

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



2019/3.

nka
Nemzeti Kulturális Alap

76 oldal
LXX. évfolyam

GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXXV. SZEMINÁRIUMA MISKOLC, 2019. november 7–8.

TISZTELT GÉPTERVEZŐ ÉS TERMÉKFEJLESZTŐ KOLLÉGA!

Örömmel tudatjuk, hogy a szerzők 51 előadással jelentkeztek a Géptervezők és Termékfejlesztők 2019. november 7–8-án a MTA Miskolci Területi Bizottságának épületében (Miskolc, Erzsébet tér) megrendezésre kerülő szemináriumára. Az előadások egy része nyomtatott formában a GEP folyóirat soron következő számában is megjelenik. Köszönjük a szerzők és a lektorok munkáját.

A szeminárium szervezői november 7-én 9 órától és 8-án 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 Egyesület elküldte. Tisztelettel kérünk mindenkit, hogy az átutalásáról legyenek szívesek gondoskodni és azt ellenőrizni.

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

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

Miskolc-Egyetemváros, 2019. október 17.

A szeminárium szervezői nevében szeretettel várja

*Dr. Péter József
c. egyetemi tanár; a Szeminárium titkára*

Géptervezők és Termékfejlesztők XXXV. 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.**

2019. november 7 (csütörtök) - 8 (péntek)

*Címünk: Géptervezők és Termékfejlesztők
XXXV. 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 XXXV. Szeminárium
Miskolc, 2019. november 7-8.**

I. EMELET, NAGYTEREM

2019. NOVEMBER 7. (CSÜTÖRTÖK), DÉLELŐTT 10.00-TÓL

Elnök: Vadászné Prof. 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. Kátai László egyetemi docens, dékán, Dr. Szabó István egyetemi tanár, Lágymányosi Péter tanszéki munkatárs, Szent István Egyetem Mechanikai és Géptani Intézet, Dr. Szakál Zoltán egyetemi docens, Szent István Egyetem Gépipari Technológiai Intézet: A 3D nyomtatás egyes paramétereinek hatása a nyomtatott anyag szilárdsági jellemzőire.

10.20-10.35 Dr. habil. Czifra Árpád, egyetemi docens, Óbudai Egyetem; Dr. habil. Horváth Sándor, c. egyetemi tanár, Óbudai Egyetem: Műszaki felületek tribológiai jellemzőinek változása felületkezelés hatására

10.35-10.50 Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella az MTA doktora, intézetvezető egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: „Borsószem hercegisasszony” nano méretben, grafénréteg gyűrődés nanoszemcséken

10.50-11.05 Dr. Zwierczyk Péter adjunktus, tanszékvezető helyettes, BME Gép- és Terméktervezés Tanszék: Kapcsolt véges- és diszkrét elemes szimulációk a gépészeti tervezésben

11.05-11.20 Dr. Kakuk József Fejlesztési Mérnökség vezető, Robert Bosch Power Tool Kft.: A kéziszerszámgép fejlesztés új folyamatai

11.20-11.35 Dr. Lovas László egyetemi docens, BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék: Haszonjármű kerékcsavar lazulásának kérdése

11.35-11.50 Dr. Péter József c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Géptervezők és Termékfejlesztők XXXV. Szeminárium: Adatok és emlékek

**I. SEKCIÓ, I. EMELET, NAGYTEREM
2019. NOVEMBER 7. (CSÜTÖRTÖK), 14.00-TÓL**

Szekcióvezető: Dr. Döbröczöni Ádám Professor Emeritus, Miskolci Egyetem Dr. habil. Horváth Sándor, c. egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, Dr. Sarka Ferenc egyetemi docens, Miskolci Egyetem

14.00-14.15 Dr. Döbröczöni Ádám Professor Emeritus, Miskolci Egyetem: Arcok és szemináriumok

14.15-14.30 Dr. Hegedűs József, műszaki tudomány kandidátusa, c. egyetemi tanár: Az innovációs folyamatok elemi tényezőinek fejlesztése az értékelés felhasználásával (gépipari termékek példáján)

14.30-14.45 Dr. Siposs István c. egyetemi tanár, a Magyar Innovációs Szövetség regionális igazgatója: Újabb ünnepnap a tudományos közeletben: a Magyar Innováció Napja.

14.45-15.00 Dr. Sarka Ferenc egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Kenés nélküli fogaskerék hajtóművek kopásának vizsgálata és előrejelzése

15.00-15.15 Fodor Lóránt DLA habil. egyetemi docens BME Gép- és Terméktervezés Tanszék: Az ipari formatervezés kapcsolódási pontjai a termékfejlesztéshez.

15.15-15.30 Károsi Zoltán DLA egyetemi adjunktus, BME Gép- és Terméktervezés Tanszék: Az ipari formatervezés környezete (The Environment of Industrial Design)

15.30-15.45 Dr. Takács Ágnes, egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Termék koncepciók előállítására mobil applikációval

15.45-16.00 Darabos Anita DLA adjunktus, BME Gép- és Terméktervezés Tanszék: Ökodizájn szemlélet a terméktervezésben, és az alkotásban

16.00-16.15 Balogh Zsolt Péter DLA adjunktus BME Gép- és Terméktervezés Tanszék: A formatervezés szerepe a terméktervezésben

16.15-16.30 Dr. Ficzer Péter egyetemi adjunktus, BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék: Alkatrészek munkatérben történő elhelyezésének gyártási költségekre gyakorolt hatása additív gyártástechnológiák esetén

16.30-16.45 Dr. Ficzer Péter egyetemi adjunktus, Győri Márk tanársegéd, Dr. Lovas László egyetemi docens, BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék: A műszaki ábrázolás oktatás óraszám változtatásának hatásai

16.45-17.00 Laura Trautmann PhD student, Attila Piros, PhD associate professor, János Péter Rádics PhD senior lecturer, Budapest University of Technology and Economics Department of Machine and Product design: Katalin Badak- Kerti, PhD associate professor Szent István University Department of Grain and Industrial Plant Processing, Róbert Berényi, Slopmax Ltd.: Mathematical Background of the Development of Bakery Product Production.

17.00-17.15 Lukács Norbert demonstrátor, Dr. Ficzer Péter egyetemi adjunktus, BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék, Temesi Tamás PhD hallgató, BME Polimertechnika Tanszék: Gyártási paramétereiktől függő rétegközi hibák vizsgálata CAD szoftverekkel

17.15-17.30 Bassel Alsalamah PhD hallgató Miskolci Egyetem: Comparison of the mathematical modelization and physical simulation of strain induced crack opening

**II. SEKCIÓ, I. EMELET, DEÁK TEREM
2019. NOVEMBER 7. (CSÜTÖRTÖK) 14.00-TÓL**

Szekcióvezető: Dr. Bihari János egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet, Dr. Zwierczyk Péter adjunktus BME Gép- és Terméktervezés Tanszék

14.00-14.15 Dr. Ecsedi István Professor Emeritus, Miskolci Egyetem, Műszaki Mechanikai Intézet, Dr. Baksa Attila, egyetemi docens, PhD, Miskolci Egyetem, Műszaki Mechanikai Intézet: Radiálisan polarizált gömb kivágással gyengített végtelen piezoelektromos test egy statikai feladata

14.15-14.30 Dr. Szabó Ferenc egyetemi docens, Sztankó Bálint, BSc géptervező egyetemi hallgató Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Tengelycsapágyazás optimális tömegminimumra a Kuhn-Tucker optimalizációs módszerrel

14.30-14.45 Dr. Bihari János egyetemi docens, Dr. Sarka Ferenc egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Ember-elektromos hibrid járművek napi használata a közepes méretű városokban

14.45-15.00 Dr. Szávai Szabolcs, Miskolci Egyetem; Bézi Zoltán, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhászú Nonprofit Kft.; Dr. Kovács Sándor, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhászú Nonprofit Kft.: Felületkezelő görbülő felületpárok kifáradási tulajdonságainak közelítése szimulációval

15.00-15.15 Janoch Ábel demonstrátor, Dr. Ficzer Péter egyetemi adjunktus, BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék: Additív gyártástechnológiák szerepe a veterán gépjárművek alkatrész ellátásában

15.15-15.30 Dr. Kiss Gábor egyetemi docens Óbudai Egyetem: Mandzsúriai mesterséges intelligencia veszélye az övezető járművekben

15.30-15.45 Vasvári Gyula Ferenc tanszéki mérnök, Csonka Dávid tanszéki mérnök, Meisztnerics Zoltán, mesteroktató, Zsebe Tamás tanársegéd, PTE-MIK Gépészmérnök Tanszék: CMT technológiás additív gyártás paraméterezése

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. Barkóczy István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Timár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

TISZTELT OLVASÓ!

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

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

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

A változás az előadások témájában is érzékelhető, *a matematika, a mechanika, az anyag- és a gyártástudomány, a gépelemek geometriai és szilárdsági vizsgálata, kenése, szerkezeti kialakítása mellett a modellek és a valós termékek számítógéppel segített gyártása, a biológia, az orvostudomány, a természeti analógiák és az ipari formatervezés eredményei is a vizsgált területek közé kerültek*.

Engedje meg a Tisztelt Olvasó a köszöntő végén a személyes hangot. Az 1985 óta tartó szemináriumszervező munkánk nem lenne eredményes a Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézete (korábban Gépelemek Tanszéke) vezetői, oktató és nem oktató beosztottjai támogatása nélkül. Személy szerint is hálával tartozok a biztatásért, a kritikáért és a munkáért Vadászné Dr. Bognár Gabriella intézetigazgatónak, Dr. Döbröczöni Ádám professzor emeritusnak, Németh Géza egyetemi adjunktusnak, és Gere Aranka gazdasági ügyintézőnek.

*Dr. Péter József
a Szeminárium 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.gteportal.eu

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 WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), e-mailen a 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 WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>), 1900 Budapest, 06-1-767-8262, 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. Czifra Árpád, Horváth Sándor: MŰSZAKI FELÜLETEK TRIBOLÓGIAI JELLEMZŐINEK VÁLTOZÁSA FELÜLETKEZELÉS HATÁSÁRA	5	9. Janoch Ábel, Ficzere Péter: ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK SZEREPE A VETERÁN GÉPJÁRMŰVEK ALKATRÉSZEZELLÁTÁSÁBAN	38
2. Darabos Anita: ÖKODIZÁJN SZEMLELET A TERMÉK- TERVEZÉSBEN, ÉS AZ ALKOTÁSBAN	9	10. Kátai László, Szabó István, Lágymányosi Péter, Szakál Zoltán: A 3D NYOMTATÁS EGYES PARAMÉTEREINEK HATÁSA A NYOMTATOTT ANYAG SZILÁRDSÁGI JELLEMZŐIRE	42
3. Debreczeni Dániel, Kamondi László: SZIMMETRIKUS ÉS ASZIMMETRIKUS, EVOLVENS, KÜLSŐ FOGAZATÚ, HENGERES FOGASKERÉKPÁROK NÉVLEGES FOGTŐFESZÜLTSEGE	13	11. Kiss Gábor: MANDZSÚRIAI MESTERSÉGES INTELLIGENCIA VESZÉLYE AZ ÖNVEZETŐ JÁRMŰVEKBEN	46
4. Ecsedi István, Baksa Attila: RADIÁLISAN POLARIZÁLT GÖMB KIVÁGÁSSAL GYENGÍTETT VÉGTELEN PIEZOELEKTROMOS TEST EGY STATIKAI FELADATA	17	12. Ficzere Péter, Győri Márk, Lovas László: A MŰSZAKI ÁBRÁZOLÁS OKTATÁS ÓRASZÁM-VÁLTOZTATÁSÁNAK HATÁSAI	50
5. Fazekas Bálint, Goda Tibor: ELASZTOMEREK MECHANIKAI MODELLEZÉSE	21	13. Lukács Norbert László, Ficzere Péter, Temesi Tamás: GYÁRTÁSI PARAMÉTEREKTŐL FÜGGŐ RÉTEGKÖZI HIBÁK VIZSGÁLATA CAD SZOFTVEREKSEL	54
6. Ficzere Péter: ALKATRÉSZEK MUNKATÉRBEN TÖRTÉNŐ ELHELYEZÉSÉNEK A GYÁRTÁSI KÖLTSÉGEKRE GYAKORLOLT HATÁSA ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK ESETÉN	26	14. Sarka Ferenc, Bihari János: EMBER- ELEKTROMOS HIBRID JÁRMŰVEK NAPI HASZNÁLATA A KÖZEPES MÉRETŰ VÁROSOKBAN	58
7. Fodor Lóránt: AZ IPARI FORMATERVEZÉS KAPCSOLÓDÁSI PONTJAI A TERMÉKFEJLESZTÉSBEN	30	15. Sarka Ferenc: KENÉS NÉLKÜLI FOGASKERÉK- HAJTÓMŰVEK KOPÁSÁNAK VIZSGÁLATA ÉS ELŐREJELZÉSE	62
8. Hegedűs József: AZ INNOVÁCIÓS FOLYAMATOK ELEMI TÉNYEZŐINEK FEJLESZTÉSE AZ ÉRTÉKELEMZÉS FELHASZNÁLÁSÁVAL	32	16. Szabó Ferenc János, Sztankó Bálint: TENGELECSAPÁGYAZÁS OPTIMÁLÁSA TÖMEGMINIMUMRA A KUHN-TUCKER OPTIMALITÁSI KRITÉRIUM MÓDSZERREL	66

MŰSZAKI FELÜLETEK TRIBOLÓGIAI JELLEMZŐINEK VÁLTOZÁSA FELÜLETKEZELÉS HATÁSÁRA

CHANGES OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ENGINEERING SURFACES DUE TO SURFACE TREATMENT

*Dr. habil. Czifra Árpád, egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet
czifra.arpad@bgk.uni-obuda.hu*

*Dr. habil. Horváth Sándor, c. egyetemi tanár, Óbudai Egyetem
horvath.sandor@bgk.uni-obuda.hu*

ABSTRACT

Nowadays tribological behaviour of engineering surfaces is in focus of machine design. Surface treatment influence the mechanical properties, the material structure, physical properties and other parameters of surfaces and has significant effect for tribological behaviour. Present work deals with surface roughness of treatment engineering surfaces and – based on parametric characterisation of surfaces – evaluate the tribological changes of microgeometries.

1. BEVEZETÉS

A működéshez optimalizált felületek kialakítása fontos törekvése a tribológiai kutatásoknak. A különböző felületkezelési és bevonatolási eljárások a felületi réteg szövetszerkezeti, mechanikai, fizikai tulajdonságainak megváltoztatása révén igyekeznek a legoptimálisabb tribológiai viselkedést elérni.

A felületkezelések kedvező anyagszerkezeti hatása mellett a felületeken olyan változások is létrejönnek, melyek hatása a tribológiai folyamatok tekintetében kétséges, vagy nem tisztázott. A különböző felületkezelési eljárások megváltoztatják a felület mikrogeometriáját és ezzel együtt egy tribológiai szempontból új mintázatot teremtenek.

A felületi mikrogeometria tribológia folyamatokban betöltött szerepe régóta kutatott terület és mára kialakultak olyan irányelvek, melyek lehetőséget biztosítanak a felület várható tribológiai viselkedésének „becslésére”.

A hordozófelületi görbéhez kapcsolódó paraméterek összefüggésbe hozhatók a működéssel. Az *Rsk* és *Rku* paraméterekkel jól jellemezhető a tribológiai szempontból kedvező platószerű hordozófelület [1, 2]. Ezt a platószerű kialakítást belsőégésű motorok hengerének honolási technológiájánál alkalmazzák, ahol a kedvező hordozófelület kisebb súrlódási tényezőt eredményez [3, 4]. A felületi mintázat jellege – a domináns elemek irányultsága és a

folyadék megtartó képesség érdekében mesterségesen létrehozott kenőanyag „zsebek” – egyaránt jelentősen befolyásolják a működést [5, 6].

Jelen kutatás célja annak megállapítása, hogy a felületkezelés hatására a kezelt felületen milyen geometriai változások jönnek létre. Továbbá cél annak felmérése – a szakirodalmi adatok alapján – hogy az így létrejövő geometriai változások miként befolyásolhatják a felület működésben betöltött szerepét.

2. ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

A vizsgálatokhoz a próbadarabok egy ipari partner megbízásából kerültek hozzánk, aki 1.4742 számú (H-13 anyagminőségű, rozsdamentes, hőálló acél) próbatesteken végeztek kilenc különböző felületkezelési eljárást. Minden darabnál a kiindulási állapot az edzés volt, melyet különböző hőkezelési és/vagy bevonatolási eljárás követett. A minták azonosítóját és a felületkezeléseket az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. A mintadarabok felületkezelése

	Tulajdonságok	Keménység [HV]
1	Edzett	549
2	Edzett + Plazma nitridált (50µm)	1130
3	Edzett + Plazma nitridált (200µm)	1140
4	Edzett + Cr/CrN	2775,4
5	Edzett + TiN/ALTiN	2938,7
6	Edzett + Plazma nitridált (50µm) + Cr/CrN	2456,9
7	Edzett + Plazma nitridált (50µm) + TiN/ALTiN	2538,6
8	Edzett + Plazma nitridált (200µm) + Cr/CrN	2492,3
9	Edzett + Plazma nitridált (200µm) + TiN/ALTiN	2679,6

A kapott adatok alapján világosan látszik, hogy a különböző felületkezelési eljárások a célul kitűzött kopásállóságot, melyet az 1. táblázatban a keménység jellemez, igen jelentősen befolyásolják.

A geometriában bekövetkezett változások megállapítására a Mahr típusú, GD120-as vonatóval ellátott, MFV-250 tapintójú (csúcshöge: 90° , csúcshugara: $5\mu\text{m}$) mérőberendezést használtuk. Az előzetes mérések során megállapítottuk, hogy a darabok érdessége jelentősen eltér, ami azt jelentette volna, hogy a szabványoknak megfelelő vontatási hosszok eltérő méréseket eredményeztek volna. A jobb összehasonlíthatóság érdekében azonos határhullámhosszú ($\lambda_c=0,25\text{ mm}$) méréseket végeztünk $1,75\text{ mm}$ mérési hosszban. Minden darab esetén $15-15$ mérést végeztünk el egymásra merőleges irányban. A darabokon nem volt megfigyelhető jellemző irányultság, így a két irányban elvégzett mérés azt is hivatott volt kideríteni, hogy ilyen jellegű eltérés megfigyelhető-e.

Az R_a , átlagos érdesség tekintetében a két mérési irányban a legnagyobb eltérést a 9. jelű darabnál találtuk. Itt az egyik irányban a paraméter átlaga a 15 mérésből $R_a=0,178\ \mu\text{m}$ (szórása $0,029\ \mu\text{m}$), míg a másik irányban $R_a=0,201\ \mu\text{m}$ (szórása $0,043\ \mu\text{m}$). A nagyobb érdességi paraméter esetén a nagyobb szórás jelzi, hogy egy-két kiugró érték tolta el a paraméter értékét. A többi felületnél jelentős, kimutatható eltérés nem volt tapasztalható, így a továbbiakban a $15+15=30$ mérés átlagát vesszük figyelembe az egyes felületek jellemzése során.

A kiértékeléseket az alábbi paramétereken végeztük el:

- R_a , átlagos érdesség, mely a legismertebb, leggyakoribb érdességi paraméter.
- R_z , érdesség magasság, mely a profilon megjelenő minimum-maximum távolságokat jellemzi.
- R_p , átlagos csúcsmagasság, mely a csúcshőna magasságát jellemzi. Értéke fontos lehet a kopásintenzitás szempontjából, különösen a bekopási szakaszban.
- R_v , átlagos völgymélység. Ez a paraméter a kenőanyag-, illetve kopadék-megtartó képességet jellemzi.
- R_{sk} , magasságeloszlás asszimetriája (skewness), mely a felület hordozó képességét mutatja. Negatív értéke platószerű hordfelületre utal.
- R_{ku} , magasságeloszlás csúcsossága (kurtosis), mely a felület

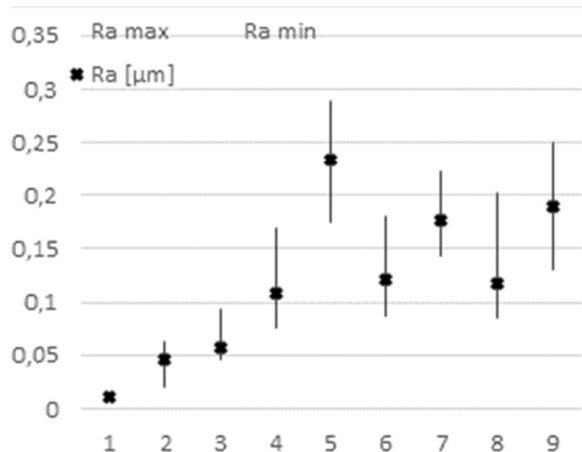
„egyenletességére” utal. 3-nál nagyobb érték kiugró csúcsokat, völgyeket jelent.

- W_a , átlagos hullámosság. A kontúrérintkezés meghatározó paramétere.

Az egyes paraméterek értelmezését az ISO 4287 szabvány tartalmazza [7].

