termékekhez képest ez szignifikánsan eltér, ugyanis ezek vastagsága 2mm vagy több.

A 2. ábrán látható az optimalizáláshoz felhasznált burkolófelületből kialakított implantátum geometria. Ezen implantátum, mint kiinduló modell került felhasználásra és egyben jelöli a lehetséges design tér határait is.



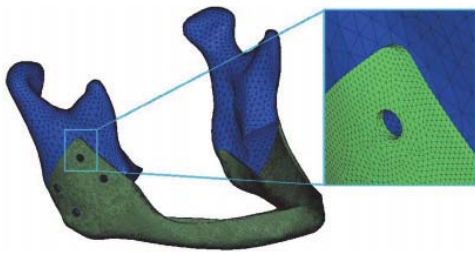
2. ábra. A mandibula CAD geometriájára illesztett implantátum optimalizálás előtti, kiinduló állapota

Az optimalizáláshoz felhasznált kiinduló geometriánál, ahogy az előző vizsgálat esetében is feltétel, hogy az implantátum modelltől összefüggő, kivágásoktól mentes geometriát alkosson. Az ez által biztosított design tér így egyéb megkötések nélkül felhasználható a legmegfelelőbb geometriai alak meghatározására. A korábbi kutatási eljáráshoz hasonlóan az implantátum csavarral való rögzítéséhez orvos konzultáns segítségével megjelölésre kerültek a szükséges furathelyek.

A topológia optimalizálás során tehát az ilyen módon létrehozott implantátum térfogata lesz felosztva véges számú kis térfogatra (elemre), majd ebből a térfogatból kerülnek eltávolításra azok a részek, amik az idom teherbírása szempontjából kisebb jelentőséggel bírnak.

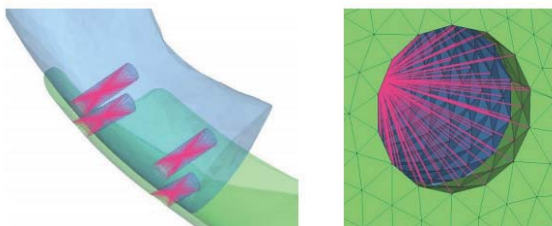
Az optimalizációhoz felhasznált csont modell a valós szerkezet egyszerűsített reprezentációja volt az által, hogy állomány felosztás nélkül, kizárólag a csont corticalis rétegének megfelelő beállítási paramétereket vettünk figyelembe. Ez alapján 14GPa rugalmassági modulusz került beállításra a vizsgálat során. Ezen elhanyagolás az optimalizáció során kapott geometriai alakzatot nem befolyásolja számottevően.

Az optimalizációt követően végeeselemes modellt használtunk az implantátum további vizsgálatára, melyhez tetraéder elemeket alkalmaztunk (3. ábra).



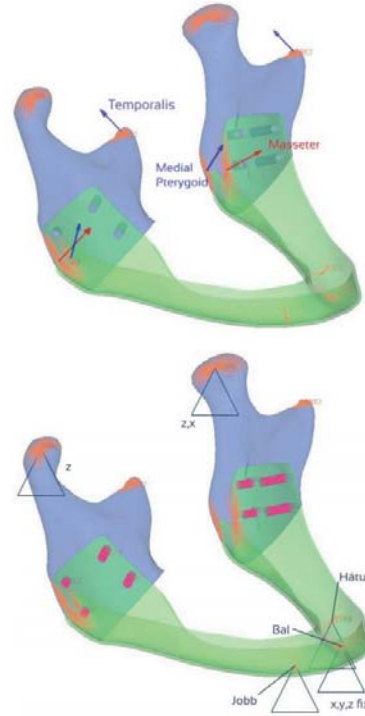
3. ábra. A végeeselemes háló a modellen

Az implantátum és a csont közötti kapcsolatot a furatoknál belső felületén kapcsolódó 1 dimenziós merev elemekkel oldottuk meg az előző kutatáshoz hasonlóan (4. ábra).



4. ábra. A furatoknál kapcsolódó 1D-s rigid elemek

A modell peremfeltételeinek biztosításakor a korábbi kutatásokban is használt értékeket használtuk fel, mely az anatómiai viszonyoknak megfelelően biztosítja a szükséges mozgási feltételeket és erőket. A terhelések tekintetében első feltámaszkodás esetén három pontot vizsgálva (harapás a bal hátsó, a bal elülső, illetve a jobb elülső fogaknál), illetve az irodalomban általánosan használt izomerekből fakadó terhelésekből is szintén három szenárió került megvizsgálásra, megegyezően a korábbi kutatásunkhoz (5. ábra).



5. ábra. A modellen alkalmazott peremfeltételek és terhelések

A felhasznált terheléseket az alábbi táblázatban összegeztük (1. táblázat). [1], [2]

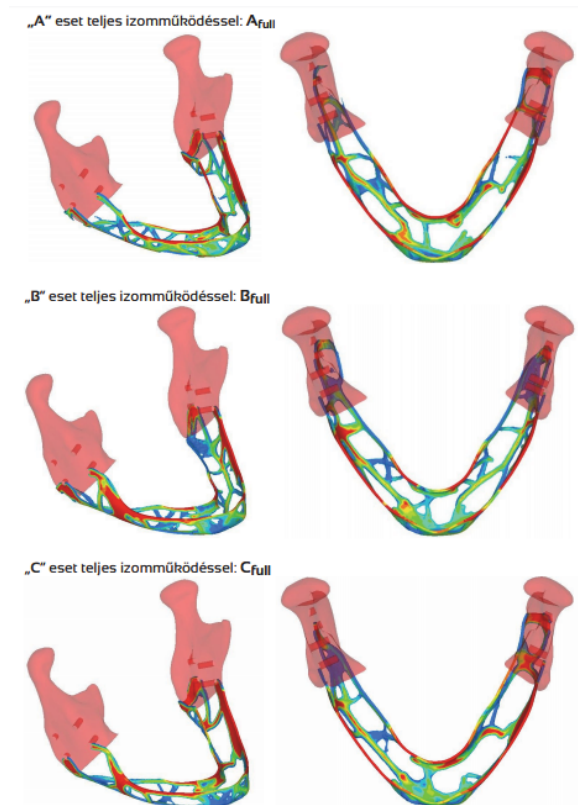
1. táblázat. Terhelések az egyes feltámaszkodási pontokhoz

	Masseter [N]		Medial Pterygoid [N]		
	jobb	bal	jobb	bal	
A	x	-50	50	0	0
	y	-50	-50	-50	-50
	z	200	200	100	100
B	x	-2,5	2,5	22,9	-23
	y	-0,7	-0,7	-6,4	-6,4
	z	59,2	59,2	30,9	30,9
C	x	-21	20,7	140	-140
	y	-35	-35	-77	-77
	z	311	311	238	238

	Temporali [N]		
	jobb	bal	
A	x	0	0
	y	100	100
	z	200	200
B	x	-11	11,1
	y	7,5	7,5
	z	31,4	31,4
C	x	-1	-1
	y	7,5	7,5
	z	6	6

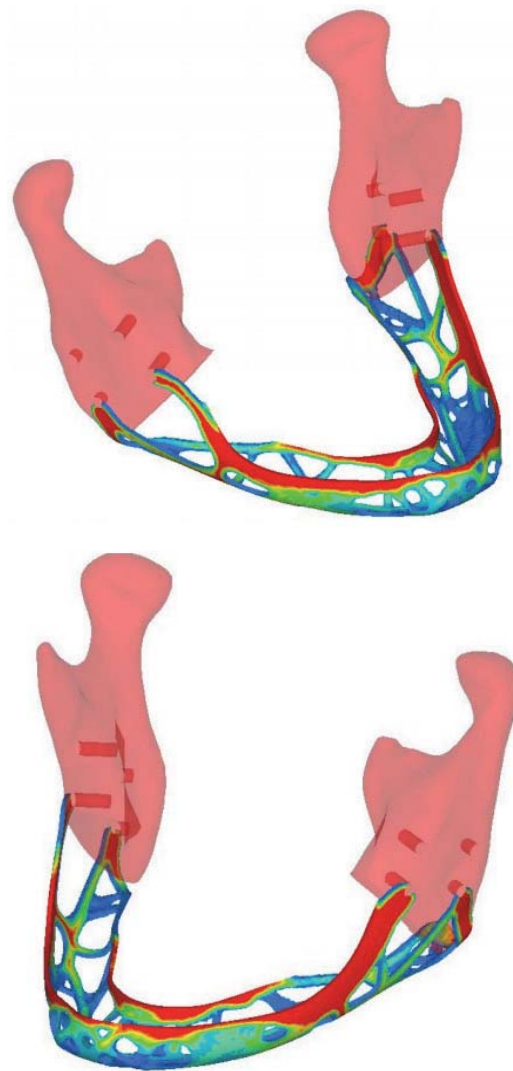
A rezekció határvonalai alapján az előző vizsgálattól eltérően jelen kutatás során kizárólag a teljes (full) izomtapadásnak megfelelő terhelési értékeket vettük figyelembe. Természetesen egy minden izomtapadáshoz köthető parciális például 50%-os terhelési hányad ugyanazon geometriát eredményezné jelen esetben.

Az optimalizálás során a maximális iterációk száma 50-ben lett meghatározva. A vizsgálatokhoz felhasznált térfogathányad 0,24-ben lett meghatározva, mely megegyezett az előző tanulmányban használt értékkel. Az optimalizálás során minden vizsgálatot weighted compliance használatával végeztünk. Az optimalizációs lépések során kialakuló nagy deformációk miatt az implantátum és csont közötti kontakt alkalmazásától eltekintettünk, mely az eredményeket nagy mértékben befolyásolta volna.



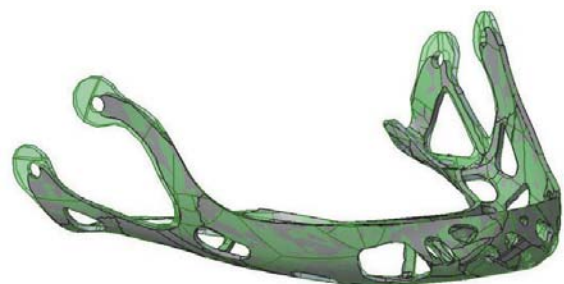
6. ábra. A terhelési esetek alapján kapott implantátum geometriák

A kapott eredményekből jól látszik, hogy az egyes terhelési esetekhez eltérő geometriai alakzat rajzolódik ki. Ugyanakkor megjegyezhető az is, hogy az eredmények egymástól való eltérése nem szignifikáns, így ezekből jól körvonalazható végleges geometria alakítható ki. Ezen geometria az irodalomból vett különböző terhelési szcenáriók esetén is megbízható mechanikai feltételeket biztosít a páciensnek, míg tömege a kialakítható legoptimálisabb eredményt reprezentálja. Ezen véglegesnek tekinthető geometriát a következő ábra szemlélteti (7. ábra).



7. ábra. Az A partial, B partial és C full esetek felhasználásával készült összesített vizsgálat eredménye

A topológiaiailag optimalizált modellt ezt követően STL (STereoLithography) fájl formátum felhasználásával CAD környezetbe ültettük át, ahol ténylegesen tömör geometria került kialakításra. A modellezés során további tapasztalati aspektusok lettek figyelembe véve a geometria kialakításához. A geometriai finomítások után a kapott modell az eredeti modell 49%-a, tömege 13 gramm lett, mely a korábbi kutatásban elért eredményekkel korrelál. A geometriailag optimalizált és finomított modellt a 8. ábra mutatja be.



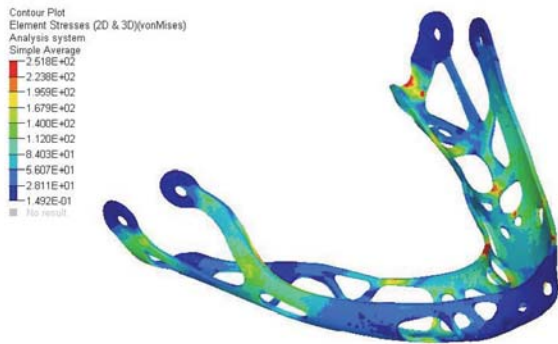
8. ábra. Az optimalizált és CAD-ben finomított geometria

A végleges implantátum geometria kialakítását követően a mandibulával együtt végeelemes modell építéséhez használtuk fel. A modell építését követően végeelemes vizsgálatokat végeztünk. Ezen vizsgálatok esetében már a korábbiakban ismertetett egyszerűsítési megoldásokat használtuk és a corticalis és spongiosa állományokat nem választottuk szét. Rugalmassági modulusnak a kemény állománynak számító corticalis értékeinek megfelelően szintén 14GPa-t állítottunk be. Az implantátum esetében 110GPa-os rugalmassági modulus került beállításra. Minden anyagtulajdonság beállítása esetén 0,3 Poisson tényezőt használtunk fel.

Az eredeti kiinduló modellel megegyezően, alapozva a korábbi optimalizációs lépésekre, meghagytuk az összes csavarrögzítési pontot.

### 3. EREDMÉNYEK

Az eredmények kiértékeléséhez a von Mises feszültségértékek kerületek felhasználásra (9. ábra). A különböző terhelési esetek egymással való összehasonlíthatóságához 150N-os harapási erő értéknél határoztuk meg azt a limitet, melynél a feszültségek leolvasásra kerültek.



9. ábra. Az optimalizálás előtti és utáni geometriai kritikus helye

A 2. táblázat tartalmazza a kritikus feszültségértékeket a már ismertetett 150N-os harapási erőnél.

2. táblázat. Kritikus von Mises feszültség értékek 150N-os harapási erővel

	A_jobb	A_bal	A_hátul	B_jobb	B_bal
Optimált $F_{\text{harapó}}$ [N]	378	379	507	115	100
Szorzó	0,40	0,40	0,30	1,30	1,50
Optimált $\sigma_{\text{max}}$ [MPa]	895	1055	1323	303	252
Optimált skálázott $\sigma_{\text{max}}$ [MPa]	355,2	397,8	391,4	395,2	378,0

	B_hátul	C_jobb	C_bal	C_hátul
Optimált $F_{\text{harapó}}$ [N]	98	563	549	602
Szorzó	1,53	0,27	0,27	0,25
Optimált $\sigma_{\text{max}}$ [MPa]	256	1467	1098	1589
Optimált skálázott $\sigma_{\text{max}}$ [MPa]	391,8	390,9	300,0	395,9

A 2. táblázatban a skálázott feszültség értékekhez tartozó értékek további alakoptimalizációs eljárásokkal nagy mértékben javíthatóak mindaddig, míg a lokális feszültség gyűjtő helyek el nem tűnnek. A tanulmány további része, hogy ezen eshetőségeket vizsgáljuk a közeljövőben a korábbi vizsgálatainkhoz hasonlóan.

A kialakított öblös geometria alkalmas arra, hogy a műtét során a páciensből származó csontgraft beépíthető legyen a rekonstrukcióba, ezáltal is gyorsítva az összecsontosodás és gyógyulási időket. Ezen lehetséges graftok terhelés szempontjából kedvezően pozícionálhatóak.

### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Ahogy a korábbi vizsgálatainkban is már jeleztük a 3 dimenziós gyors prototípus gyártási eljárások, melyekhez biokompatibilis fémpor használható, nagymértékben új alternatívákat nyújtanak a mandibula tumoros rezekáláshoz köthető rekonstrukciós megoldások esetében. Az implantátum topológiai optimalizáció bizonyítja, hogy korszerű memóriai eszközök felhasználásával a beteg életszínvonalát jelentősen javító megoldások érhetőek el. A kialakított új lehetséges implantátum, mely tömeggyártás nélkül egyedileg gyártható, páciens specifikus, így a beteg önképét a lehetőségekhez mérten a lehető legjobban megtartja, továbbá kialakításának köszönhető a lehető legtöbb terhelési szcenárió figyelembe vételével mechanikailag optimális geometriájú.

### 5. IRODALOM

- [1] Dr. Simonovics János: Teherviselő Állcsont Rekonstrukció Végeelemes Modellezése. Doktori értekezés. 2014
- [2] Dr. Simonovics János, Orosz Péter, Dr. Bujtár Péter: Egyedi teherviselő állkapocs implantátum optimalizálásának lehetőségei. GÉP 67:(7-8) pp. 85-88. (2016). Géptervezők és Termékfejlesztők XXXII. Szemináriuma. Miskolc, Magyarország: 2016.11.10 - 2016.11.11.



# MIKROKAPCSOLÓK GYORSÍTOTT ÉLETTARTAM VIZSGÁLATA

## THE ACCELERATED LIFE TESTING EXAMINATION OF MICRO SWITCHES

*Sipkás Vivien, PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet  
Vadászné Dr. Bognár Gabriella, DSc, Intézetvezető, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gép- és  
Terméktervezési Intézet*

### ABSTRACT

The aim of this paper is to introduce the Accelerated Life Testing method (ALT) for the testing of micro switches. The analysis attempts to take many effecting factors into account, to provide statistical assurance of the reliability and to give statistically reliable lifetime data in brief time [1]. The Weibull distribution is applied for the investigation of the failure rate in the product's 'bathtub' lifetime curve.

### 1. BEVEZETÉS

Az élettartam elemzések magukba foglalják a technológiai vizsgálatokat, az anyag- és kopásvizsgálatok különböző területeit, mivel a vizsgálat végkimenetelére csak a tényleges élettartam végén kaphatunk választ, egy adott termék folyamatos nyomon követésével. Ugyanakkor valamely elv szerint összeállított tesztelést is végezhetünk pl. nagyobb terheléssel, egy módszeresen kialakított tesztelő környezet kialakításával, azaz gyorsított élettartam tesztekkel. A gyorsított élettartam vizsgálatok előnye az, hogy a statisztikailag is megbízható élettartam adatokat viszonylag rövid tesztelési idő alatt lehet meghatározni. Az említett vizsgálati módszer közös jellegzetessége, hogy valamely élettartamot meghatározó tényezőt fokozott mértékben vizsgáljuk, mint például megemelt igénybevételi gyakoriság, sebesség változás, terhelési szintemelkedés és csökkenés és környezeti hatások [2].

A gyorsított élettartam vizsgálatok (Accelerated Life Testing) során a Waloddi Weibull által 1951-ben bevezetett ún. *Weibull-eloszlást* alkalmazzuk. Ez egy valószínűségszámítási elméleten alapuló elemzés, melyben folytonos valószínűségszámítási eloszlást vizsgálunk. Ezt a módszert számos területen alkalmazzák, többek között a hibaanalízisben és megbízhatósági számításoknál.

Az általunk vizsgálandó mikrokapcsolók meghibásodásainak analízise során a teszt sorozatok eredményeinek elemzésében ezen eloszlás alkalmazásával kívánjuk meghatározni a különböző tönkremeneteli és meghibásodási folyamatok hatását a mikrokapcsolók élettartamára vonatkozóan.

### 2. A MIKROKAPCSOLÓK GYAKORIBB MEGHIBÁSODÁSÁNAK ESETEI

A mikrokapcsolók a villamos áramkört üzem közben nyitó valamint záró, érintkezős készülékelemek. Használat során a kapcsolóknak nagyszámú megszakítási-zárási ciklust kell végezniük, ezért élettartamukat elsősorban az anyagvándorlás, érintkezők kopása befolyásolja és határozza meg. Az utóbbi években a kapcsolók nagymértékű miniatürizáláson mentek át. Megbízhatóságuk nagymértékben megnövekedett, igazodva az aktív és passzív elemek hosszú élettartamához. Egy kapcsolónak manapság  $10^4 \dots 10^6$  számú hibamentes kapcsolást kell teljesíteni.

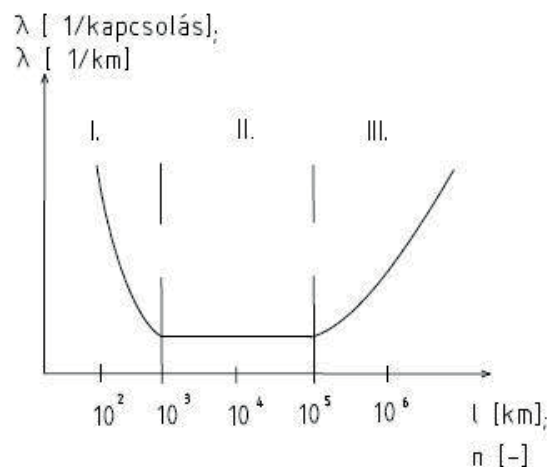
Az áramkör zárása és megszakítása közben ív jöhet létre, így ez az érintkezők méretezését, alkalmazhatóságát és élettartamát befolyásolja [4]. A mikrokapcsolóknak számos meghibásodási esete van, ezek közül csak néhányat szeretnénk megemlíteni. A hálózatról működtetett kerti gépek esetében a szabvány szerint egy mikrokapcsolónak  $50 \cdot 10^3$  kapcsolást, míg akkumulátoros gépek esetén  $6 \cdot 10^3$  kapcsolási ciklust kell hibamentesen kibírnia. A mikrokapcsolók egyik leggyakoribb problémája a magas hőmérsékletből adódó deformáció. Ennek több oka is lehet, egyrészt túlterhelésből adódó, másrészt a kapcsolók megengedettnél magasabb számú kapcsolgatásából bekövetkező túlmelegedés. Az áramkör zárása és megszakítása közben ív jön létre, ennek következménye hőképződés, anyagvándorlás és az átmeneti ellenállás

megnövekedése, így a kapcsolóval érintkező alkatrészek átmelegedhetnek, valamint a kapcsolóban lévő előfeszített alkatrészek túlmelegedés következtében kilágyulhatnak. További meghibásodási probléma, amikor a kapcsolón az előírtnál nagyobb áram folyik, illetve zárlat esetén a konstrukció szét is éghet, továbbá a kapcsolóban lévő laprugó deformálódhat, elveszítheti rugalmasságát ezzel eredeti funkciója megszűnik, ezért a gépet nem lehet ki- vagy bekapcsolni. Előfordulhat az érintkezők között kialakuló sztatikus ívkisülés által okozott anyagvesztés is. A mechanikus igénybevételeknek és a villamos ív következtében egy bizonyos kapcsolási szám felett az érintkező az összehegedés következtében is meghibásodhat.

Másik jellemző meghibásodási probléma a mikrokapcsoló kapcsoló gombjának a kopása, amely adódhat rossz konstrukciós kialakításból, a nem megfelelő anyagválasztásból, gyártási hibákból, de a működtetés közbeni oldalirányú nyomóterhelésből, és a magas kapcsolási számtól is. Mindezen hiba okok közös következményeképpen az alkatrész megkophat és eltörhet (lásd 1. ábra).

### 3. A FÜRDŐKÁD-GÖRBE

A meghibásodás gyakoriságát az idő paraméter függvényében ábrázoló jelleggörbét jellegzetes alakja miatt „fürdőkád-jelleggörbének” nevezik. Ezen görbe alakja több információt tartalmaz. Három jellegzetes, egymást követő tartománya van: I. a korai meghibásodások, II. a véletlen meghibásodások, illetve III. az elhasználódásból adódó meghibásodások tartománya. A biológia területén is hasonló jellegzetességeket lehet megfigyelni: a csecsemőkorai halandóság, a felnőttek normális halálózási gyakorisága balesetek és fertőzések következtében, valamint az időskori elhalalozás. A fürdőkád görbét szemlélteti az 1. ábra, mely a gépkocsi és a jelfogó mágneskapcsoló meghibásodási gyakoriságát mutatja a jellemző befolyásoló tényezők függvényében. A gépkocsi esetén ez a megtett km, a mágneskapcsolók esetén pedig a kapcsolások száma [3].