3. EREDMÉNYEK

A vizsgált felületek kiértékelésének első lépése az átlagos érdesség és az érdességmagasság paraméterek vizsgálata volt. Az átlagos érdességet (a mért értékek tartományának feltüntetésével) az 1. ábra mutatja. A legfinomabb felület az edzett „referencia” darabnál mértük. A nitridálás során a felület durvult (2. és 3. darab), majd a felületi bevonatok tovább rontották az érdességet. A bevonat típusok tekintetében (króm-nitrid vagy titán-nitrid) nem egyértelmű a hatás. A relatív szórás viszonylag nagy, minden esetben $14-26\%$ közötti. Kivételt csak a legdurvább, 5. felület jelent, ahol a relatív szórás mindössze $7,8\%$.



1. ábra. Felületkezelt darabok átlagos érdessége

Az R_z paraméter tekintetében a R_a -hoz teljesen hasonló jellegű diagramot kapunk. Érdekes viszont megnézni az R_z/R_a paraméterek arányát. Ezt az értéket a szakirodalom (ld. [8]) 4 és 7 közé tesz a megmunkálás jellegétől függően. Esetünkben ettől jelentős eltérést tapasztalunk. Az 1.-3. jelű daraboknál $7-8$ közötti értékek jelennek meg, míg a bevonatolt darabok esetén ez az arány $8,9$ és $12,2$ között változik. Ez nyilvánvalóan a megszokottól eltérő tribológiai viszonyokat jelent.

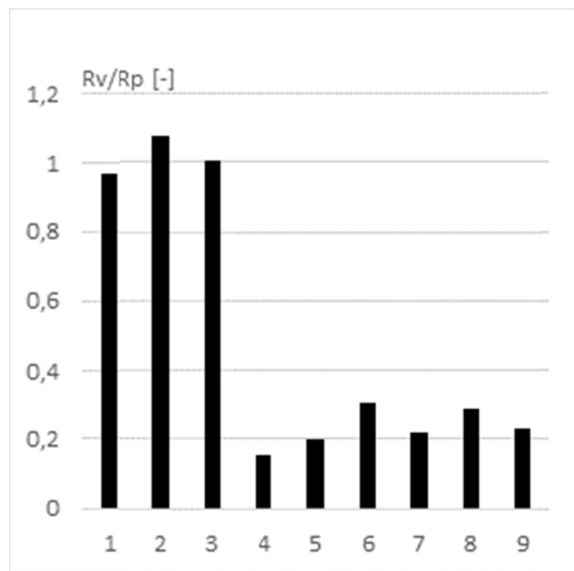
Ezen tribológiai viszonyok jellemzésére két paraméterpárt alkalmaztunk. Egyrészt megvizsgáltuk a völgy és csúcsőna arányát (R_v/R_p), másrészt elkészítettük a felületkezelési eljárások topológiai térképét (a topológiai térkép értelmezését ld.: [9]).

Az R_v (völgymélység) és R_p (csúcsmagasság) paraméterek értékeit a 2. táblázat foglalja össze. A két paraméter arányát a 2. ábrán láthatjuk.

2. táblázat. R_v és R_p paraméterek mintadarabonként

	Völgymélység R_v [μm]	Csúcsmagasság R_p [μm]
1	0,040	0,041
2	0,170	0,158
3	0,206	0,205
4	0,166	1,063
5	0,345	1,743
6	0,355	1,159
7	0,327	1,458
8	0,324	1,114
9	0,367	1,570

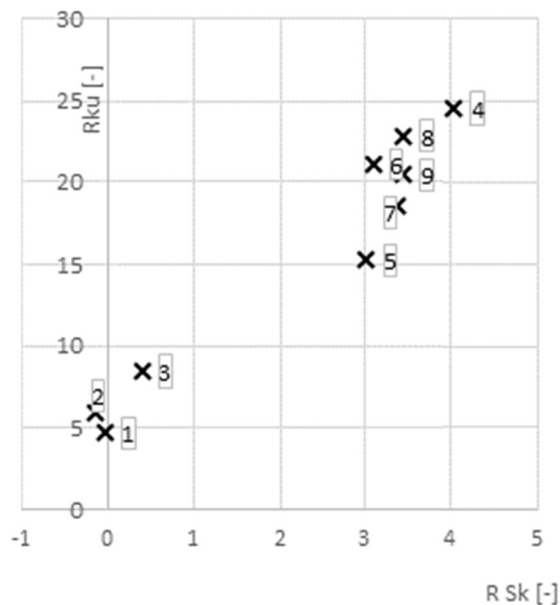
Tribológiaiul kedvező felületről akkor beszélünk, ha a völgyek domináns szerepet töltenek be, míg a csúcszóna platószerű kialakítású. Ebben az esetben a kedvező hordozófelület relatíve „nagy” valódi érintkezési tartományt és ezzel kedvező teherelosztást biztosít, míg a mély völgyek kenőanyag és kopadék tároló kapacitást jelentenek. Az általunk vizsgált felületek esetén erről szó sincs. Az 1.-3. daraboknál még 1 körüli értéket kapunk az R_v/R_p arányra, de a bevonatolások a kedvező 1 fölötti értékek helyett jóval ez alatt maradnak.



2. ábra. Völgymélység/csúcsmagasság arány

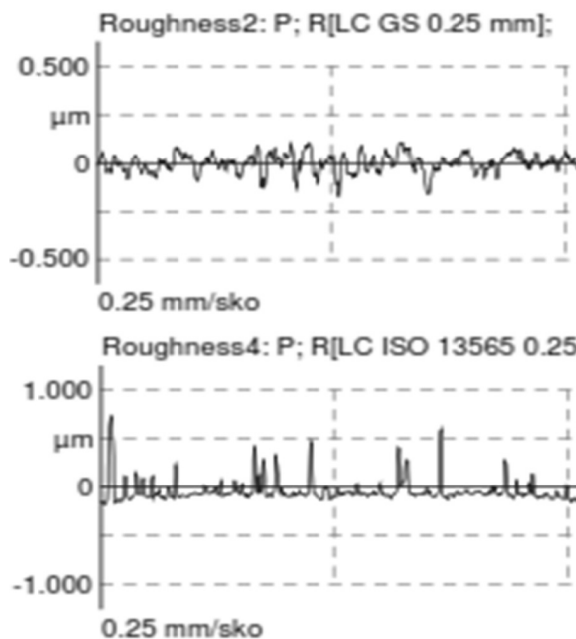
Az R_{sk} - R_{ku} topológiai térkép ugyancsak a hordozófelületi viszonyokról tájékoztat. Ezen térképen a negatív R_{sk} -val rendelkező, viszonylag alacsony (3 alatti) R_{ku} értékkel bíró felületek a kedvezőek. A 3. ábra az R_{sk} - R_{ku} topológiai térképet mutatja a 9 vizsgált darab

esetén feltüntetve az egyes darabok azonosítóját. Negatív R_{sk} értékkel mindössze a referencia felület és az 50 μm vastagságú plazma nitridált felület rendelkezik (1. és 2. azonosító), de az R_{ku} érték ezeknél a felületeknél is meglehetősen magas. A bevonatolt felületek kivétel nélkül a pozitív ferdeségi tartományban vannak és kiemelkedően magas R_{ku} értékkel rendelkeznek



3. ábra. R_{sk} - R_{ku} topológiai térkép

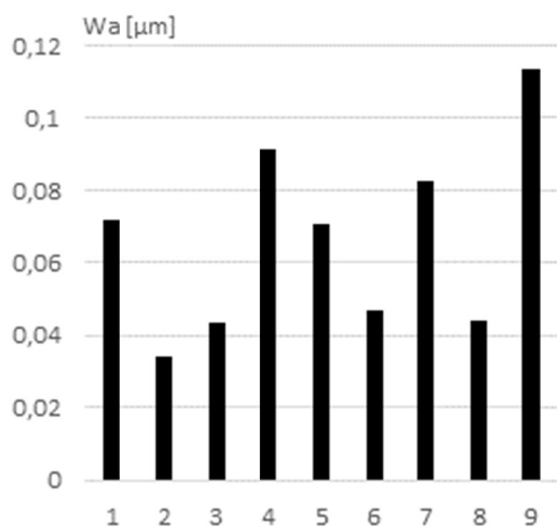
A legkedvezőbb (2.) és a legkedvezőtlenebb (4.) darabról készült érdességprofil részleteket mutat a 4. ábra.



4. ábra. Plazma nitridált (2. jelű, fent) és króm-nitrid bevonatú (4 jelű, lent) felületek érdességi profiljai

A két profil jelentősen eltér egymástól. A 2. jelű felületen viszonylag kedvező hordozófelületet és jó kenőanyagelsozó zónát figyelhetünk meg, míg a 4. darab esetén a tűskeszerűen kiugró érdességcsúcsok nagyon kedvezőtlen bekopási viselkedést vetítenek előre: A kis csúcsokon nagy érintkezési feszültség alakulhat ki, mely a kemény „tüske” lepattozását eredményezheti, ami a tribológiai rendszerben maradvá további komoly abrázív károsodások forrása lehet.

Vizsgálataink utolsó része a kontúrintékezési tartományt meghatározó hullámossági paraméterekre esett. Az adatokat összevetve az 1. ábrán szereplő átlagos érdességgel meglepő eredményeket láthatunk. Egyrészt fontos kiemelni, hogy minden esetben az Ra értékével összevethető mértékű hullámosságot tapasztalunk, ami igen kedvezőtlen. Másrészt a hullámosság értékét a felületkezelési technológia nem befolyásolja jelentősen, sőt több esetben a referencia felülethez (1.) képest jelentős javulás figyelhető meg.



5. ábra. A vizsgált felületek átlagos hullámossága

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Vizsgálataink eredményeiként az alábbi következtetésekre jutottunk:

- A felületkezelés nagyon jelentősen befolyásolja a felület mikrogeometriáját. Különösen domináns változásokat tapasztalhatunk bevonatolt felületek esetén
- A bevonatolt felületek teherbíró felülete és kenőanyagmegtartó képessége geometriai szempontból rossz: kiemelkedő, hegyes csúcsok jellemzik a felületet, melyek 4-5-szöröse a völgyek mélységének. Ez kedvezőtlen tribológiai viselkedést eredményezhet.

- A kontúr érintkezési tartományt befolyásoló hullámosság tekintetében a felületkezelési bevonatolási technológia nem okoz jelentős változást, sőt egyes esetekben csökkenti is a bevonatolt felület átlagos hullámosságát, ami kedvezőbb teherbírást eredményez.

5. IRODALOM

- [1] Marko Sedlacek, Bojan Podgornik, Joze Vizintin: Correlation between standard roughness parameters skewness and kurtosis and tribological behaviour of contact surfaces, Tribology International 48 (2012) 102–112
- [2] I. Barányi, R. Keresztes, Z. Szakál, G. Kalácska: Prediction of Surface Roughness Parameters by New Experimentally Validated Modelling Algorithm under Abrasive Condition; Acta Polytechnica Hungarica 13:(7) pp. 197-208. (2016)
- [3] Ryk, G., Kligerman, Y., Etsion, I.: Experimental Investigation of Laser Surface Texturing for Reciprocating Automotive Components Tribology Transactions, Vol. 45, Iss. 4., (2002) p. 444-449
- [4] Mezghani S., Demirci I., El Mansori M., Zahouani H.: Energy efficiency optimization of engine by frictional reduction of functional surfaces of cylinder ring-pack system, Tribology International, Vol. 59, (2013), p. 240-247
- [5] A.A.G. Bruzzone, H.L. Costa: Functional characterization of structured surfaces for tribological applications, Procedia CIRP 12, 456–461 (2013)
- [6] Grabon, W., Waldemar, K., Pawlus, P., Ochwat, S, Improving tribological behaviour of piston ring-cylinder liner frictional pair by liner surface texturing, Tribology International, Vol 61. (2013) p. 102-108
- [7] DIN-EN-ISO 4287: Geometrische Produktspezifikationen (GPS) Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit, Deutsche Fassung EN ISO 4287 : 1998
- [8] Palásti K B, Sipos S., Czifra Á.: Rz = 4*Ra és egyéb érdességi értelmezések a forgácsolt felületek értékelésében, Gyártóeszközök, szerszámok, szerszámgépek 2012:(1), pp. 20-24. (2012)
- [9] Horváth Richárd, Czifra Árpád, Drégelyi-Kiss Ágota: Effect of conventional and non-conventional tool geometries to skewness and kurtosis of surface roughness in case of fine turning of aluminium alloys with diamond tools, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 78:(1-4) pp. 297-304. (2015)

ÖKODIZÁJN SZEMLÉLET A TERMÉKTERVEZÉSBN, ÉS AZ ALKOTÁSBAN

AZ ECO-DESIGN APPROACH IN PRODUCT DESIGN AND CREATION

BME Gépészmérnöki Kar Gép- és Terméktervezés Tanszék
DARABOS ANITA DLA adjunktus, designer

ABSTRACT

The work of nature is always in dynamic balance, everything is related to everything, it hold against and equalize as well. There is no excess, any excess promptly counter responds and found answer in short time. In our world (human community) the balance works with a longer inertia. Like a pendulum we balance from one end and to the other. Perception, reflection, demonstration, evaluation, proposing a solution. What leads us to purpose is to find the analogy of our problems in the nature, observe it, analyze the established solutions and take over it. The real Eco-design may could be created from the nature only this way, on the tremped natural path of nature, reach the desired sustainable harmony.

1. BEVEZETÉS

A természet működése, mindig dinamikus egyensúlyban van, minden mindennel összefügg, ellen tart és kiegyenlít. Nincs felesleg, bármi többlet azonnal ellenválaszt vált ki és rövid időn belül válaszra lel. A mi világunkban, (emberi közösség) hosszabb tehetetlenséggel működik az egyensúly. Mint egy nehézkes inga hol egyik, hol másik végpontba lendülve egyensúlyozunk. Észlelés, átgondolás, bizonyítás, elbírálás, megoldás felvetése... Célravezetőbb a problémáink analógiáját a természetben megkeresni, megfigyelni és az ott kialakult megoldásokat kielemezni, átvenni. A valódi Ökodizájn talán csak így jöhetne létre, a természetből, a természet által kitaposott természetes úton elérve az áhított fenntartható harmóniát.

2. ÖKODIZÁJN

Öko anyagok, Öko feldolgozás Bölcsőtől - Bölcsőig. Az igazi ökodizájn nem csak a formákat és a technikai megoldásokat veszi át a természettől hanem a természetes körforgást is. A születést, az elmúlást és az újjászületést újra és újra átalakulva, megjelenve évszázadokon át más és más alakban. Ezt kell megtanulnunk és nem a szeméthegeyeket gyarapító tárgyakkal kell elárasztanunk a világot. Ehhez már túl sokan vagyunk, ezzel a gyakorlattal véglegesen le kell számolnunk. Erre tanít, a természet is bennünket csak észre kell vennünk. Az újrahasznosítás nem csak a használati tárgyainkban, de az építészetben, a környezetünk kialakításában is fontos szempont, mint kiterjesztett ökodizájn. A közösségeknek törvényekkel, a vásárlóknak felelős magatartással kell ráébreszteniük a gyártókat, hogy a jövőben csak ilyen tárgyakat fogunk használni és csak ilyen épített környezetben akarunk élni. Akkor talán az oktatásból is eltűnnek a nem oda illő elemek. Itt a beépített hibára és a megtervezett elévülésre gondolok. Ezek a természet tudatosság helyett, a tudatos profítanak rendelik alá a gyártást ezzel indokoltánál gyorsabb ciklusba kényszerítve a felhasználókat és egyben több hulladékot is hagynak maguk után. El kell döntenünk a valódi irányt és azt kell erősíteni legfőképpen és leghamarabb a jövő tervezőinek oktatásakor.

3. ELKÉPZELT MEGOLDÁS - MÁRKÁKNÁL

Egy neves márka, pl. egy autómárka, 300 db autó eladását tervezi be egy évre. Automatikusan betervezi 300 db autó szétszerelésre, megsemmisítésre, újrahasznosításra is ugyan azon márka elavult régi autó leadását, becserélését. Az egyensúly megtartása, vagy jelenkorunkban a felesleges szaporulat visszafogása megállítása fontos lenne.

A márka pozitív megítélése arculata lehetne az egyensúlyra törekedés.

Ezt a fajta szemléletet kiterjeszteném, használati tárgyra, ruhára, csomagolással rendelkező élelmiszerre.

Ne növekedjen feleslegesen semmi.

Egy utópisztikus írás: „A nemnövekedés diszkrét bája” Serge Latouche / Savaria University Press, 2011/

4. A VISSZAVÁLTHATÓ, CSERÉLHETŐ TÁRGYAK

A visszaváltható tárgyak fontosak lennének a hulladék halmozás megállítása miatt. Konzerves üvegek, palackok, tejes, tejfölös, kefir- joghurtos **üvegek**. Egy állandó kedvenc kialakulását is okozhatja, hiszen visszaviszem az üveget és újra azt vásárolok. „**Termék hűség**” kialakulását is elősegítené.

Ezek a palackok vastag falúak, száj kialakításuk az újra tölthetőség miatt meg vastagítva a töltő fejhez van kialakítva. Felíratozása lehet matrica, szitázott vagy plasztikus préselt. A vastag masszív falvastagság a tartós használat miatt van, kevésbé sérülékeny. Anyaga olcsó kategóriájú üveg alapanyag présáruhoz.



1. ábra. Visszaváltható üveg palackok, újrahasznosítás

5. ÚJRAHASZNOSÍTÁS, MÓDOSÍTÁS

BMW I.3. Elektromos autója újrahasznosított, hosszú életű anyagokból épült. A terv az volt, hogy a hosszú életű karbon műanyag kompozit, karosszériában a fejlesztések során újabb és újabb akkumulátor szettek cserélhetnének, növelve a hatótávot, úgy hogy az autó többi része megmaradna. Ezzel a márka hűség, az ökodizájn szemlélet egy korszerű példáját alkották meg.

Am a gazdasági menedzsment támogatását nem tudták megszerezni, ők komplett autókat akartak, minél többet eladni és ezzel minél nagyobb profitot realizálni. Sajnos e miatt ez csak egy utópisztikus gondolat lett. A tervező gárda öko-elkötelezett tagjai később el is hagyták a gyár kötelékét. Hamarosan a gazdasági képviselőknek is be kell látniuk, hogy ez a helyes irány, mert ezt igénylik a vásárlók, ehhez kell kialakítani a pénzügyi megoldásokat.



2. ábra. BMW I. 3. hosszútávú használatra

Ez az autó hosszútávú használatra lett tervezve, a gyorsan tönkremenő tárgyak helyett, újra és újra megújuló, nagyobb akkumulátorra cserélve sokáig használható.

6. ÚJRAHASZNOSÍTÁS

A ruha márkáknál is a régit bevinnéd, és újat vennél, itt is a márka hűség és újrahasznosítás, használt ruha boltjuk is lehetne, egy részleg, aki azt kedveli, de kevés a pénze, vagy egy korábbi fazonat keres ugyan abban a márkában....



3. ábra. Használtruha leadása, marka hűen



4. ábra. Újrahasznosítás, ruhagyűjtő konténer

7. DADAIZMUS – újra hasznosít

A képzőművészet egy izgalmas és tanulságos időszaka a Dadaizmus. „Talált tárgy” vagy újrahasznosítás viccesen boldogítóan. De jelenkorunkban az újrahasznosítás egy példamutató jövőképpen? – Miként lehet a tönkrement hasznos anyagokat használni más felhasználási területen.



5. ábra. Újrahasznosítás, Dadaizmus, "Tűzifa szoborrá emelve" Anyaga fa, üveg, rugalmas kompozit.



6. ábra. Újrahasznosítás, Dadaizmus, "Tűzifa szoborrá emelve" Anyaga fa, üveg, rugalmas kompozit, részlet.

A sorolás száliránya szándékosan ütköztetve, viccesen boldogítóan. De jelenkorunkban az újrahasznosítás egy példamutató jövőképpen? – Miként lehet a tönkrement hasznos anyagokat használni más felhasználási területen.



7. ábra. Újrahasznosítás, Dadaizmus, Anyaga fa, üveg, rugalmas kompozit

8. SZÉP - ESZTÉTIKUS MIRE VALÓ? MIRE JÓ?

Esztétikai élmény. Az élménynek az a fajtája, amikor az ember a valóság jelenségeiben felismeri, átéli az esztétikai tartalmat. Társadalmi méretekben ható maradandó értékű erővé válhat az alkotó által átélés és művészi megörökítés esztétikai élmény.

Aquinói Szt. Tamás „A szépséget nem közvetlenül Istentől vezeti le. A szépség három dologból áll”

1. tökéletesség
2. kellő arány és összhang
3. világosság

Cicero: rodoszi példázat. “A piaci működés értéke: nyereségre törekvés”

John Locke: „piaci működés – erkölcsi értékek kérdése középpontban a gazdaság és szabadság. Nincs olyan piac, ami az erkölcsi követelményeknek megfelelne oka: verseny.”

Szépség fogalmának meghatározásával foglalkozik Károsi Zoltán DLA publikációja. [1]

9. NAPJAINKBAN AZ ÖKOLOGIAI VÁLSÁG

Olyan mértéket öltött, hogy mindannyiunk felelőssége. A szépség, tökéletesség keresése, a divat mind újabb és újabb termékek tárgyak birtoklását gerjeszti. Az idő múlása is okoz újabb igényeket, elromlik, elavult. Ezek mind növelik a körülöttünk lévő tárgyak számát.

Legfontosabb cél (az emberi fejlődés célja): **boldogság, egészség.** A felvilágosodás eszméinek hatására a tudományos, gazdasági fejlődés lett a cél. Feltételezték, hogy a fokozódó "jólét" a "jól-lét", jelentős javulásával fog együtt járni. A nemzetgazdaság egy bizonyos jóléti szintjéig valóban javult az emberek "jól-léte", A fölött már egyáltalán nem javul sem az elégedettség, sem a jól-lét.

10. AZ ÖKOLÓGIAI VÁLSÁG: ERKÖLCSI PROBLÉMA

Napjaink ökológiai válságának bizonyos elemei rávilágítanak a krízis morális jellegére. A legfontosabb ezek közül a tudomány és technika eredményeinek válogatás nélküli alkalmazása. Számos felfedezés tagadhatatlan jótéteményt jelentett az emberiség számára. Ez megmutatja az ember meghívásának nagyszerűségét a teremtésben való Felelős részvételre. Sajnálatos módon manapság világossá vált, hogy ezen felfedezések alkalmazása az ipar és a mezőgazdaság területén káros és hosszútávú hatásokat váltott ki. Ez pedig ahhoz a fájdalmas felismeréshez vezetett, hogy nem avatkozhatunk be az ökoszisztéma egyetlen területén sem anélkül, hogy figyelmet fordítanánk mind a beavatkozás más területeken megnyilvánuló következményeire, mind pedig az eljövendő generációk jólétére.

11. MEGOLDÁS – HOSSZÚTÁVON HASZNÁLHATÓ ÉS MODULÁRISAN KÖNNYEN JAVÍTHATÓ TÁRGYAK – nem kell azonnal eldobni!

Ilyen pl.: a Singer varrógép csak a bőr szíja öregszik. Sok háztartásban megtalálható még ma is, pedig 1910 -ből van számozott darab.



8. ábra. „Örökéletű darab” Singer varrógép

Az „örökéletű” tárgyak, örökölhetők tovább vihetők, sok esetben egy- egy szakmánál ezért is vitték tovább a műhelyt az örökösök. Ma már ez se nagyon divat, talán júst is mást választanak, a tudást elavultnak divatja múltnak értékelik. Ahhoz, hogy ez is újra érték legyen, fontos a múlt és a jövő kép rendezése. Értéknek kell lenni a tudásnak a dolgok továbbvitelének. A tradíció ismét divatba kéne, hogy jöjjön.

12. KLASSZIKUS TÁRGYAK MEGUJULÁSA

Ilyen például a svájci bicska. Mely egyre több funkcióval rendelkezik. a rekordja jelenleg 36 funkció.



9. ábra „Örökéletű darab” svájci bicska

Szimmetrikus és aszimmetrikus, evolvens, külső fogazatú, hengeres fogaskerékpárok névleges fogtőfeszültsége

Zahnfuß-Nennspannung von symmetrischen und asymmetrischen, evolventisch-aussenverzahnten, zylindrischen Zahnradpaaren

Debreczeni Dániel MSc, PhD hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet,

Dr. Kamondi László PhD, címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

INHALT

In diesem Artikel wird die Zahnfuß-Nennspannung von symmetrischen und asymmetrischen, evolventisch-aussenverzahnten, zylindrischen Zahnradpaaren untersucht. Der Artikel bietet einen Einblick in die Korrelation zwischen den Ergebnissen der analytischen und numerischen Methoden bei den in der 1. Tabelle stehenden, symmetrischen Profilen. Die asymmetrischen Varianten sind durch FE Simulationen analysiert. Die wichtigsten Merkmale der FE Modelle ist auch kurz vorgestellt.

Das Ziel des Artikels ist, ohne die Notwendigkeit der Vollständigkeit, durch Beispielen auf die Unterschiede zwischen amerikanischen und europäischen Normen hinweisen und mit den Ergebnissen von FE Simulationen vergleichen. Dieser Artikel soll aufgrund seiner Einschränkungen keine allgemeine Schlussfolgerungen ziehen. Die dafür notwendigen Auswertungen werden in weiteren Arbeiten vorgestellt.

1. BEVEZETÉS

A modern hajtóművekkel kapcsolatban, a teljesítményhajtások további elemihez hasonlóan, általános igény az azonos méretek mellett átvihető nyomaték folyamatos növelése. Ez a célkitűzés a fejlesztőmérnökök számára egyre fontosabbá teszi az egyes igénybevételekkel szembeni biztonsági tényezők minél pontosabb becslését. Ezáltal biztosítva a sorozatgyártásban előírt kiesési valószínűséget. Erre szolgálnak például többek között Li [6] a fejmagasság tényező hatását valamint Zhan [8] az AGMA [1], [2] formulái szerinti eredmények numerikus számításokkal való egyezőségének vizsgálatát célzó munkái.

A fogtőteherbírással szemben növekvő követelmények, a kijelölt forgásirányú hajtóművek esetén, az aszimmetrikus profilok több területen történő megjelenését eredményezték. Ezen kerékpárok analizálásával valamint a szabványosított módszerekbe történő integrálásával többek között Langheinrich [5] foglalkozik.

1. táblázat: Szimmetrikus elem párok

Sorszám	Jelölés	m_n [mm]	z_1 / z_2 [-]	x_1 / x_2 [-]	$\alpha_n A$ [°]	$\alpha_n B$ [°]	β [°]	h_{aP0}^* [-]	ρ_{aP0}^* [-]	S_R [X m_n]			
1	m5z35rf02a1515	5	35/35	0/0	15	15	0	1.25	0.2	4			
2	m5z35rf02a2020				20	20							
3	m5z35rf02a2525				25	25							
4	m5z35rf03a1515				15	15							
5	m5z35rf03a2020				20	20							
6	m5z35rf03a2525				25	25							
7	m5z35rf04a1515				15	15							
8	m5z35rf04a2020				20	20							
9	m5z105rf02a1515		105/105		105/105	15			15		0	1.25	0.2
10	m5z105rf02a2020					20			20				
11	m5z105rf02a2525					25			25				
12	m5z105rf03a1515					15			15				
13	m5z105rf03a2020					20			20				0.3
14	m5z105rf03a2525					25			25				
15	m5z105rf04a1515					15			15				
16	m5z105rf04a2020					20			20				

A jelenlegi munkában az 1. táblázatban szereplő, szimmetrikus elempárok európai [3], [4] és amerikai [1], [2] szabványok szerinti analitikus és végelemes úton meghatározott névleges fogtőfeszültsége, illetve az aszimmetria hatásának numerikus számítások alapján prognosztizált jelentősége kerül bemutatásra.

2. FE MODELLEK BEÁLLÍTÁSAI

Az elvégzett numerikus számítások a gyakorlatban leginkább meghatározó analitikus módszerekkel összhangban síkbeli deformációs állapotra vonatkoznak. A vizsgálatok során tehát kizárólag síkbeli modellek kerülnek alkalmazásra. Ez a megközelítés az alkalmazott profilgeometria végelemes analízisek szerinti viselkedésének minimális számítási kapacitás melletti feltérképezését és analitikus módszerekkel való, közvetlen korrelációs vizsgálatát teszi lehetővé. A modellezett fogaskerékpárok Pfauter-féle megmunkálásnak megfelelő, gyártáshelyes származtatása, Litvin [7] munkája nyomán, egy saját készítésű programmal történik.

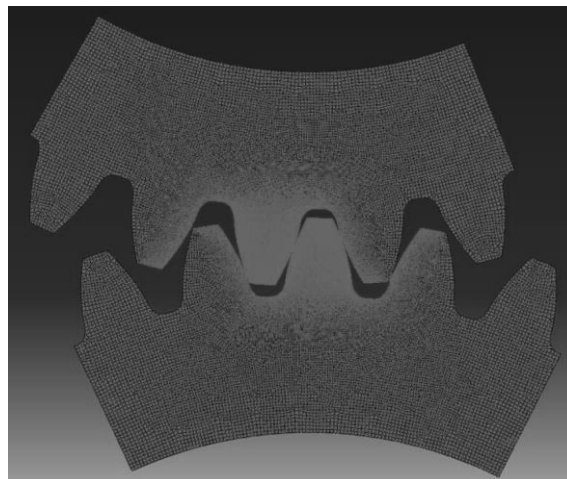
Az elempárok érintkezése Hertz-féle vagyis súrlódásmentes kontaktként definiált. Az érintkező fogaskerek a számítás során végig külön elemekként kezeltek.

A jelenlegi szimulációk során az eredmények minél nagyobb mértékű stabilitását szem előtt tartva kvadrátikus négyzög háló került alkalmazásra. A fogtőben szükséges elemméret előzetes számítások segítségével az alkalmazott modul függvényében került meghatározásra. Ezen vizsgálat eredményei a terjedelmi korlátok miatt ebben a munkában

nem kerülnek külön bemutatásra.

A fogtőfeszültségkép meghatározásánál, egy adott fog geometriailag jól behatárolható területének vizsgálatáról réven szó, kézenfekvőnek tűnik az importált geometria kiterjedésének nagymértékű csökkentése. Ez alapvetően két úton, mégpedig a figyelembe vett fogok számának valamint a koszorúk vastagságának előírásán keresztül lehetséges.

A szimulációban szereplő elemenkénti fogság, Langheinrich [5] munkája alapján, célszerűen 5-re választandó. A vizsgált fog minden esetben középen helyezkedik el, ami jelen esetben mindkét oldalon 2-2 további fogat jelent. A minimálisan szükséges visszahatás nélküli vastagság az ISO 6336 [3] szabványnak megfelelően került rögzítésre.



1. ábra: FE modellek geometriai korlátai

A tárgyalt, 1. ábrán látható geometriai korlátokkal rendelkező modellek szűrőpróba szerű elempárok kiválasztásán keresztül teljes kiterjedésű esetekkel is összevetésre kerültek.

2. táblázat: Határfeszültség előírása

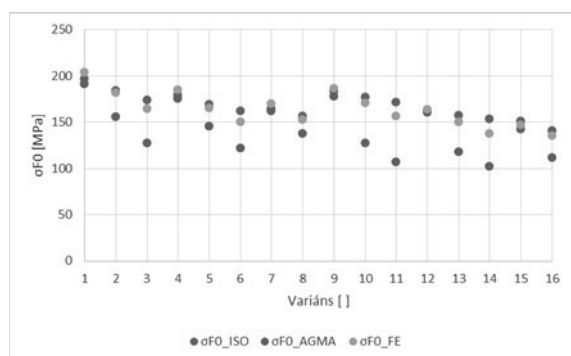
Anyag	16MnCr15	
Hőkezelés	Betétben edzett	
Utólagos kezelés	Nincs	
Rugalmassági modulusz	206 000 MPa	
Kontrakciós tényező	0.3	
Anyagminőség	MQ	
Terhelési ciklusszám	$3 \cdot 10^6$	
AGMA 2001 / AGMA 2101		
Hőmérséklet tényező	K_T / Y_Θ	1
Megbízhatósági tényező	K_R / Y_Z	1
ISO 6336		
Feszültségkorrekciós tényező	Y_{ST}	2
Relatív bemetszés érzékenységi tényező	Y_{relT}	0.997
Relatív felületi tényező	Y_{relI}	0.964
Méret tényező	Y_X	1

Az összehasonlítások megerősítettek, hogy a választott geometriai határok eredményekre gyakorolt elhanyagolható hatását.

3. SZIMMETRIKUS ELEMPÁROK EREDMÉNYEINEK KORELÁCIÓJA

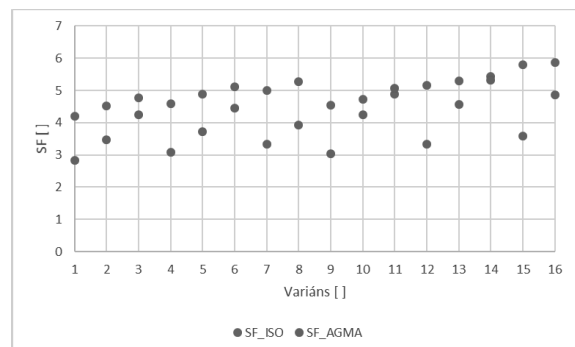
Az 1. táblázatban szereplő fogaskerékpárok fogtőfeszültségének meghatározása a [1], [2], [3], [4] szereplő metódusok, valamint a 2. fejezetben részletezett modellek segítségével történik. A kapcsolódó fogaskerek geometriája minden esetben identikus. A kerületi vonalnyomás 300N nagyságú.

Az említett szabványok névleges fogtőfeszültségre vonatkozó számítási eljárásainak részletes bemutatása nem képezi a jelenlegi munka tárgyát. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy még az európai szabvány csakis a hajlító igénybevételt tekinti mérvadónak, addig az AGMA szabvány a fogtő nyomó igénybevételét is figyelembe veszi a kalkuláció során. Ezek alapján az AGMA szabvány esetén előreláthatóan jellemzően kisebb feszültség értékeket várhatunk, mivel a mérvadónak tekintett húzott oldali fogtő a nyomó terhelés figyelembevétele kedvező hatású. Nem szabad elfeledkeznünk azonban arról, hogy a két metódus elméleti megközelítése több eltérést is mutat. Ezen különbségek pedig olykor megzavarhatják a fenn említett tendenciát. A nyomó igénybevétel figyelembevételének elméleti jelentősége mindazonáltal egyértelműen fokozódik profilszög növelésével. Ennek következtében az AGMA szabvány szerinti névleges fogtőfeszültség számítás ISO kalkulációhoz képesti jelentősebb profilszög függését prognosztizálhatjuk, ami vissza is köszön a 2. ábra eredményeiben.



2. ábra: Szimmetrikus elem párok fogtőfeszültsége

Fontos megjegyezni, hogy a kapott feszültségértékek nagysága korántsem tükrözi a különböző módszerek tervezési kritériumainak erősségét. Ez ISO és AGMA szabványok ugyanis eltérő határfeszültség értékekkel dolgoznak. A megengedett fogtőfeszültség meghatározásának részletes ismertetése nem képezi jelenlegi munka tárgyát. A kérdés rövid érintése viszont fontos a tématerület árnyaltságának érzékeléséhez. A használt határfeszültségek az egyes eljárások által figyelembe vett paraméterek 2. táblázat szerinti felvétele esetén, az 1. táblázatban szereplő elem párokra a 3. ábrán látható biztonsági tényezők adódnak. A számítások minden esetben acél fogaskerekre vonatkoznak. Az elem párok nyersanyaga valamennyi variáns esetén normál anyagminőségűnek tekintett [4].



3. ábra: Szimmetrikus elem párok biztonsági tényezője

4. ASZIMMETRIA HATÁSA

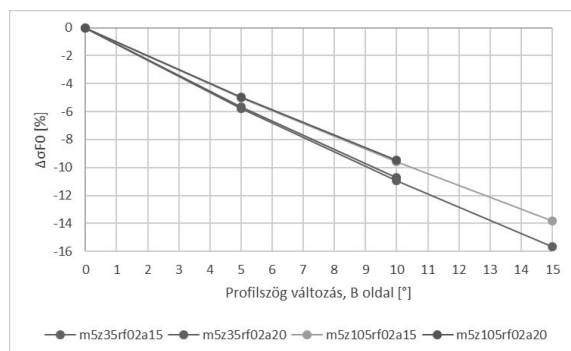
Ebben a fejezetben a fogprofil eltérő húzott és nyomott oldali profilszögének numerikus eredményekre gyakorolt befolyása kerül bemutatásra. A vizsgálatok továbbra is a fogtőben ébredő első főfeszültség alapján kerülnek kiértékelésre. A számítások során használt aszimmetrikus variánsok jelölése a 1. táblázatban összefoglalt szimmetrikus variánsokkal összhangban történik.

A m5z35rf02a2025 kódjelű fogazat tehát az alábbi paraméterekkel rendelkező elem párt jelöli:

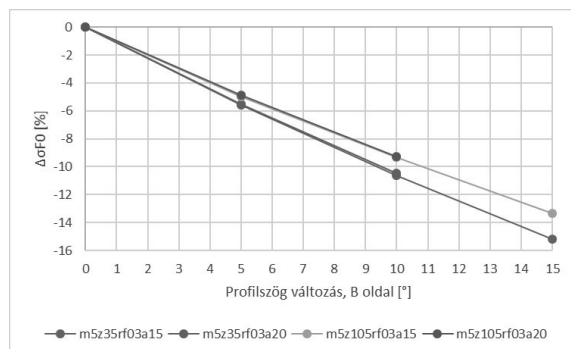
- normál modul: 5mm
- fogsám: 35
- alaprofil fogtőgörbe rádiusz tényezője: 0,2
- működő oldal alaprofil szöge (A oldal): 20°
- támasztó oldal alaprofil szöge (B oldal): 25°
- lábmagasság tényező: 1,25

A nyomott oldali profilszög hatásának kiértékelésénél a támasztó fogoldal profilszögét érdemes a húzott fél függvényében kifejezni.

Ennek következtében olyan profilsorokat nyerünk, amelyek segítségével az egyes jellemzők változásának hatása jól áttekinthető formában ábrázolható. Erre szolgálnak első példaként a 4. és 5. ábrák, amelyek 0.2 és 0.3 alaprofil fogtő rádiusz tényezőjű modellek húzott oldali fogtőfeszültségének nyomott oldali alaprofil szög függését összegzik. A diagramok abszcisszáján a nyomott oldali profilszög húzott oldalhoz képesti növekménye jelenik meg. A 0 pozíció tehát minden esetben a szimmetrikus elempárt jelöli.



4. ábra: Aszimmetrikus profilú, 0.2 alaprofil rádiusz faktorú elempárok fogtőfeszültsége



5. ábra: Aszimmetrikus profilú, 0.3 alaprofil rádiusz faktorú elempárok fogtőfeszültsége

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatok során a numerikus számítások eredményeinek szabványosított metódusokkal való korrelációja több különböző geometriájú elempár esetén is bemutatásra került. A vizsgált esetekben kijelenthető, hogy a végeelemes modellek által mutatott maximális névleges fogtőfeszültségek az ISO szerinti eljárással lényegesen jobb egyezést mutatnak az AGMA által leírt számításhoz képest.

A szabványosított formulák helyessége azonban nem vehető össze ilyen egyszerűen. Azt itt felmerülő nehézségeket jól példázzák a

megengedett fogtőfeszültség szabványos meghatározásainak eltérései.

Az aszimmetrikus profilszög választás fogtőfeszültségre gyakorolt hatása különböző rádiusz faktorú fogtőgörbék esetén került kiértékelésre. Az itt kapott eredmények jól mutatják a választott alaprofil fogtő lekerekítésének jelenlévő, ám korántsem meghatározó hatását.

“ 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.”

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] AGMA 2001-D04 Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, 12.2004
- [2] AGMA 908 Geometry Factors for Determining the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Herringbone Gear Teeth, 04.1989
- [3] ISO 6336-3 Calculation of load capacity of spur and helical gears - Part 3: Calculation of tooth bending strength 04.2007.
- [4] ISO 6336-5 Calculation of load capacity of spur and helical gears - Part 5: Strength and quality of materials 08.2016.
- [5] Langheinrich, A.: Geometrie, Beanspruchung und Verformung asymmetrischer Stirnradverzahnungen, Dissertation, TE München, 04.2014.
- [6] Li, S.: Effect of addendum on contact strength, bending strength and basic performance parameters of a pair of spur gears, Mechanism and Machine Theory 43, pp. 1557-1584, 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2007.12.010>
- [7] Litvin, F. L.: Theory of Gearing, United States Government Printing, Washington, 1989
- [8] Zhan, J.; Fard, M.; Jazar, R.: A quasi-static FEM for estimating gear load capacity, Measurement 75, pp. 40-49, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.07.036>

RADIÁLISAN POLARIZÁLT GÖMB KIVÁGÁSSAL GYENGÍTETT VÉGTELEN PIEZOELEKTROMOS TEST EGY STATIKAI FELADATA

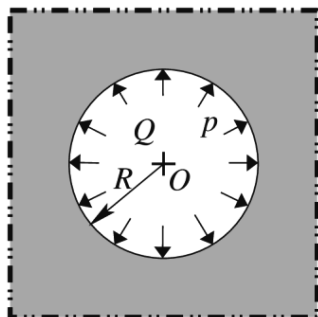
STATIC ANALYSIS OF RADIALY POLARIZED PIEZOELECTRIC SPACE WITH A SPHERICAL CAVITY

*Ecsedi István, Professor Emeritus, Miskolci Egyetem, Műszaki Mechanikai Intézet;
Baksa Attila, egyetemi docens, PhD, Miskolci Egyetem, Műszaki Mechanikai Intézet*

ÖSSZEFOGLALÁS (ABSTRACT). The static linear response of radially polarized piezoelectric space with a spherical cavity is studied. The applied mechanical load are uniform pressure acting on the curved boundary of cavity, and the source of electric load is a concentrated charge positioned at the center of spherical cavity. The paper gives the solution of the above defined spherically symmetric boundary value problem for displacement, stresses, electric potential and elastic displacement vector.

1. BEVEZETÉS

A piezoelektromosság olyan kapcsolt mechanikai-elektromos jelenség, amelynek során bizonyos anyagokon, mint például nem centrálisan szimmetrikus kristályokon, kerámiákon mechanikai terhelés hatására elektromos tér keletkezik, illetve elektromos tér hatására mechanikai alakváltozás jön létre. A piezoelektromos szerkezeti komponensek vizsgálata mechanikai és villamosságtani ismereteken alapul. E tanulmány tárgyát radiálisan polarizált gömb alakú kivágással gyengített végtelen kiterjedésű piezoelektromos test egy gömbszimmetrikus peremérték feladatának az analitikus megoldása alkotja.