1. ábra A fürdőkád-görbe mágneskapcsolók meghibásodása a kapcsolási szám függvényében és gépkocsi meghibásodása esetén a megtett km függvényében.

### 4. A WEIBULL-ELOSZLÁS

A svéd Waloddi Weibull (1887-1979) az 1940-es években az anyagfáradással kapcsolatos kérdésekkel összefüggésben az időfüggő meghibásodási gyakoriságot egy speciális hatványfüggvénnyel közelítette, mellyel olyan eloszlást adott meg, amely teljes körűen használható az élettartam vizsgálatával kapcsolatban. Az exponenciális eloszlás a Weibull-eloszlásnak egy speciális esete, mellyel a meghibásodások korai szakasza jellemezhető [6].

A Weibull-eloszlás általános, háromparaméteres alakjával az eloszlásfüggvényt a következőképpen írhatjuk fel:

$$F(t) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\frac{(t - \gamma)^\beta}{\alpha}\right], & \text{ha } t \geq \gamma, \\ 0, & \text{ha } t < \gamma. \end{cases} \quad (1)$$

Az  $F(t)$  függvény megadja a  $t$  tényleges működési idő alatti meghibásodási valószínűséget, azaz a selejtarányt. Az (1) képletben  $t$  a statisztikus változó (az idő órákban vagy a működtetések száma),

$\alpha > 0$  a skalárparaméter,

$\beta > 0$  az alakparaméter,

$\gamma \geq 0$  a helyparaméter [5].

Vezessük be az  $\eta = \alpha^{1/\beta}$  helyettesítést az (1) kifejezésbe, ahol  $\eta$  a mértékparaméter, vagy karakterisztikus élettartam. Így az előzőekben felírt eloszlásfüggvény alakja:

$$F(t) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right], & \text{ha } t \geq \gamma, \\ 0, & \text{ha } t < \gamma. \end{cases} \quad (1a)$$

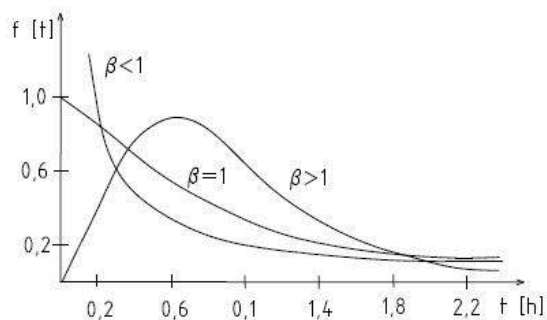
A  $\gamma$  helyparaméter a gyakorlati alkalmazásoknak csak kis részében egyenlő 0-val, a mintavételi terveket mégis a  $\gamma = 0$  esetre adják meg. A  $\beta$  alakparaméter értéke a sűrűségfüggvény alakját határozza meg. A Weibull-eloszlás sűrűségfüggvénye  $\gamma = 0$  esetben az (1a) képletből differenciálással határozható meg (lásd 2. ábra).

$$f(t) = F'(t) = \begin{cases} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right], & \text{ha } t \geq 0, \\ 0, & \text{ha } t < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Ha  $\beta < 1$ , akkor az  $f(t)$  monoton csökkenő függvény, ez a korai meghibásodások szakaszát jelöli.

Ha  $\beta = 1$ , akkor az exponenciális eloszlást kapjuk, ez a véletlen meghibásodások szakasza.

Ha  $\beta > 1$ , akkor a sűrűségfüggvénynek maximum helye van, ez az elhasználódással összefüggő meghibásodások szakaszára jellemző.



2. ábra A Weibull-eloszlás sűrűségfüggvénye

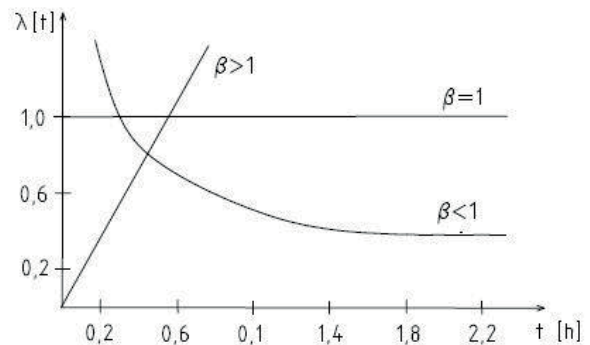
A Weibull-eloszlás esetében a meghibásodási ráta, vagy meghibásodási gyakoriság az idő függvényében  $\gamma = 0$  esetén a következő:

$$\lambda = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \begin{cases} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}, & \text{ha } t \geq 0 \\ 0, & \text{ha } t < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Megjegyezzük, hogy a Weibull-eloszlás esetében a várható tényleges működés  $\gamma = 0$  értékhez tartozik. Ha  $\beta < 1$ , akkor  $\lambda(t)$  monoton csökkenő, ha  $\beta = 1$ , akkor  $\lambda(t) = \text{állandó}$ , ez az exponenciális eloszlás esete; azonban ha  $\beta > 1$ , akkor  $\lambda(t)$  monoton növekvő függvény (lásd a 3. ábra). A Weibull-

eloszlásnál a várható tényleges működés  $\gamma = 0$  értékre a következőképpen írható fel:

$$\mu = E(\tau) = \int_0^\infty t f(t) dt = \int_0^\infty t \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] dt = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = \alpha^{\frac{1}{2}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right). \quad (4)$$



3. ábra Weibull-eloszlás esetén a meghibásodási ráta függvénye  $\gamma = 0$  és  $\eta = 1$  esetén

A diagram alapján írható:

#### 4.1. Korai meghibásodások (early failures)

A korai meghibásodások szakaszában a meghatározó meghibásodási gyakoriság az idővel csökken ( $\beta < 1$ ). A műszaki termékek esetében az volna az ideális, ha a korai meghibásodások szakaszának befejezése időben egybeesne a gyártóüzemi vizsgálatok befejezésével.

#### 4.2. Véletlen meghibásodások (random failures)

A véletlen meghibásodások szakaszában a meghibásodási gyakoriság az időtől független (állandó). A Weibull- kitevő egységnyi értékű ( $\beta = 1$ ).

#### 4.3. Elhasználódási meghibásodások (wearout failures)

A görbének ebben a szakaszában a meghibásodási gyakoriság az idővel növekszik. Ezt az időtartományt az elhasználódási jelenségek következtében gyakoribbá váló meghibásodások jellemzik, ekkor a Weibull-kitevő ( $\beta > 1$ ). Mivel a meghibásodások ebben a szakaszban egyre gyakoribbá válnak, ebben az időszakban az elhasználódásnak kitett alkatrészeket fel kell újítani [3].

## 5. A MEGHIBÁSODÁSI GYAKORISÁGOK MEGHATÁROZÁSA

Az élettartam meghatározása szempontjából az egyik legfontosabb paraméter a  $\lambda$  meghibásodási gyakoriság. Ennek reciproka az  $m$  átlagos élettartam a véletlen meghibásodások időszakában. A Weibull-eloszlás  $\eta$  karakterisztikus élettartama 1 és 2,5 közötti  $\beta$  értékek esetén közelítőleg az  $m$  értékkel egyezik meg. Minden alkatrésze jellemző egy  $\lambda$  érték, amely az alkatrésze vonatkozó meghibásodási mechanizmusból is adódhat. A  $\lambda$  értéket az alábbi egyenletet felhasználva lehet meghatározni [3]:

$$\lambda \approx \frac{c}{N \Delta t} \quad (5)$$

ahol,  $c$  a meghibásodáshoz vezető hibák száma,  $\Delta t$  a vizsgálati idő,  $N$  a próba darabszáma. A meghibásodásként csak névleges igénybevételnél bekövetkező meghibásodásokat szabad figyelembe venni, az elektromos, mechanikus vagy vegyi jellegű fokozott igénybevételekből származó meghibásodásokat nem. A készülékekben használt elektronikus alkatrészek  $\lambda$  értékeinek pontos meghatározásában mind a gyártók, mind pedig a felhasználók egyformán érdekeltek. A  $\lambda$  értékek több nagyságrendre kiterjedő, nagy szórásának nemcsak a statisztikus meghatározási módszer az oka, hanem elsősorban az is, hogy egy adott meghibásodási gyakoriság értékét nagyon sok tényező módosíthatja. Ezek a tényezők lehetnek gyártót befolyásoló tényezők és a felhasznált befolyásoló tényezők egyaránt, többek között üzemi hőmérséklet, mechanikus-dinamikus igénybevétel, anyagválasztás, optimális gyártás, a névlegesnél kisebb vagy nagyobb igénybevétel, valamint helytelen alkalmazás. Ennek alapján a kedvezőtlen gyakoriság oka nemcsak a gyártó cég hibájából adódhat, hanem a felhasználóéból is [3].

## 6. GYORSÍTOTT VIZSGÁLATOK

A meghibásodási gyakoriság meghatározásához egy adott alkatrészcsoportot névleges terhelésen, határadatokkal kell terhelni és szükséges kivárni a meghibásodásokat. Az ilyen vizsgálati követelmények a gyártás ellenőrzésére alkalmatlanok. Ezért az igénybevételek növelésével a vizsgálati idő rövidítésére törekszenek. Ezzel kapcsolatban a következő kérdések merülnek fel:

- Milyen gyorsítási módszerek valósíthatók meg?
- Az alkatrész milyen megnövelt igénybevétele engedhető meg?[3]

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az irodalomkutatás és Weibull-eloszlás matematikai modelljének megismerését követően a kutatás következő állomása a vizsgálandó mikrokapcsolók tesztelésére alkalmas munkapad megtervezése és összeállítása, ezt követően pedig mérési paraméterek meghatározása. Továbbiakban pedig a tesztelések elvégzése, kiértékelése és az adatok összegyűjtése a további célunk; ezek elvégzését követően a numerikus elemzések a gyorsított élettartam meghatározáshoz.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALOM

- [1] Sarath Jayatilleka, Geoffrey Okogbaa: Accelerated Life Testing, 2014 Workshop on Accelerated Stress Testing and Reliability Conference, Saint Paul, Minnesota 55101, Egyesült Államok, pp 1-21 <http://www.asqrd.org/wp-content/uploads/2014/09/Accelerated-Life-Test-Tool-for-Speedier-Product-Development.pdf>
- [2] Gregász Tibor: Némfemes szerkezeti anyagok élettartam-problémáinak minőségügyi megközelítése, NYME-Sopron, PhD értekezés, 2009.
- [3] Eugen Schaefer: *Megbízhatóság az elektronikában*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983., ISBN 963 10 49434
- [4] Dr. Mojzes Imre: *Mikroelektronika és technológia*, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2005., ISBN 963 420 8479,
- [5] Balogh Albert, Dr. Dukáti Ferenc: Megbízhatósági vizsgálatok Weibull-eloszláson alapuló mintavételi eljárásai és tervei, *Híradástechnika* XXX. Évf. 1. sz. pp 1-8.
- [6] Balogh Albert, Dukáti Ferenc, Sallay László: *Minőség-ellenőrzés és megbízhatóság*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980, ISBN 0-262-04219-3

# BIZTONSÁGGAL KAPCSOLATOS MECHATRONIKAI MÉRNÖK KOMPETENCIÁK FEJLESZTÉSE

## IMPROVEMENT OF SAFETY-RELATED MECHATRONICS ENGINEERING COMPETENCIES

*Dr. Szabó Gyula*

*Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépészeti és  
Biztonságtudományi Intézet*

### ABSTRACT

Az idei tanév az európai képzési rendszerek harmonizációjának jelentős állomása, amikor a hazai felsőoktatásban is áttérünk a kompetencia alapú képzésekre. Ebben a cikkben azt mutatjuk be, hogy az EKKR-ben hogyan valósítható meg egy konkrét tárgy e-learning oktatása, milyen előnyökkel szolgál az új rendszer és melyek maradtak a nyitott kérdések.

### 1. BEVEZETŐ

Az 2017/18-as tanév a hazai felsőoktatás számára a kompetencia-alapú képzés bevezetésének éve, amikor a meglévő képzéseket újraértelmezve, tantárgyakat teremtve, megszüntetve vagy átalakítva, de mindenképpen az eddigiekhez képest máshogy kezdtünk az oktatáshoz.

Az Óbudai Egyetem egyik stratégiai célja az e-learning oktatás szerepének növelése a képzésekben. Annak ellenére, hogy jelentős hagyományokkal rendelkezünk a gép vagy munkahely biztonságával, munkahely-kialakítással és egészségmegőrzéssel kapcsolatos képzések terén, sőt ezekre már e-learning tananyagot is fejlesztettünk és alkalmazunk, a kompetenciák módszeres beépítése a képzésbe jelentős kihívást jelentett.

### 2. ELŐZMÉNYEK

Az oktatás és képezések egységes értelmezése, így az európai szabad munkaerőmozgás egyik feltétele megteremtésének fontos állomása volt az egész életen át tartó tanulás Európai Képesítési Keretrendszerének (EKKR) létrehozása [1]. A hazai bevezetésére munkacsoport jött létre [2], és kialakult a Magyar képesítési keretrendszer (MKKR) [3].

A keretrendszerben használt fogalmakat definíciójukat, és az alapfokozatnak megfelelő 6. képzési szinthez tartozó EKKR értelmezésüket és a magyar műszaki képzési

területre vonatkozó példákat [4] az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A folyamat következő szakaszában a Magyar Rektori Konferencia játszott meghatározó szerepet, és végül 2016-ban bevezetésre kerültek az új az alap- és mesterképzések képzési és kimeneti követelmények [5].

A felsőoktatási intézmények a képzések átdolgozását még a KKK-k véglegesítése előtt megkezdték, így az 2017/18-as tanév már a MKKR-nek megfelelően kezdődhetett.

Karunkon a mechatronikai mérnök alapképzés tantervének kidolgozásakor egy önálló Munkavédelem, biztonság-technika című tárgy oktatása mellett döntöttünk, távoktatási formában, heti két kontakt órának és otthoni munkának megfelelő kb. 36 óra ráfordítással.

### 3. KOMPETENCIÁK

Mivel az egyetemi képzés elsősorban a tudáskompetenciák mentén szerveződik, szükségszerűen a szaktárgyknak tudásteremtés mellett attitűd és képességfejlesztő szerepet is be kell tölteniük. Esetünkben az e-learning forma önmagában is a digitális írástudás fejlesztését szolgálja. [6] A tárgy képzési és kimeneti követelményei közt azonosíthatók a munkahelyi és termék (gép) biztonsághoz kötődő tudás, attitűd, képesség és anatómia-felelősség elemek, például: [5]:

- **tudás:** ismeri a szakterületéhez kapcsolódó (biztonsági, egészségvédelmi, környezetvédelmi, SHE), valamint a minőségbiztosítási és ellenőrzési (QA/QC) követelmény-rendszereket;
- **képesség:** megérti és használja szakterületének jellemző on-line és nyomtatott szakirodalmát magyar és idegen nyelven, e tudás birtokában folyamatosan megújul.
- **attitűd:** törekszik a szakterületén alkalmazott legjobb gyakorlatok, új

1. táblázat. Az EKKR fogalmai, definíciók, a 6. képzési szinthez tartozó EKKR értelmezésüket és a magyar műszaki képzési területre vonatkozó biztonság specifikus kimeneti jellemző példák

fogalmak	definíció	6. (alapfokozat) szinthez tartozó tudásszint	A műszaki tudományi képzési terület tanulási eredmény alapú, szintleíró biztonság-specifikus kimeneti jellemzői
tudás	az információk tanulással történő feldolgozásának eredménye. A tudás egy munkaterülethez vagy tanulmányi területhez kapcsolódó tények, elvek, elméletek és gyakorlatok összessége	valamely munka- vagy tanulmányi terület magas szintű ismerete, elméletek és elvek kritikai megértésével	Ismeri a szakterületéhez kapcsolódó munka- és tűzvédelmi, biztonságtechnikai területek elvárásait, követelményeit.
készségek	a tudás alkalmazásának és a know-how használatának a képessége feladatok elvégzése és problémamegoldás céljából	szakmai magabiztosságot és az innovációt bizonyító magas szintű készségek, amelyek egy specializálódott munka- vagy tanulmányi területen összetett és előre nem látható problémák megoldásához szükségesek	Betartja és betartatja a szakterületéhez kapcsolódó munka- és tűzvédelmi, biztonságtechnikai követelményeket.
Kompetencia jellemző  (az MKKR-ben attitűd és autonómia és felelősség együtt)	a tudás, készségek és személyes, szociális és/vagy módszertani képességek használatának bizonyított képessége munkahelyi vagy tanulási helyzetekben a szakmai és személyes fejlődés érdekében	összetett technikai vagy szakmai tevékenységek vagy projektek vezetése, felelősség vállalása a döntéshozatalért előre nem látható munka- vagy tanulmányi helyzetekben felelősség vállalása egyéni vagy csoportok szakmai fejlődésének irányításáért összetett technikai vagy szakmai tevékenységek vagy projektek vezetése, felelősség vállalása a döntéshozatalért előre nem látható munka- vagy tanulmányi helyzetekben felelősség vállalása egyéni vagy csoportok szakmai fejlődésének irányításáért	Munkájával összefüggő eredmények esetén vállalja annak következményeit. Törekszik a jogkövető magatartásra és az etikai szabályok figyelembe vételére.

- szakmai ismeretek, módszerek megismerésére
- **autonómia** és felelősség: felelősséget vállal a terv- és egyéb dokumentációiban közölt megállapításokért és szakmai döntéseiért, az általa, valamint irányítása alatt végzett munkafolyamatokért.

#### A KURZUS TARTALMA

A Munkavédelem, biztonság-technika tárgy célkitűzése:

*A kurzus teljesítésével a hallgató képes lesz leendő felelős középvezetőként saját maga és beosztottai számára a biztonságos és egészséget nem veszélyeztető munkakörülményeket biztosítani, ezzel kapcsolatos ellenőrzési, oktatási, szervezési feladatokat megoldani. Képes lesz közreműködni meglévő és tervezés alatt álló munkahelyek és gépek kockázat-értékelésében, és baleset-megelőző és intézkedések kidolgozásában.*

A kurzus egy bevezető lecke után három modulból épül fel, és összesen 14 leckét tartalmaz:

Gépek biztonsága modul:

- gépek megfelelőségi értékelése, dokumentációk, eljárások, szereplők, tanúsítás, jelölés;
- gépek biztonsági követelményei
- szabványok alkalmazása;
- gépek kockázatértékelése.

Munkahelyek kialakítása modul:

- ergonómiai tényezők munkahelyeken;
- ergonómiai kockázatbecslés.

Munkahelyi biztonság és egészség modul:

- a munkavédelem szabályozása;
- a munkavégzés követelményei;
- környezeti tényezők;
- vegyi anyagok biztonságos kezelése;
- munkahelyek kockázatkezelése;
- kollektív védelem;
- egyéni védőeszközök és szervezési intézkedések.

## KOMPETENCIÁK LECKÉN KÉNT

Az oktatáshoz, de különösen az e-learning tananyagfejlesztéshez pontosan meg kell határozni a tudástartalmakat, a tudás mélységet és a tudásalkalmazás elvárt körülményeit, azaz a kompetenciaelemeket. Erre alkalmas leíró módszer például a Bloom-féle taxonómia [7], mely hat, egyre alaposabb kompetenciát jelentő tudásszintet különít el a gondolkodási képességek terén, ezek a memorizálás – megértés – alkalmazás – analízis – létrehozás – értékelés.

Egy memorizálás (ismeretszintű) kognitív követelmény lehet például egy megfogalmazás megjegyzése, majd ennek ellenőrzése történhet például kiválasztással több lehetőség közül. Az értékelés, mint legmagasabb kognitív követelmény meglétének megítéléséhez a feladat lehet, pl. összehasonlítás vagy bírálat készítése.

A tananyag tartalmának meghatározása, a konkrét kurzusban fejlesztendő kompetenciaelemek megfogalmazása önmagában is komoly feladat. Tovább nehezíti a helyzetet, hogy hasonló kompetenciaterületek jelennek meg a ráépülő 7. (mesterfokozat) szinten is. Az alap és mesterképzés különbségét, az egymásra épülést a biztonsághoz kötődő kompetenciaelemek és szintek meghatározásában is érvényesíteni kell.

## LECKÉK MEGHATÁROZÁSA

A fejlesztendő kompetenciák és a tananyag összhangját biztosítja, hogy - az e-learning formában elvárt módon - az egyes leckék célkitűzéseit a [8] fejlesztendő kompetencia alapján pontosan meghatároztuk. Most példákat mutatunk be a kompetencia leírások pontosítására és a részletekre bontott tudáselemekre.

### *A munkavédelem szabályozása lecke*

Mérnökként a hallgatónak ismernie kell a vonatkozó biztonsági, egészségvédelmi, HSE (health, safety) követelményrendszereket. A leckét teljesítve a résztvevő:

- Meg tudja nevezni a munkavégzésre vonatkozó öt alapkövetelményt.
- Ismertetni tudja az uniós munkavédelmi minimumkövetelmény irányelvekben jellemzően szereplő követelményeket.
- Ismertetni tudja a munkavégzés személyi feltételeit.
- Ismertetni tudja, hogy miért és milyen eltérés van a *Menekülési útvonalak és vészkijáratok* követelmény kifejtésében munkahelyek, változó munkahelyek és halászhajók esetében.
- Ismertetni tudja a létesítés magyarországi előírását.

### *Gépek biztonsága lecke*

Mérnökként felelősséget kell vállalnia a terv- és egyéb dokumentációiban közölt megállapításaiért és szakmai döntéseiért, és az azon munkafolyamatokért, melyeket személyesen vagy beosztottaival végez. A leckét teljesítve a résztvevő:

- El tudja dönteni, hogy egy dolog gépnek minősül-e?
- El tudja dönteni, hogy egy gép esetében milyen megfelelőségi eljárást kell lefolytatni, és ismertetni tudja annak fő elemeit.
- Ismertetni tudja egy gép műszaki dokumentációjának kötelező tartalmi elemeit.
- Ismertetni tudja egy gép megfelelőségi nyilatkozatának kötelező tartalmi elemeit.

- Fel tudja sorolni, mi tartozik az információ alapvető biztonsági és egészségvédelmi követelményeihez, és tudja ezek tartalmát.
- Meg tudja fogalmazni a CE megfelelőségi jelölés elhelyezésének követelményeit egy gépen.
- Ismertetni tudja a gép megfelelőségi eljárásának és forgalomba hozatalának szereplőit és szerepüket.

#### *Vegyí anyagok biztonságos kezelése lecke*

Határtalan világunkban magától értetődő, hogy a feladataink megoldását a már elérhető tudás megismerésével kezdjük. Írástudóként Ön megérti és használja szakterületének jellemző on-line és nyomtatott szakirodalmát magyar és idegen nyelven, e tudás birtokában folyamatosan megújul. Ebben a leckében a piaci szabályozás és a munkahelyi alkalmazás egy újabb területét feldolgozva felkészül

- A kémiai biztonsági adatlapok felkutatására.
- Egy adott biztonsági adatlap értelmezésére.
- Egy vegyi anyag csomagolásának és jelölésének értelmezésére.
- A veszélyes anyagok és keverékek használatához kapcsolódó munkavédelmi feladatok megtervezésére vezetőként.

#### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatjuk azt a folyamatot és megoldási példákat, amivel az Európai Képesítési Keretrendszer valós tartalmat kap, és az absztrakt követelmények konkrét tananyaggá válik. Ráműtünk, hogy

- a módszertan hiányos a kompetenciák és tantárgyak összerendeléskor,
- a mérnökképzés egyes szakmai tárgyai módszertanukkal a képességek és felelősség fejlesztésére is alkalmasak,
- az e-learning oktatási forma alkalmazása a felsőoktatásban önmagában is kompetencia fejlesztő lehet.

A néhány hónapos tapasztalat még nem teszi lehetővé, hogy értékeljük is az új tananyagot, de reméljük, hogy az új struktúrában végzők nyomán az Unió értékeléshez [9] hasonló pozitív visszajelzéseket kapunk a munkáltatóktól.

#### IRODALOM

- [1] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS AJÁNLÁSA (2008. április 23.) az egész életen át tartó tanulás Európai Képesítési Keretrendszerének létrehozásáról (EGT-vonatkozású szöveg) (2008/C 111/01)
- [2] 1004/2011. (I. 14.) Korm. határozat az Országos Képesítési Keretrendszer létrehozásáról és bevezetéséről
- [3] Referencing and Self-certification Report of the Hungarian Qualifications Framework to the EQF and to the QF-EHEA, Educational Authority, Hungarian National Coordination Point, Budapest 2015
- [4] Derényi András – Vámos Ágnes: A felsőoktatás képzési területeinek kimeneti leírása – ajánlások Egy kísérleti fejlesztés eredménye, Oktatási Hivatal, 2015.
- [5] 18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet a felsőoktatási szakképzések, az alap- és mesterképzések képzési és kimeneti követelményeiről, valamint a tanári felkészítés közös követelményeiről és az egyes tanárszakok képzési és kimeneti követelményeiről szóló 8/2013. (I. 30.) EMMI rendelet módosításáról
- [6] Nyikes Zoltán, Kerti András: A digitális kompetencia napjainkban, In: Drégelyi-Kiss Ágota (szerk.): Proceedings of 8th International Engineering Symposium at Bánki (IESB 2016). Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016.11.17 Budapest: Óbudai Egyetem, 2016. Paper 56. 6 p. (ISBN:978-615-5460-95-1)
- [7] Armstrong, Patricia. "Bloom's Taxonomy". Vanderbilt University Center for Teaching. Vanderbilt University. (<https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/blooms-taxonomy/> letöltve: 2017. október 2.)
- [8] Franciska Hegyesi, Krisztina Némethy, Gyula Kártyás: Courses success in online environment In: Frantisek Jakab (szerk.) ICETA 2016: International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications.. Starý Smokovec: IEEE, 2016. pp. 85-89.
- [9] TANÁCSAJÁNLÁS (2017. május 22.) az egész életen át tartó tanulás európai képesítési keretrendszeréről, valamint az egész életen át tartó tanulás európai képesítési keretrendszerének létrehozásáról szóló 2008. április 23-i európai parlamenti és tanácsi ajánlás hatályon kívül helyezéséről (2017/C 189/03)



# SZÁLTEKERCELT KOMPOZIT TÖMLŐ HORPADÁSA

## BUCKLING OF FILAMENT-WOUND COMPOSITE TUBE

Szabó Gyula, MSc, doktorandusz, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék,  
Dr. Váradi Károly, DSc, egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék  
Dr. Felhős Dávid, PhD, csoportvezető, Műszaki Számítások, Knorr-Bremse Vasúti Jármű Rendszerek Hungária Kft.

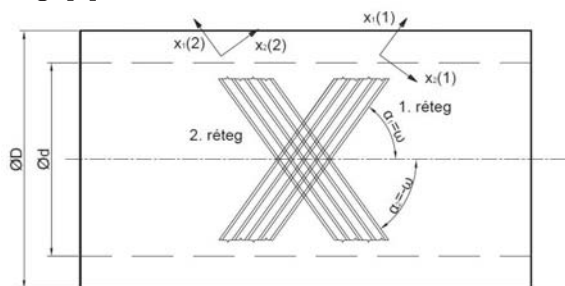
### ABSTRACT

In this paper, finite element analysis of buckling of filament-wound composite hose subjected to bending has been carried out. Buckling resistance force has been evaluated based on FE simulation results. Buckling results in significant normal stresses in material direction 1 and 2 having opposite signs.

### 1. BEVEZETÉS

Kompozit tömlőket az ipar számos területén alkalmaznak, főként a járműiparban, a repülőgépiparban, illetve az űrkutatásban. Előnyösebb tulajdonságaik közül kiemelendő a kedvező szilártság-tömeg, illetve merevség-tömeg arány, illetve a korrózióállóság [1]. A kompozit tömlők esetében legelterjedtebben alkalmazott gyártási folyamat a száltekerceselés, amely kellő pontosságú szálpozicionálást és magas száltartalmat biztosít, továbbá jól automatizálható [2].

A kompozit tömlők felépítése az 1. ábrán látható. A szálak  $-2$  erősítőrétegre- a tömlő tengelyével  $\alpha_1$ , illetve  $\alpha_2$  szöget zárnak be. Általánosan  $\pm\omega$  orientációs szöget alkalmaznak a szomszédos erősítőrétegekben, a leggyakrabban ez az érték  $\pm 55^\circ$ , amely a biaxiális terhelés (belső nyomás és húzó igénybevétel együttes jelenléte) szempontjából legkedvezőbb kialakításnak felel meg. [3]



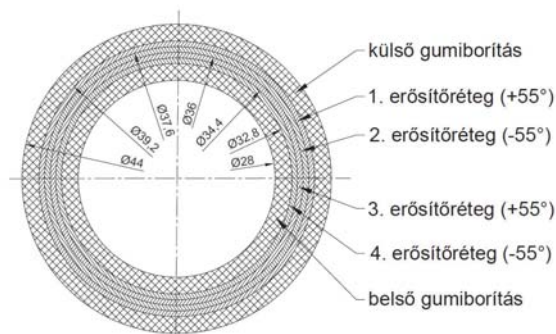
1. ábra. A kompozit tömlők felépítése [3]

A kompozit tömlők élettartamuk során számos alkalommal vannak kitéve hajlító igénybevételnek, melynek során sor kerülhet - jelentős deformáció mellett- a tömlők stabilitásvesztésére, horpadására, amely szélsőséges esetekben tönkremenetelhez vezethet. Jelen vizsgálat célja az említett horpadási jelenség részletes bemutatása

végelem modell segítségével, amely ANSYS Academic Research 17.2 programban készült.

### 2. GEOMETRIA, ANYAGMODELL

A vizsgált tömlő gumiborítású száltekerceselt kompozit tömlő, amely vasúti szerelvények légellátó rendszerében is megtalálható. A tömlő kompozit jellegének megfelelően az igénybevételek során a kompozit erősítőrétegek veszik fel a terheléseket, biztosítják a szükséges szilárdságot, a gumiborítás pedig biztosítja a cső hajlékonyságát, illetve védi a száleregítőrészeket a külső mechanikai sérülésektől, kémiai és időjárás hatásoktól; és biztosítja a légtömörséget.



2. ábra. A vizsgált tömlő keresztmetszete [3]

A vizsgált tömlő 4 rétegű kompozit erősítőbetétből és egy külső, illetve egy belső gumiborításból áll (2. ábra), külső átmérője 44 mm, belső átmérője 28 mm, hosszúsága 620 mm. A vizsgált összeállításban a cső mindkét vége 70-70 mm hosszban benyúló fém csapokkal van ellátva (lásd 3. ábra). A külső és a belső gumiborítás vastagsága 2,4 mm, az erősítőrétegek vastagsága egyenként 0,8 mm, a rétegrend:  $[+55^\circ/-55^\circ/+55^\circ/-55^\circ]$  (2. ábra). Az erősítőrétegek mátrixanyaga a gumiborítás anyagával megegyezik.

Az erősítőbetét anyagmodellje lineárisan rugalmas, ortotróp; anyagjellemzői az egyes főirányokban:  $E_1=1338$  [MPa],  $E_2=E_3=19$  [MPa];  $\nu_{12}=\nu_{13}=0,37$ ;  $\nu_{23}=0,498$ ; továbbá  $G_{12}=G_{23}=G_{13}=6$  [MPa] ( $E$ : rugalmassági modulus,  $\nu$ : Poisson-tényező,  $G$ : nyíró modulus). Az erősítőrétegek anyagjellemzői a szál rugalmassági modulusa:  $E_f=2946$  [MPa], Poisson-tényezője:  $\nu_f=0,2$ ; illetve a mátrix

rugalmassági modulusa:  $E_m=6,15$  [MPa], Poisson-tényezője:  $\nu_m=0,5$ ; továbbá száltérfogatarány:  $V_f=45\%$ . [3]. A gumi anyag törvénye hiperelasztikus 2 paraméteres Mooney-Rivlin törvény, melynek paraméterei:  $C_{10}=-0,4982$  [MPa];  $C_{01}=1,523$  [MPa];  $D=0$  [1/MPa]. Az anyagparamétereket laboratóriumi mérések során határoztuk meg [3].

### 3. ÉRINTKEZÉSI FELTÉTELEK, TERHELÉSEK, PEREMFELTÉTELEK

A végeelem modell háromdimenziós teljes modell, a 3. ábra a kompozit tömlőt, illetve a hajlításhoz használt, tömlőbe helyezett csapokat mutatja hosszszelvényben. Az erősítőbetét és a gumiborítások kapcsolata ragasztott, Multi Point Contact képzési móddal. A csapok a belső gumiborításhoz ragasztott módon kapcsolódnak, a csapok tömlőn belül eső hossza 70 mm, a hajlításhoz felhasznált furatközéppontok távolsága a tömlő véglapjától 50 mm. A csapok merev testek.



3. ábra. A tömlő hálózott geometriája hosszszelvényben

A hajlítás a csapok furatközéppontjában elhelyezett „remote point”-ok előírt elmozduláspályája alapján történt. A két csap „remote point”-jainak elmozduláspályája a függőleges YZ síkra szimmetrikus, mindvégig a  $Z=0$  síkban halad, a jobb oldali csap elmozdulása a 4. ábrán látható. Az elmozduláspálya biztosítja a tömlő fokozatos hajlítását.

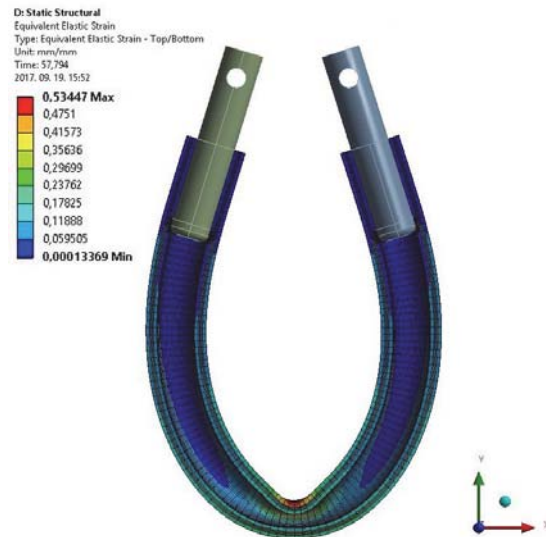


4. ábra. A jobb oldali csap furatközéppontjának elmozduláspályája

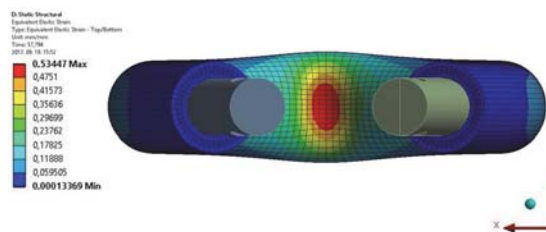
### 4. EREDMÉNYEK

A tömlő horpadására a hajlítás 58. időlépésében kerül sor. A deformált alakkal ábrázolt HMH-

egyenértékű alakváltozás az 5. ábrán, illetve a 6. ábrán látható. A hajlítás hatására jelentős mértékű horpadás következett be, a keresztmetszet 28 mm átmérőjű belső köréből egy megközelítően 36 mm nagytengelyű, 10 mm kistengelyű ellipszis alakult ki a tömlő középsíkjában (globális YZ sík) A 6. ábra szerint a horpadás egy kis területen alakul ki, ahol nagy alakváltozások figyelhetők meg. A horpadástól a csapok felé távolodva az egyenértékű feszültség rohamosan csökken.

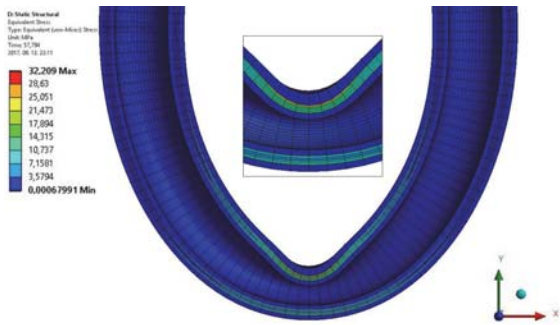


5. ábra. HMH-egyenértékű alakváltozás a horpadás bekövetkeztekor, deformált alakkal



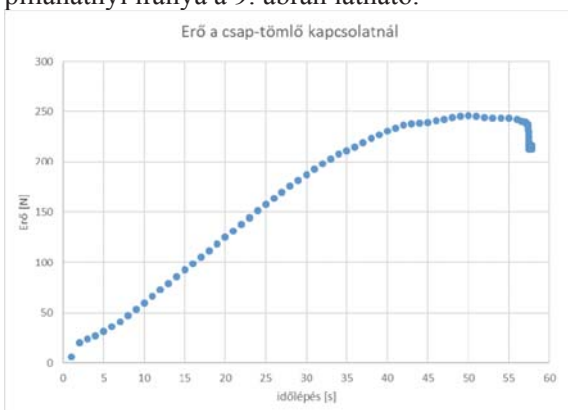
6. ábra. HMH-egyenértékű alakváltozás, a horpadási mező kiterjedése

A HMH-egyenértékű feszültségek (7. ábra) tekintetében hasonlóképpen megállapítható, hogy a horpadás környezetében a legmagasabbak. A 7. ábra tanúsága szerint a horpadásból származó terhelést főként az erősítőbetét veszi fel, a maximális HMH-egyenértékű feszültségek a legkülső erősítőrétegben ébrednek.

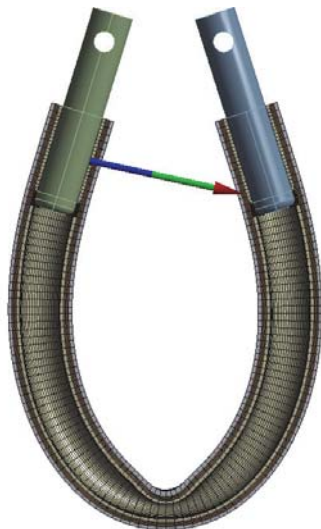


7. ábra. HMH-egyenértékű feszültség, a horpadási mező kiterjedése, kinagyított részlettel

A bal oldali csap-belső borítás ragasztott kapcsolatnál az egyes időlépésekben ébredő erő abszolútértékeit ábrázolja a 8. ábra, az erő pillanatnyi iránya a 9. ábrán látható.



8. ábra. Az aktív erő nagysága a csap-tömlő kapcsolatnál a hajlítás folyamata során



9. ábra. Az aktív erő iránya a csap-tömlő kapcsolatnál a horpadás bekövetkeztekor

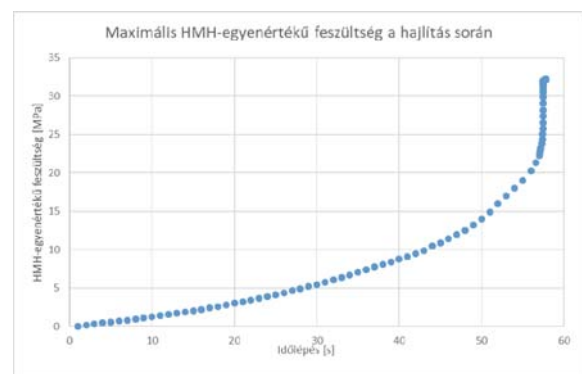
A 8. ábra szerint a szimuláció előrehaladtával az erő folyamatosan, kis mértékben csökkenő meredekséggel növekszik az 50. időlépésig. Ezután a mozgás fenntartása ellenére sem nő meg a tömlő-csap kapcsolatban vett erő, mert a keresztmetszet laposodásával

fokozatosan csökken a keresztmetszet Z tengelyre értelmezett másodrendű nyomatéka, ezáltal csökken a tömlő horpadással szembeni ellenállása is. Az 58. időlépés során jelentős csökkenés figyelhető meg a vizsgált erőben, az ekkor bekövetkező horpadás során a keresztmetszet-csökkenés folyamata felgyorsul, a tömlő elveszíti a stabilitásvesztéssel szembeni ellenállóképességét.

A jelenség az egyes időlépésekben érvényes HMH-egyenértékű nyúlás (10. ábra) és HMH-egyenértékű feszültség (11. ábra) ismeretében is nyomon követhető. Mind a maximális HMH-egyenértékű alakváltozás, mind a HMH-egyenértékű feszültség közel egyenletesen növekszik az 50. időlépésig, majd az alakváltozás, illetve a feszültség növekedési üteme felgyorsul, végül közel egy időlépés alatt a maximális alakváltozás, illetve a maximális feszültség mintegy kétszeresére nő.

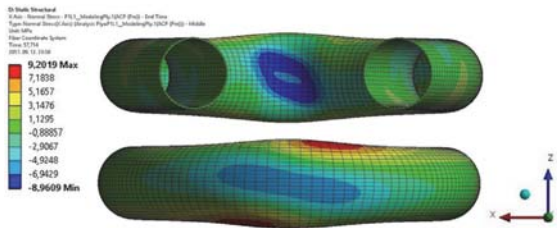


10. ábra. Maximális HMH-egyenértékű nyúlás a hajlítás során, az YZ szimmetriasíokban



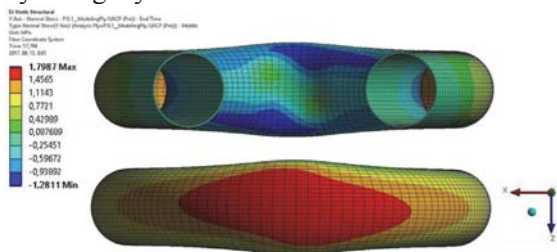
11. ábra. Maximális HMH-egyenértékű feszültség a hajlítás során, az YZ szimmetriasíokban

Az erősítőrétegben ébredő, anyagi koordináta-rendszerben értelmezett feszültségek és alakváltozások azonos eloszlásúak, ezért a következőkben csak a feszültségeket közöljük. A terhelés hatására kialakuló legnagyobb feszültségkomponens az 1 anyagi főiránybeli normálfeszültség (12. ábra).



12. ábra. Normál feszültség az 1. anyagi főirányban, a legkülső erősítőrétegben

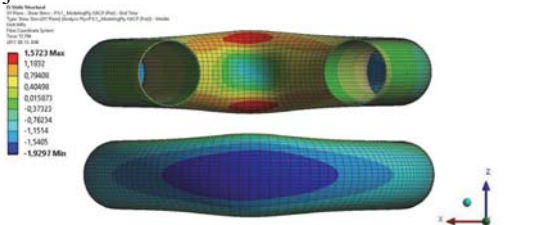
A legkülső erősítőrétegben a tömlő vízszintes középsíkjának (XZ sík) környezetében szálirányú húzó-, míg az attól távolabbi környezetekben (minimális és maximális Y koordinátáknál) nyomófeszültségek ébrednek. A réteg szálorientációja is kimutatható az ábrán, a keresztmetszet csökkenéséből származó nyomóigénybevételt főként a szálak veszik fel.



13. ábra. Normál feszültség a 2. anyagi főirányban, a legkülső erősítőrétegben

A 2. főirányú, szálirányra merőleges normál feszültség eloszlása a 13. ábrán látható. A tömlő vízszintes középsíkján (XZ sík) a 2 irányban nyomófeszültségek, ezzel szemben az attól távolabbi környezetekben (minimális és maximális Y koordináták) húzófeszültségek ébrednek.

A 13. ábrát a 12. ábrával összevetve felismerhető, hogy az egyes zónákban az 1 és 2 főirányban ellentétes előjelű feszültségek vannak jelen.



14. ábra. Csúsztatófeszültség az 12 síkban, a legkülső erősítőrétegben

Az 12 síkbeli csúsztatófeszültség eloszlása (14. ábra) a horpadási zóna középpontjára közel középpontosan szimmetrikus, az 1 és 2 iránybeli normál feszültség-eloszlással összhangban van (vízszintes középsíkban pozitív, alsó, és felső lapon negatív előjelű).

A maximális feszültségkomponensek rétegek menti alakulását mutatja az 1. táblázat. Az egyes rétegekben rendre közel azonos értékek fordulnak elő mindhárom összetevőre, a csúsztatófeszültségek esetében a szomszédos rétegekben a legnagyobb abszolútértékű szélsőértékek ellentétes előjelűek, ez a rétegrend szimmetrikus felépítésével magyarázható. A második rétegben a nyomott zóna viszonylagosan kisebb kiterjedése miatt szálirányban nagyobb nyomófeszültség adódik, mint húzófeszültség.

1. táblázat. Maximális feszültségek az anyagi főirányokban, az egyes rétegekben [MPa]

réteg	$\sigma_{1max}$	$\sigma_{1min}$	$\sigma_{2max}$	$\sigma_{2min}$	$\tau_{12max}$	$\tau_{12min}$
1.	9,2	-8,96	1,8	-1,28	1,57	-1,93
2.	7,26	-8,56	2	-1,5	1,7	-0,89
3.	10,81	-6,55	1,95	-1,47	1,26	-1,58
4.	11,45	-7,13	1,99	-1,29	1,41	-1,5

## 7. KÖVETKEZTETÉSEK

A kidolgozott modell alkalmas a vizsgált kompozit tömlő rugalmas alakváltozásának, majd pedig horpadásának elemzésére. A horpadás a határterhelést követően hirtelen következik be, miközben az ébredő hajlító erő egyre kisebb lesz.

A HMH-egyenértékű alakváltozás és a HMH-egyenértékű feszültség a horpadás környezetében jelentősen megnő.

A legkülső erősítőrétegben az 1 és 2 anyagi főirányban a szálak összenyomódását, illetve meghúzódnását a mátrixban ébredő húzó-, illetve nyomófeszültség kíséri.

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen vizsgálat és publikáció a Knorr-Bremse Ösztöndíjprogram segítségével jöhetett létre, a Knorr-Bremse Vasúti Jármű Rendszerek Hungária Kft. támogatásával.

## 9. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1]: Braiek, S., Zitoune, R., Ben Khalifa, A. and Zidi, M.: Experimental and numerical study of adhesively bonded  $\pm 55^\circ$  filament wound tubular specimens under uniaxial tensile loading, Composite Structures, Vol-172, pp. 297-310, 2017
- [2]: Almeida Jr., J. H. S., Ribeiro, M., Volnei, T. and Amico, S. C.: Damage modeling for carbon fiber/epoxy filament wound composite tubes under radial compression, Composite Structures, Vol. 160, pp. 204-210, 2017
- [3]: Szabó Gy., Váradi K., Felhős D.: Finite element model of a composite tube subjected to uniaxial tension, Modern Mechanical Engineering, Vol. 7, No. 3, betűszedés alatt

# CSAVARRUGÓ GRAFO- ANALITIKUS OPTIMÁLÁSA

## GRAPHO-ANALYTICAL OPTIMIZATION OF CYLINDRICAL SPRING

*Ferenc János Szabó, PhD, associate professor,  
University of Miskolc, Institute of Machine and Product Design,  
H- 3515 Miskolc, Egyetemváros*

### ABSTRACT

The grapho- analytical optimization technique is based on the Kuhn- Tucker optimality criterium and in case of few optimization variables it is very simple and easy to realize way to find optimum solutions.

In this paper an example is shown to find the optimal dimensions of a cylindrical compression spring with circular wire cross-section for minimum weight. The curves of the implicit constraints are the borders of the feasible region and the iso- lines of the mass function, which is the objective function to be minimized, will touch this region in the last feasible point. This is the optimum solution.

### 1. BEVEZETÉS

A grafo- analitikus optimumkereső módszer elméleti alapját a Karush- Kuhn- Tucker féle optimalitási kritérium [1] képezi. A kritérium  $n$  darab tervezési változóra érvényes, általános megfogalmazása alapján  $n$  változós optimumkeresésre is alkalmas. Jelen cikkben a módszer két változó esetére leegyszerűsített változatát alkalmazzuk, melynek megfogalmazása egyszerű, közérthető és az optimum megkeresésének módjára a félig grafikus, félig analitikus módszert, az úgynevezett grafo- analitikus módszert alkalmazzuk. Ezzel főleg az a célunk, hogy bemutassuk a módszer hatékonyságát, egyszerűségét és alkalmazhatóságát a terméktervezés és a géptervezés különféle területein. A módszer megértése és elsajátítása után bárki, egyetemi hallgatók, tervezők, érdeklődő ipari szakemberek is bátran alkalmazhatják mindennapi feladataik során, új szempontok, érdekes eredmények keresésére, az optimális eredményekkel a tervezett termék, gépelem, szerkezet valamely tulajdonságának javítására, optimalizációjára.

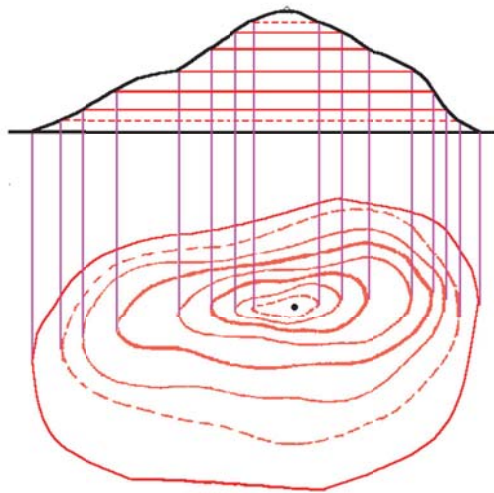
Jelen cikkben egy hengeres, körszelvényű nyomó csavarrugó példáját mutatjuk be tömegminimumra történő optimális tervezésre. A tervezési változók a rugóhuzal átmérője ( $d$ ) és az átmérő hányados ( $a = D/d$ ), ahol  $D$  a rugó középátmérője. A célfüggvény a rugó egy menetének tömege, aminek a lehetséges minimális értékét keressük. A két tervezési változóra explicit és implicit feltételeket írunk fel. A három legfontosabb implicit feltétel a rugóban ébredő csavarófeszültség korlátozása, a rugóállandóra adott korlátozás és a rugó lehetséges maximális méretének gyárthatósági okokból történő korlátozása volt.

A feltételek ábrázolásával felrajzolható a megfelelőségi tartomány, a célfüggvény szintvonalainak tanulmányozásával pedig eljuthatunk az optimális megoldás megtalálásához. Ebben a cikkben egy számpélda is található a rugó optimális kialakítására.

### 2. A GRAFO- ANALITIKUS MÓDSZER

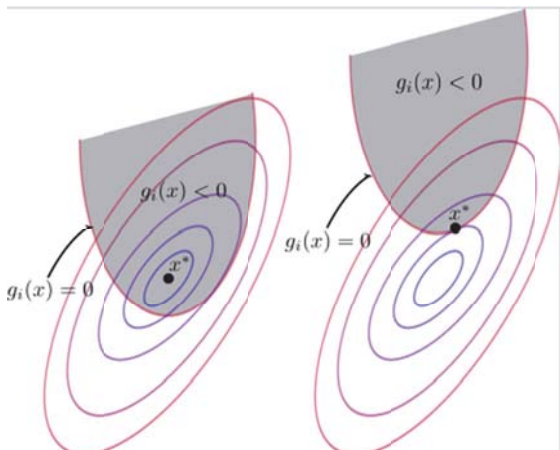
A grafo- analitikus optimumkereső módszer lényege, hogy egyszerre próbáljuk ábrázolni a feladatban szereplő függvényeket (grafika) és közben próbáljuk ezen függvények egyenleteit alakítani, egyszerűsíteni, megoldani (analitika), aminek az eredményeiből olyan következtetéseket vonhatunk le, melyek az ábrázolást segítik és előreviszik az optimális megoldás megtalálásának folyamatát. Ugyanakkor az ábrázolás is gyakran nyújt számunkra olyan eredményeket, szempontokat, amelyek segítenek az egyenletek további célszerű átalakításában. Tehát a két módszer, a grafika és az analitika egymást segítik.

A grafo- analitikus módszer megfelelő alkalmazásához szükség van a célfüggvény szintvonalainak előállítására (1. ábra). Ehhez a célfüggvényt tetszőlegesen felvett konstans értékekkel kell egyenlővé tenni és az így kialakuló görbéket ábrázoljuk szintvonalként.



1. ábra. Egy függvény szintvonalai

Ha a feltételeket is ábrázoljuk ugyanabban a koordináta-rendszerben, ahol a szintvonalakat, akkor megláthatjuk a probléma szerkezetét, azaz a célfüggvény szélsőértékének alakulását a megfelelőségi tartományhoz képest (2. ábra).



2. ábra. Korlátozás nélküli és korlátozásokkal ellátott optimum

Ekkor alapvetően két eset lehetséges: Az első esetben a célfüggvény maximuma a megfelelőségi tartomány belsejében van, távol esik a tartomány határvonalaitól. Ekkor nem szükséges a feltételek teljesülését vizsgálni, elegendő a célfüggvény szélsőértékét keresni. Ezt az esetet nevezzük korlátozás nélküli vagy feltételek nélküli optimumkeresésnek. A második esetben a szélsőérték kívül esik a tartományon, sőt a „legjobb” pont, ahol a szélsőérték a legjobbnak látszik, a nem megfelelő tartományra esik. Ilyenkor, ha a feltételeket is ki akarjuk elégíteni, akkor a

célfüggvénynek nem az igazi, elméletileg elérhető legszélsőségesebb értékét kell keresnünk, hanem azt az utolsó megfelelő pontot kell megtalálnunk, ahol a lehető legjobb szintvonal még éppen nem hagyja el a megfelelőségi tartományt. Ez általában egy érintési pont, amit korlátozásokkal ellátott optimumnak nevezünk.

A grafo- analitikus módszer lényege, hogy ezt a keresett érintési pontot megtaláljuk, a problémában résztvevő függvények ábrázolásával (grafika) és a függvények egyenleteinek vizsgálatával (analitika).

### 3. KÖRSZELVÉNYŰ, HENGERES NYOMÓ CSAVARRUGÓ VIZSGÁLATA

A 3. ábra egy körszelvényű, hengeres nyomó csavarrugót mutat.

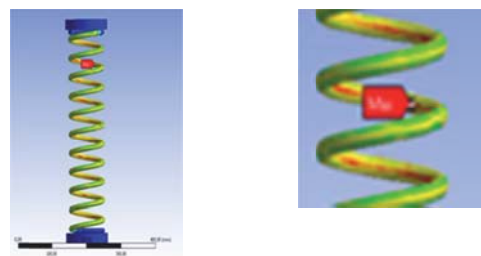


3. ábra. Körszelvényű hengeres nyomó csavarrugó

A rugó tervezésekor nagyon fontos jellemző az a nyírőfeszültség [2], ami a rugónak egy jellemző helyén (4. ábra) alakul ki a terhelés során. Ennek a nyírőfeszültségnek a megengedhető értékére nézve egy fontos feltétel írható fel.

$$\tau_{max} = \frac{8F}{d^2\pi} \left( a + \frac{5}{4} + \frac{7}{8a} + \frac{1}{a^2} \right) \leq \tau_{adm} \quad (1)$$

Az (1) egyenletben  $F$  [N] a rugó terhelése. A nyírőfeszültség fellépésének helyét a 4. ábra mutatja.



4. ábra. A maximális nyírőfeszültség fellépésének helye a rugóban

Ezt a feltételt implicit feltétel formájában kezeljük. A tervezési változók a rugó huzal átmérője ( $d$ ) és az átmérőviszony ( $a = D/d$ ), ahol  $D$  a rugó középátmérője. A méreteket [mm] mértékegységben tételezzük fel.

A tervezési változókra felírt explicit feltételek:

$$d \leq 10 \quad ; \quad a \geq 4 \quad (2)$$

Az explicit feltételek elég tág lehetőséget biztosítanak az optimum széleskörű kereséséhez, az implicit feltételek teljesülése esetén pedig ezek a feltételek automatikusan teljesülni fognak.

Újabb implicit feltételt jelent a rugó külső méretének gyárthatósági okokból történő korlátozása:  $d + D \leq 160$  [mm]. (3)

A rugó anyagának ismeretében rendelkezésünkre áll a  $G$  [Mpa] csavarási rugalmassági modulus értéke is, amellyel felírható a rugóállandó értékét előíró feltétel:

$$C \geq \frac{Gd}{8na^3} \quad (4)$$

A célfüggvény egy rugómenet tömege, melynek minimális értékét keressük:

$$m = \rho \frac{\pi^2}{4} ad^3 \quad (5)$$

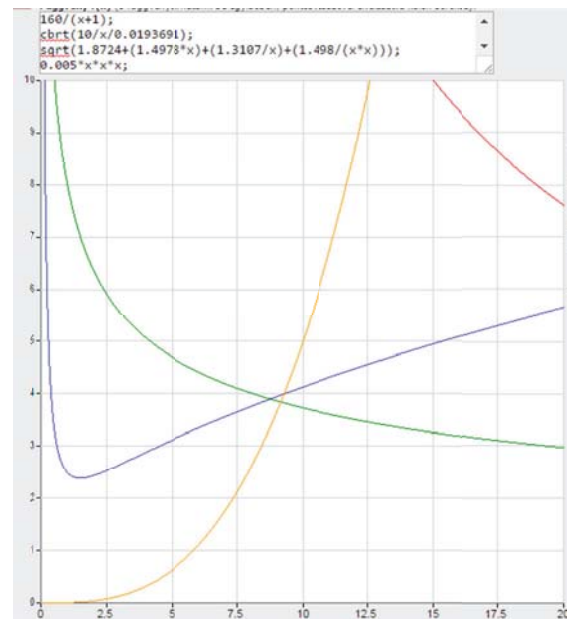
Ahol  $\rho$  a rugó anyagának sűrűsége.

A kívánt terhelhetőség ( $F$ ) ismeretében az (1), (3), (4) és (5) egyenletek görbéi [3] felrajzolhatók az  $a$ - $d$  koordináta rendszerben (5. ábra), melyben piros szín jelöli a méret korlátozási feltételt, sárga színnel jelöltük a rugóállandó feltételét, kékkel pedig a nyírófeszültségi feltételt. Zöld színnel különböztettük meg a célfüggvény szintvonalát, melyet próbálgatással kell létrehozni, a szintvonalat jellemző szükséges konstans értékének megfelelő beállításával.

A megfelelőségi tartomány a kék, sárga és piros vonalak által határolt háromszög-szerű tartomány, melyet a célfüggvény egyre kisebb tömeghez tartozó szintvonalai a bal oldali csúcánál fognak érinteni, tehát ott lesz az optimális megoldás. Az optimális megoldás elméleti helyét kissé módosítja, hogy a tervezési változók csak egész értékeket vehetnek fel, de ez csak kis mértékű módosulást jelent.

A rugó többi jellemzője ( $z$  menetek száma,  $y$  rugóhézag tényező,  $f$  rugóút) nem vagy csak elenyésző mértékben befolyásolják a

célfüggvény értékét, tehát eldönthetők vagy megválaszthatók az eddigi eredmények ismeretében, vagy esetleg azoktól függetlenül.



5. ábra. A megfelelőségi tartomány és a célfüggvény szintvonalának ábrázolása

Az optimalizációs folyamat eredményeként adódó rugót az ANSYS Design Space v 17.1 végeeselemes programrendszerben [4] is ellenőriztük a maximális nyírófeszültség értékére, valamint a terhelés hatására adódó összenyomódás mértékére.

Az eddig bemutatott megoldás a függvények ábrázolására épült, azaz a grafikai oldalt szemléltette. Vizsgáljuk meg az analitikai oldalt is:

A megoldás grafikai oldala azt mutatja, hogy a keresett optimális megoldást kifejező pont a sárga és a kék színű görbe metszéspontja, azaz a nyírófeszültségi feltétel és a rugóállandó kifejező feltétel metszéspontja. Ennek kiszámításához egyenlővé kell tennünk a két függvényt, tehát az (1) egyenletben található nyírófeszültségi feltétel és a (4) egyenletben leírt rugóállandó feltételt kell vizsgálnunk, hogy milyen  $a$  és  $d$  érték esetén veszik fel ugyanazt a függvényértéket, azaz hol van a metszéspontjuk. Ehhez a következő két egyenlet alkotta egyenletrendszert kell megoldanunk: (6)

$$\frac{8F}{d^2\pi} \left( a + \frac{5}{4} + \frac{7}{8a} + \frac{1}{a^2} \right) = \tau_{adm}$$

$$\frac{Gd}{8na^3} = c$$

Ez a következő egyenletre vezet:

$$Aa^8 - a^3 - \frac{5}{4}a^2 - \frac{7}{8}a - 1 = 0 \quad (7)$$

Az optimális megoldást kifejező (7) egyenlet egy nyolcadrendű egyenlet  $a$ -ra nézve. Az egyenletben  $A = \frac{G^2}{F} \tau_{adm} \pi 8n^2 c^2$ ,  $n$  a menetek száma.

Az így adódó nyolcadrendű egyenlet könnyen megoldható különféle módszerekkel, például iterációs technika, felező módszer, aranymetszés módszer, különböző numerikus módszerek egyenletek megoldására, vagy a (7) egyenlet bal oldalán látható függvény ábrázolható és megfigyelhető az ábrázolt képen, hogy hol vannak zérushelyei. A zérushelyek közül ki kell választani azt, amely  $a$ -ra elméletileg elfogadható értéket jelent. (Nem mind a 8 zérushely jelenik majd meg az ábrázolt képen, mivel lehetnek komplex zérushelyek is). A függvény zérushelyei közül az a változóra megengedhető tartományon (explicit és implicit feltételek) már csak egy-két érték helyezkedhet el, ezek közül könnyű kiválasztani azt, amely a grafikai megoldás által mutatott metszéspont környezetében található. Ezzel a megoldás analitikai oldala nagyon pontosan megadja az optimális megoldás értékét  $a$ -ra. A  $d$  változó optimális értéke pedig adódik az  $a$  értékének a (6) egyenletrendszer második tagjába való visszahelyettesítésével.

## 5. KÖVETKEZTETÉS

A Karush- Kuhn- Tucker féle optimalitási kritériumon alapuló grafo- analitikus optimumkereső módszer alkalmazásával módszert fejlesztettünk ki hengeres, körszelvényű nyomó csavarrugó tömegminimumra történő méretezésére.

A tervezési változók a körszelvény átmérője és a rugó átmérő- hányadosa voltak, melyekre explicit feltételeket definiáltunk. A maximálisan megengedett nyírófeszültséget, a rugó megengedhető legnagyobb méreteit és a rugóállandó által leírt feltételt implicit feltételek formájában vettük figyelembe.

A feltételek  $a$ -  $d$  koordinátarendszerben való ábrázolásával adódott a megfeleléségi tartomány, melyhez a célfüggvény szintvonalaiával közelítve adódik a keresett optimális megoldást jelentő pont.

Az optimális megoldás elérésének másik útja a grafo- analitikus megoldás analitikai

oldalának követésével realizálható. Ez az út egy nyolcadrendű egyenletre vezet, melyből az  $a$  változó optimális értéke könnyen meghatározható. A  $d$  változó optimális értéke a rugóállandó feltételbe való visszahelyettesítéssel szintén egyszerűen kiszámítható. Az így adódó elméleti optimumokat kis mértékben módosítani szükséges, ha a választható diszkrét értékeket is tiszteletben kívánjuk tartani.

## 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Karush%E2%80%93Kuhn%E2%80%93Tucker\\_conditions](https://en.wikipedia.org/wiki/Karush%E2%80%93Kuhn%E2%80%93Tucker_conditions)  
legutóbbi megtekintés: 2017. október 16.

[2] Dr. Szota György: *Gépelemek IV.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.

[3] <http://www.mathelp.honlapja.hu/temak/fuggve/nyek/grapher.html>  
legutóbbi megtekintés: 2017. október 17.

[4] ANSYS Inc.; SAS IP Inc. (2011): *ANSYS Mechanical APDL Technology Demonstration Guide*, Southpointe, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15137, USA.

## 7. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A cikkben és a hozzá tartozó előadásban ismertett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A cikkben ismertett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva az Új Széchenyi Terv keretében a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.



# KÖRNYEZET SZEMPONTÚ AJÁNLÁSOK A KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉS SORÁN

## ENVIRONMENTAL FRIENDLY SUGGESTIONS DURING CONCEPTUAL DESIGN

Takács Ágnes, PhD, egyetemi docens, Miskolci Egyetem

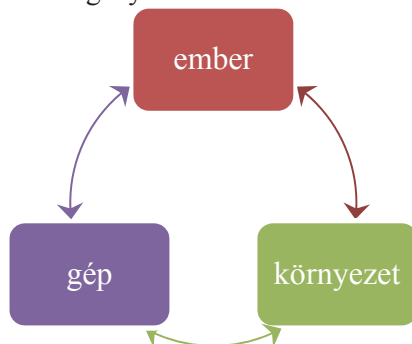
### 1. ABSTRACT

The paper deals with the elements of environmentally friendly design. It analysis how the most popular techniques are operating and gives a suggestion for implementing introduced techniques. According to the analysis it proposes a principle-collection that is called Green Tips and is suitable for adapting to a software that helps designers during conceptual design process.

### 2. BEVEZETÉS

A környezettudatos tervezés fogalmát röviden definiálni nem egyszerű feladat. Számos komponense révén egy igen összetett folyamatról van szó. Zilahy [1] szerint "a környezettudatos terméktervezés rendszerszemléletűen a termékek, szolgáltatások egész életútja során potenciálisan előforduló környezeti hatásokra, illetve azoknak még a termék tervezési fázisában történő csökkentésére, vagy esetleges teljes eliminálására koncentrálnak".

Orbán [2] a DfE-t olyan tervezésként definiálja, amely minimálisra csökkenti a nem kívánt hatásokat a természetre (DfE=design for environment). A DfE annak szükségessége, hogy a fejlesztett termék legkisebb káros hatást okozza a környezetnek, amely napjainkban egyre növekvő igény.



1. ábra. Az ember-gép-környezet kölcsönhatás

A feltárt irodalmak a környezettudatos tervezés, vagy DfE, vagy Green design, vagy eco design

címén csupán a zöld környezetünk védelmét emlegetik, és elsiklanak az ember, mint a zöld környezet egy alkotó eleme fölött, csupán közvetve emlegetik az embert. Lényeges megemlíteni, hogy az ember, nemcsak mint tervező mérnök, hanem mint a környezet egy alkotó eleme jelenik meg az ember-gép-környezet hármas ciklusban. A ciklus elemei egymásra nézve egymással állandó kölcsönhatásban vannak, ahogyan azt az 1. ábra is szemlélteti. Az ember tehát magának és a környezetnek is tervez. A gép az emberre és a környezetre is hatással van. A környezet pedig az emberre és a gépre is gyakorol hatást. A környezet tehát nem csupán az irodán, az üzemen túli természet, de az ember közvetlen környezete is ahol dolgozik, vagyis a munkaterülete. A későbbi kutatások tekintetében célszerű lenne az ergonómiát is, mint a környezettudatos tervezés, vagy DfE egyik komponensét emlegetni és tanulmányozni.

### 3. A DfE ESZKÖZEI

#### 3.1. A DfE egységei

A DfX, vagyis a valamilyen szempont szerinti tervezés [5] lehet a tervezésnek bármely formális szakasza, vagy egy olyan lényeges szempont, amelyet mint legfőbb irányelvet kell, hogy tekintsünk a tervezés folyamán. A DfX a tervezési elveknek egy olyan nagy halmaza, amelyet rendkívül nehéz leírni, tekintve, hogy ez a halmaz szinte napról-napra növekszik. Egyre több irányelvet definiálunk, és ezekre az irányelvekre módszereket is alkottunk. Valójában ezek a módszerek képezik, képezhetik a DfX technikák számítógépre való alkalmazhatóságát. A DfE, vagy más néven a Design for the Environment valójában a környezeti szempontokra való tervezésnek egy gyűjtő csoportja, amely az alábbi 7 lényeges területből tevődik össze:

- kevesebb anyagfelhasználás,
- szétszerelhetőség,
- újrahasznosítás,

- újragyárthatóság,
- kevesebb veszélyes anyag felhasználás,
- energiahatékonyság,
- szabályok, rendeletek, szabványok betartása.

Adott esetben ezek további irányelvekre, szempontokra bonthatók.

### 3.2. A 3R, a 4R és a 6R

A 3R filozófia nem jelent mást, minthogy a már használt, vagy elhasznált anyagokat ne hulladékként halmozzuk fel, hanem visszaforgassuk azokat a termékipiacra: reduce-reuse-recycle. A reduce a hulladék keletkezésének csökkentését, a reuse a hulladék újrafelhasználását, a recycling szó pedig valójában a hulladék visszaforgatását jelenti.

A 4R több verziója létezik, általában a recover, a rethink és a replace fogalmakat emlegetik a 4. R-ként, a korábban említett 3R kiegészítéseként. A 6R filozófia elemeit:

- rethink (újragondolás),
- reduce (csökkentés),
- replace (helyettesítés, áttervezés),
- repaire (javítás),
- reuse (újra használat),
- recycle (újrahasznosítás).