1. ábra. Gömbi kivágással gyengített piezoelektromos test.

A vizsgált végtelen kiterjedésű gömbi kivágással gyengített piezoelektromos testet az 1. ábra szemlélteti az alkalmazott mechanikai és

elektromos terheléssel együtt. A feladat szimmetriájából következik, hogy valamennyi mechanikai és elektromos változó csak az r radiális koordináta függvénye.

A gömbszimmetrikus feladat megoldására az alábbi egyenleteket használjuk [1,2].

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \quad \varepsilon_\varphi = \varepsilon_\theta = \frac{u}{r}, \quad (1)$$

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2}{r}(\sigma_r - \sigma_\varphi) = 0, \quad \sigma_\varphi = \sigma_\theta, \quad (2)$$

$$D_r = \frac{Q}{4\pi r^2}, \quad E_r = -\frac{\partial U}{\partial r}, \quad (3)$$

$$\sigma_r = c_{33}\varepsilon_r + 2c_{13}\varepsilon_\varphi - e_{33}E_r, \quad (4)$$

$$\sigma_\varphi = c_{13}\varepsilon_r + (c_{11} + c_{12})\varepsilon_\varphi - e_{31}E_r, \quad (5)$$

$$D_r = e_{33}\varepsilon_r + 2e_{31}\varepsilon_\varphi + \kappa_{33}E_r, \quad (6)$$

$$\sigma_r(R) = -p, \quad \sigma_r(\infty) = 0, \quad (7)$$

$$u_r(\infty) = 0, \quad U(\infty) = 0. \quad (8)$$

Az (1)-(8) egyenletekben a különböző szimbólumok jelentése a következő:

- u a radiális elmozdulás,
- $\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_\theta$ normálfeszültségek,
- $\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi, \varepsilon_\theta$ fajlagos nyúlások,
- E_r a villamos térerősség vektor radiális komponense,
- D_r a villamos eltolás vektor radiális komponense,
- $c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{33}$ rugalmassági merevség állandói,
- κ_{33} dielektromos állandó,
- e_{31}, e_{33} piezoelektromos állandók,
- U villamos potenciál,
- p nyomás (1. ábra)
- Q koncentrált töltés (1. ábra)

2. PEREMÉRTÉK FELADAT MEGFOGALMAZÁSA ÉS MEGOLDÁSA

A (2), (4) és (5) egyenletek kombinálásával az alábbi egyenlet nyerhető az $u = u(r)$ radiális elmozdulásra

$$c_{33} \frac{d^2 u}{dr^2} + 2 \frac{c_{33}}{r} \frac{du}{dr} + \frac{2}{r^2} (c_{13} - c_{11} - c_{12}) u + e_{33} \frac{d^2 U}{dr^2} + \frac{2}{r} (e_{33} - e_{31}) \frac{dU}{dr} = 0. \quad (9)$$

A Gauss egyenlet felhasználásával azt kapjuk, hogy

$$D_r = \frac{Q}{4\pi r^2}. \quad (10)$$

A (6) egyenletből az következik, hogy

$$\frac{dU}{dr} = \frac{e_{33}}{\kappa_{33}} \frac{du}{dr} + 2 \frac{e_{31}}{\kappa_{33}} \frac{u}{r} - \frac{Q}{4\pi \kappa_{33} r^2}. \quad (11)$$

A (11) egyenlet (9) egyenletbe helyettesítésével azt kapjuk, hogy

$$C_3 \frac{d^2 u}{dr^2} + 2 \frac{C_3}{r} \frac{du}{dr} - 2C_1 \frac{u}{r^2} + \frac{C_2}{r^3} Q = 0, \quad (12)$$

ahol

$$C_1 = c_{11} + c_{12} - \frac{e_{31}^2}{\kappa_{33}}, \quad (13)$$

$$C_2 = \frac{e_{31}}{2\pi \kappa_{33}}, \quad (14)$$

$$C_3 = c_{33} + \frac{e_{31}^2}{\kappa_{33}}. \quad (15)$$

A (12) differenciálegyenlet végtelenben ($r \rightarrow \infty$) korlátos megoldása az alábbi függvény

$$u(r) = kr^\lambda + \frac{C_2}{2C_1} \frac{Q}{r}, \quad (16)$$

ahol

$$\lambda = -\frac{1}{2} - \sqrt{\frac{1}{4} + 2 \frac{C_1}{C_3}}. \quad (17)$$

A (11) és a (16) egyenletekből az következik, hogy

$$U(r) = \frac{e_{33}}{\kappa_{33}} \left(kr^\lambda + \frac{C_2}{2C_1} \frac{Q}{r} \right) + \frac{2e_{31}}{\kappa_{33}} \frac{k}{\lambda} r^\lambda - \frac{C_2}{2C_1} \frac{Q}{r} + \frac{1}{2\pi \kappa_{33}} \frac{Q}{r^3}. \quad (18)$$

A $\sigma_r = \sigma_r(r)$ és a $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(r)$ normálfeszültségek számítása az (1), (3), (4) és (5) egyenletekből levezethető képletek alapján történik azaz

$$\sigma_r(r) = c_{33} \frac{du}{dr} + 2c_{13} \frac{u(r)}{r} + e_{33} \left(\frac{e_{33}}{\kappa_{33}} \frac{du}{dr} + 2 \frac{e_{31}}{\kappa_{11}} \frac{u(r)}{r} - \frac{Q}{4\pi \kappa_{33} r^2} \right), \quad (19)$$

$$\sigma_\varphi(r) = c_{13} \frac{du}{dr} + (c_{11} + c_{12}) \frac{u(r)}{r} + e_{31} \left(\frac{e_{33}}{\kappa_{33}} \frac{du}{dr} + 2 \frac{e_{31}}{\kappa_{11}} \frac{u(r)}{r} - \frac{Q}{4\pi \kappa_{33} r^2} \right). \quad (20)$$

Az $u = u(r)$, a $U = U(r)$ valamint a $\sigma_r = \sigma_r(r)$ és $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(r)$ normálfeszültségek képleteiben szereplő k állandó értéke a

$$\sigma_r(R) = -p, \quad (21)$$

feszültségi peremfeltétel alapján határozható meg. Értékére az alábbi eredményt tudjuk levezetni.

$$k = k_1 + k_2, \quad (22)$$

$$k_1 =$$

$$\frac{1}{4} \frac{4c_{13} \kappa_{33} C_2 Q - 2c_{33} \kappa_{33} C_2 Q - 2e_{33}^2 C_2 Q}{C_1 (c_{33} \kappa_{33} \lambda + 2c_{13} \kappa_{33} + e_{33}^2 \lambda + 2e_{33} e_{31}) R^{\lambda+1}}, \quad (23)$$

$$k_2 =$$

$$\frac{1}{4} \frac{(4e_{33} e_{31} C_2 Q + p \kappa_{33} C_1 R^2) \pi - e_{33} C_1 Q}{C_1 (c_{33} \kappa_{33} \lambda + 2c_{13} \kappa_{33} + e_{33}^2 \lambda + 2e_{33} e_{31}) R^{\lambda+1}}. \quad (24)$$

A feszültségmező kiértékelését segíti az ekvivalens von Mises feszültség kiszámítása, amelynek meghatározása az alábbi egyenlet alapján történik [3]

$$\sigma_M(r) = \sqrt{\sigma_r^2(r) - \sigma_r(r) \sigma_\varphi(r) + \sigma_\varphi^2(r)}. \quad (25)$$

Az elektromos térerősség radiális komponensére a (3) és a (18) egyenletek kombinálásával az

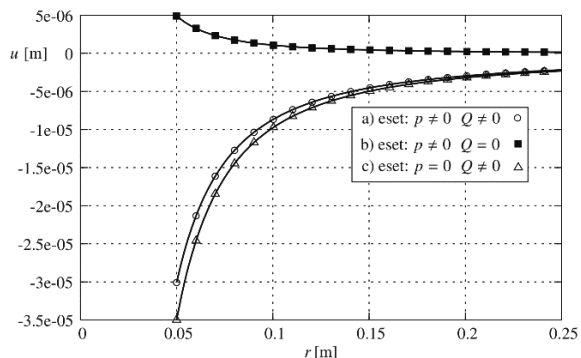
$$E_r(r) = \frac{1}{\pi C_1 \kappa_{33} r^2} (4\pi e_{33} k \lambda C_1 r^{\lambda+1} + 8\pi e_{31} k C_1 r^{\lambda+1} - 2\pi e_{33} C_2 Q + 4\pi e_{31} C_2 Q - Q C_1) \quad (26)$$

eredmény vezethető le.

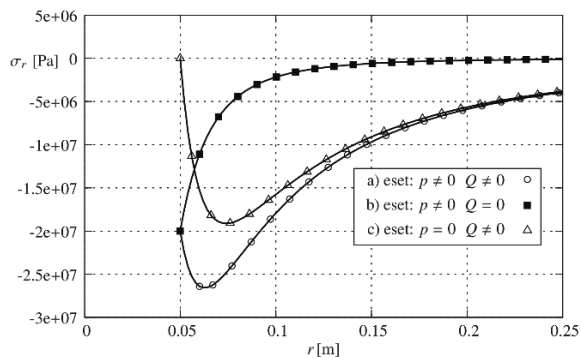
Három fajta peremértékfeladat megoldásával foglalkozunk, attól függően, hogy a p mechanikai terhelés (nyomás) és a Q töltés milyen kombinációban kerül előírásra. Ezek az alábbiak:

- „0” jelű feladat: $p \neq 0, Q \neq 0$,
- „1” jelű feladat: $p \neq 0, Q = 0$,
- „2” jelű feladat: $p = 0, Q \neq 0$.

A „0” jelű feladatban $u = u(r)$ a radiális elmozdulást, $U = U(r)$ pedig a villamos feszültséget jelöli. Az „i” ($i = 1, 2$) jelű feladatokban a radiális elmozdulást $u_i = u_i(r)$ és a villamos feszültséget pedig $U_i = U_i(r)$ jelöli.



2. ábra. Radiális elmozdulások.



3. ábra. Radiális normál feszültségek.

A kapott analitikus megoldásokat a lineáris piezoelektromos testekre érvényes Betti-Rayleigh felcserélhetőségi tétel [3] alkalmazásával is ellenőrizzük. A szóban forgó tétel alapján érvényes az alábbi három egyenlet:

$$B_{01} = 4\pi R^2 p u_1(R) - 4\pi R^2 p u(R) + QU_1(R) = 0, \quad (27)$$

$$B_{02} = 4\pi R^2 p u_2(R) - QU(R) + QU_2(R) = 0, \quad (28)$$

$$B_{12} = 4\pi R^2 p u_2(R) - QU_1(R) = 0. \quad (29)$$

3. NUMERIKUS PÉLDÁK

A numerikus példák a következő adatokkal kerültek kiszámításra:

$$R = 0,05 \text{ m}, \quad p = 20 \times 10^6 \text{ Pa}, \quad Q = 2 \times 10^{-3} \text{ C},$$

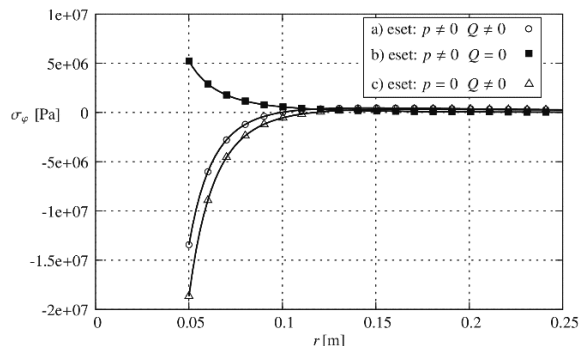
$$c_{11} = 12,6 \times 10^{10} \text{ Pa}, \quad c_{12} = 7,96 \times 10^{10} \text{ Pa},$$

$$c_{13} = 8,39 \times 10^9 \text{ Pa}, \quad c_{33} = 11,7 \times 10^{10} \text{ Pa},$$

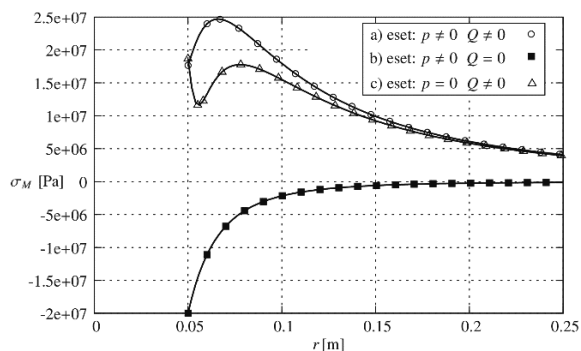
$$e_{31} = -6,5 \text{ C/m}^2, \quad e_{33} = 23,3 \text{ C/m}^2,$$

$$\kappa_{33} = 1,302 \times 10^{-8} \text{ C/Vm}.$$

A 2. ábra szemlélteti a három terhelési esethez tartozó radiális elmozdulások függvény görbéit. Mindhárom terhelési esetre a normál feszültségek $\sigma_r = \sigma_r(r)$ és $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(r)$ függvények grafikonjait a 3. ábra (σ_r) és a 4. ábra (σ_φ) tartalmazza. Az egyes terhelési esetekhez tartozó von-Mises feszültségek függvény görbéit az 5. ábrában adtuk meg.



4. ábra. Tangenciális normál feszültségek.



5. ábra. Von Mises feszültség.

A „0”, „1” és „2” terhelési előírásokhoz tartozó U villamos potenciálok és az E_r térerősség komponens grafikonjait a 6. ábrában (U) és a 7. ábrában (E_r) adtuk meg. A felírt numerikus számadatokkal a Betti-Rayleigh reciprocitási relációból az alábbi eredményeket nyerjük:

$$B_{01} = -2 \times 10^{-8} \text{ Nm}, \quad B_{02} = 0, \quad B_{12} = 0. \quad (30)$$

A fenti eredmények megerősítik a kidolgozott analitikus eljárás helyességét.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmány gömb alakú kivágással gyengített végtelen kiterjedésű radiálisan polarizált lineáris piezoelektromos test egy statikai problémájának analitikus megoldásával foglalkozik. A gömbi kivágás peremén előírt normál feszültség működik, továbbá a gömbi kivágás

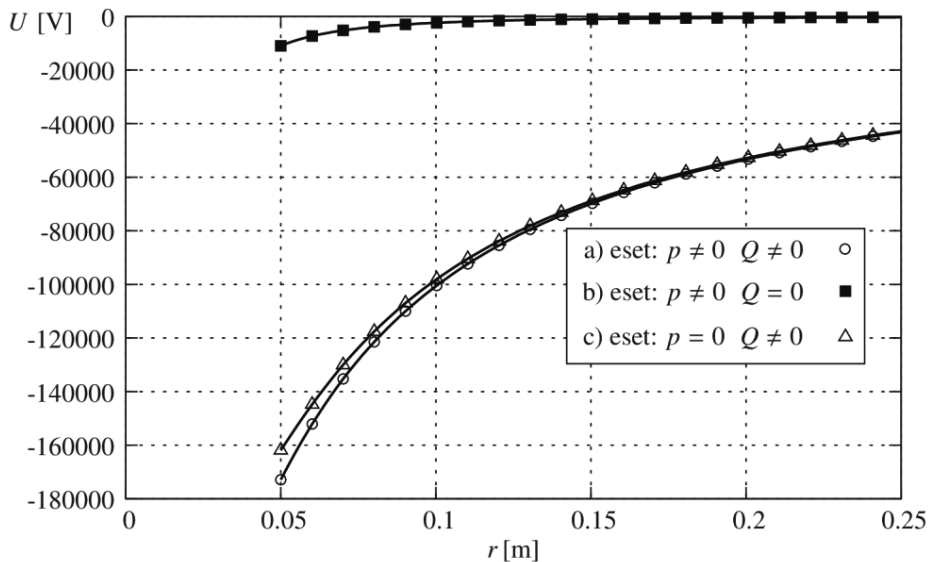
középpontjában egy Q nagyságú koncentrált töltés van elhelyezve. A tanulmány az alkalmazott terhelési előírások három kombinációjával foglalkozik. Megadja mindhárom esetre a radiális elmozdulás, a normálfeszültség, a villamos potenciál, a villamos térerősség és a villamos elmozdulás vektor képleteit. A kapott eredményeket több ábra szemlélteti és a levezetett numerikus eredményeknek a Betti-Rayleigh típusú felcserélhetőségi tétel alkalmazásával történő ellenőrzése is bemutatott. A numerikus példa eredményei közvetlenül használhatók különböző numerikus eljárások pontosságának a vizsgálatára.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány elkészítését a Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Hivatal (NKFIH) K115701 projektre támogatta. A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű

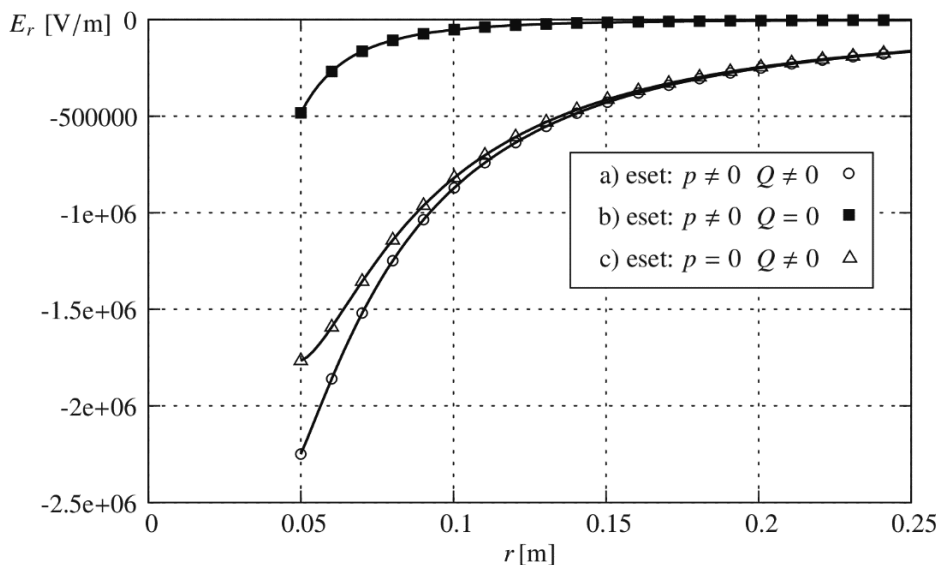
„Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. IRODALOM

- [1] J.S. Yang, An Introduction to the Theory of Piezoelectricity, Springer, New York, 2005.
- [2] J.S. Yang, The Mechanics of Piezoelectric Structures, World Scientific, London, 2005.
- [3] Q.H. Quin, Green's Functions and Boundary Elements of Multifield Materials, Elsevier, Amsterdam, 2007.



6. ábra. Villamos feszültségek.



7. ábra. Villamos térerősségek.

Fazekas Bálint¹, PhD hallgató, fazekas.balint@gt3.bme.hu

Goda Tibor¹, DSc, egyetemi tanár, goda.tibor@gt3.bme.hu

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gép- és Terméktervezés Tanszék

ABSTRACT

This paper aims to present the visco-pseudoelastic material model and its application to model the mechanical behaviour of rubbers. The constitutive constants are determined with the aid of the so-called inverse parameter identification method where the stress solution is provided by a finite element model. It is pointed out that the visco-pseudoelastic material model incorporating optimised parameters can describe the complex mechanical behaviour of an EPDM rubber accurately.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a gumik rendkívül fontos szerepet töltenek be az iparban, köszönhetően a kedvező mechanikai tulajdonságaiknak valamint a nagy energia abszorpciók képességüknek. Néhány gyakori alkalmazási példa: kerékabroncsok, statikus és dinamikus tömítések, zaj- és rezgésszigetelő komponensek [1].

Ezekre az anyagokra a nagy-rugalmas alakváltozások és a nemlineáris feszültség-alakváltozás kapcsolat mellett az időfüggő (viszkózus) viselkedés is jellemző. Továbbá, ciklikus igénybevétel mellett merevségsökkenés is megfigyelhető, amely az ún. Mullins-hatással magyarázható. A merevségsökkenés a terhelés során az anyag mikroszerkezetében bekövetkező irreverzibilis károsodásokra (pl. töltőanyag részecskék és a láncmolekulák közötti kötések felszakadása) vezethető vissza [2]. A Mullins-hatás mechanikai modellezésére számos elméletet dolgoztak ki, amelyek közül a legismertebb az Ogden–Roxburgh szerzők nevéhez fűződő pszeudoelasztikus modell [3], amely az összenyomhatatlan, izotróp, nemlineárisan rugalmas anyagok elméletének ún. károsodási paraméterrel való kibővítésén alapul. A modell egyik nagy előnye, hogy többtengelyű feszültségi állapot esetén is használható.