Azzal, ha újragondolunk egy terméket, elérhető, hogy teljesen zöld legyen. Például teljesen lebomló anyagokat használunk fel hozzá. Nyilván ez meghatározza, és jelentős mértékben csökkentheti az élettartamot is (pl.: plant-a-tree box, mint csomagoló eszköz, szabadalmi lajstromszáma: US20080046277A1). Azonban a környezeti terhelés így csökkenthető a leginkább. A hulladék mennyiségének csökkentése már nem annyira szerencsés lehetőség, azonban így kevesebb hulladék terheli a Földet. A termék áttervezése során helyettesíthetünk bizonyos alkatrészeket kevésbé környezetszennyezőre. Azzal, hogy egy elromlott terméket megjavítunk, növeljük az élettartamát, ezáltal kevesebb új termékre van szükség. Ez persze a gyártóknak nem feltétlenül hasznos. Újrafelhasználni egy terméket a környezet szempontjából jelentős dolog. Az újrahasznosítás révén kevesebb anyagot kell a későbbiek során a természetes forrásokból felhasználnunk, maga az újrahasznosított anyag nem terheli hulladékként a környezetet, azonban az újrahasznosítás révén a környezetre káros hatással lehet. Ez persze nem feltétlenül jelenti azt, hogy károsabb, mintha a természeti erőforrásainkból nyernénk az anyagot.

### 3.3. Valdez, vagy CERES irányelvek

Számos irányelv létezik, amelyeket azért fogalmaztak meg, hogy az ipar megértse, és foglalkozzon a termelés környezetre gyakorolt hatásával. Például a Financial Times-ban, 1991. március 27-én megjelent Valdez Irányelvek (Valdez Principles), amelyet később CERES irányelvekként említenek. 1989-ben Joan Bavaria megalapította a Coalition for Environmentally Responsible Economies-t (A Környezetért Felelős Gazdaságok Egyesülete), amely elnevezés mozaikszavas CERES változata a római termékenység és mezőgazdaság istennőjének neve. Az Exxon Valdez olajkatasztrófa után még a megalakulás évében a CERES megfogalmazta 10 pontból álló irányelveit, amelyek a vállalatokat abban segítik, hogy jó környezeti hatékonysággal folytassák a gyártást. A CERES Irányelveket napjainkban már számos vállalat tartja szem előtt, többek között a General Motors is.

### 3.4. 10 aranyszabály

A 10 aranyszabályt Luttropp és Lagerstedt [3] dolgozta ki. A szabályok azon irányelveknek az összegzése, amelyek különféle vállalatok belső irányelvei, illetve különféle kézikönyvek ajánlásai. A 10 aranyszabály meglehetősen általános, minden vállalatnak termék és vállalat specifikus szabályokat célszerű kidolgoznia.

## 4. ERGONÓMIA

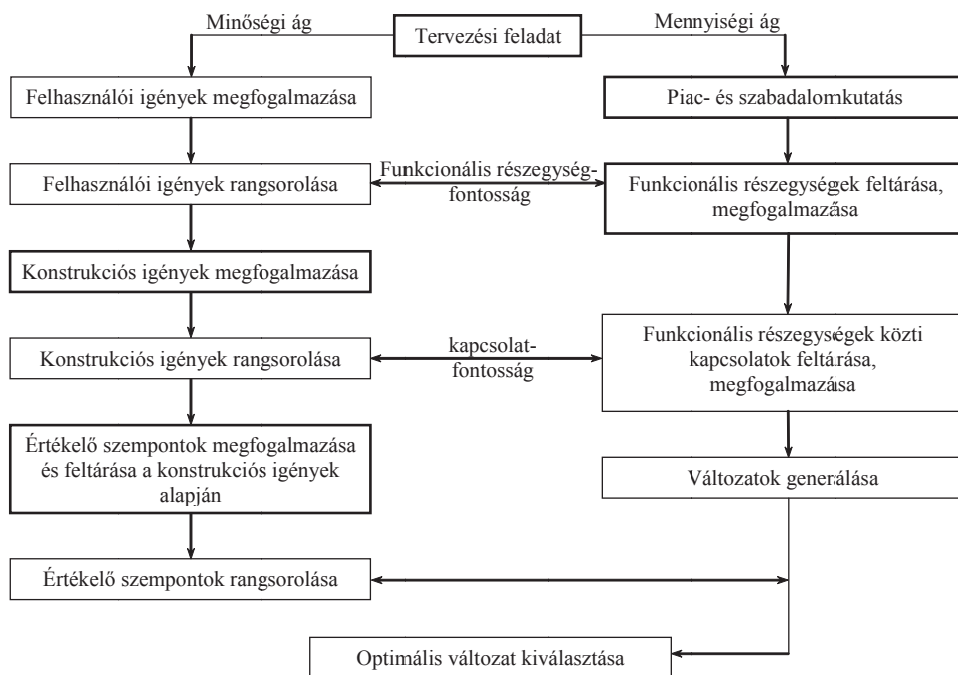
MacLeod [4] 12 irányelvet fogalmazott meg, amelyek a tervezés során nyújtanak segítséget abban, hogy olyan gépet, eszközt, berendezést, terméket tervezhessen a tervező mérnök, amely használata során biztosítja az ember számára kényelmes munkavégzést. Irányelveit meglehetősen általánosan fogalmazta meg, mindazonáltal jelentős segítséget nyújthatnak a tervezés során. David Ridyard 5 fő területet definiált, amelyeken belül számos irányelvet fogalmazott meg, arra vonatkozóan, hogy az emberi test számára milyen testhelyzetek tekinthetők normálisnak. A cél tehát ezen normális testhelyzetek elérése, fenntartása.

## 5. A KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉS

A 2. ábra [5] a kutatás legfőbb területét, a koncepcionális tervezés fázisát foglalja össze. A javasolt módszer magába foglalja a könnyű algoritmizálhatóságot, ezáltal a folyamat számítógépre való adaptálását. A javasolt módszer egy mennyiségi és egy minőségi ágra bontható.

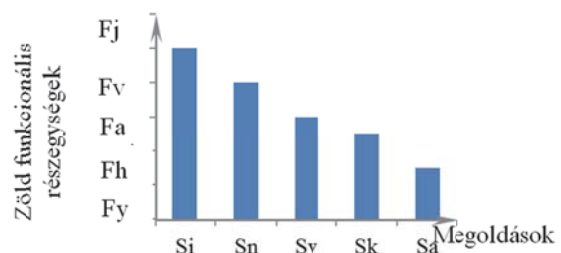
A mennyiségi ág elemei lehetővé teszik, hogy minél több szempontot, ezáltal funkcionális részegységet és megoldásváltozatot vegyen figyelembe a tervezőmérnök, míg a minőségi ág a különféle elvárásoknak való megfelelés szerint értékeli azokat, és szűkíti a megoldástér nagyszámú elemeit, lehetőség szerint egyre, a feladat optimális megoldására. Ez a mai modern világban jelentős mértékben megkönnyítheti a tervezőmérnök feladatát. A 2. ábra jól láthatóan vastag vonalakkal keretezett lépések jelölik

azokat a fázisokat, ahol a DfE elemei valamilyen módon figyelembe vehetők. Azt azonban, hogy milyen mértékben lehet figyelembe venni, illetve hogy ez milyen hatékonyságot jelent, a kutatás jelenlegi állása szerint nem lehet számszerűen megfogalmazni. A számszerűsítést nagymértékben segítené egy olyan katalógus összeállítása, amely azokat a funkcionális részegységeket foglalná magába, amelyeknek valamilyen „zöld hatása” van, és a DfE eszközök valamelyikét felhasználja.



2. ábra. Javasolt koncepcionális tervezési folyamat

Ahhoz, hogy egy már meglévő, a 2. ábra szerinti folyamat alapján működő számítógépes szoftver segítségével figyelembe vehessük a környezetre gyakorolt várható hatásokat a funkcionális részegységek feltárása és megfogalmazása során külön csoportban meg kell fogalmazni a „zöld” funkcionális részegységeket. Ilyenek lehetnek például a napelem, a különféle szűrők/filterek, led, stb. Ezeket sorba kell rendezni a várható környezetre gyakorolt hatás alapján, de úgy, hogy a tervezői követelményeket is figyelembe vegyük. A zöld funkcionális részegységek fontosságának így kialakított sorrendje alapján felállítható egy olyan diagram, amely aszerint rendezi sorba a legígéretesebb megoldásokat, hogy melyikben hány darab zöld funkcionális részegység található. Így egy 3. ábra szerinti diagram adódik.



3. ábra. Megoldások sorba rendezése a zöld funkcionális részegységek szerint

A diagram azt mutatja, hogy az egyes megoldások az előzetesen meghatározott és rangsorolt zöld funkcionális részegységek közül melyiket tartalmazzák. Eszerint az  $i$ -edik megoldás ( $S_i$ ) tartalmazza a diagramban megjelölt összes zöld funkcionális részegységet ( $F_y, F_h, F_a, F_v, F_j$ ), amelyek közül a legerősebb, vagyis a legnagyobb környezeti hatással bíró a  $j$ -edik funkcionális részegység, míg a legkisebb környezeti

hatással bír az  $y$ -adik. A legkisebb környezeti hatás azt jelenti, hogy az adott funkcionális részegység csupán kis mértékben járul hozzá a környezettudatos tervezéshez, amelyhez képest a  $j$ -edik funkció hatása igen jelentős. Ennek megfelelően a 3. ábra szerinti példa esetében az  $S_i$ ,  $i$ -edik megoldás a leginkább környezetbarát.

## 6. GREEN TIPS

Az előzőekben összegyűjtött környezettudatos eszközök meglehetősen általános javaslatokat ajánlanak a tervező mérnökök számára. A tervezési folyamat legkorábbi, koncepcionális tervezési szakaszában igen nehéz volna ezeket az elveket egy-az-egyben átvenni. Így ezek alapján egy olyan javaslat-rendszert kell kidolgozni, amely valóban hatékonyan segítheti a tervezőmérnök munkáját a tervezésnek már ebben a korai fázisában is, amikor várható hatásokat számszerűen még nem lehet kalkulálni, hiszen nem áll rendelkezésre sem konkrét méret, sem anyag, hiszen itt még csupán elvi szinten beszélünk a megoldásváltozatokról. Ebben a fázisban eldönthetők bizonyos kapcsolódási elvek, de azok konstrukciós jellemzői a későbbi tervezési fázisban kerülnek konkrét kidolgozásra, így a várható zöld hatások is csak ekkor számszerűsíthetők, azonban bizonyos irányelveket már itt is figyelembe lehet venni.

	HT1	HT2	HT3	...	HTn
GT1					
GT2					
GT3					
...					
GTn					

4. ábra. Tipp mátrix

$$\begin{array}{cccc}
 GT_i & & GT_z & GT_k & & GT_f & (1) \\
 \downarrow & & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \\
 F_1 & - & F_n & ; & F_i & - & F_j \dots \\
 \uparrow & & \uparrow & \uparrow & & \uparrow & \\
 HT_j & - & HT_p & HT_v & - & HT_q & 
 \end{array}$$

A 4. ábra a Tipp Mátrixot szemlélteti. A mátrix első oszlopa a zöld tippeket (GT), első sora az ergonómiával kapcsolatos tippeket (HT) tartalmazza. A mátrix celláiban azon funkcionális részegységek foglalnak helyet, amelyek mind az adott zöld, mind az adott ergonómiai tipp szempontjából szóba jöhetnek, mint javaslat. Ehhez természetesen rendelkezni kell egy funkcionális részegység készlettel, amit előzőleg meg kell fogalmazni, csakúgy, mint a tippeket.

A tippek alapján elfogadott megoldásrészletek az (1) egyenlet alapján írhatók le. Ezek egyértelműen nem kész megoldásváltozatok, hanem azoknak csak egy-egy részletét jelentik.

## 7. ÖSSZEGZÉS

Az előzőekben ismertetésre került irányelvek alapján egy olyan lista összeállítása van folyamatban, amely a környezettudatos tervezés eszközeit és az ergonómiát is figyelembe veszi, és ez alapján javaslatokat tesz a tervező mérnöknek a koncepcionális tervezés során, olyan módon, hogy amikor a funkcionális részegység listát készíti, akkor a már meglévő részegység-készletből ajánl elemeket.

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1- 16-2016-00011 jelű „Fiatlódó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 9. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Zilahy, Gy.: Tisztább termelés, Budapesti Corvinus Egyetem, HEFOP-3.3.1., előadásfóliák
- [2] Orbán, F.: Környezetszempon্তু tervezés, Budapesti Műszaki és Gazdasági Egyetem, HEFOP-3.3.1., előadásfóliák
- [3] Luttrupp, C.; Lagerstedt, J.: EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development, Journal of Cleaner Production, 2006., Elsevier
- [4] MacLeod, D.: The Ergonomics Kit for General Industry, ISBN 1280546115, ebook, CRC Press, 2006.
- [5] Takács, Á: Computer Aided Concept Building, Solid State Phenomena, ISSN 1662-9779, Vol 261, pp. 402-407, 2017.
- [6] Kiss, R.; Takács, Gy.: Examination of suitable methods for describing machine tool structures, Design of Machines and Structures, ISSN 1785-6892, Vol. 6., No. 1, pp. 39-47., 2016.

# KÚPOS HIDROSZTATIKUS CSAPÁGYAK VIZSGÁLATA

## EXAMINATION OF CONICAL HYDROSTATIC BEARINGS

Tóth Sándor Gergő, PhD hallgató, toth.sandorgergo@uni-miskolc.hu, Tóth Dániel, tanársegéd, toth.daniel@uni-miskolc.hu, Dr. Takács György, egyetemi docens, takacs.gyorgy@uni-miskolc.hu, Dr. Szilágyi Attila, egyetemi docens, szilagyi.attila@uni-miskolc.hu

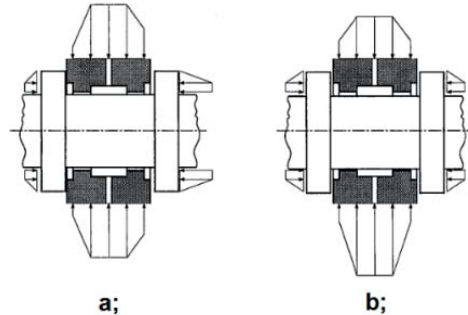
### ABSTRACT

This paper is aimed to analyze the conical hydrostatic journal bearings. A conical bearing design algorithm has been created from the basic geometric parameters and equations. Based on several researches, recommendations of conical hydrostatic bearing design, bearing optimization- and application possibilities are gathered.

### 1. BEVEZETÉS

A hidrosztatikus csapágyakkal napjainkban számos kutatás foglalkozik, mivel kiemelkedő teljesítményi jellemzőkkel rendelkeznek. Hidrosztatikus radiális (*hordozó*) és axiális (*támasztó*) csapágyak alkalmazásával a súrlódás minimalizálható, emellett kiváló merevséggel és jó csillapítási képességgel rendelkeznek, illetve egyenletesebb és pontosabb relatív mozgás érhető el velük [1]. Hidrosztatikus csapágyak esetében a csapágy és tengely felületek egy nagynyomású folyadékfilm réteggel kerülnek szétválasztásra. A filmréteg nyomását és keringtetését külső forrás (*szivattyú*) biztosítja áramszabályozó elemeken keresztül pl. kapilláris vezetékkel, fojtással vagy áramállandósító szeleppel. Az általános olajkenésű hidrosztatikus radiális csapágyak legalább négy nyomókamrával rendelkeznek, amelyeket külön-külön kell szabályozni [1]. A radiális hidrosztatikus csapágyak mellé azonban a legtöbb esetben szükség van axiális irányú megtámasztás beépítésére is. A tengelyen egy perem kerül kialakításra, amelyeket gyűrűpapucsos axiális hidrosztatikus csapágyak támasztják meg (*kombinált hidrosztatikus csapágyak*) [2]. Mivel a nyomókamra felülete axiális csapágyak esetében nagyobb, mint radiális csapágyaknál, így nagyobb térfogatáramot kell biztosítani. A Yates csapágy kialakításnál (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**) a beáramló olajnak a hagyományos radiális hidrosztatikus csapágyból az axiális csapágyon keresztül kell áthaladnia. Ezzel a konstrukcióval a radiális

csapágyak axiális terhelhetősége számottevően javítható, viszont a radiális irányú maximális terhelhetősége elmarad a hagyományos kivitelétől [2].

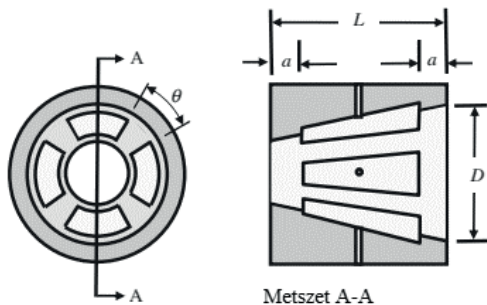


1. ábra. Yates kombinált hidrosztatikus csapágy kialakítása és nyomásprofiljai axiális (a) és radiális (b) terhelés esetén [2]

Axiális és radiális erők felvételére alkalmazhatóak kúpos hidrosztatikus csapágyak is. A kúpos hidrosztatikus csapágyak kialakítása számos előnnyel jár. A kombinált hidrosztatikus csapágyakhoz viszonyítva jelentősen csökken a beépítési méret, illetve a csapágyház egységessége a merevséget javítja. Az egyik csapágy elhagyásával, sokkal gazdaságosabbá válik az üzemeltetés is, mivel a rendszernek kevesebb lesz a folyadékszüksége. Az összeállításon belül a csapágyház mérete szabályozható. A kúpos hidrosztatikus csapágyak hátrányai a gyárthatóságuknál jelentkeznek, ugyanis a csapágyfelszíneknek és az összeállításoknak szigorúbb tűréseknek kell megfelelnie, mint a hagyományos kialakítású hidrosztatikus csapágyaknál [3]. Kúpos hidrosztatikus csapágyakban a kenőközeg lehet folyadék (pl. olaj, víz) vagy gáz (pl. sűrített levegő) a terhelőerőtől függően. Iparban leginkább a szerszámgyártás alkalmazza ezeket a megoldásokat. Kis terhelésű, de nagysebességű köszörűk és fúrók főorsóinak csapágyazását lehet ezekkel megvalósítani [2].

## 2. KÚPOS HIDROSZTATIKUS CSAPÁGYAK TERVEZÉSE

Kúpos hidrosztatikus csapágyaknál nyomókamrás és sima csapágyfelületű konstrukciókat lehet megkülönböztetni. Sima felületű hidrosztatikus csapágyakat hidrosztatikus, aerosztatikus és hibrid (*hidrosztatikus és hidrodinamikus*) kenési móddal is működethető(e)k. Hátrányuk a jelentős súrlódási ellenállás. Nyomókamrás kivitel csak hidrosztatikus kenésnél alkalmazható, ugyanis aerosztatikus csapágyaknál pneumatikus ütéshez (*légkalapács jelenséghez*) vezethet [3]. Minden egyes kamrához különálló áramlás-szabályozó elemet kell alkalmazni. A 2. ábra egy általános négy nyomókamrás kúpos hidrosztatikus csapágy kialakítása látható.



2. ábra. Négy nyomókamrás kúpos hidrosztatikus csapágy [3]

### 2.1 Csapágyelrendezés

A csapágy minden egyes támasztópapucsja aktív az axiális és radiális irányú terhelésekkel szemben, ezen erők összessége okozza a különböző irányú tengelykitéréseket. A csapágyak egybeépítését és egymáshoz közeli elhelyezését kerülni kell [1]. A toló irányú terhelésre a tengely axiálisan elmozdul, így az egyik kúp effektív mérete csökken. A radiális elmozdulás minden egyes filmréteg vastagságát csökkenti azonos mennyiséggel. Azonban a maximális radiális irányú elmozdulás esetén a terhelés eloszlás nem lesz azonos, a kisebb hézagú kúpcsapágy túlságosan, míg a nagyhézagú kúpcsapágy kevésbé lesz megterhelve. A jelenség kis terhelések esetében kevésbé számottevő, viszont a csapágméret-, illetve a kenőfilm réteg nyomásának növelésével kismértékben javítható [3]. Célszerű a csapágyakat egymástól minél távolabb elhelyezni. A konstrukciós megfontolás előnye, hogy kisméretű elmozdulás is elégséges ahhoz, hogy a nagyobb hézagú csapágy nagyobb terhelést hordozzon, ezáltal javítva a maximális terhelhetőséget és merevséget is [4].

Kúpos hidrosztatikus csapágy esetén az O elrendezést célszerű leginkább alkalmazni, ugyanis ekkor érhető el a legnagyobb teherbírási képesség. Mivel a főorsókat leginkább az egyik végpontjában terhelik, így megengedhető a csapágyterület radiális irányú vetületének csökkentése. Ezzel minimalizálható a súrlódási terület, ami javítja a rendszer hatásfokát, illetve könnyebb szerelhetőséget biztosít [3].

### 2.2 Geometriai méretek

A 2. ábrán bemutatott kúpcsapágy konfiguráció fontosabb paraméterei a következők:

**D** Csapágyátmérő (*a csapágy csonkakúp alapkörének átmérője*),

**L**- Axiális csapágyhossz,

**a** Axiális kiömlési hossz,

**b** Csapágy kamrák közötti szélesség szélessége, a csapágyhossz mentén változik az értéke,

**$\alpha$**  A csapágy félkúpszöge,

**$\theta$**  Belső kamrákat elválasztó felszínek által közbezárt szög,

**$h_0$**  A csapágyfelszín normálisán mért kenőközeg filmréteg vastagsága.

A kiömlési és csapágyhossz axiális irányú vetületi értékei, a valódi hossz megkapható a vetületi értékek  $\sec\alpha$ -val való szorzatából.

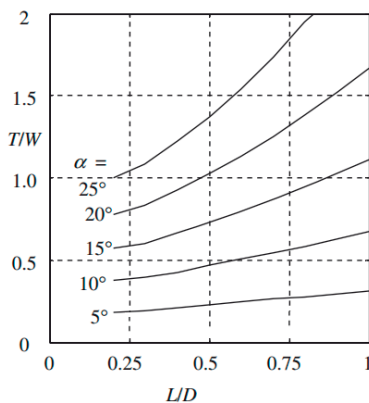
### 2.3 Méretezési sajátosságok

Méretezéshez először meg kell határozni a hidrosztatikus csapágy megengedett legnagyobb elmozdulását, illetve minimális kenőfilm ( $h_{min}$ ) réteg vastagságát:

$$h_{min} = (1 - \varepsilon_r) \cdot \bar{h}_a \cdot h_0, \quad (1)$$

ahol  $\varepsilon_r$  a radiális irányú excentricitási viszonyszám, a radiális irányban mérhető résmérethez vonatkoztatva,  $\bar{h}_a$  pedig a terhelt és terheletlen állapotban mért axiális résméret aránya. Ha axiális és radiális terhelések egyformán számottevők, akkor kisebb elmozdulásokkal kell számolni, ugyanis a legkisebb résméret is csökken. Ebben az esetben a legkisebb résméretnek a  $h_0$  érték 35%-át lehet venni [4]. Általános radiális hidrosztatikus csapágyaknál a nyomásviszonyt ( $\beta$ ) kapilláris szabályozásnál 0,5-re érdemes választani [1], kúpos hidrosztatikus csapágyaknál viszont az axiális elmozdulás megtámasztása miatt érdemes ezt 0,4-es értékre venni [3]. Az áramlás nagysága az egyes csapágyvégpontok felé sem lesz állandó, mivel a csapágy nagyobb átmérőjű végpontjában nagyobb lesz az

áramlás, ezért a szabályzóelemeket úgy kell megtervezni, hogy a beáramlás mindkét irányban egyenletes történjen. A csapágy terhelhetősége több tényezőtől is függ. Ha a radiális erő a főterhelés, akkor a csapágy méretből származtatott viszonyszámot ( $L/D$ ) 1-nél kisebb értékre kell venni [4]. A csapágyhossz függ a csapágy félkúpszögétől is, így minél nagyobb  $\alpha$  értékre kell törekedni. Axiális főterhelés esetén a csapágyhosszt növelni kell, azonban több csapágyas rendszereknél az  $L/D$  viszonyszámot 1 körüli értékre kell venni, a maximális  $\alpha$  értéke pedig  $25^\circ$ - $30^\circ$  [4]. A kiömlési hossz és csapágyhossz viszonyaránya ( $a/L$ ) szintén tervezési paraméterként kell kezelni, a kiömlési hossz növelése a terhelhetőség csökkenésével jár. Kísérleti eredmények alapján több csapágyas rendszereknél kiindulásnak ezt a paramétert 0,25-re érdemes felvenni [3]. Nyomókamrák számának változtatása a maximális terhelhetőséget kevésbé befolyásolja [5]. A nyomókamrák és terhelési viszonyszámok függvényében tervezési diagramok szerkeszthetők (3. ábra) [3-5].

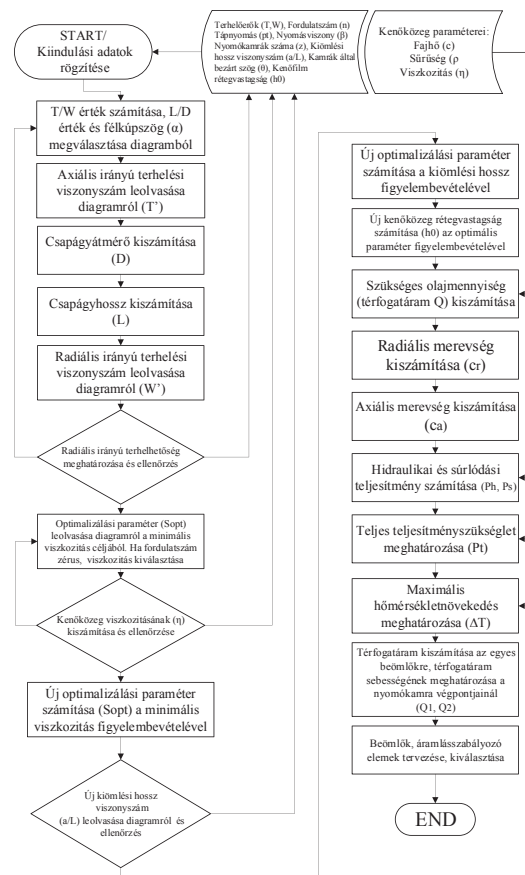


3. ábra. Négy nyomókamrás hidrosztatikus  $L/D$  értékének meghatározása a terhelések viszonyából ( $T$  = axiális terhelés,  $W$  = radiális terhelés) [3]

Nagysebességű működtetés esetén a minimális energiafogyasztás akkor valósul meg, ha a súrlódási és hidraulikus teljesítmény megegyezik. Az optimális érték  $1 < \bar{P} < 3$  között van, ahol  $\bar{P}$  a súrlódási és hidraulikus teljesítmény hányadosa. Ennek a feltételnek a teljesítése számos paramétertől függ (*pl. folyadék dinamikus viszkozitásától ( $\eta$ ), tápanyomás értékétől ( $p_t$ ), fordulatszám nagyságától ( $n$ ) és kenőréteg vastagságától ( $h_0$ )), ezért ezeket a tényezőket együttesen egy optimalizálási paraméterben ( $S_{opt}$ ) célszerű figyelembe venni [3]:*

$$S_{opt} = \frac{\eta \cdot N}{p_t} \cdot \left( \frac{D}{2h_0} \right)^2 \quad (2)$$

Alapértéke  $\bar{P} = 1$  értékre értendő és tervezési diagram készíthető belőle, amellyel meghatározható az optimális kiömlési hossz is. Nagysebességű működtetés esetén számolni kell a termodinamikai és inercia hatásokkal. A csapágy-párna mozgásából származó olaj kenőközeg hőmérséklet növekedése a teherbíró képességet jelentősen rontja, viszont a térfogatáram növekedésével jár [6]. A terhelhetőséget nagysebességű működtetésénél a nyomókamra méretei is befolyásolhatják [6].



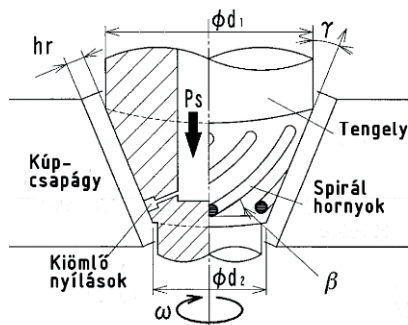
4. ábra. Kúpos hidrosztatikus csapágyak méretezési algoritmus

Egy hidrosztatikus csapágyak méretezéseinek főbb lépései (*terhelhetőség, merevség, térfogatáram, összteljesítmény-szükséglet kiszámítása, szabályzóelemek elemek kiválasztása*), valamint a kúpos hidrosztatikus csapágyak tervezési sajátosságai alapján egy méretezési algoritmus határozható meg (4. ábra). A számítás menetében három ellenőrzési pont található. A terhelhetőség számításához tetszőleges  $L/D$  és  $\alpha$  értéket kell kiválasztani tervezési diagramból. Ha

az ellenőrzés után nem felel meg, akkor új értékeket kell leolvasni a terhelések viszonylatában, vagy a kiindulási paramétereket kell módosítani. Előfordulhat, hogy a megfelelő kenőközeg viszkozitása túl alacsony vagy túl magas értéket vesz fel. Ebben az esetben minimális viszkozitási értéket kell meghatározni ( $\eta_{min}$ ), vagy konvencionális viszkozitású kenőközeggel kell tovább számolni. A kiömlési hosszánál ellenőrizni kell, hogy a terheletlen állapotbeli résméret ( $h_0$ ) legalább 50-szerese legyen [3]. Ha nem felel meg a kritériumnak, ezzel az ajánlással kell továbbszámolni. Az optimalizálási paramétert ( $S_{opt}$ ) több pontban is újra kell számolni a viszkozitás és kiömlési hossz figyelembevételével. A térfogatáram ( $Q$ ) kiszámításánál ellenőrizni kell, hogy a nyomókamrában a kenőközeg közel azonos sebességgel áramoljon a csapágy végpontjai felé.

### 3. TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Hidrostatikus csapágyak működtetésének számos előnye ellenére a nagysebességű üzemeltetése nem ajánlatos, ugyanis a fellépő turbulens áramlás kiegyensúlyozatlansághoz vezet.



5. ábra. Kúpos hidrosztatikus csapágy spirálhornyokkal [8]

Szémos olyan kutatás zajlik, amelyben a nagysebességű működés stabilitását igyekeznek javítani. L. J. Nypan gördülő csapágyazás mellé kúpos hidrosztatikus csapágygyűrűket épített be. A lamináris és turbulens áramlási körülmények alatt vizsgált rendszerrel a súrlódási nyomaték csökkenthető [7]. S. Yoshimoto vízzel működtetett hidrosztatikus kúp csapágyak maximális fordulatszámát vizsgálta. A nagysebességű működtetés stabilitása a forgó tengely kúpfelületén bemunkált spirális hornyok segítségével javítható [8]. A nagynyomású folyadékot a tengelyen keresztül vezetik át horony kiömlő pontjába (5. ábra). A horony szélessége, szöge és mélysége jelentősen befolyásolja a

stabilitást, ezen felül optimummal is rendelkeznek. A konstrukcióval akár  $120\,000$  [1/min] maximális fordulatszám is elérhető  $10$  [ $\mu\text{m}$ ] csapágyhézag mellett [8].

### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Axiális és radiális terhelést felvevő hidrosztatikus csapágyrendszerek ismertetése után, kúpos hidrosztatikai csapágyazás elrendezésének és kialakításának sajátosságai kerültek összefoglalásra. Hidrosztatikus csapágyak méretezéséből a kúpos csapágyak speciális kritériumaival bővítve egy méretezési algoritmus fektethettünk le. Nagysebességű működtetésnél a stabilitás speciális hibrid beépítéssel és spirál hornyos kialakítással javítható.

### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### 6. IRODALOM

- [1] F. M. Stansfield: Hydrostatic Bearings, Machinery Publishing Co., London, 1970.
- [2] R. Bassani, B. Piccigallo: Hydrostatic Lubrication, Elsevier Academic Press, London, 1992.
- [3] W.B. Rowe Hydrostatic, Aerostatic and Hybrid Bearing Design, Butterworth-Heinemann Publication co Elsevier, London, 2012.
- [4] S.C.Sharma: Performance Analysis of multirecess capillary compensated hydrostatic journal bearing, Tribology International vol .44, pp. 617-626, 2011.
- [5] T. J. Prabhu: Analysis of Multirecess Conical Hydrostatic Thrust Bearing Under Rotation, Wear vol. 89 pp. 29-40, 1982.
- [6] E. Salem: Thermal and Inertia Effects in Externally Pressurized Conical Thrust bearing, Flow, Turbulence and Combustion vol. 34, pp. 341-366, 1978.
- [7] L.Y. Nypan: Optimization of Conical Hydrostatic Bearing for Minimum Friction, Journal of Lubrication Technology vol. 94 pp. 136-142, 1972.
- [8] S. Yoshimoto: Stability of Water-Lubricated Hydrostatic, Conical Bearing With Spiral Grooves for High-Speed Spindles, Journal of Tribology vol.124, pp. 398-405, 2002



# EMBERI TÉNYEZŐK INTEGRÁLÁSA A MINTÁZATKÉSZÍTÉS FOLYAMATÁBA

## INTEGRATING HUMAN FACTORS INTO THE PATTERN CREATION PROCESS

*Trautmann Laura, MSc, trautmann.laura@gt3.bme.hu*

*Dr. Piros Attila, PhD, piros.attila@gt3.bme.hu*

### ABSTRACT

The results of this research have proved the concept, that although the motivations and experiences of the people may differ from each other, nevertheless a given product, form or patterns in its physical form have a similar effect on them.

This article shows an own concept for the process of sample creation, and it is presented through an example.

### 1. BEVEZETÉS

Ez a cikk egy doktori téma részeredményét hivatott bemutatni. A „Humán tényezők kezelése a gépészeti tervezési projektekben” címmel futó kutatás végeredménye azt a szemléletmódot fogja adni a tervezési folyamatnak, hogy a fogyasztói reakciókat előre ismerve, tudatosan alkothatná meg a tervező az adott felületet, formavilágot, vagy más megjelenéshez köthető terméktulajdonságot. Ahhoz, hogy a kiváltott érzelmet előre meg tudjuk határozni, egy igen komplex, sok vizsgálati adatot tartalmazó kutatási munka szükséges, melynek egy állomását mutatja be a cikk.

### 2. EDDIGI EREDMÉNYEK KÉRDŐÍVBE VALÓ IMPLEMENTÁLÁSA

Az eddig elkészült irodalomkutatások legfőbb eredményeinek és az ezek alapján készült fókuszcsoporthoz interjúk következtetései feldolgozását követően [1] hat féle kérdőív készült el.

A kérdőív kialakításánál figyelembevételre került a Gestalt elméletben is bemutatott rész – egész viszony fontossága. „A Gestalt-megközelítés azt hangsúlyozza, hogy a tárgy (az „egész”) több, mint a részek összessége (a tárgyakat alkotó elkülönült körvonaldarabkák összege)” [2], emiatt a kérdőívek a mintázat készítés 3 fő fázisára támaszkodva készültek el. Három rész alkotta a kérdőív törzsét, ahol többnyire az első résznél az alap geometria pl.

négyszög, kör stb., a második résznél az abból készült ismétlődő egység geometriája, a harmadik résznél pedig a kész mintázat adta a kérdések tárgyát.

### 3. EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

A felmérésben összesen 534 fő vett részt. Az általuk adott válaszok („Egyáltalán nem”, „Nem nagyon”, „Eléggé” és „Nagyon”) számszerűsítésre kerültek. A termékek ergonómiai értékelésénél alkalmazott módszerhez [3] hasonlóan először súlyozva lettek az értékek a következő módon:

Egyáltalán nem 0 pont

Nem nagyon 1 pont

Eléggé 2 pont

Nagyon 3 pont

*1. táblázat Számszerűsítés*

Pont	Lehetséges válaszok	Mennyire érzed megnyugtatónak?
0	Egyáltalán nem	12
1	Nem nagyon	21
2	Eléggé	29
3	Nagyon	4
	<b>Összes válaszadó</b>	66
	<b>Súlyozott érték</b>	91
	<b>Átlag = X koordináta</b>	1,4

Az ezt követő számítás célja, hogy az eredményeket koordinátarendszerben lehessen ábrázolni, ahol az X az Y és a Z tengely 1 mintázat 3 részmintájának jellemzőit jelöli. A tengelyek értékei maximum 3-ig értelmezhetőek, ahol 3 a „Nagyon” 0 pedig az „Egyáltalán nem” fogalmakat jelölik.

A koordináták meghatározása a következő: **Súlyozott érték:** A válaszok, és a hozzá tartozó pontok szorzatának az összege. Az 1. táblázat példájában:  $0 \cdot 12 + 1 \cdot 21 + 2 \cdot 29 + 3 \cdot 4 = 91$

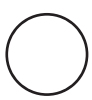


**Átlag = koordináta:** Ha a súlyozott értéket elosztjuk, a kérdésre adott válaszadók számával akkor megkapjuk az átlagot, mely az adott tengely koordináta pontját fogja jelölni. Az 1. táblázat példájában:  $91:66 \approx 1,4$

Ugyanilyen elgondolás alapján az összes kérdéshez fogunk tudni adni egy koordinátát. Ezeknél ugyanarra a kérdésre adott 3 válasz határoz meg egy csomópontot (X,Y,Z), hiszen 3 fázis tartozik egy mintázat készítéshez.

Az X koordináta a mintázat készítés 1. fázisához, az alapeometriához tartozik, az Y koordináta a 2. fázishoz, ami többnyire az ismétlődő elem, a Z koordináta pedig kész mintázathoz.

Ha mind a hat mintáztnál alkalmazzuk a fent ismertetett lépéseket, egy csomóponti táblázatban összesíthetők a kialakult koordinátákat. Az adatok alapján több következtetést is le lehet vonni, az egyik legérdekesebbet azonban a legmagasabb értékek vizsgálatánál kapjuk meg.




2. táblázat Harmadik mintázat  
- csomóponti táblázat

Harmadik mintázat			
Kérdés			
Mennyire érzed nyugtatónak?	<b>1,7</b>	1,3	1,2
Mennyire érzed nosztalgikusnak?	0,9	1	<b>1,8</b>
Mennyire érzed vidámnak?	<b>2,4</b>	1,7	1,5
Mennyire érzed otthonosnak?	<b>1,7</b>	1,3	1,5
Mennyire érzed stabilnak?	<b>2,5</b>	1,4	1,5
Mennyire illenek hozzá az élénk színek?	1,1	<b>2,1</b>	1,8
Mennyire illenek hozzá a pasztell színek?	<b>1,9</b>	1,6	<b>1,9</b>

A 2. táblázatban a koordinátákat összesítő táblázat harmadik mintázathoz tartozó részét láthatjuk. A félkövérrel kiemelt számok – és oszlopuk - azt mutatják, hogy a kitöltők az adott tulajdonságot melyik részmintáztnál tartják legjellemzőbbnek.

Az eredmények alapján lehet élni egy olyan feltételezéssel, hogy a jellemzők abból a lépésből származtathatóak, amelyhez a legnagyobb értékek társulnak. Ez azt jelenti, hogy például, amikor a fókuszcsoporthoz interjú során a résztvevők a harmadik mintázatot megnyugtatónak tartották, akkor azt nem tudták, hogy ennek oka, hogy a mintázat körökből áll össze, csak volt egy ilyen érzetük. Azonban látható, hogy külön vizsgálva a kör képviseli leginkább a megnyugtató érzést és bár a mintázat módosulásával ez tompult, a végeredményben is érezhető maradt. Tehát azok a jellemzők melyek az első oszlopban, tehát a mintázat generálás első fázisában (alap geometria) kapták a legnagyobb értéket, azok abból a geometriából adódnak. Mindegyik esetben látható az előbb említett jelenség, hogy azok a folyamat során tompulnak, azonban végig jelen maradnak. A második, főleg a harmadik oszlopban lévő fázisoknál az a következtetés vonható le, hogy a mintázat készítésének módja, adja a tulajdonságot.

3. táblázat Első mintázat  
- csomóponti táblázat

Első mintázat			
Kérdés			
Mennyire érzed megnyugtatónak?	<b>1,4</b>	1,1	1,2
Mennyire érzed légiesnek, könnyednek?	<b>1,8</b>	1,7	1,4
Mennyire érzed izgalmasnak?	0,6	1,6	<b>2</b>
Mennyire jut eszedbe az örökkévalóság?	<b>1,1</b>	0,7	0,9
Mennyire érzed hullámzóknak?	0,6	1,3	<b>2,8</b>
Mennyire illik hozzá a fehér szín?	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>	1,5
Mennyire illik hozzá a bordó szín?	1,3	1	<b>1,5</b>

Ha megfigyeljük például az első mintázat esetén a hullámzó tulajdonságot, akkor láthatjuk, hogy mivel a mintázat készítés a hullámzó jelleg felvételét célozta meg, a mintázat készítés előrehaladtával az értékek is nőnek. Ezek alapján mondhatjuk azt, hogy egy

mintázat tulajdonságai (a színek kivételével) két forrásból származhatnak, egyrészt az alapeometria tulajdonságaiból, másrészt pedig a mintázat készítés módjából.

#### 4. ALKALMAZÁS

Ahhoz, hogy a Fuzzy logika alkalmazása sikeres legyen, a mintázatokhoz kapcsolt jellemzőket csoportosítani szükséges. A jellemzők a következő négy nagy csoportba lettek összesítve:

- Geometriailag leírható tényezők (hullámzó, szabályos, harmonikus stb.)
- Egyénileg megalapozott tényezők (izgalmas, légies, szép stb.)
- Színek (fekete, piros, sárga stb.)
- Szociálisan megalapozott tényezők (nosztalgikus, otthonos, érdekes stb.)

A következő példa az elmélet könnyebb megértését segíti. Első lépésként minden csoportból egy jellemző került kiválasztásra:

- Geometriailag leírható tényezők: *szabályos*
- Egyénileg megalapozott tényezők: *izgalmas*
- Színek: *szürke*
- Szociálisan megalapozott tényezők: *kreatív*.

A mintakészítés során a fenti jellemzőket társítani szükséges egy külső jellemvonáshoz, elrendezéshez, alakzathoz stb. Az eddig levont következtések miatt négy fázis lett megkülönböztetve:

1. Alapeometria megválasztása
2. Mintázat vonulatának megválasztása
3. Szín hozzáadása
4. Egyéb módosítások

Jelen példában ezekhez a lépésekhez a következő csoportok lettek rendelve:

1. Alapeometria megválasztása  
*Geometriailag leírható tényezők*
2. Mintázat vonulatának megválasztása  
*Egyénileg megalapozott tényezők*
3. Szín hozzáadása  
*Színek*

#### 4. Egyéb módosítások

##### *Szociálisan megalapozott tényezők*

##### 4.1. Alapeometria megválasztása

Az alapeometria jelenti az elsődleges geometriát, azt az alakzatot, ami a mintázat, az ismétlődés alapját fogja jelenteni. Jelen példában a geometriailag leírható tényezők csoportjából választott „szabályos” tulajdonságságot kell ennek biztosítania.

A felmérések során a legmagasabb szabályossági értéket a négyzet érte el. (Negyedik mintázat – első rész minta)



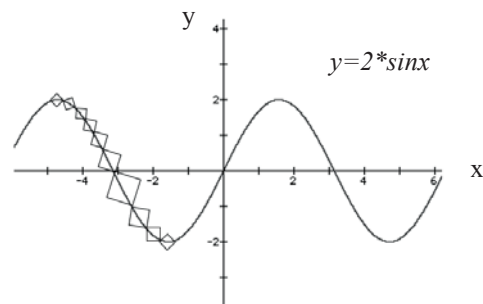
1. ábra Elsődleges geometria

##### 4.2. Mintázat vonulatának megválasztása

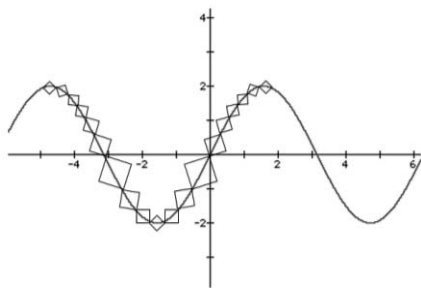
Az egyénileg megalapozott tényezők közül jelen példában az izgalmas tulajdonság lett kiválasztva, melyhez hozzá lehet társítani egy függvényt, mely a mintázat vonulatát fogja adni.

A 3. táblázatnál látható, hogy az első mintázatnál jelent meg ez a jellemző, továbbá, hogy a „hullámzó” jellemzővel a koordináta értékek alakulását megfigyelve korrelációban van. Tehát valószínűleg az alap minta módosított ismétlődéséből létrejövő hullámzás okozhatta az izgalmas érzetet, így a mintázat terjedésére egy szinusz függvény lett kiválasztva.

A szinusz függvény csak a vonulatot fogja adni, a mintázat négyzetekből fog állni, melyet a következő módon lehet megoldani:

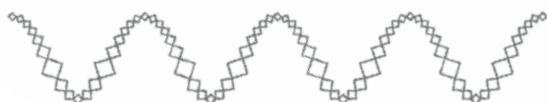


2. ábra Ismétlődő elem definiálása



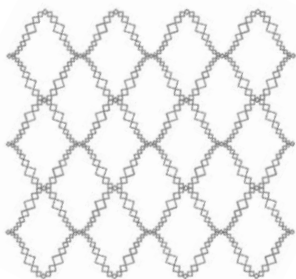
3. ábra Ismétlődő elem tükrözve

A négyzetek két átlósan vett csúcsa illeszkedik a függvényre és a síkidomok szorosan (csúcsoknál összeérve) követik egymást. A méreteik exponenciálisan növekednek, majd csökkennek, melyek a hullámzást még látványosabbá teszik, illetve matematikailag is könnyen leírhatóak. Az 2. ábra mintasorának felvételével az ismétlődés alapelemét kaptuk meg, így azt csak tükrözéssel (3. ábra) majd többszörös felvétellel kibővítve megkapjuk a kívánt hullámzást. (4. ábra)



4. ábra Hullámzó minta

Ennek az ismételt felvételéhez először vízszintes tükrözés került alkalmazásra, majd ezt sokszorosítva előállt a mintázat:



5. ábra Mintázat – 2. lépésnél

#### 4.3. Szín hozzáadása

Jelen példában választott szín: szürke.