Ahhoz, hogy a gumi-szerű anyagokra jellemző összetett anyagi viselkedést le tudjuk írni, az ún. viszko-pszeudoelasztikus modell szükséges, ahol az anyag időfüggetlen válaszát

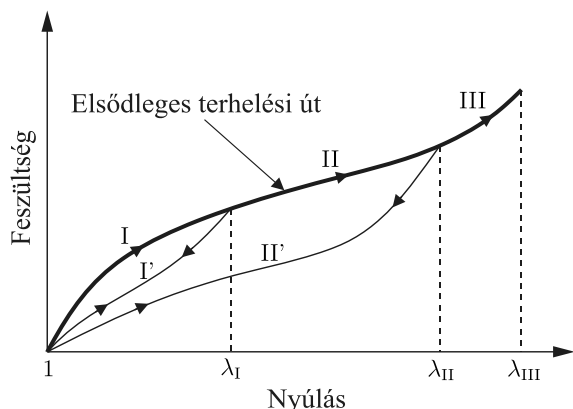
a Mullins-hatást is magába foglaló pszeudoelasztikus modellt, míg az időfüggő válaszát a Prony-sorozaton alapuló lineárisan viszkoelasztikus modell adja meg. A modell a mérnöki gyakorlatban azonban nem, vagy csak ritkán kerül alkalmazásra, aminek elsődleges oka az anyagparaméterek meghatározásának összetettsége. Így az esetek többségében a Mullins-hatás elhanyagolásra kerül, ami a gumi-szerű anyagból készült alkatrészek várható viselkedésének numerikus előrejelzésben jelentős hibákat eredményezhet; elsősorban olyan alkalmazási területeken, ahol az alkatrész a gyártás vagy a beszerelés során előterhelésnek van kitéve [4]. A modellben szereplő anyagparaméterek meghatározása a számított feszültségválasz mérési eredményekre történő illesztésével valósítható meg; azaz, a modellválasz és az adott mérési eredmény között bevezetett hibafüggvény minimalizálásával [5]. A viszko-pszeudoelasztikus modell összetettsége miatt analitikus (zárt alakú) feszültségválasz nem állítható elő még a legegyszerűbb egytengelyű húzás esetére sem, ezért a konstitutív konstansok meghatározásának egyik lehetséges módja az ún. inverz paraméterillesztés, amely során a modellválasz rendszerint egy elemből álló végeelem modellel számolható, majd egy külső optimalizáló algoritmus segítségével kereshetők az anyagparamétereket. A módszer fő előnye, hogy összetett anyagmodellek paraméterei is meghatározhatóak, akár inhomogén feszültségállapotra vonatkozóan is, azonban a számítási kapacitás jelentős, hiszen a végeelem modellt minden egyes ciklusban újra kell futtatni a kívánt pontosság eléréséig.

Az alkalmazott anyagmodell és az inverz paraméterillesztési módszer alkalmazhatóságának vizsgálata érdekében elvégeztük egy EPDM gumi mechanikai modellezését egytengelyű ciklikus igénybevételi módra vonatkozó mérési eredmények alapján, azaz meghatároztuk a viszko-pszeudoelasztikus anyagmodellben szereplő paramétereket.

2. ALKALMAZOTT ANYAGMODELL

2.1. A Mullins-hatás mechanikai modellezése

Ha egy gumit feszültségmentes állapotból kiindulva húzó erővel terhelünk, tehermentesítünk, majd újrateherelünk, akkor adott alakváltozási állapot fenntartásához szükséges feszültség a tehermentesítés és az újrateherelés során kisebb lesz, mint az első terhelés esetében, egészen az első terhelésnél elért maximális nyúlásértékig. Ezt a merevségcsökkenést (feszültség-lágyulást) Mullins-hatásnak nevezik, amely tehát az első terhelés során fellépő anyagszerkezeti károsodást írja le. A jelenség idealizálását az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Az idealizált Mullins-hatás bemutatása egytengelyű ciklikus terhelés esetén.

Az 1. ábra az idealizált Mullins-hatás tulajdonságait mutatja egytengelyű, ciklikus terhelések sorozatán keresztül. Az anyagot feszültség- és nyúlásmentes állapotából λ_I nyúlásértékig terhelve a feszültségválaszt az ún. elsődleges terhelési út I jelű szakasza adja meg. A λ_I nyúlásértékről való tehermentesítés az I' jelű terhelési úton történik. Az anyag újbóli terhelése során a feszültségválasz követi az I' jelű utat egészen λ_I nyúlásértékig, amelyet követően az anyagválaszt az elsődleges terhelési út II jelű szakasza adja meg. A második tehermentesítés (λ_{II} nyúlásértéktől az anyag feszültségmentes állapotáig) a II' jelű terhelési úton történik. A következő, harmadik terhelés a feszültségmentes állapottól egészen λ_{II} nyúlásértékig a II' jelű terhelési úton történik. Ha nincs további terhelés λ_{II} nyúlásérték felett, akkor a II' jelű terhelési út adja meg a további anyagválaszt, amely már tisztán rugalmas lesz. A λ_{II} nyúlásértéknél nagyobb terhelés esetén az anyagválasz követi az elsődleges terhelési út III jelű szakaszát, az ezt követő terhelési ciklusok pedig a leírt mintázatot követik. Összefoglalva tehát a fő jellemzőit az idealizált Mullins-hatásnak:

(i) tehermentesítés során merevségcsökkenés (lágyulás) jön létre az elsődleges terhelési úthoz viszonyítva (ii) az újrateherelés követi a tehermentesítéshez tartozó terhelési utat az előzőleg elért maximális nyúlásértékig, azt követően pedig az elsődleges terhelési utat (iii) a maradó alakváltozások és egyéb viskoelasztikus jelenségek (pl. hiszterézis) nincsenek a modellezés során figyelembe véve.

A Mullins-hatás mechanikai leírására az Ogden–Roxburgh-féle ún. pszeudoelasztikus modell alkalmas, amelynek alapja az alakváltozási energiasűrűség függvény kibővítése egy egyszerű állapotváltozóval. Az így kapott pszeudo-energiasűrűség függvény az alábbi alakban írható fel

$$W(\mathbf{F}, \eta), \quad (1)$$

ahol \mathbf{F} az alakváltozási gradiens, míg η az ún. károsodási paraméter, amely értéke egységnyi (inaktív) az elsődleges terhelési úton. Ekkor az anyag károsodás nélkül, rugalmasan viselkedik a $W(\mathbf{F}, 1)$ függvény mellett. Aktív esetben (tehermentesítés, valamint újrateherelés során adott nyúlásértékig) η implicit módon kifejezhető az alakváltozási gradiens függvényében. Ekkor az anyagi viselkedés továbbra is rugalmas lesz, azonban más alakváltozási energiasűrűség függvény mellett. Vagyis ciklikus igénybevétel esetén az η paraméter hatására változik az anyagi viselkedés, megjelenik a disszipáció, következésképp az anyagi viselkedés pszeudoelasztikus lesz. A $W(\mathbf{F}, \eta)$ függvény ismeretében, amely tehát a tárolt alakváltozási energia és a károsodási folyamat során disszipálódott energia összege, a Cauchy-féle ($\boldsymbol{\sigma}$) és a mérnöki (\mathbf{P}) feszültségek összenyomhatatlan anyagi viselkedés feltételezése mellett az alábbi módon számolhatók

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{F} \frac{\partial W(\mathbf{F}, \eta)}{\partial \mathbf{F}} + p \mathbf{I}, \quad (2)$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{F} \frac{\partial W(\mathbf{F}, \eta)}{\partial \mathbf{F}} \mathbf{F}^{-T} + p \mathbf{F}^{-T},$$

ahol p a Lagrange-féle multiplikátor, \mathbf{I} pedig az egység tenzor. Könnyen belátható, hogy inaktív károsodási paraméter mellett a (2) egyenlet alapján az ismert kontinuummechanikai összefüggések adódnak a feszültségekre. A bevezetett károsodási paraméter következtében az anyagmodell definiálásához szükséges egyenletek kiegészülnek egy újabb egyenlettel, ami az alábbi alakban írható fel

$$\frac{\partial W(\mathbf{F}, \eta)}{\partial \eta} = 0. \quad (3)$$

A pszeudo-energiasűrűség függvény definíció szerint az alábbi alakban írható fel

$$W(I_1, I_2, \eta) = \eta W^*(I_1, I_2) + \phi(\eta), \quad (4)$$

ahol I_1, I_2 a jobboldali Cauchy–Green-féle deformációs tenzor első és második skalár invariánsa, $W^*(I_1, I_2)$ az egységnyi térfogatra vonatkoztatott alakváltozási energiasűrűség függvény, továbbá $\phi(\eta)$ a károsodási függvény, amely a disszipáció mértékét adja meg és amelyre teljesül, hogy $\phi(1) = 0$. Azaz $\eta = 1$ esetén az elsődleges terhelési úton vagyunk, ahol $W = W^*$. A (4) egyenletet behelyettesítve a (3) egyenletbe az alábbi összefüggés adódik

$$-\phi'(\eta) = W^*(I_1, I_2), \quad (5)$$

amely kifejezés implicit módon definiálja az η károsodási paramétert az invariánsok és azokon keresztül a főnyúlások függvényében. Vagyis adott károsodási függvény esetében az (5) egyenlet alapján meghatározható a károsodási paraméter. Az Abaqus végeelem szoftverben [6] Ogden és Roxburgh munkája alapján a károsodási paraméter az alábbi alakban került implementálásra

$$\eta = 1 - \frac{1}{r} \operatorname{erf} \left(\frac{W_{\max} - W^*(I_1, I_2)}{m + \beta W_{\max}} \right), \quad (6)$$

ahol $\operatorname{erf}(\bullet)$ a Gauss-féle hibafüggvény, W_{\max} az alakváltozási energiasűrűség függvény maximuma az elsődleges terhelési úton adott terhelési szint mellett, r és β dimenziótlán, míg m W -vel megegyező dimenziójú anyagjellemző, ahol $r > 1$, $m \geq 0$ és $\beta \geq 0$ (m és β paraméterek egyszerre nem lehetnek zérusok). Továbbá, definíció szerint $W^*(I_1, I_2) \leq W_{\max}$ amiből adódóan $\eta \leq 1$. Mivel $r > 1$, ezért a károsodási paraméternek pozitívnak kell lennie, továbbá a minimum értéke (η_m) az anyag tehermentesített, feszültségmentes állapotában ($\lambda = 1, W^* = 0$) adódik, ekkor

$$\eta_m = 1 - \frac{1}{r} \operatorname{erf} \left(\frac{W_{\max}}{m + \beta W_{\max}} \right). \quad (7)$$

Vagyis a károsodási paraméter $\eta_m \leq \eta \leq 1$ értékek között folytonosan (monoton módon) változhat.

2.1. Vízko-pszeudoelasztikus anyagmodell

A konstitutív egyenlet – amely tehát a pszeudoelasztikus és a véges alakváltozásokra érvényes vízkoelasztikus modell összekapcsolásával nyerhető – a Cauchy-féle feszültségtenzor segítségével, térfogat állandóságot feltételezve az alábbi alakban írható fel

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\sigma}(t) = & \boldsymbol{\sigma}_0^D(t, \eta^*) + \boldsymbol{\sigma}^H(t, \eta^*) - \\ & - \operatorname{DEV} \left[\sum_{i=1}^N \frac{g_i}{\tau_i} \int_0^t \mathbf{F}_i^{-1}(t-s) \boldsymbol{\sigma}_0^D(t-s, \eta^*) \mathbf{F}_i^{-T}(t-s) e^{-s/\tau_i} ds \right], \end{aligned} \quad (8)$$

ahol $\boldsymbol{\sigma}_0^D(t, \eta^*)$ a végtelen gyors terheléshez tartozó Cauchy-féle feszültségtenzor deviátoros része, míg $\boldsymbol{\sigma}^H(t, \eta^*)$ a Cauchy-féle feszültségtenzor hidrosztatikus része. A DEV operátor megadja az adott tenzor deviátoros részét, $\mathbf{F}_i(t-s) = \mathbf{F}(t-s)\mathbf{F}^{-1}(t)$ a relatív alakváltozási gradiens, g_i az i -edik relatív rugalmassági modulus, τ_i az i -edik relaxációs idő, míg N a Prony tagok száma. Továbbá η^* a módosított károsodási paraméter, amely a (6) egyenlettel adott összefüggéshez képest kismértékben eltérő, aminek oka, hogy a Mullins-hatást leíró konstitutív modell a vízkoelaszticitással kombinálva a végtelen lassú terheléshez tartozó, relaxált viselkedésre vonatkozik. Vagyis, ebben az esetben a károsodási paramétert a relaxált relatív modulussal szükséges módosítani. Azaz a módosított károsodási paraméter az alábbi formában adható meg

$$\eta^* = 1 - g_\infty \frac{1}{r} \operatorname{erf} \left(\frac{W_{\max} - W^*(I_1, I_2)}{m + \beta W_{\max}} \right), \quad (9)$$

ahol g_∞ a relaxált relatív modulus, amely a relatív rugalmassági modulus ismeretében az alábbi módon számolható

$$g_\infty = 1 - \sum_{i=1}^N g_i. \quad (10)$$

2.3 Feszültségválasz egytengelyű húzás esetén
Egytengelyű húzó/nyomó igénybevitel esetén az alakváltozási gradiens az alábbi alakban adható meg

$$\mathbf{F} = \operatorname{diag} \left[\lambda \quad \lambda^{-1/2} \quad \lambda^{-1/2} \right], \quad (11)$$

ahol diag a diagonális mátrixot, míg λ a terhelés irányába eső nyúlást jelöli. Az alakváltozási gradiens felírásánál felhasználtuk, hogy az

anyag összenyomhatatlan, azaz $\det \mathbf{F} = 1$, valamint, hogy izotróp, azaz a terhelésre merőleges irányokban a nyúlások megegyeznek egymással, azaz $\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda^{-1/2}$. Az alakváltozási gradiens ismeretében számolható a relatív alakváltozási gradiens, így a (8) egyenlet alapján meghatározható az egytengelyű igénybevételi módhoz tartozó konstitutív egyenlet. A levezetéshez segítséget nyújt a szerzők egy korábbi publikációja [7]. Vagyis az egytengelyű húzásra érvényes viszkopseudoelasztikus feszültségválasz az alábbi alakban adható meg

$$P(t) = \eta^* P_0(t) - \frac{1}{3} \sum_{i=1}^N \frac{g_i}{\tau_i} \int_0^t \left(\frac{2\lambda(t)}{\lambda(t-s)} + \frac{\lambda^2(t-s)}{\lambda^2(t)} \right) \eta^* P_0(t-s) e^{-s/\tau_i} ds, \quad (12)$$

ahol $P(t)$ a teljes (időfüggő) mérnöki feszültségválasz, míg $\eta^* P_0(t)$ a Mullins-hatást is figyelembe vevő pseudoelasztikus (időfüggetlen) mérnöki feszültségválasz, ahol a károsodási paraméter a (9) egyenlettel adott. Továbbá $P_0(t)$ egy tetszőleges összenyomhatatlan hiperelasztikus anyagmodell által adott feszültségválasz. Megjegyzendő, hogy a Cauchy-féle feszültségválasz helyett a mérnöki feszültségválaszt adtuk meg, aminek oka, hogy az anyagvizsgálatok során ez a feszültség számítható közvetlenül a mérési eredményekből.

3. ANYAGPARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA

A (12) egyenlettel adott konstitutív egyenlet egy nemlineáris konvolúciós integrál, amelynek analitikus (zárt alakú) megoldása még ebben az egytengelyű esetben sem lehetséges. Éppen ezért a konstitutív konstansok meghatározására az inverz paraméterillesztési módszer került alkalmazásra, ahol a numerikus megoldó az Abaqus végelem szoftver, míg külső optimalizációs szoftver az MCalibration [8]. A módszer alkalmazhatóságának vizsgálata érdekében egy EPDM gumi ciklikus, egytengelyű húzásra érvényes mérési eredményeit használtuk fel [4]. A mechanikai modellezés során az anyag nemlineárisan rugalmas (időfüggetlen) viselkedését a Yeoh-féle összenyomhatatlan, hiperelasztikus anyagmodellel vettük figyelembe. A modell előnye, hogy korlátozott igénybevételi módokhoz tartozó mérési eredmények mellett is képes az anyagválasz pontos leírására. A

modell az alábbi alakváltozási energiasűrűség függvénnyel definiálható

$$W^* = C_{10}(I_1 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3, \quad (13)$$

ahol C_{10} , C_{20} és C_{30} anyagparaméterek. A Mullins-hatást modellezése során a károsodási paramétert a (9) egyenlet definiálja. Az időfüggő (viszkózus) viselkedést négytagú Prony-sorozattal ($N = 4$) vettük figyelembe. Az anyagállandóknak bizonyos korlátozó feltételeket teljesíteniük kell. Egyrészt, a hiperelasztikus modell paraméterek nem sérthetik a Drucker-féle stabilitási feltételt, másrészt a Prony-paramétereknek és a pseudoelasztikus modellben szereplő paramétereknek a következő feltételeket kell teljesíteniük

$$\sum_{i=1}^N g_i < 1, \quad g_i > 0, \quad \tau_i > 0, \quad (14)$$

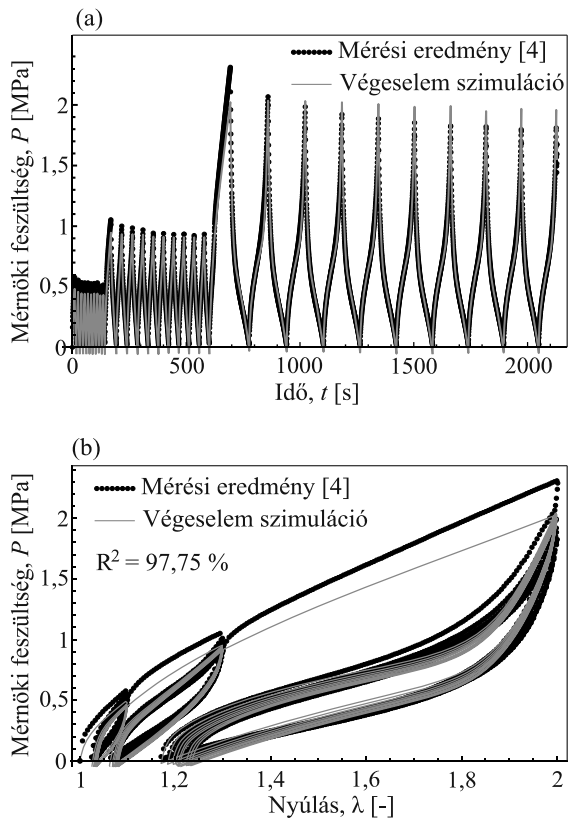
$r > 1, \quad m \geq 0, \quad \beta \geq 0,$ és ha $m = \beta \neq 0$.

Továbbá a nagyszámú meghatározandó anyagparaméterek miatt a relaxációs idők (τ_i) értékeit előre rögzítettük szakirodalmi ajánlások és az anyagállandók fizikai tartalmuk alapján. Ezzel csökkenthető a számítási kapacitás, elhanyagolható pontosságcsökkenés mellett. Az inverz paraméterillesztési módszerrel kapott, optimalizált anyagparamétereket, illetve az általunk felvett relaxációs időket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Az inverz paraméterillesztési módszerrel kapott anyagparaméterek.

Yeoh-féle hiperelasztikus modell paraméterei			
C_{10} [MPa]	C_{20} [Mpa]	C_{30} [Mpa]	
2,90	-0,016	0,0087	
Prony paraméterek ($N = 4$)			
g_1 [-]	τ_1 [s]	g_2 [-]	τ_2 [s]
0,725	1	0,0805	10
g_3 [-]	τ_3 [s]	g_4 [-]	τ_4 [s]
0,00941	100	0,0279	1000
Pseudoelasztikus modell paraméterei			
r [-]	m [MPa]	β [-]	
1,091	1,202	0,05	

Az 1. táblázatban szereplő anyagparamétereket felhasználva elvégeztük a mérési konfiguráció végelem szimulációját az Abaqus végelem szoftver segítségével. A kapott mérnöki feszültségválaszt az idő és a nyúlás függvényében, valamint a mérési eredményeket a 2. (a) és (b) ábrák mutatják.



2. ábra. A mért és a numerikusan számolt mérnöki feszültségválasz egytengelyű ciklikus igénybevétel esetén: (a) az idő függvényében (b) a nyúlás függvényében.

A 2.(a) és (b) ábrákon látható, hogy az inverz paraméterillesztési módszerrel meghatározott anyagparamétereket felhasználva a viszko-pseudoelasztikus anyagmodell megfelelő pontossággal képes leírni az EPDM gumi összetett anyagi viselkedését. Az illesztésre vonatkozó determinációs együttható (R^2) 97,75 %. Azaz megállapítható, hogy az anyagmodell képes a nemlineárisan rugalmas és a viszkoelasztikus (időfüggő) anyagi viselkedés mellett a Mullins-hatást is pontosan figyelembe venni. Megjegyzendő, hogy az anyagi viselkedés modellezése során feltételeztük, hogy a feszültség-nyúlás diagramon (1.(b) ábra) megfigyelhető „maradó” nyúlások a viszkoelasztikus anyagi viselkedés következményei.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Bemutatásra került a viszko-pseudoelasztikus anyagmodell, amely képes figyelembe venni a gumi-szerű anyagokra jellemző összetett mechanikai viselkedést. Az anyagmodell alkalmazhatóságának fontos feltétele a benne szereplő anyagállandók minél pontosabb meghatározása. Ebben a cikkben az inverz paraméterillesztési módszer került

alkalmazásra, amelynek lényege, hogy a rendelkezésre álló mérési eredmény és a végelem módszerrel számolt anyagválasz között bevezetett hibafüggvény kerül minimalizálásra. A kapott eredmények alátámasztják, hogy a meghatározott anyagparaméterekkel a viszko-pseudoelasztikus anyagmodell képes a gumi-szerű anyagok mechanikai modellezésére, így hozzájárulva az alkatrészek megfelelő pontosságú, végelem módszerrel történő numerikus előrejelzéséhez.

5. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A TANULMÁNY AZ INFORMÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-19-3 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT. FAZEKAS BÁLINT PHD HALLGATÓ EZ ÚTON IS KÖSZÖNETÉT FEJEZI KI A TÁMOGATÁSÉRT.



6. IRODALOM

- [1] Kohjiya, S., Yuko, I. 2014. Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber. 1st Edition. Elsevier.
- [2] Mullins, L., 1948. Effect of stretching on the properties of rubbers. Rubber Chemistry and Technology. 21, 281–300.
- [3] Ogden, R.W., Roxburgh, D.G., A, P.R.S.L., 1999. A pseudo-elastic model for the Mullins effect in filled rubber. Proc. R. Soc. Lond. A. 455, 2861–2877.
- [4] Dalrymple, T., Puergstaller, A. 2017. Calibration of advanced material models for elastomers. ECCMR 2017, Munich, Germany.
- [5] Fazekas, B., Goda, T.J., 2018. Determination of the hyper-viscoelastic model parameters of open-cell polymer foams and rubber-like materials with high accuracy. Mater. Des. 156, 596–608.
- [6] Abaqus 6.14 version, Dassault Systemes, 2016.
- [7] Fazekas, B., Goda, T.J., 2019. Closed-form and numerical stress solution-based parameter identification for incompressible hyper-viscoelastic solids subjected to various loading modes. Int. J. Mech. Sci. 151, 650–660.
- [8] Veryst 2017, MCalibration software from Veryst Engineering, Needham, MA.

ALKATRÉSZEK MUNKATÉRBE TÖRTÉNŐ ELHELYEZÉSÉNEK A GYÁRTÁSI KÖLTSÉGEKRE GYAKORLOLT HATÁSA ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK ESETÉN

THE IMPACT OF THE POSITION OF PARTS IN WORKSPACE ON MANUFACTURING COSTS IN THE CASE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

Dr. Ficzere Péter PhD

ABSTRACT

Additive manufacturing is becoming increasingly widespread in many areas of life. One of the main reasons for this is that the machines, raw materials and manufacturing are becoming cheaper. The cheaper the technology the more it spreads. The cost of production is influenced by many factors. One of these shows the impact of the part's production positioning (placement in the working space) on costs in the following study. On this basis, we can simplify the traditional pricing strategy. From the results we can determine how economically it is worth to place the parts in the work area of the machine.

1. BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológiák térhódításának következtében egyre többen foglalkoznak akár cégen belüli gyártással, akár bérnyomtatással. Mindkét esetben jelentős szerepe van a költségeknek. Általánosságban elmondható, hogy napjainkban a tervezésre fordítható idő jelentős mértékben lecsökkent, ezáltal a piacra jutási idő is csökkent. [1] Sok esetben jelentős mértékű gazdasági versenyelőnyt jelent, ha egy új termékkel elsőként tudunk a piacra lépni [2]. A korábban gyors prototípusoknak is nevezett 3D nyomtatott termékeknek jelentős szerepük van a hibaköltségek csökkentésében is. Fontos gazdasági tényező lehet - adott esetben - a gyors szerszámgyártásnak nevezett terület is, ahol a prototípusokhoz, vagy kisebb szériákhoz szükséges pl. öntőszerszámok tervezése és gyártása elhagyható. Egyedi darabok, vagy kis szériás gyártás esetén jelentős költség- és idő megtakarítás érhető el a szerszámtervezés és -gyártás elhagyásának következtében. Az időmegtakarításnak köszönhetően számos közvetlen és közvetett költség is megtakarítható [3], [4]. Itt kell

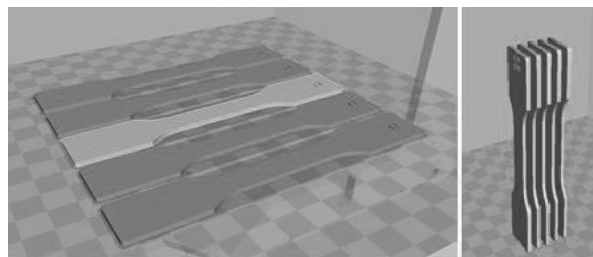
megjegyezni, hogy egyszerre akár több teljesen eltérő geometriájú munkadarab is gyártható. A gyártás oldaláról leszűkítve és részletezve szintén sok tényező befolyásolja a költségeket:

- választott eljárás,
- gyártási idő, nyomtatási sebesség,
- elhelyezés a munkatérben,
- pozíció, orientáció,
- támaszanyag mennyiségi igénye,
- támaszanyag típusa,
- kitöltés százalékos mennyisége,
- kitöltés típusa,
- rétegvastagság,
- anyagválasztás,
- gyártandó darabszám.

Mindezek alapján nem meglepő, hogy a piacon többféle árképzési stratégiával is találkozhatunk. Jelen tanulmány ezek közül csak egynek – a pozíciónak, orientációnak – a költségekre gyakorolt hatását vizsgálja.

2. MÓDSZER

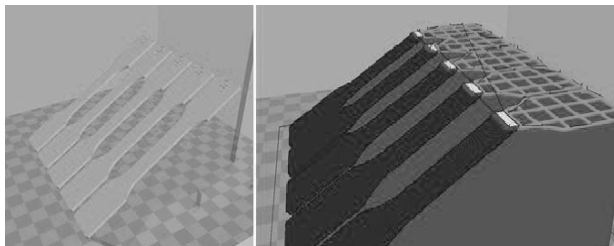
A vizsgálat során öt darab egyszerű alkatrészt (szabványos rövid szakító próbatest) helyezünk el különböző módokon a munkatérben és vizsgáljuk a pozíciónak a költségekre gyakorolt hatását.



1. ábra Fekvő és álló elrendezésben nyomtatott próbatestek

* egyetemi adjunktus, BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék

A különböző elhelyezési módok különböző támaszanyagigénnyel rendelkeznek. Ezen túl az egyes elrendezésekben a darabok előállításához szükséges gépidő is jelentős mértékben változik. A 2. ábrán látható ferde helyzetben viszont - szemmel látható módon (ábra bal oldali része) - szükséges a támaszanyag használata.



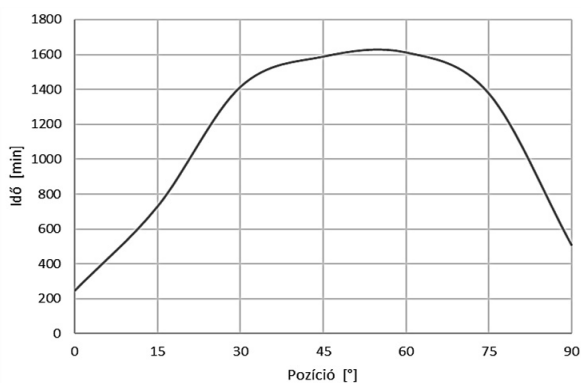
2. ábra 30°-os szögben nyomtatott próbatetek

Túl azon, hogy ebben az esetben rengeteg anyagot használunk el feleslegesen, a támaszanyag megfelelően strukturált nyomtatása a gépidőt is jelentős mértékben befolyásolja. Jelen tanulmányban a pozíció gyártási időre, valamint a szükséges anyagmennyiségre gyakorolt hatását vizsgáljuk.

3. EREDMÉNYEK

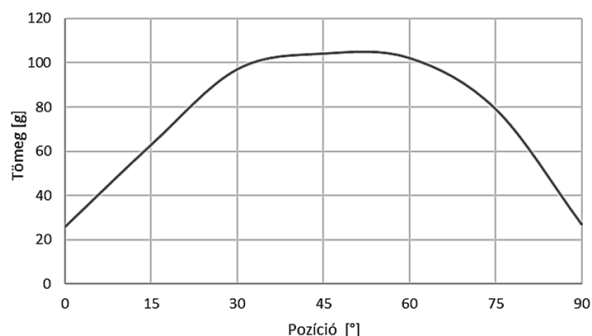
Az 1. ábrán látható elrendezések egyike sem igényel támaszanyagot, így anyagfelhasználás tekintetében nincs jelentős eltérés, viszont a függőleges elrendezés kb. dupla akkora gépidővel rendelkezik.

A ferde, dőlt pozíciókban elhelyezett próbatetek gyártása során különböző mennyiségű támaszanyagra van szükség, amelyek gyártási ideje is jelentős mértékben eltér egymástól.



3. ábra Gyártási idő az elhelyezési szög függvényében

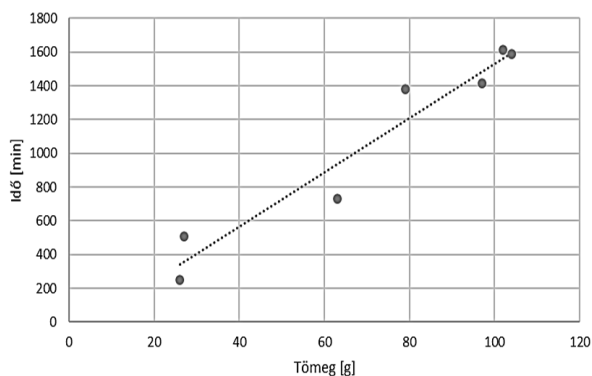
A 3. ábrán a próbatetek gyártási időszükséglete látható a darabok elhelyezési szögének (vízszintessel bezárt szög) függvényében. Ugyanígy megvizsgálhatjuk a szükséges alapanyag mennyiségét az elhelyezés függvényében.



4. ábra Gyártási alapanyag szükséglet az elhelyezési szög függvényében

4. VIZSGÁLAT

A diagramokat megvizsgálva könnyen észrevehető, hogy a gyártási pozíciónak a gyártási időigényre, valamint az anyagszükségletre gyakorolt hatása meglehetősen hasonlós. Érdekes tehát megvizsgálunk a felhasznált anyagmennyiség és a gyártási idő közötti összefüggést is.



5. ábra Gyártási idő felhasznált anyagmennyiség függvényében

Az így kapott diagramról leolvasható, hogy a két vizsgált paraméter között megközelítőleg lineáris kapcsolat áll fenn.

A 3. és a 4. ábra alapján megállapítható, hogy gyártási idő, valamint anyagszükséglet szempontjából a vízszintes és a függőleges közeli elrendezések a gazdaságosak.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az additív gyártástechnológiákkal foglalkozó cégeknek a modellek gyártási költségére gyakorlatilag szinte azonnal kell tudni árajánlatot adni, így bonyolult összefüggések az árak meghatározásánál nem

használhatók. A gyakorlatban alapvetően kétféle árképzési stratégia terjedt el (adott technológián belül):

- az alkatrész legkisebb magassága alapján,
- a szükséges alapanyag és gyártási idő alapján történő számítás.

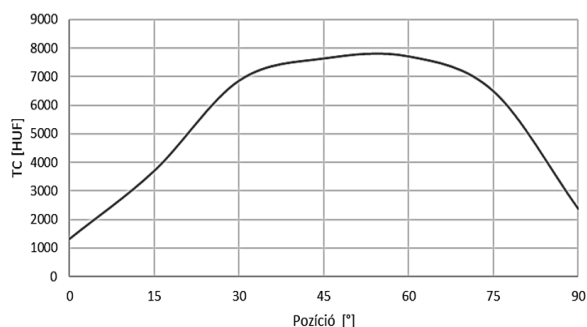
Az első esetben az alkatrész geometriai méreteiből a megrendelő számára is könnyen kiszámítható a várható ár. Itt adott magassághoz tartozik egy összeg (a magasság változásával lineárisan változik a gyártási költség is), amibe a gyártó cég belekalkulálta az összes felmerülő költséget, hasznát stb.

A második esetben az ár meghatározása az anyagok grammonkénti egységárát szorozzuk a teljes szükséges anyagmennyiséggel, és ehhez adjuk hozzá a gép rezsiját. Természetesen az anyagköltség egységárát és a gép óradíját a gyártó határozza meg, úgy, hogy abba az összes költsége megtérüljön, és valamekkora profitja is legyen.

Mindkét esetben az egységárak meghatározása komoly feladat, amely gazdasági, vállalatirányítási és gyártási tapasztalatot igényel.

Természetesen az árak meghatározásánál további szempontok is figyelembeveendőek, mint pl. az egyediség, sürgősségi felár, pre- és posztprocesszási idő és erőforrás szükséglet.

Ezek alapján a második esetben (anyag és gyártási idő alapú ár meghatározás) a következő eredményt kapjuk:



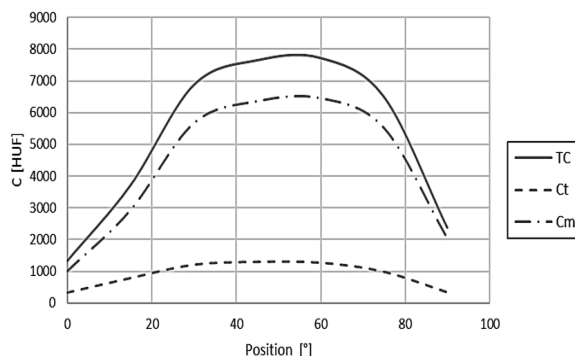
6. ábra Teljes költség (TC) változása az alkatrész pozíciójának függvényében

A 6. ábrán látható diagram esetében a tanszékünkön is meghatározott árszabást vettem alapul.

$$TC = C_m + C_t \quad (1)$$

A teljes költség, TC (Total Cost) meghatározható az anyagköltség C_m (Cost of material) és a gyártási idő alapú költség, a gép óradíj C_t (Cost of printing time) összegeként. Esetünkben a $C_m = 12,5$ Ft/g, és a $C_t = 4$ Ft/perc értékekre adódik. Természetesen, ha ezen összefüggéssel a piaci árat (Market Price MP) akarjuk meghatározni, akkor mind az anyagköltségbe, mind pedig a gép óradíjba be kell építeni az összes többi költséget, hasznát stb. Ez alapján kapjuk a 6. ábrán látható költségfüggvényt.

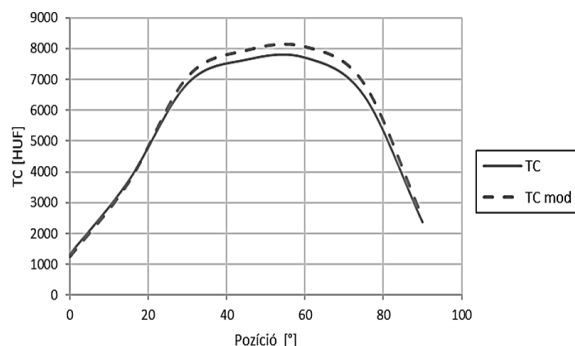
Nem meglepő módon ez is meglehetősen hasonló a tömeg, illetve a gyártási idő függvényhez. Érdekes megvizsgálnunk, hogy az egyes költségösszetevők milyen arányban oszlanak meg.



7. ábra Teljes költség (TC) megoszlása a gyártási idő alapú költségek (C_t) és az alapanyag költségek (C_m) szerint az alkatrész pozíciójának függvényében

Ebből az ábrából látható, hogy ilyen egységárak mellett a teljes költség sokkal érzékenyebben reagál a gyártási időtől függő költségekre.

A 7. ábrán látható diagram alapján megállapíthatjuk, hogy a költségösszetevők közül az időalapú költség dominál. Amennyiben ez alapján módosítjuk az egységárát pl. $C_t = 5$ Ft/perc értékre, és a szükséges alapanyag alapú összetevőt (C_m) elhagyjuk, akkor a következő diagramot kapjuk.



8. ábra Teljes költség (TC) a gyártási idő (C_t) és az alapanyag alapú költségek (C_m) szerint, valamint a módosított, csak alapanyag alapú költség (TC mod) az alkatrész pozíciójának függvényében

Jól látható, ha a költségszámítást leegyszerűsítjük egy összetevőre, akkor is az eredetivel közel azonos eredményre juthatunk. Ezáltal egyszerűsödhet az árképzési stratégia, nem kell adott esetben magyarázkodni, hogy miért annyi egy adott anyag egységára, mikor azt a kiskereskedelmi forgalomban is olcsóbban megveheti a megbízó.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A tapasztalatokat összegezve megállapítható, hogy egy termék piaci árának meghatározása nagyon komplex feladat. Az árba természetesen bele kell számolni a tervezési- és gyártási költségeken túl sok más egyéb tényezőt is, amelyeket nehéz számszerűsíteni. Ilyenek lehetnek a korábbi piacra lépésből származó előnyök, a hibaköltségek csökkenéséből adódó eredmények is. Ezért jelen tanulmány kizárólag a gyártói oldalról vizsgálja a költségeket, és azon belül is kizárólag a közvetlen gyártási költségekre összpontosít. Még ezen szűkítések ellenére is nagyon sok tényező befolyásolhatja a költségeket, így egy további szűkítés eredményeként csak az alkatrész munkatérben történő elhelyezésének, pozíciójának a költségekre gyakorolt hatását elemeztük.

Az elemzésekből kiderül, hogy az elhelyezés döntő befolyással van a költségekre, hiszen az árban akár nagyságrendi eltérés is keletkezhet ennek következtében. Megállapítható az eredmények alapján, hogy a vízszinteshez és a függőlegeshez közeli állapotok a leginkább költségkímélő elrendezések.

Természetesen fontos kiemelni, hogy az additív technológiák egyik nagy előnye az egyedi gyártás lehetősége egyben hátrányt is jelenthet (pl. az ármeghatározás esetében), hiszen minden darab más és más, eltérő alaksajátosságokkal rendelkezik. Ennek folyománya, hogy nehéz általános érvényű, minden darabra igaz kijelentéseket tenni. Mivel teljesen eltérő geometriákat állíthatunk így elő – akár egy időben, ugyanazon munkatérben is – nem igazán lehet a folyamatokat standardizálni. Ugyanakkor célszerű egy, a megrendelő számára is érthető, átlátható díjszabási stratégiát alkotni. Ehhez nyújtanak segítséget a cikkben leírt eredmények, mely alapján akár egyváltozósá is tehető ez az adott összefüggés, ami alapján az árat meg tudjuk határozni. Fontos továbbá megjegyezni, hogy az alapanyag szükséglet meghatározásánál, nem lehet csak az alkatrész anyagszükségletével számolni, hiszen annak tömegének akár többszöröse is lehet a szükséges támaszanyag tömege. Mivel azonban az anyagmennyiség arányos a gyártási idővel, így célszerű az ármeghatározásnál a gyártási idő alapú stratégiát választani.

Az additív gyártástechnológiák további terjedésének egyik alapfeltétele, hogy minél egyszerűbben és átláthatóbban hozzáférjenek a nem szakmabeli emberek is.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt a Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal támogatásával az NKIH Alapból valósul meg, a projekt címe: Egyénre szabott orvos-biológiai implantátumok és segédeszközök új generációs gyártási folyamatának

kidolgozása additív technológiákra; a pályázat azonosító száma: NVKP_16-1-2016-0022.

7. IRODALOM

- [1] FICZERE P., BORBÁS L., TOROK A.: *TOYOTARITY in Rapid Prototyping*, In: Stanisław, Borkowski; Nataša, Năprstková (szerk.) *TOYOTARITY: Toyota Management Principles' Interpretation in Different Branches*, Czestochowa, Lengyelország. Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedżerów Jakosci i Produkcji (SMJIP), (2012) pp. 159-169., 11 p.
- [2] ZÖLDY M., HOLLÓ A., THERNESZ A.: *Development of More Efficient Fuels for Niche Markets*, Conference: 20th World Petroleum Congress At: Doha, Qatar Volume: In CD proceedings 1-7.
- [3] FICZERE P., BORBÁS L., TOROK A.: *Economical investigation of rapid prototyping*, International Journal For Traffic And Transport Engineering 3 : 3 pp. 344-350., 7 p. (2013)
- [4] FICZERE P., TÖRÖK Á.: *Gyorsprototípus gyártás gazdasági előnyei* In: Dr. Csibi, Vencel-József (szerk.) *OGÉT 2013 XXI Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Kolozsvár, Románia : Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT)*, (2013) pp. 113-117., 5 p.

AZ IPARI FORMATERVEZÉS KAPCSOLÓDÁSI PONTJAI A TERMÉKFEJLESZTÉSBEN.

ISINTERFACE POINTS FOR INDUSTRIAL DESIGN IN PRODUCT DEVELOPMENT.

Fodor Lóránt DLA habil. egyetemi docens, BME, Gépészmérnöki Kar, Gép -és Terméktervezés Tanszék.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az Integrált terméktervezés projektek az egyéni és csapat munka innovatív légkörében, teamekben a mérnöki tevékenység kombinálásával jönnek létre. A feladat az említett projektek mellett a termék dokumentációja, a saját kezűleg készített vagy virtuális 3D modell bemutatása és a prezentációt támogató termék poszter bemutatása.

ABSTRACT

The IPD projects create an innovative atmosphere of real team-based engineering activities by combining individual and team work. The results of those projects, besides the product documentation, are the self-made physical or virtual 3D model and a presentation poster of the product.