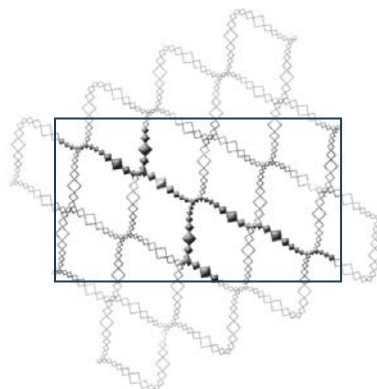
(Érdeemes lesz majd a felhasználóknak az összes színt felajánlani, hiszen nem csak ebben a vizsgálatban feltüntetett színek kedveltek.)

#### 4.4. Egyéb módosítások

A szociálisan megalapozott tényezők közül a választott jellemző: kreatív.

A felmérések alapján a kreatív jellemző legmagasabb értékkel olyan mintánál jelent meg, ahol eltolás került alkalmazásra a megjelenítésnél. További eszközök lehetnek ehhez a lépéshez: elforgatás, kiemelés.

Először elforgatás, majd a téglalappal kijelölt résznél részleges minta-kitöltéssel kiemelés történt. Ez a téglalap jelzi azt a területet, amit fel fogunk használni a termék kialakítása során.



6. ábra Mintázat – 4. lépésnél

#### 4.5. Mintázat terméken való elhelyezése

Itt látható a bemutatott rendszer alapján kapott mintázat néhány kedvelt tárgyon elhelyezve.



7. ábra Telefon és laptop mintázattal ellátva

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A fenti folyamat során automatikus mintázat generálás történik, ennek következő lépése egy matematikai modell és szoftver kód elkészítése.

## 6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Trautmann L., Piros A., Identifying the Emotions in Order to Design the Patterns of Consumer Products, 2017
- [2] Csépe V., Győri M., és Ragó A., Általános pszichológia 1–3. – 1. Észlelés és figyelem, Osiris Kiadó, 2007-2008.
- [3] Hercegfői K. és Izsó L., Ergonómia, Budapest: Typotex, 2008.

# FELÜLETGEOMETRIA NUMERIKUS VIZSGÁLATA VÉKONYFILM BEVONATI RÉTEGEKRE

## NUMERICAL EXAMINATION OF SURFACE GEOMETRY FOR THIN FILM COATINGS

*Vadászné Bognár Gabriella, Prof. Dr., Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék*

### ABSTRACT

In the coating processes it is important to predict the properties of the coated surface or to obtain a thin film with the desired properties. The aim of this paper is to get numerical results on the surface morphology and the roughness of the thin film.

### 1. BEVEZETÉS

A fizika és az anyagtudományok egyik nagy kihívása az interfészek növekedésének és felületi morfológiájának megértése, mind a természetben, mind a technológiai alkalmazásokban lejátszódó folyamatokban. A statisztikus fizika egy nemrégiben kifejlesztett igen aktív kutatási területe a felszíni növekedési folyamatok megértése [1]. A kutatók számára kihívást jelent a nanostruktúrált anyagok szerkezete és tulajdonságai közötti kapcsolat feltárása, a nano-léptékű szerkezetek tudatos, tervezett módon történő kialakítása. A bevonatolási eljárások ipari felhasználási lehetősége, hogy előírt tulajdonságokkal rendelkező vékony rétegeket alakítsanak ki szilárd hordozón [7]. A filmek előállításához különböző rétegeképzési technikák használatosak, mint pl. IBS, MBE, CVD, PVD.

A felületi evolúció dinamikájában mind a felületi durvulási, mind a simulási mechanizmusok vetélkedése figyelhető meg, például a molekulásugaras epitaxia (MBE) és a vákuumporlasztás (PVD) során. Az MBE során gyenge részecskenyalábot irányítanak a mintadarabra, így gyakorlatilag atomi rétegenként építhető fel a vékonyréteg és finoman szabályozható az összetétel. A vákuumporlasztás esetén a forrásból nem termikus hatásra lépnek ki a részecskék, hanem plazmát hoznak létre. Ez a folyamat alacsonyabb hőmérsékleten is végbe mehet. A két eljárás során a részecskék lerakódását és a

kialakuló felületi mintázatok kisimulását felületi diffúzió határozza meg [2-6]. A növekvő felületen önhasználó struktúrák figyelhetők meg, ugyanakkor a periodikus minták növekedése instabil. Valójában az amorf vékonyrétegek növekedési folyamatai attraktív rendszerben értelmezhetőek. Az amorf szerkezetek térben izotróp jelleget mutatnak hosszú távú strukturális sorrend hiányában. Az amorf vékonyrétegek kísérleti vizsgálatait, melyet elektronsugaras porlasztással hoztak létre bucca jellegű szerkezetek kialakulását mutatják mezoszkopikus hosszúságban [7-8]. A durvaszemcsés kontinuum modellek sztochasztikus növekedési egyenletei az atomi méretű növekedési eljárások bonyolultságát jelzik [1].

Nem-egyensúlyi fizikai problémákban a nemlineáris dinamika és mintázatképződés már több évtizede magára vonta a kutatók figyelmét fizikai, kémiai és biológiai folyamatokban játszott szerepe miatt. Azonban csak nemrég vált világossá, hogy hasonló jelenségek döntő szerepet játszanak nanoszkopikus folyamatokban. Míg a makro- és mikroszkopikus szinten nagy előny a folyamatok ellenőrzése speciális eszközökkel és készülékekkel, addig nano méretekben az ilyen eszközök hiányoznak, vagy használatuk megfizethetetlenül drága [5]. Ezért spontán a mintázatképződés és az önszerveződések megfigyelése különlegesen ígéretes e folyamatok ellenőrzésében.

A technológiai eljárásokban több szempontból jelentős a felületek bevonásánál az olyan anyagok alkalmazása, amelyek rendezett szerkezetű felületi rétegeket képesek kialakítani. Vékony filmek nanostruktúráltása olyan beavatkozás, amellyel előírt szerkezetű felületbevonatokat indukálhatunk, vagy ellenőrizhetjük a már meglévő lerakódások mintázatát. A nanoszerkezetek mérete és alakja kialakulhat spontán a belső feszültség hatására,

vagy külső feszültség alkalmazásával. A jelenlegi kutatások célja, hogy megértsük a felületi instabilitások fizikai okát és előre jelezzük azok időbeli alakulását.

A dolgozat célja, hogy fizikai modellalkotás után numerikus szimulációval előállítsuk a bevonó eljárás során kapott felületi struktúrát az anyagi és fizikai paraméterek függvényében és meghatározzuk a felületi érdesség időbeni változását néhány speciálisan választott esetre.

## 2. AZ ALKALMAZOTT MODELL

A matematikai megközelítésben nagyon fontos, hogy a paraméterek bizonytalanságát a modellbe beépítsük. A bizonytalanságok fő forrásai nehezen megjósolhatók. Ilyenek például az atomi szintű elasztikus egymásra hatások és a felületi állapotváltozások. A szabálytalan felületek jellemzését leíró parciális differenciálegyenletekhez szabad peremfeltételek járulnak. A parciális differenciálegyenletek megoldása analitikusan nem, vagy csak rendkívül ritkán állíthatók elő, az alkalmazott numerikus algoritmusok pedig általában nem stabilak, ezért variációs módszereket szükséges alkalmazni. A jelenséget leíró meghatározó egyenletek rendszerint erősen nemlineáris differenciálegyenletek.

A felület bevonó eljárásokban a kiinduló állapotban az alaplap egy majdnem teljesen síkfelület és az eljárás során a gőz részecske sugarakban érkező részecskék merőlegesek a felületre és a lerakóeljárás jellemzője a lerakódás fluxusa. A felületre érkező részecskék különböző felületi diffúziós folyamatok mentén keresztül amíg eléri a végleges helyzetükbe. Ezen részecskékből épül fel a növekedő felületi réteg bizonyos idő elteltével. A felületi réteget jellemző magasság vagy morfológia a  $H(t, x, y)$ , mely függ a  $t$  időtől és a helykoordinátáktól. A felületi struktúra fejlődését a felületre éppen érkező részecskék és a felületre már kondenzált részecskék határozzák meg. Az időben és térben lejátszódó folyamatot különböző mechanizmusok egymásra hatása határozza meg, mint a durvulás, a simulás és az alakképződés. A felület durvulásának vizsgálatához a  $h(t, x, y) = H(t, x, y) - Ft$  magasságprofilt vizsgáljuk, ahol  $F$  az átlagos lerakódás mértéke és  $h$  kielégít egy  $h_t = G(\nabla h)$  típusú egyenletet valamely a lerakóeljárás

beállítási paramétereitől és az anyag-paraméterektől függő  $G$  funkcionállal.

A fő cél, hogy olyan determinisztikus egyenleteket állapítsunk meg, amelyek megoldásai a fizikai jelenséget megfelelően jellemzik, és amelyekből a kezdeti feltétellel nyert eredmények nagy valószínűséggel érvényesek maradnak hosszú idő eltelte után is. Az egyenletek néha kiegészülnek még sztochasztikus tagokkal is, amelyek hőmérsékleti vagy műszeres zajokat reprezentálják. Ebben a dolgozatban a zaj hatásaival nem foglalkozunk.

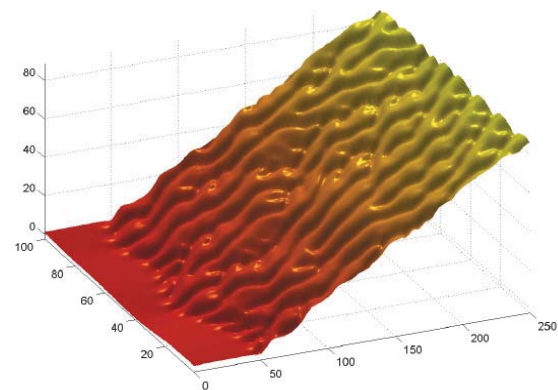
A dolgozatban a  $t$  időben lejátszódó folyamatokat egy-dimenzióban az  $x$  helykoordinátával elemezzük. A felületi magasságot az elméleti síkfelülettől a  $h(x, t)$  magasságfüggvény jellemzi.

Speciálisan a Kuramoto-Sivashinsky (KS) egyenlet a determinisztikus dinamikus rendszer mintapéldája, amely a fizikai jelenség komplex térbeli és időbeli kaotikus viselkedését írja le. Ennek általános alakja

$$h_t = -h_{xx} - h_{xxx} + (h_x)^2, \quad (1)$$

ahol az indexek az  $x$ , ill. a  $t$  változó szerinti deriváltakat jelölik. Az (1) típusú egyenlettel a láng front terjedését, a plazma ion hullámok mozgását és kémiai fázis turbulenciát modellezik [2]. Az (1) egyenletnek egy módosított alakját alkalmazzák az amorf vékony filmrétegek és a felszín durvulási folyamatainak modellezésére, ahol a jobboldalon szereplő nemlineáris tag helyett egy másik nemlineáris tag jelenik meg:

$$h_t = -h_{xx} - h_{xxx} - r(h_x)_{xx}^2. \quad (2)$$



1. ábra A (3) egyenlet  $h(t, x)$  megoldása  $r = 0,01$  esetén

A (2) egyenlet az ún. 'conserved' Kuramoto-Sivashinsky (CKS) egyenlet [9, 10], ahol az  $r$  anyagi és fizikai paramétereiből számítandó. Vizsgálataink során a (KS) és a (CKS) egyenletek egyesített változatát alkalmazzuk:

$$h_t = -h_{xx} - h_{xxx} + (h_x)^2 - r(h_x)_{xx}, \quad (3)$$

amellyel vékonyrétegek durvulása jellemezhető.

A vékony filmek fizikai viselkedésének, a növekedési folyamatoknak és a mikrostruktúrák fejlődésének jellemzésére a hasonlósági módszer alkalmazható [11]; ebben a dolgozatban a megoldások vizsgálatához a numerikus szimulációt vizsgáljuk. Ezek az eredmények nyújtanak segítséget abban, hogy magyarázatot adjunk a kísérletekben megfigyelt jelenségekre és validáljuk a matematikai modellt. Így követni tudjuk a feszültségi hatásokat a fizikai jelenségek megértésében. Az egydimenziós CKS egyenlet megoldását

$$h(0,x) = 0,01 \cos \frac{x}{16} \left( 1 + \sin \frac{x}{16} \right) \quad (4)$$

periodikus peremfeltétel mellett térben Fourier spektrál kollokációs módszerrel, időben negyedrendű Runge-Kutta módszerrel exponenciális idődifferencia sémájú idő diskretizációval határoztuk meg

$x \in [0, 32\pi]$ ,  $t \in [0, 250]$ ,  $N = 256$ ,  $\Delta t = 1/100$  (lásd 1. ábra).

A súrlódás, kopás és kenés folyamatai működő műszaki felületek között mennek végbe az adott környezetben, tehát három dimenzióban. A felületek mikrogeometriai jellemzésére a napi gyakorlatban általában kétdimenziós metszetprofil vizsgálnak. A felületek struktúrájának, mikro-topográfiájának ismerete a minőség és a működés kapcsolatának elemzésére, a gyártmányok tribológiai viselkedésének elemzésére irányul.

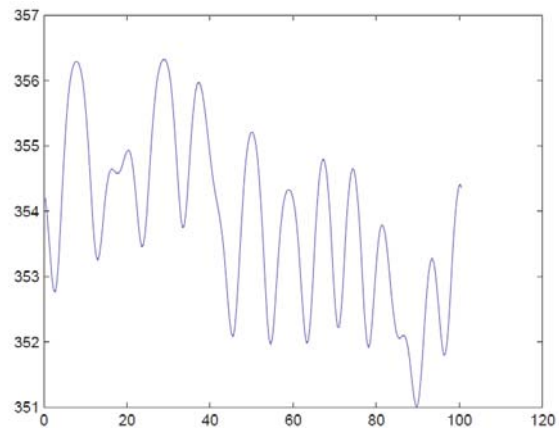
A filmfelület (3) egyenlet szerinti időbeli és térbeli fejlődését szemléltetik a 2-4. ábrák a felület struktúrájának keresztmetszeteire  $t = 1000$  időpillanatban  $r$  különböző értékeire.

Az érdekesség időbeli változását az átlagos magasságtól való eltéréssel a  $w(t)$  függvényrel szemléltetjük

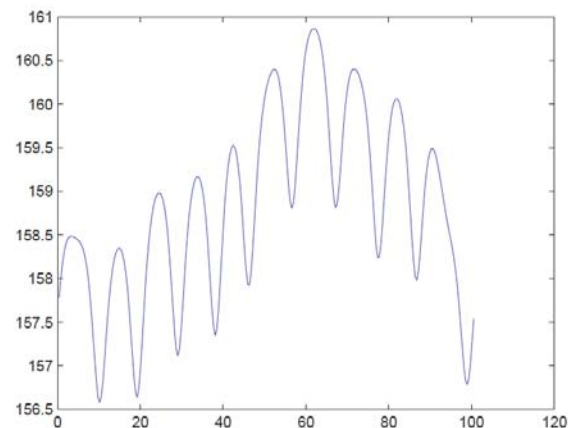
$$w^2(t) = \frac{1}{L} \int_0^L [h(x,t) - \bar{h}(t)]^2 dx,$$

ahol  $\bar{h}(t)$  a átlagmagassággfüggvény a

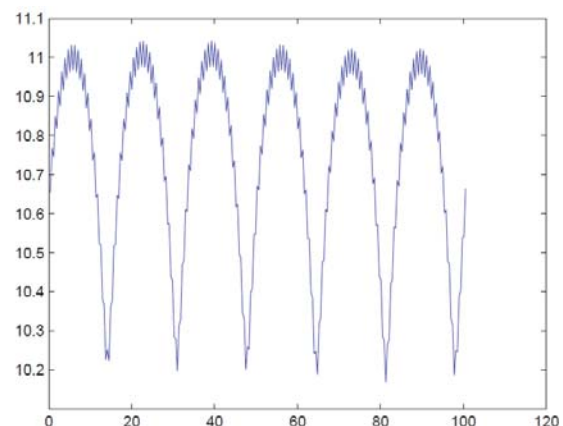
$$\bar{h}(t) = \frac{1}{L} \int_0^L h(x,t) dx$$



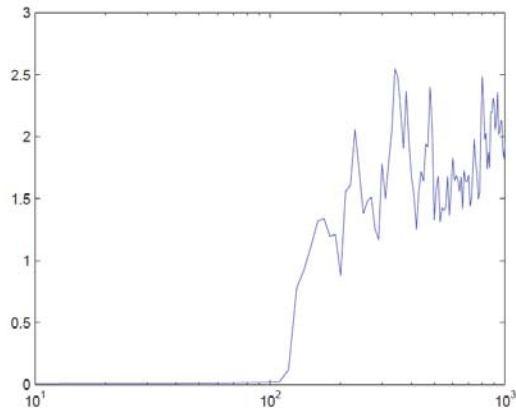
2. ábra. Magasság profil, ha  $t = 1000$  és  $r = 0,01$



3. ábra. Magasság profil, ha  $t = 1000$  és  $r = 0,5$

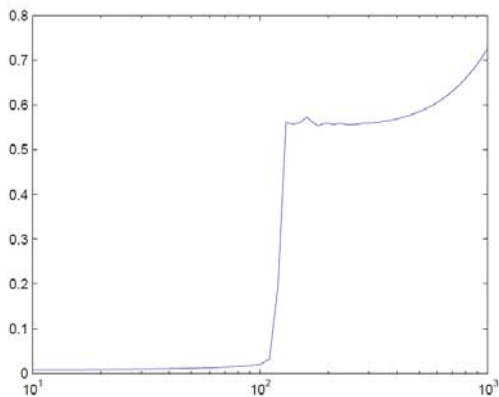


4. ábra. Magasság profil, ha  $t = 1000$  and  $r = 10$



5. ábra. A  $w(t)$  görbe, ha  $t = 1000$  és  $r = 0,01$

Megfigyelhető az 5. ábra alapján, hogy a felület durvulása csak kb. 120 időegység után kezdődik meg. Ez az idő a kiinduló felület minőségétől függ. Ha a (4) peremfeltételben az egyenlőség jobb oldalán szereplő 0,01 amplitúdó megnő 1 értékre, akkor ez a felületi érdesedés kb. 50 időegység múlva kezdődik el. Megállapítható, hogy minél simább a kiinduló felület annál később jelenik meg a felületi topográfia durvulása. A  $w(t)$  görbék alakját a (3) egyenletben szereplő anyagi és fizikai paramétereket egyesítő  $r$  együttható is jelentősen befolyásolja (lásd 6. ábra).



6. ábra. A  $w(t)$  görbe, ha  $t = 1000$  és  $r = 1$

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Krug, Joachim: *Origins of scale invariance in growth processes*, Taylor & Francis, London, 2008.
- [2] D. E. Wolf, J. Villain: Growth with Surface Diffusion, *Europhys. Lett.* 13 (1990) 389-394.
- [3] S. Das Sarma, P. Tamborenea: A new universality class of kinetic growth: One-dimensional molecular beam epitaxy, *Phys. Rev. Lett.* 66 (1991), 325-328.
- [4] Z.-W. Lai, S. Das Sarma: Kinetic growth with surface relaxation: Continuum versus atomistic models, *Phys. Rev. Lett.* 66 (1991), 2348-2351.
- [5] M. Siegert, M. Plischke: Solid-on solid models of molecular beam epitaxy, *Phys. Rev. E* 50 (1994), 917-931.
- [6] B. Reinker, M. Moske, K. Samwer: Kinetic roughening of amorphous Zr65Al7.5Cu27.5 films investigated *in situ* with scanning tunneling microscopy, *Phys. Rev. B* 56 (1997), 9887-9894.
- [7] Cross, M.C., Hohenberg, P.C.: Pattern Formation Outside of Equilibrium, *Reviews of Modern Physics*, 65 (1993), 851-1112.
- [8] Cuerno, R., Munoz-Garcia, J., Gago, R., Vazquez, L.: Universal non-equilibrium phenomena at submicrometric surfaces and interfaces, *Eur. Phys. J. Special Topics* 146 (2007) 427-441.
- [9] Frisch, T., Verga, A.: Effect of step stiffness and diffusion anisotropy on the meandering of a growing vicinal surface, *Physical Review Letters PRL* 96 (2009) 166104
- [10] Pierre-Luis, O., Danker, G., Chang, J., Kassner, K., Misbah, C.: Nonlinear dynamics of vicinal surfaces, *J. Crystal Growth* 275 (2005) 56-64.
- [11] Hriczó, K.: Hasonlósági transzformáció alkalmazása nem-newtoni közeg áramlásában, *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülészaka XX. Kolozsvár 2015.03.19-03.20. p. 171.*



# GYÉMÁNTVASALT MUNKADARAB-FELÜLETEK KEMÉNYSÉGÉNEK ÉS MARADÓ FESZÜLTSGÉNEK VIZSGÁLATA

## ANALYSIS OF HARDNESS AND RESIDUAL STRESS OF DIAMOND BURNISHED WORKPIECE SURFACES

*Dr. Varga Gyula, egyetemi docens, gyula.varga@uni-miskolc.hu  
Ferencsik Viktória, PhD hallgató, ferencsik.viktoria@uni-miskolc.hu*

### ÖSSZEFOGLALÁS (ABSTRACT)

Cold plastic manufacturing procedures, like burnishing, play an important role in life-enhancing machining because its application increases the hardness of the subsurface layer, where significant residual stress is produced at the same time. This article deals with the change of these attributes and the correlation of these with the burnishing parameters (speed, force, feed) determined by experiment design.

### 1. BEVEZETÉS

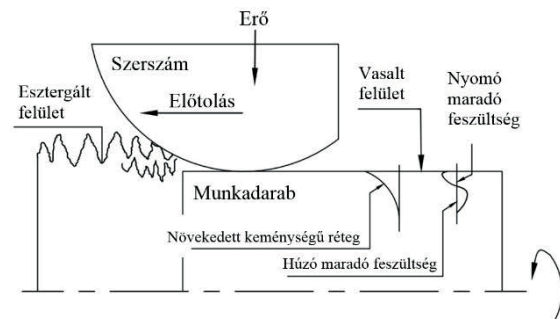
Mivel a gépek működésekor a legtöbb igénybevétel elsősorban a gépelemek felületét, illetve bizonyos vastagságú felületi réteget éri annak mechanikai tulajdonságai nagy hatással vannak a gépelem kopásállóságára, fásztó igénybevételek esetén pedig feszültséggyűjtő hatása számottevő [1]. Ráadásul az ipari gyakorlatban a fásztásnak kitett alkatrészek minőségi követelményeihez hozzátartozik a felületközeli maradó feszültség értéke, eloszlása [2]. A csúszó relatív elmozdulást alkalmazó vasalási eljárásnak számos előnye van: hatékonyan csökkenthető a felületi érdesség, a diszlokációk átrendezése révén növeli a felületközeli réteg mikrokeménységét, ott jelentős mértékű nyomó maradó feszültséget képez, javítható a hengeres felületek alakhelyessége, nem igényel nagy mennyiségű hűtő-kenő folyadék alkalmazást, tehát gazdaságos és kis környezetterhelésű [3].