1. BEVEZETÉS

Ma már a felhasználói igényekben egyre fokozottabban jelenik meg a termék formai minősége, érzelmi kisugárzása. Így a design felértékelődött a mérnöki konstrukció kialakításában. Az európai felsőoktatási rendszerben többnyire külön él az industrial design („művészeti”) és a műszaki tervezői oktatás, gondolkodás. A tényleges együttműködés kialakítása a műszaki tervezés és az ipari formatervezés között a hatvanas évektől kezdett kibontakozni a felsőoktatási szakemberek képzésében. A BME-n folyó Ipari termék és formatervező mérnökképzés közel negyedszázados múltra tekint vissza. A formatervezési tárgyak oktatása 2000-től évről évre eredményesebb szerepet kap. Az egyetemen végzett terméktervező mérnökök tárgyi tudásához elengedhetetlen a vizuális gondolkodás, a design megismerése és az ipari formatervezés szakmai ismeretanyagának gyakorlása, amelynek folyamatáról és eredményeiről adnak áttekintést a hallgatói munkák és feladatok. Az ipari formatervezés oktatásának célja a termékek és ipari rendszerek esztétikai formába öntése oly módon, hogy kifejezze azok integrált összetettségét. A hallgatók megismerik a tervezési feladatokon keresztül a

formatervezés alapjait. A formatervezési feladatok megoldásának folyamatában választ kapnak arra a fontos tényezőre, hogy a design kreatív tevékenység, melynek célja: tárgyak, folyamatok, szolgáltatások és azok rendszerének sokrétűségét tanulmányozva, annak különböző megközelítési módját, filozófiáját megismerni. Képesek legyenek átfogó szinten termékeket tervezni, figyelembe véve az esztétikai, használati, piaci szempontokat. Legyenek tudatában a termékfejlesztés, környezettervezés történelmi, kulturális, ipari, társadalmi és gazdasági tényezőivel.

2. A KÉPZÉS TÖRTÉNETE

Európában a kis és közép vállalkozások szintjén ipari termékek műszaki paraméterei világszínvonalúak voltak a II. világháború után, de formai, esztétikai kialakításuk alulmaradt globális versenytársaikkal szemben. A termékek tervezésében formatervező részvétele elengedhetetlen, de a termékfejlesztés esztétikai kérdésein túl a termék gyártásában, piacon való elhelyezésében, a menedzselésben-koordinációban nem megfelelő a jártassága. Ezért hoztak létre akkoriban egy egyedülálló oktatási formát. Új szakmakultúra született. A képzés bevezetésének gondolata hazánkban a rendszerváltást követően fogalmazódott meg. Azt a kormányzati célt követve, hogy a hazai kis és középvállalkozások számára olyan szakemberek álljanak „hadrendbe”, akik összetett látásmódjuk, rendszerben való gondolkodásuk által, piacképes termékek fejlesztésében hatékonyan tudják integrált tudásukat hasznosítani. Ennek eredményeként 1995-ben indult be a hazai felsőoktatásban az ipari termék és formatervező mérnök képzés. A további években az ország több egyetemén akkreditálva lett az új képzési forma. Egy fedél alá került a tudomány és a művészet. Eleget téve az industrial design korszerű értelmezésének.

3. AKÉPZÉS STRUKTÚRÁJA

Az általános természettudományos alapismeretek megszerzésével párhuzamosan a vizuális alapismeretek gyakorlata is szerepet kap.

(rajzi-grafikai stúdiók) Erre épül a speciális szakmai törzsanyag. Integráltan jelen vannak a természet és társadalom tudományi szakismeretek mellett a formatervezői, alkotóművészeti ismeretek is. A formatervezési ismeretek az integrált tudást igénylő termékfejlesztési gyakorlatokban hasznosulnak. Az alapképzésből kikerült hallgatók számára, akik képességeik folytán motiváltságot éreznek a művészeti mesterképzésben folytathatják tanulmányaikat.

4. FORMATERVEZÉSI ISMERETEK

A szakmai alapfokú képzésben három szemeszteren keresztül iparművész végzettségű ipari formatervező oktatókkal együtt „alkotva” sajátítják el a hallgatók azt a szemléletet, amit egy alkotó – konstruktőr a tervezői mérnöki munkájába integrálva tud hasznosítani.

A feladatok jellege:

4.1 Általános szakmai ismeretek – tanulmányok..

A feladat súlypontjai:

A természet formáit megfigyelve, azok jellemző funkcionális kapcsolódásait, mozgását, statikáját, színét, faktúráját, struktúráját, anyagát, majd elemzés útján új következtetések ötletszerű dokumentálása. Formai és szerkezeti kapcsolatok, „konstrukciók” tervezése..

4.2. Ergonómia és tapasztalat.

A feladat súlypontjai:

Műhelygyakorlat keretén belül a tanulmányrajzokon túl kell elkészíteni különböző anyagokból több térbeli kiterjedésű plasztikát kompozíciót, amelyben a forma és az anyag a „kézhez kapcsolódik”. Pl.: kézben tartható, meg lehet fogni, markolni, fel lehet emelni, kézre akasztható, átbillenthető, benyomható, elgurítható, egymáshoz illeszthető, kapcsolható. A hallgatók az ergonómia területéről is gyakorlati tapasztalatokat szereznek.

4.3. Rendszerszemléletű tervezés.

A szakirányú képzésben választható tantárgyként szerepel a formatervezés. Azok számára nyitott, akik intuíciót, belső indítástól fakadóan motiváltak és bővíteni szeretnék tervezői - alkotói ismereteiket. A feladatok jellege is ezt tükrözi.

A feladatok súlypontjai:

A tervezési feladatokon keresztül fejleszteni a hallgatók szakmai, alkotó-tervezői formakultúráját. A felhasználói igények figyelembevételével segítséget nyújtani a termékek funkcionális, formai megjelenésének kialakításához. Különös figyelmet fordítva a tervezett tárgyak ergonómiai, formai, szín, és termékgrafika szempontrendszerére. Dokumentálni kell a formatervi koncepciót *vázlat szinten*, amit továbbfejlesztve jelenítik meg a három formatervi javaslatot *látványrajz szinten*. A végleges formatervet digitálisan jelenítik meg, korszerű számítógépes programok elsajátításával.

Minden tervezési feladatban a dokumentáció része a szakmai „rajz” mellett *térbeli modell* készítése, amelyre megfelelő infrastruktúrával rendelkező műhely-labor és gyakorlati idő áll a hallgatók rendelkezésére.

5. A DESIGN SZAKMAI PARAMÉTEREI.

Esettanulmányokon keresztül látható és értelmezhető, milyen kapcsolati rendszerben működik a szakmai gyakorlatban az ipari formatervezés és a professzionális termékfejlesztés. A modern design számára a legfontosabb innováció, az alkotói megközelítésben a végleges ipari formatervben a formai minőség, újszerűség, eredetiség, versenyképesség.

1. táblázat.

A táblázat a szemeszterek és a tantárgyak összefüggéseit mutatja, felmenő képzési rendszerben, Bsc. szinten.

2. szemeszter	Rajzi-grafikai stúdiók
3. szemeszter	Formatervezés I.
5. szemeszter	Formatervezés II
6. szemeszter	Alkalm. formatervezés

2. táblázat.

A táblázat a mesterképzésben (Msc.) résztvevő hallgatók szakmai ismereteit bővítő tantárgyakat mutatja.

1-2. szemeszter	Ipari formatervezési ismeretek I.
3-4. szemeszter	Ipari formatervezési ismeretek II.
Géptervezőknek. (Msc.)	Ipari formatervezési ismeretek

6. IRODALOM

- [1] A terméktervező mérnökképzés a Budapesti Műszaki Egyetemen. 6221-es sz. TEMPUS JEP kiadvány. Budapest, 1995.
- [2] INTRO 04/I BME Ipari termék és Formatervező mérnök hallgatók kiadványa. Budapest 2004.
- [3] Iparművészet és Tervezőművészet helyzete és jövője. MMA konferencia kiadvány. Kardosfa, 2013. április 27-28.

AZ INNOVÁCIÓS FOLYAMATOK ELEMI TÉNYEZŐINEK FEJLESZTÉSE AZ ÉRTÉKELEMZÉS FELHASZNÁLÁSÁVAL

dr. HEGEDŰS József
műsz. tud. kandidátusa

ÖSSZEFOGLALÁS

Az előadás összeállítását megelőzően végzett kutatásaink alapján (új OSLOI KÖNYV megállapításait is figyelembe véve) megállapítottuk, hogy „az INNOVÁCIÓ áramoltatását a termékek valósítják meg”. Ez leginkább a termékinnovációra vonatkozik. Az INNOVÁCIÓS ERŐTERET úgy értelmezzük, hogy ebbe klf. forrásokat beviszünk. A folyamat megvalósulása után az eredmény a TERMÉK – ben ölt testet. Egy erőforrás a saját értékénél nagyobb értéket „képvisel” az értéknövekedésben. Előadásunkban arról számolunk be, hogy ez az értékváltozás (a TERMÉK TUDÁSÁNAK növekedése) miként alakul az értéket növelő folyamatban. A folyamatot az 3. ábrán szemléltetjük.

Az erőforrásokat – meghatározásunkat úgy választottuk, hogy az innovációs folyamat általánosíthatassuk (folyamat; szervezet; tevékenység; művelet; szervezés; stb.). Lényegét tekintve ezek a folyamatok az automatizálás, robotizálás folyamatai, rendszerei.

THE DEVELOPMENT OF THE BASIC FACTORS OF INNOVATION PROCESSES BY THE USE OF VALUE ANALYSIS

ABSTRACT

Based on our research conducted prior to the preparation of this lecture (taking into consideration the establishment of Oslo book) we concluded that the flow of innovation is realized by products. We consider the product an objectified innovation, which is the result of bringing the process into the POWER FIELD of INNOVATION. (image 1.) We understand that the acquired power sources are essential factors in the process.

1. BEVEZETÉS

A közel fél évszázados kutatásaink témái között a legtöbbször az INNOVÁCIÓ

szerepelt. Jelen összeállításunk, a könnyebb áttekintés érdekében az értékelemzés ismeretét feltételezzük /itt is megemlítyük, hogy az esetleges ismeret hiányát megtalálhatják HONLAPUNKON

(WWW.DESIGNTECHNOLOGIA.COM).

Ugyancsak itt tanulmányozhatják a T. Olvasóink a jelen rövid cikkünk bővebb anyagát is. /5/

Már az összefoglalásunkban is jeleztük, hogy az értékelemzés – innováció összefüggés rendszere a legkiterjedtebb módszer halmazunk legfontosabb része. Figyelembe véve a gépészeti szakmakultúránkat azt mondhatjuk, hogy a tervezésünk eredménye a TERMÉK maga a TÁRGYIASULT INNOVÁCIÓ. /6/

Figyelembe kell vennünk azt, hogy az ÉRTÉKELEMZÉS „egyedül semmit nem ér”. Nem lehet pl.: eladni. Az ÉRTÉKELEMZÉS – t csak úgy hasznosíthatjuk, ha társítjuk számunkra fontos dologgal, kategóriával, nekünk fontos tervezési – szervezési lépésekkel. Az innovációt választottuk. /3/

Az innováció elmélet, módszertan ismereteit lásd HONLAPUNKON – az innováció és menedzsment a hazai kutatók és kiváló munkái és az OSLO 3 kézikönyv alapján használtuk fel.

A folyamatok általános elemzését tanulmányozva azt találtuk /1/, hogy egyik leghatékonyabb értékelés – elemzése az, amikor **egy folyamat elemi tényezőit határozzuk meg** és a RENDSZERELMÉLET „TANÍTÁSA” SZERINT járunk el. /3/

2. A TERMÉK, MINT RENDSZER, ÉS MINT ALKOTÓ ELEM

Az értékelemzés alkalmazásával jelentős mértékben hozzájárulhatunk az innovációs folyamat eredményének növeléséhez, a terméktervezés –

értékelemzés tevékenységünk hatékonyságának javításához is (ugyanakkor ez a legalkalmasabb eszköz a kutatásokhoz is).

A digitalizáció, az automatizáció, a robotizáció folyamatainak tervezése, összehangolása, érdekében ki kell emelnünk az értékelemzés szerepét – hasznát –, alkalmazásának a lehetőségét is az értékelemzés magasabb szintű alkalmazását jelent, az értékelemzést ismertnek tekintjük. A rövid leírásunknak megfelelően az első feladatunk az, hogy a termék két tulajdonságáról szóljunk (a rendszerelmélet és D. Miles értelmezése szerint).

A TERMÉK:

- mint **rendszer**, – kifejezi a termék – ember viszonyát (ez a legfontosabb tulajdonsága),
- mint alkotó elem, eleve nagyobb rendszerek kialakításában vesz részt, amelyekkel úgy az automatizálási, mint a robotológiai rendszereket jelenti. /2/ /3/ /4/

Látjuk, hogy a terméknek két tulajdonságával gazdagodik az értékelemzési tevékenységünk. Ezt figyelembe véve maga az értékelemzési tevékenység az amit már jól ismerhetünk. A különleges és újszerű feladatunk az, hogy mindezt figyelembe véve határozzuk meg termékünk funkcióit az INNOVÁCIÓS TÉRBEN FOLYAMATBAN.

A rendszerelmélet megfogalmazása szerint „a TERMÉK mint fizikai entitás egyidejűleg alkotó elem és rendszer” /3/

A problémakör kutatását 10 évvel ezelőtt kezdtük el, ugyanakkor ez jelentős további kísérleteket kíván.

Maga az értékelemzés műveletsora az eddigi ismereteink szerint alakul, azzal, hogy **JELENTŐS MÉRFOLDKÖHÖZ ÉRKEZET AZ ÉRTÉKELEMZÉSI SZAKMAKULTÚRA,** illetve a **TERMÉKTERVEZÉS.** A továbblépés bemutatása előtt érdemes a legfontosabb változásokat feljegyeznünk:

- a terméktervezési tevékenységek nagyobb része „áttevéődik” a gyártás és piacelőlkészítés területére, tehát az

automatizáció, robotizáció folyamatok részévé válnak.

- a termék tervezése háromszor, vagy többször (minimum kétszer) jelenik meg a feladatunkban (erre mutatunk példát az 1-es és a 2-es ábrán).

Társadalmunkban jól szervezett gazdaságunkban is kialakultak azok a stratégiai – taktikai szempontok, amelyek napirenden vannak (jelenleg is ismerhetjük ezeket). Ilyenek az innováció, versenyképesség, fenntarthatóság, újra iparosítás, részvétel a tudás felhőben folyamatokban végrehajtott forradalmak, ökológiai szempontok, a hozzáadott érték növelése, stb.

Azt tapasztaltuk, hogy egyik legfontosabb stratégiai kérdés az innováció, vagy a taktikai elemek közül a kreativitás (nem törekedhetünk mindegyik elem leírására, stb.). Ugyanakkor azt is tapasztalhatjuk, hogy valamennyi stratégiai kérdés kapcsolatos az INNOVÁCIÓ – val. Ezért választottuk a RENDSZERELMÉLET –ből ismert a folyamat ELEMELI TÉNYEZŐIT kiinduló alapul. Igaz, hogy felhasznált ismeretforrások az IPARI RENDSZER –hez kötődnek, megállapítottuk, hogy ez a módszer más rendszerben jó útmutatást ad az értékelemzési munkáinkhoz (társadalmi, kulturális, államvezetési, stb.).

Nem szeretnénk a kutatásunkról szóló tanulmányunkkal a rendszerelmélet ismertetésével fárasztani, ezért egyetlen egy idézetet közlünk a megértés miatt. Itt most az automatizálásról és a robotizációról van szó. Az egésztest felépítő elemeket is bevonjuk a TERMÉKEK körébe, mivel ezen folyamatokat is szeretnénk az értékelemzés felhasználásával tervezni.

...”A termék mint a munkafolyamat eredménye magában foglalja és kifejezi a gyártási folyamatok egyes fázisainak, összes lényegi mozzanatait.”...

(ezért írtuk korábban, hogy a Funkció közvetlen emberi igényeket kielégítő termékek tervezése közelebb kerül az előállítás folyamatához. Ez bonyolultnak tűnik, de az értékelemzést végzőknek nem jelent problémát. Arról van ugyanis szó, hogy egy újabb funkcióelemzést kell beiktatni, amelyet a két folyamat bármelyikébe gyártásba kívánja venni az értékelemzett tárgyat. Előfordulhat, hogy több funkcióelemzést is meg kell valósítanunk. Ezután a funkciókat kell egymáshoz illeszteni. Figyelembe kell

vennünk, hogy a már vizsgált gyártóelemeket a két folyamat műveleteit végző elemekre is gondolnunk kell. Ezt az illesztést akkor is meg kell valósítanunk, ha a gyártandó darab; gyártandó termék és a gyártása nem értékelemzéssel történt, vagy történik (ebből is látható, hogy az értékelemzés alkalmazása jelentős előnyökkel járhat). Kutatásinkban erre később visszatérünk. Annyit már most meg kell jegyeznünk, hogy az értékelemzést végző teamben a két említett gyártási folyamat tervezőjének is részt kell vennie. (az automatizált és robotológiai folyamat tervezőjének új ismeretként csak a funkcióelemzést kell megtanulniuk).

Az itt vázolt feladathoz hasonlóval még számos esetben találkozhatunk. Egy megvalósított értékelemzéssel segített feladat rövid ismertetése:

Egy elképzelt igény szerint olyan íróasztalt kellett terveznünk és legyártatnunk, amelyet a TÉRALAKÍTÁSRA is fel lehet használni. Egy téralakító asztal tervezése volt a feladat, ennek megfelelően kell alakítanunk /5/. Ahogyan azt korábban említettük két funkcióelemzésről van szó. Ezeket itt ismertetjük:

F ₀	Élménysarkot megjelenít
F ₁	Teret elhatárol
	F ₁₁ Teret elválaszt
	F ₁₂ „Sarokhatást” megvalósít
F ₂	Bútorcsaládhoz illeszkedik
	F ₂₁ Bútorjellegét hordoz
	F ₂₂ Stílust megjelenít
F ₃	Környezetbe illeszkedik
	F ₃₁ Belső térhez igazodik
	F ₃₂ Életvitelhez idomul
F ₄	Esztétikát kielégít
	F ₄₁ Exkluzivitást hordoz
	F ₄₂ Élményt nyújt
F ₅	Ergonómiát kielégít
	F ₅₁ Emberi méretekhez igazodik
	F ₅₂ Fiziológiai igényt kielégít
	F ₅₃ Pszichológiát kielégít

1. ábra A teljes bútorcsalád funkcióismertetője

F ₀	Asztal jellegét megvalósít
F ₁	Bútorrendszerhez igazodik
	F ₁₁ Bútorcsalád formát alakít
	F ₁₁₁ Ülésre készítet
	F ₁₁₂ Pihenésre buzdít
F ₁₂	Teret hordoz
	F ₁₂₁ Tárgyakat tart
	F ₁₂₂ Teret alakít
F ₂	Környezetbe igazodik
	F ₂₁ Életvitelt segít
	F ₂₁₁ Szokásokhoz igazodik
	F ₂₁₂ Életvitelt kiszolgál
F ₂₂	Környezetterhelést csökkent
	F ₂₂₁ Hatásoknak ellenáll

	F ₂₂₂ Környezetvédelmet elősegít
F ₃	Exkluzivitást kifejez
	F ₃₁ Stílusjegyeket hordoz
	F ₃₁₁ Stílusrendszerhez igazodik
	F ₃₁₂ Divatváltást tűr
F ₃₂	Különleges elemeket integrál
	F ₃₂₁ Egyedi szín-forma megoldást hordoz
	F ₃₂₂ Egyedi használatot szolgál
F ₄	Időtöltést szolgál
	F ₄₁ Élmény keltést alakít
	F ₄₁₁ Élményeket felidéz
	F ₄₁₂ Élményvilágot fenntart
F ₄₂	„Sarokhatást” megvalósít
	F ₄₂₁ Társaságszervezést segít
	F ₄₂₂ Érzéseket integrál
F ₅	Esztétikát kielégít
	F ₅₁ Esztétikai élményt nyújt
	F ₅₁₁ Szépséget hordoz
	F ₅₁₂ Harmóniát sugároz
	F ₅₁₃ Ízlésszintet emel
F ₅₂	Különleges színvilágot hordoz
	F ₅₂₁ Színváltást nyújt
	F ₅₂₂ Esztétikai hatást kivált
F ₆	Ergonómiát kielégít
	F ₆₁ Antropometriát kielégít
	F ₆₁₁ Emberi méretekhez igazodik
	F ₆₁₂ Dimenzionális összhangot biztosít
F ₆₂	Pszichológiai igényt kielégít
	F ₆₂₁ Biztonságot sugall
F ₆₃	Fiziológiát kielégít
	F ₆₃₁ Komfortérzést nyújt
	F ₆₃₂ Fáradtságot kompenzál
	F ₆₃₃ Hangulatot alakít

2. ábra Az asztal teljes funkcióismertetője

Mielőtt felrajzoljuk az általunk megszerkesztett innováció – teret az átfogó jellegű ismeret átadásban, említést kell tennünk: P. Kotlertől megtanult holisztikus marketingről. A digitalizáció – automatizálás – robotizálás korában legalábbis makró szinten a holisztikus marketing korába lépünk /4/.