A felületvasalás egyaránt alkalmas külső és belső hengeres felületek megmunkálására, jelen kísérletsorozat külső hengeres felület gyémántszeres felületvasalásával, illetve az általa okozott keménység és feszültségállapot változásával foglalkozik. A kísérletek megtervezéséhez és végrehajtásához a Taguchi-féle teljes faktoriális kísérlettervet alkalmazzuk, mellyel empirikus képletek hatékonyan

képezhetők, továbbá, az eredményeket speciális viszonyszámok képzésével értékeljük ki, az adott technológiai paramétertartományokon belül a legjobb eredményeket szolgáltató paraméter-beállítási értékek meghatározása céljából.

### 2. KÜLSŐ HENGERES FELÜLET GYÉMÁNTVASALÁSA

A gyémántszeres felületvasalás eljárásának elve, hogy egy adott paraméterekkel rendelkező szeres egyenes vonalú mozgást végezve végighalad a vasalendő, forgó mozgást végző munkadarab felületén (1. ábra).



1. ábra. A vasalási művelet kinematikája [4]

A hidegalakítás megvalósulásához szükséges nyomás a szeres működő és a munkadarab alakítandó felülete közötti átfedés hatására jön létre. Az alakítóelem és a munkadarab felületének statikus érintkezése révén bekövetkezett képlékeny alakváltozás jellemzően 0,01-0,2 mm vastagságú felületi rétegben valósul meg [5], [6].

A folyamat a forgácsolás utáni felületi zónában lévő húzó maradó feszültséget nyomó maradó feszültséggé alakítja (1. ábra), mely által a munkadarab dinamikus terhelés alatti kifáradási viselkedése javul. Maradó feszültségről akkor beszélünk, ha a darabra semmilyen külső erő, illetve nyomaték nem hat, külső ponthoz

viszonyított inercia-rendszerben egyensúlyban van, ám a darab belsejében különböző helyeken különböző nagyságú és irányú, de egymással egyensúlyt tartó feszültségek hatnak [7].

A felületi rétegre korlátozott hidegalakítás révén egy másik szilárdságnövelő mechanizmus is fellép, még hozzá az alakítási keményedés, mely szintén hozzájárul az élettartam növeléséhez.

A felületvasalás alkalmazása költségsökkenést eredményez több vonatkozásban is: olcsóbb, kevésbé ötvözött, kisebb szilárdságú szerkezeti anyagokat alkalmazhatunk alapanyagként, elhagyhatók a köszörülési és más finomfelületi megmunkálások, hőkezelési műveleteket helyettesíthet [8].

### 3. KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK

#### 3.1. A vizsgálat tárgya

A vasalási műveletek a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetének műhelyébe telepített OPTIMUM (OPTIturnL-series 440) gyártmányú síkágys CNC esztergagépen lettek megvalósítva, gyengén ötvözött alumínium anyagminőségű Ø48 mm külső átmérőjű 25 mm hosszúságú hengeres próbadarab felületeken.

A megmunkálás során alkalmazott polikristályos gyémánt (PCD) anyagú gömb sugara R=3,5 mm volt, az alkalmazott kenőolaj kinematikai viszkozitása pedig 70 mm<sup>2</sup>/s.

#### 3.2. Vasalási paraméterek

Az alkalmazott vasalási paramétereket (vasalóerő (F<sub>v</sub>), előtolás (f) és vasalási sebesség (v<sub>v</sub>)) az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Alkalmazott vasalási paraméterek

Próbadarab jele	Vasalási paraméterek		
	F <sub>v</sub> [N]	f [mm/ford]	v <sub>v</sub> [m/min]
1	10	0,001	15
2	20	0,001	15
3	10	0,005	15
4	20	0,005	15
5	10	0,001	30
6	20	0,001	30
7	10	0,005	30
8	20	0,005	30

A vizsgált felületi mikrokeménység és maradó feszültség változásának szemléletesebbé tételéhez létrehoztunk 1-1 dimenzió nélküli

viszonyszámot, melyek az alábbi képletek alapján számíthatók:

$$\rho_{HV} = \frac{HV_v - HV_e}{HV_v} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$\rho_{\sigma} = \frac{|\sigma_v - \sigma_e|}{|\sigma_v|} \cdot 100\% \quad , \text{ ahol: } (2)$$

$\rho$  A vizsgálat jellemző (keménység, ill. maradó feszültség) dimenziótlan javulási viszonyszáma, jellemzi a megmunkálás hatására bekövetkező változást

HV<sub>e</sub> Esztergálás utáni keménység

HV<sub>v</sub> Vasalás utáni keménység

$\sigma_e$  Esztergálás utáni maradó feszültség

$\sigma_v$  Vasalás utáni maradó feszültség

Minél nagyobbak az egyes javulási viszonyszámok, annál nagyobb mértékű javulás tapasztalható a vasalás következtében.

#### 3.3. A felületi mikrokeménység mérése

A próbadarabok felületi keménységének mérése (vasalás előtt és után) a Műszaki Anyagtudományi Kar Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében lévő Instron gyártmányú keménységmérő gépen történt.

A berendezés Vickers-keménységet is mér, melynek elve, mint általában minden keménységmérés esetén, annak vizsgálata, hogy egy standard erőforrást alkalmazva, hogyan áll ellen a kérdéses anyag a plasztikus deformációnak. A mérés során egy 136°-os gyémántgúlat nyomtunk 1 N erővel 10 másodpercen keresztül a mérendő felületre 3 ponton 60°-os elforgatással.

#### 3.4. A maradó feszültség mérése

A képlékenyalakítást mindig kíséri rugalmas alakváltozás is, mely az erőhatás irányának megfelelően torzítja a kristályrácsot. Ez a rácsstorzulás a ható erő megszűnése után is megmaradhat, azt mondjuk, hogy az anyag maradó feszültséggel terhelt [7].

A választott mérési módszer, a diffrakciós vizsgálat elve, hogy a maradó feszültség az anyagban a rácspontokban elhelyezkedő atomtörzsek egyensúlyi helyzetből való kimozdulását eredményezi. Kristálytani megközelítésben ez azt jelenti, hogy változik az elemi cella mérete, köbös rendszerben a rácsparamétere. Mivel az anyagban a rugalmas maradó rácsfeszültség hatására a rácscikok

távolsága megváltozik, ennek a változásnak a mérésével visszaszámolható a feszültség [7].

Tehát a maradó feszültség meghatározásakor a mérésnél alkalmazott röntgensugárzás hullámhosszának ismeretében az adott  $d_{hkl}$  rácssíktávolság-változás okozta ún. Bragg-szög eltolódását mérjük, felhasználva az alábbi összefüggést, melyet a szakirodalom Bragg-egyenletnek nevez [9], [10]:

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta, \text{ ahol: } (3)$$

n: egész szám

$\lambda$ : a röntgensugárzás hullámhossza

$d_{hkl}$ : adott hkl Miller indexű síkok rácssíktávolsága

$\theta$ : a diffrakció szöge

A mérés egy Stresstech Xstress 3000 G3R típusú röntgendiffrakciós mérőberendezésen történt, 4 ponton 45°-os elforgatással, szintén a Műszaki Anyagtudományi Kar közreműködésével.

#### 4. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

A mért kísérleti adatokból kiszámított javulási viszonyszámokból empirikus képletek alkothatók a faktoriális kísérlettervezés módszerének alkalmazásával. A számítások „MathCAD 16.0” program segítségével történtek.

A mért adatokból képzett viszonyszámok a 2. táblázatban vannak összefoglalva.

2. táblázat. A mért keménységértékek a számított viszonyszámokkal

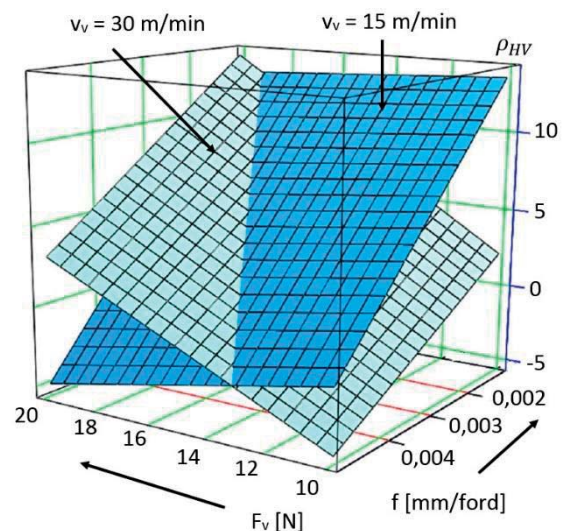
Szelvény jele	HV		$\rho_{HV}$ [%]
	E	V	
1	165,67	169,33	2,16
2	155,67	180,33	13,67
3	168,33	160,00	-5,20
4	157,00	162,00	3,08
5	156,67	181,00	13,44
6	149,00	170,33	12,52
7	160,67	158,67	-1,26
8	178,33	170,00	-4,9

A maradó feszültség mérése kétféle módon, tangenciális és axiális irányban is el lett végezve. Ezeket az eredményeket, illetve a belőlük a (2) formulával képzett javulási viszonyszámokat foglalja össze a 3. táblázat.

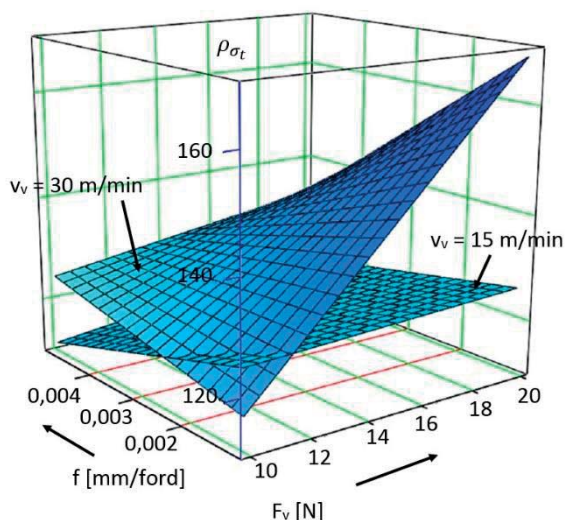
3. táblázat. A mért feszültségértékek és a számított viszonyszámok

Szelvény jele	$\sigma_t$ [MPa]		$\rho_{\sigma_t}$ [%]
	E	V	
1	23,47	- 97,23	124,14
2		- 89,6	126,19
3		- 209,325	111,21
4		- 131,475	117,85
5		-148,35	115,82
6	49,25	- 71,8	168,59
7		- 200,325	124,58
8		- 150,075	132,82
Szelvény jele	$\sigma_a$ [MPa]		$\rho_{\sigma_a}$ [%]
	E	V	
1	-6,075	- 163,3	96,27
2		- 105,875	94,26
3		- 220,5	97,24
4		- 207,95	97,08
5		- 191,625	96,83
6	10,475	- 82,575	112,69
7		- 294,975	103,55
8		- 241,125	104,34

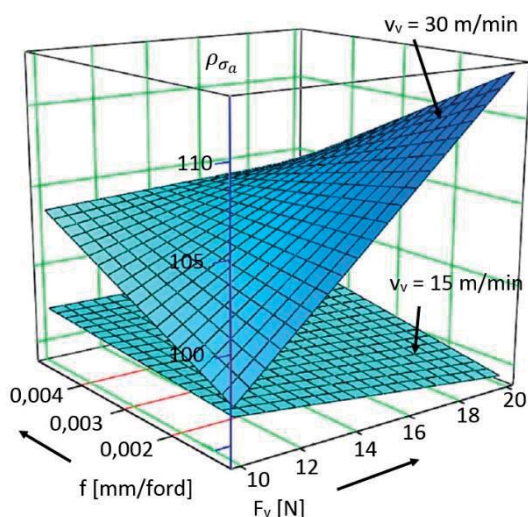
Az eredmények szemléltetésére szolgáló axonometrikus ábrákat (2.-4. ábra) szintén a „MathCAD 16.0” program segítségével végeztük el.



2. ábra.  $\rho_{HV}$  viszonyszám változása



3. ábra.  $\rho_{\sigma_t}$  viszonyszám változása



4. ábra.  $\rho_{\sigma_a}$  viszonyszám változása

## ÖSSZEGZÉS

Az elvégzett kísérletek eredményei alapján az alábbi megállapítások tehetőek:

- A vizsgált paramétertartományon belül, a felületi mikrokeménység tekintetében, 13,67%-ban maximalizálódott a javulás mértéke, ez növelhető nagyobb sebesség esetén az erő növelésével, míg kisebb sebesség esetén az előtolás csökkentésével.
- A kialakult tangenciális irányú maradó feszültségállapot kedvezőbb volt az axiális irányúnál. A két feszültséget jellemző javulási viszonyszám-maximumok közötti különbség 55,9 % azonos paraméter-beállítás esetén.
- A vizsgált paraméterek közül, a feszültségváltozás szempontjából, a vasalási sebesség hatása a domináns, erős kölcsönhatást mutat a vasalási erővel, e két

paraméter együttes növelésével érhető el a legnagyobb mértékű javulás.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

"A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Bálint L., Gribovszki L. (1975). A gépgyártástechnológia alapjai. Miskolc, p:418-442
- [2] Mertinger V., Sólyom J., Benke M. (2012) MonoCap optika alkalmazása röntgen diffrakciós vizsgálatoknál. Anyagvizsgálók Lapja, pp.: 60-64, ISSN: 1787-507
- [3] Varga Gy., Ferencsik V. (2016) Examination of shape correctness of diamond burnished component surfaces. XXX. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, ISBN 978-963-358-113-1
- [4] A. Akkurt (2011) Comparison of roller burnishing and other methods of finishing treatment of the surface of openings in parts from tool steel D<sub>3</sub> for cold forming, Metal Science and Heat Treatment, Vol. 53, pp.: 145-150
- [5] L. Luca, S. Neagu-Ventzel, I. Marinescu (2005) Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels. Elsevier Precision Engineering 29 p:253-256
- [6] T.A. El-Taweel, M.H. El-Axir (2009) Analysis and optimization of the ball burnishing process through the Taguchi technique, International Journal Advertising of Manufacturing Technology 41: 301-310
- [7] [http://www.matsci.uni-miskolc.hu/new/files/jegyzetek/diffr/segedlet\\_diffr.pdf](http://www.matsci.uni-miskolc.hu/new/files/jegyzetek/diffr/segedlet_diffr.pdf)
- [8] Gál G., Kiss A., Sárvári J., Tisza M. (2008). Képlékeny hidegalakítás. Tankönyvkiadó, Budapest, p:315
- [9] Mertinger V., Benke M. (2015) Fémfelületek röntgendiffrakciós vizsgálatainak speciális lehetőségei, Archeometriai Műhely, 12. évf. 1. sz. pp.:15-24
- [10] M.E. Fitzpatrick, A.T. Fry, P. Holdway, F.A. Kandil, J. Shackleton, L. Suominen (2005) Determination of residual stresses by X-ray diffraction, Measurement Good Practice Guide, p.: 68, ISSN 1744-3911

# CONTENTS

1. Horváth Richárd, Nagyné Halász Erzsébet, Oláh Ferenc: THE DRILLING INVESTIGATION OF ALUMINIUM COMPOSITE REINFORCED WITH METAL HOLLOW SPHERES .....5	11. Dr. Simonovics János, Schmidt Dorottya, Dr. Bujtár Péter: OPTIMALIZATION POSSIBILITIES OF PATIENT SPECIFIC LOAD-BEARING MANDIBLE IMPLANT – PART 2 .....53
2. Dr. Jálics Károly: INVESTIGATION OF ACOUSTIC PROPERTIES OF PORO-ELASTIC MATERIALS WITH MEASUREMENT AND SIMULATION..... 11	12. Sipkás Vivien, Vadászné Dr. Bognár Gabriella: THE ACCELERATED LIFE TESTING EXAMINATION OF MICRO SWITCHES.....57
3. Károsi Zoltán: FROM CHRISTIAN ICONS TO DESIGN ICONS..... 15	13. Dr. Szabó Gyula: IMPORVEMENT OF SAFETY-RELATED MECHATRONICS ENGINEERING COMPETENCIES.....61
4. Dr. Kelemen László: 10 YEARS OF PNEUMOBILE COMPETITION AT THE UNIVERSITY OF MISKOLC .....21	14. Szabó Gyula, Dr. Váradi Károly, Dr. Felhős Dávid: BUCKLING OF FILAMENT-WOUND COMPOSITE TUBE ..... 65
5. Kiss Gábor: DIE VERÄNDERUNG DER KENNWORT NUTZUNGSGEWOHNHEIT DER MASCHIENENBAUINGENIEUREN NACH EINEM INFORMATIONSSICHERHEITSKURS .....25	15. Ferenc János Szabó: GRAPHO-ANALYTICAL OPTIMIZATION OF CYLINDRICAL SPRING .....69
6. Pietro Fierro, Dr. Lovas László: NOTES ON CRANIAL BONE IMPLANT DIMENSIONING.....29	16. Takács Ágnes: ENVIRONMENTAL FRIENDLY SUGGESTIONS DURING CONCEPTUAL DESIGN .....73
7. Nagy Abonyi Tamás: CHALLENGES AND CONTRADICTIONS IN PRODUCT DEVELOPMENT.....33	17. Tóth Sándor Gergő, Tóth Dániel, Dr. Takács György, Dr. Szilágyi Attila: EXAMINATION OF CONICAL HYDROSTATIC BEARINGS .....77
8. Péter Bence, Hegedűs Gergely, Czigány Tibor: CHALLENGES OF THE T-RTM MANUFACTURING FOCUSING ON THE PREFORMING PROCESS, SENSING AND HANDLING OF REINFORCEMENT MATERIALS.....37	18. Trautmann Laura, Dr. Piros Attila: INTEGRATING HUMAN FACTORS INTO THE PATTERN CREATION PROCESS.....81
9. Dr. Piros Attila, Dr. Zwierczyk Péter: DIGITALIZATION IN THE MECHANICAL DESIGN..... 43	19. Vadászné Bognár Gabriella: NUMERICAL EXAMINATION OF SURFACE GEOMETRY FOR THIN FILM COATINGS .....85
10. Sarka Ferenc, Tóbis Zsolt: APPLICATION POSSIBILITIES OF 3D SCANNING AND PROTOTYPING IN THE MANUFACTURING OF PACKAGING TOOLS – CASE STUDY..... 47	20. Dr. Varga Gyula, Ferencsik Viktória: ANALYSIS OF HARDNESS AND RESIDUAL STRESS OF DIAMOND BURNISHED WORKPIECE SURFACES.....89

# GÉP

## INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám

**President of Editorial Board**

Vesza József

**General Editor**

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**Deputy**

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercesy 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. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

**DEAR READER,**

The organization of the 33rd Conference of the Designers and Product Developers was begun on time as usual, the circle of the possible participants were looked for by letters. By varying slightly the deadline the friendly invitation was repeated and this seemed to be successful. The participants applied for our conference by 69 presentations and 43 papers. Considering the volume, it is the same as it was last year. The papers are published in two periodicals of the GÉP (Machine).

Analysing the names of presenters, authors and co-authors, the change seems to be strong. Excellent, well-known authors are missing, new and encouraging names have appeared. There are many young presenters, the authors or co-authors of the 43 pieces of papers are post- or undergraduate students. The phenomenon is not unique, there is a similar changing in the other parts of the world, and in the other areas of the science. Beside or instead of the populous generation born after the war, there are essentially younger ladies and gentlemen appeared. I am surfing at the sites of NASA willingly, there are many young ladies among the designers and developers who – with their vision mode differing from that of the men – are bearing original solutions. Perhaps this formulation is not offensive.

The change can be perceived in the subject of presentations and papers, too. The horizons of the presenters, the available knowledge and solving tasks are wider than before. Besides the results of mathematics, mechanics, material science, production science, machine design and theory of design the results of research of information technology, ergonomics, biology, medicine, psychology, industrial design and nature analogies appear. I am very glad to announce that this year there are lectures and articles on the history of technology, proving the validity of the latin proverb, *historia est magistra vitae*.

Dear Reader, let me take this opportunity to close this welcome message with personal Let the Dear Reader finish my greeting with personal thought. Sándor Tarr have deceased for some days, who was an emeritus associate professor, my former tutor and later my workmate at our university, who encouraged me to formulate clearly and to serve our department steadfastly.

*Dr. József Péter  
organizing secretary of the Conference*

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

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

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Postal address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Web: www.gte.mtesz.hu

Web: http://www.gepujsag.hu \* Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Igaz Jenő, Managing Director

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: www.posta.hu WEBSHOP

(https://eshop.posta.hu/storefront/), via e-mail: hirlapelofizetes@posta.hu, by phone: 06-1-767-8262, or mail to: MP Zrt. 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered from overseas and to overseas at Magyar Posta Zrt. Visit: www.posta.hu WEBSHOP (https://eshop.posta.

hu/storefront/), mail to: 1900 Budapest, 06-1-767-8262, or hirlapelofizetes@posta.hu

Domestic subscription prices are: HUF 1,260 a single copy and HUF 2,520 a double copy.

INDEX: 25 343

ISSN 0016-8572

**The published articles have been reviewed.**

The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary





**II. SZEKCIÓ, I. EMELET, NAGYTEREM  
2017. NOVEMBER 10. (PÉNTEK) DÉLELŐTT, 9.00-TÓL**

**Szekcióvezető:** Dr. Bihari Zoltán egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet, Dr. Jálics Károly egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet.

**9.00-9.10** Jakab Tamás Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: GF 1530 JH Lézervárgó gép ventilációjának a megtervezése.

**9.10-9.20** Zabos Tamás Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Formula Student versenyautó futómű geometriájának elemzése.

**9.20-9.30** Kriston J. Balázs Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Ablakok hőszigetelési tulajdonságainak vizsgálata.

**9.30-9.40** Bartha István Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Két szintet áthidaló emelőszerkezet.

**9.40-9.50** Fejér Norbert Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Polisztirol vágó berendezés tervezése.

**9.50-10.00** Szabó Zoltán Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Vasalógép tervezése.

**10.00-10.10** László Tibor Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Sodrottfül-alapanyag gyártó gép tervezése.

**10.10-10.20** Bubonyi Andrea Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Felvonószerkezetek rezgéstani vizsgálata.

**10.20-10.30** Derekas Csaba Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Hobby CNC rajzológép tervezése.

**10.30-10.40** Ferenci Dávid Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: PET-palack aprító célgép tervezése.

**10.40-10.50** Molnár Fanni Csilla Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Vidámparkí játék fejlesztése.

**10.50-11.00** Tóth Dániel Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Mozgatható, emelhető ipari szerelőállvány tervezése.

**11.00-11.10** Fedor Áron Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Kompozit íj tervezése és optimalizálása.

**11.10-11.20** Székely Krisztina Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Lineáris mozgás generáló mechanizmus egészségügyi környezetben.

**11.20-11.30** Gyökér Gábor: Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató, Általános géptervező szakirány: Motoros hajtás tervezése fall napellenzőhöz.

**11.30-11.40** Suhaj Anett Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Egyszeresen átlapolt ragasztott kötése vizsgálata dinamikus igénybevételre.

**11.40-11.50** Tarczali Marcell Boldizsár Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató Az aerodinamika fejlődése az autósportban.

**11.50** A szekció munkájának értékelése.