A HOLISZTIKUS marketing a néhány kiemelt kérdésre keresi a választ, ezek:

- a vállalkozás a piacmegnyitása révén új értéklehetőségeket keres,
- a vállalat hatékonyabb értékajánlatot szeretne megfogalmazni,
- hogyan használhatja ki a vállalat adottságait, tudását, infrastruktúráját az értékajánlatok megvalósítására?

Az értékalkotás képessége az, amit a vállalkozásoknak mindenképpen meg kell tanulniuk. Több éves kutatásaink alapján úgy gondoljuk, hogy mindezt az értékelemzés és az innováció összekapcsolásával segíthetjük elő. Érdemes ezt megismételni és kiemelni.

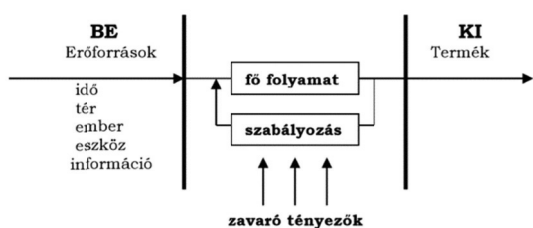
A. D. MILESI ALAPON MEGÚJÍTOTT (AKTUALIZÁLT) ÉRTÉKELEMZÉS ÉS AZ INNOVÁCIÓ TERVEZÉSEL ÖSSZEKAPCSOLT ELEMZÉSEL NYERT INFORMÁCIÓKBÓL BÁRMILYEN MÁS GAZDASÁGSTRATÉGIÁRA ÉS TAKTIKAI EREDMÉNYRE „KÖVETKEZTETHETÜNK”.

Természetesen előfordulhat, hogy ezt szükséges kiegészítenünk. Egy ilyen fontos és sokszor használt esetet itt is megjegyzünk.

D. Miles által is megfogalmazott

$$É(\text{értékesség}) = \frac{F(\text{funkció})}{FK(\text{funkcióköltség})}$$

elemzéshez, megállapításhoz hasznos segítséget nyújt a PORTFÓLIÓ módszer alkalmazása./1/,/2/



3. Ábra Innovációs erőtér

A rendszer bemenő oldalán találjuk a TERMÉK létrejöttéhez szükséges ERŐFORRÁSOK – at (IDŐ = határidők, termék – életciklus, stb., TÉR = a piac működése, EMBER = emberi igények, az ember tudása, ereje stb., ESZKÖZ = amivel, amiből a terméket előállítjuk, INFORMÁCIÓ = a termék teljes életéről szóló adatok, tájékoztatások, vevői igények, stb.) Az innovációs erőtérben „nem kell mást tennünk”, mint meghatározni az erőforrások arányát, és meg kell terveznünk ezek szerencsés találkozását. Ha mindez sikerül, létrejön a versenyképes termék, amelyet a vevők fenntartás nélkül megvesznek és felhasználnak (itt az innovációs folyamatot sem részletezik). Természetesen minden adatot olyan formában kell meghatározni, hogy az PARAMÉTERKÉNT felhasználható legyen az értékelemzési feladathoz. Szükséges megjelölni az elérni kívánt innovációs szintet is.

Most, hogy lezárni kívánjuk kutatásunk egy jelentős szakaszát, megállapíthatjuk, véglegesíthetjük azt, hogy az emberi igények kielégítését „rejtő” TERMÉK – a rendszerelmélet szerint - szerkezeti – tartó elemként is működhet, ami

- **egyrészt** a segítségünkre szolgál, mert beépíthetjük a sokat emlegetett két rendszerbe (automatizálás, robotika),
- **másrészt** módunkban áll a teljes automatizálási (robotológiai) rendszert az értékelemzés alkalmazásával tervezni,
- **harmadszor** lehetőségünk van bizonyos elemekből kialakítható funkcionális egységek előállítására, melyekből gyártó sorokat – automatizált – kisebb – nagyobb kombinációkat létrehozni.

Míndezzel módunkban áll a digitalizált rendszerbe az értékelemzéssel behatolni a funkcióelemzés lehetőségét – értékalkotó módon felhasználni ezek a kísérletek folyamatban vannak. Vegyük figyelembe, hogy D. Miles soha el nem múló érdemei szerint kell eljárunk.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt évtizedekben az értékelemzés alkalmazása is jelentősen változott az egyre korszerűbb megoldások alkalmazásával. Erről számos tanulmányban, előadásban, kutatásainkban beszámoltunk, Mindezekről részletes ismeretek találhatóak HONLAPUNK-on (DESIGNTECHNOLOGIA.COM) /5/.

A közelmúltban megismertük és megtanultuk azt, hogy mi a teendőnk az ÉRTÉKELEMZÉS vonatkozásában:

A DIGITALIZÁCIÓS, AZ AUTÓMATIZÁLÁSI FOLYAMATOKBAN, VALAMINT A ROBOTIKA VILÁGÁBAN.

A – nem a tudományos – válaszuk az, hogy az ÉRTÉKELEMZÉS eljárásrendszerében nem sok változás történt, az alkalmazásban egyre inkább.

az I igény
 └─> F funkcióelemzés
 └─> Fh funkció hordozó kialakítása úgy

történik, mint eddig.

A funkció hordozó megvalósításának lépéseinél – ahol csak lehet – megjegyezzük,

hogyan az ABSZTRAKT termékből az értékelemzés lényegének megfelelően elemzési (döntések sorozatával) műveletekkel választjuk ki az IGÉNYEINKNEK legjobban megfelelő VALÓS TERMÉKET. (Megjegyezzük, hogy ezen a területen még ma is néhány hiányossággal találkozhatunk. /A mai tapasztalatokkal már könnyű belátnunk, hogy ezek a gondolatok – vagyis az említett folyamatok D. Miles – nál, de leginkább P. Kottlernél már megtalálhatóak voltak./)

Elég csak D. Miles – ra gondolni, vagy P. Kottler -re akik már évtizedekkel ezelőtt megfogalmazták az elektronikus – digitalizált – gazdaság irányába ható változásokat.

Hogyan kell tehát a digitális folyamatban, az automatizált, vagy robotokkal megvalósított gyártástechnológiában az értékelemzést alkalmaznunk?

Kutatásaink alapján azt mondhatjuk, hogy a kérdést többféleképpen megoldhatjuk. Mi ezt a módszert választottuk múltkor a feladat megoldásának „gondolat keretének” az INNOVÁCIÓS FOLYAMATOT választottuk (előadásunk címével is azt kívántuk kifejezni).

Az INNOVÁCIÓS FOLYAMATOKBA építhetünk be minden olyan (vagy legalább is legtöbb) stratégiai célkitűzés melyet célul tűzünk – tűzhetünk ki (újítás, a konkurencia legyőzése, versenyképesség, fenttarthatóság, hozzáadott értékek növelés, társadalmi – kulturális szempontok az igénykielégítés növelésének piaci eszközrendszer, – marketing szempontok a tudás világ rendszertechnikai korszerűsítése az értékelemzés általánosításának lehetősége, stb.).

Mіндеzek után felsorolunk néhány értékelemzési – tervezési feladatot.

Tudományterületek, amelyek „bevonása” szükséges

- a terméktervezés tárgyát, az értékelemzés feladatát érintő digitalizáció, automatizációs, robotizációs elmélete,
- rendszerelméleti ismeretek, rendszertechnikai elemzések – módszerek,
- az értékelemzendő termékkel kapcsolatos marketing és minőségtervező ismeretek,
- logisztikai ismeretek, üzleti tervezés, vállalkozás tervezés ismeretei, konkurenciák elméleti vonatkozásai, az adott termék jellemzői,

– az algoritmizálás gyakoroltatása, stb.

Ha a feladatunk az első módon van megadva egy funkcióelemzést kell végeznünk. Ha második, harmadik, stb. módon kapjuk a feladatot, akkor a feladatok szerinti módon két vagy több funkcióelemzést kell végeznünk attól függően, hogy miként kell tagolnunk az automatizált és/vagy a robotok használatát a gyártásban (Az előző fejezetben leírt értékelemzést kell követnünk.). Az 1. és 2. ábrán jelzett két funkciósema, vagyis egy asztal, mint termék a belsőtér (pl.: egy munkaszoba) rendszerhez kapcsolódik. Az értékelemzés szerint ez a rendszer is egy terméket jelent (lásd előző fejezetben leírtak szerint). Ha az értékelemzést az eddigi szokásoktól eltérően a két vagy több rendszerhez kapcsolódik az igényt kielégítő termékünk (esetünkben ez a gyártórendszer vagy több részrendszer is, mint egy termék értékelemmezhető.) Ilyen megoldás vonhatunk értékelemzés alá egy terméket és egy automatizált rendszerüket, vagy a gyártást segítő alkalmazandó robotunkat, vagy többet. **Ezzel megoldottunk egy terméket és gyártását az értékelemzés alkalmazásával.** Az értékelemzés a termékvilágnak az eddigieknél is nagyobb előnyt jelent.

A TERMÉKTERVEZÉSI – ÉRTÉKELEMZÉS leírt alkalmazása új helyzetet teremt, értelmet ad a digitalizáció folytatásának is.

Mіндеzek érdekében, több évtizedes késéssel ugyan de megvalósítottuk-bevezettük három egyetemen a TERMÉKTERVEZÉS oktatását. Ez nagy lendületet adott a későbbi években a terméktervezésnek és az értékelemzés elterjedésének is. Ez a fejlődés azóta is töretlen (az elmúlt század 70-es éveitől kezdődően) és jó bekapcsolódást biztosított a digitalizáció, automatizáció és robotológia folyamataiba.

Kutatásainkat kiterjesztettük egy műszeripari nagyvállalat területére, ahol 10 évig valamennyi fejlesztést értékelemzéssel végeztünk el. Közben a már említett értékelemzőkkel több értékelemzést végző kisvállalkozással együttműködésben közel ezer értékelemzést valósítottunk meg. Többek

között ekkor valósult meg a designmenedzsment a termékmenedzsment és az innovációs menedzsment szakmakultúrák kidolgozása, illetve oktatása. (Közel két továbbképzési intézet összefogásával megvalósult az innovációs menedzsment oktatóképzés is, ebből a „gárdából” ma már kevesen dolgoznak, kiöregedtek).

4. JAVASLATOK

Itt a javaslatokat csak felsoroljuk, ezek kidolgozása, előkészítése folyamatban van. Érdemes lenne ezeket jóváhagyatni, illetve egyeztetni az Innovációs Minisztérium egy megbízott szakemberével.

Minél hamarabb be kellene vezetni az ÉRTÉKELEMZÉST. (Ide értjük a versenyszférát és minden non profit állami vagy más feladatokat is.)

Célszerű lenne minél hamarabb a tudományterületek integrálását „közzétenni”. Az értékelemzést több pályázathoz kellene kapcsolni önkéntes vállalatot lehetővé tenni. Legyen a célunk az, hogy a hazai profit és non profit területek mindegyikére az értékelemzés alkalmazását megvalósítsuk.

Ismeretes, hogy minden gazdaságban a veszteségforrások újraszületnek, kialakulnak. Ez általában a költségek emelkedését teszi szükségessé. Olyan értékelemzési rendszer kell bevezetnünk, amely ezt a jelenséget szakadatlanul kompenzálja. Figyelembe kell azt vennünk, hogy lényegében megoldottuk a gazdaságunk, társadalmunk által művelt területeken az értékelemzés alkalmazását. Mindezen feladatok befejezését az említett segítséggel meg tudjuk oldani. A komplex javaslat elkészítéséhez magunk részéről nem kívánunk, létszámot, pénzt, beosztást, stb. igénybe venni, remélve azt, hogy információs kapcsolatba kerülhetünk az Innovációs Minisztériummal. (Hegedűs József, Innovációs Menedzserképző Oktató)

Felhasznált irodalom

1. Hegedűs József – Kő Ferenc
AZ ÉRTÉKELEMZÉSRE
ALAPOZOTT TERMÉKTERVEZÉS
MÓDSZERTANA
Kecskeméti Főiskola, 2001
2. Miles D. L.: ÉRTÉKELEMZÉS
Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó,
Budapest, 1973
3. Horváth Iván: IPARI
RENDSZERELMÉLET
A nagy rendszerek – ipari kutatása és
irányítása
Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó,
Budapest, 1973
4. Philip Kotler., Dipack C. Jain, Suvit
Maesincee: Marketing lépések
Park Könyvkiadó
5. Hegedűs József: Termékalkotó
exkluzív bútorcsalád az értékelemzés
felhasználásával
6. Hegedűs József: HONLAP
(designtechnologia.com)
Budapest, 2019. október 8.

ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK SZEREPE A VETERÁN GÉPJÁRMŰVEK ALKATRÉSZELLÁTÁSÁBAN

THE ROLE OF ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY IN CLASSIC VEHICLE SPARE PART SUPPLY SYSTEM

Janoch Ábel – Dr. Ficzer Péter PhD

ABSTRACT

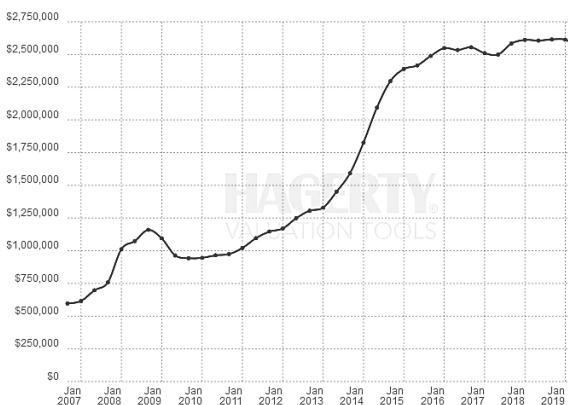
Nowadays there is a large demand for classic vehicle spare parts. Present work deals with possible sources for replacing parts and shows some example about reverse engineering and additive manufacturing used together. Based on a damaged part it explains in detail a full process.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban jelentős érdeklődés figyelhető meg a klasszikus gépjárművek iránt. Az autók értéke igazán széles skálán mozoghat és a birtoklásuk célja is igen változatos, viszont szinte minden esetben felmerülnek alkatrészpótlással kapcsolatos problémák.

Az additív technológiák alkalmazhatóságának vizsgálatához két fő csoportra osztottuk fel ezeket a járműveket az értékük és a fennmaradt példányok száma szerint.

1.1 Nagy értékű, befektetésnek minősülő járművek



1. ábra. Hagerty 'Blue Chip Index': 25 meghatározó gyűjtői típus árainak átlaga [1]

Az elmúlt időszakban a befektetők kedvelt eszközeivé váltak bizonyos a ritkább, nagy értékű veteránautók. Megfelelő tárolás és karbantartás mellett versenyképes hozamot biztosíthatnak a klasszikus befektetési

formákhoz viszonyítva, míg egyes típusok ezt jelentősen meg is haladhatják.

Ez a tendencia figyelhető meg a 25 leginkább meghatározó, gyűjtői típus eladási árainak átlagát figyelemmel kíséző Blue Chip Index alakulásánál is. [1]

1.2. Hobbijárművek

Ezeket a járműveket a tulajdonosaik rendszerint nem a profit reményében birtokolják. A legtöbb hobbiautó nem adható el olyan áron, ami fedezné a korábbi költségeit. A fő motiváció általában a nosztalgia, a személyes kötődés az adott márkához, típushoz, esetleg valamilyen formabontó technológiai megoldáshoz.

Ebbe a kategóriába eső járművek a gyártásuk idején még nem számítottak ritkának vagy különlegesnek, ezért nem is volt szempont a későbbi tulajdonosok érdekeit figyelembe vevő, kivételes állagmegóvás sem. Általában egy adott típusnak a 15-25 éves átlagéletkora eléréséig folyamatosan csökken az értéke és ezzel párhuzamosan sok esetben a karbantartásra szánt összeg is. Később, amikor egyre ritkábban kínálnak eladásra jó állapotú példányokat, az ára ezeknek az autóknak is emelkedni kezd.

2. ALKATRÉSZ PÓTLÁS LEHETŐSÉGEI

A fenti két - egymással néha átfedésben lévő - kategóriára egyaránt igaz, hogy egy hiányzó alkatrész akár a felújítás befejezését vagy a jármű használatát is megakadályozhatja. Általánosságban elmondható, hogy a ritka járművek alkatrészbeszerzése szinte kivétel nélkül problémákba ütközik, viszont a tömegmodellek esetében is előfordulhatnak olyan gyakran meghibásodó elemek, melyekből a legyártott pótalkatrészeket már felhasználták. Bizonyos anyagú alkatrészek esetében pedig a tárolási idő is fontos tényező lehet.

A legegyszerűbben azok az alkatrészek pótolhatók, amelyek még kaphatók a gyártó képviselőinél vagy független kereskedőknél. Ezek lehetnek új, korábban el nem adott darabok

(NOS - 'New Old Stock') vagy utángyártott alkatrészek. Több márka felismerve az elterjedt veterán autókhoz kapcsolódó alkatrész-igényeket külön részleget tart fent a cseredarabok előírt időn túli biztosítására [2],[3].

Amennyiben az új alkatrészek már nem érhetőek el, még mindig lehet esély egy a forgalomból kivont, azonos típusú jármű alkatrészeinek felhasználására. Sok esetben az autóbontó az utolsó (megfizethető) lehetőség a szükséges elemek beszerzésére, mely magában hordozza a minőségi kockázatot, ami a beépítendő elem ismeretlen előéletéből adódik.

Ha a fent ismertetett források nem biztosítanak megoldást, elkerülhetetlen az alkatrészek újragyártása. Ez sok esetben rengeteg előkészületet és kutatást igényel, ráadásul a költségei is csak a legdrágább járművek esetén térülnek meg. Az additív technológiák és a 3 dimenziós szkennelési lehetőségek fejlődésével viszont új lehetőségek nyíltak meg az elmúlt évtizedben a veterán autók tulajdonosait kiszolgáló ipar számára – ami csak Nagy-Britanniában 34900 embert foglalkoztatott a 2016-os adatok szerint. [4]

3. PÉLDÁK AZ ADDITÍV GYÁRTÁS-TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSÁRA

3.1. OEM alkatrészellátás

A ritkább járművekhez a jogszabályokban meghatározott időn túl ésszerűtlen lenne a gyártó részéről biztosítani minden alkatrész elérhetőségét. Viszont ezek a járművek akkora értéket képviselhetnek, amely indokoltá teheti a szükséges alkatrészek egyedi legyárttatását.

Ennek az igénynek a kielégítésre megoldást keresve a BMW 2016-ban additív gyártási eljárásokkal kísérletezett Elvis Presley 507-es Roadsterének felújításakor. [5]

A Porsche Classic 2018 elején jelentette be, hogy azoknak a kis mennyiségben felmerülő igényeknek, melyeket gazdaságtalan lenne hagyományos eljárásokkal kielégíteni, mostantól SLS technológiával tesz eleget. Az első alkatrész, amit elkészítettek egy kuplung-kiemelő villa volt az összesen 292 darabban gyártott Porsche 959-es sportkocsi számára. [6]

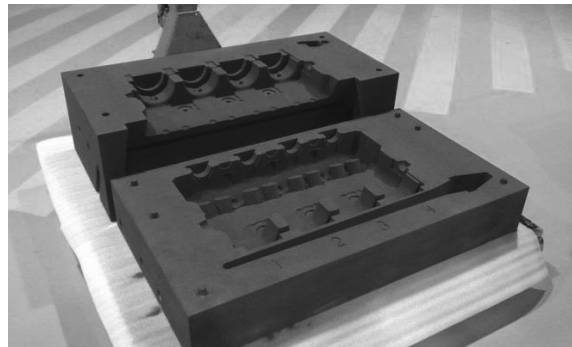
3.2. Alfa Romeo Tipo 33/3 motorburkolat

Az angliai KVSP vállalat egy Alfa Romeo Tipo 33/3 versenyautó motorjának első borítását pótolta. A korrózió miatt használhatatlanná vált magnézium-öntvényt szkennelték, a CAD modellel kijavították az elhasználdott darab

hibáit, majd FDM technológiával egy prototípust nyomattak. A megfelelő módosítások után a végleges alkatrész öntőformáját is additív technológiákkal készítették el.[7]

3.4. Delage Grand Prix Type-S motorblokk

A 2016-os Automotive Historians Australia konferencián mutatta be Philip Guilfoyle az utolsó fennmaradt Delage Gran Prix Type-S motorblokkjának újra alkotását. [8]



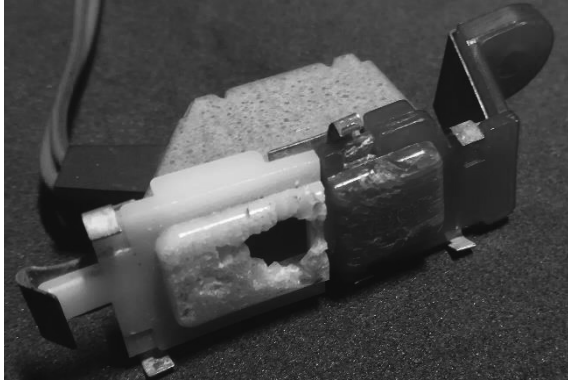
2. ábra. Nyomtatott homok öntőforma

A versenyautóból csupán egyetlen példány létezéséről tudnak és a dokumentációk sem maradtak fent, ezért az eredeti, sérült motorblokk alapján kellett elkészíteni az új blokkot. 3D szkennelés után elkészítették a CAD modellt, majd az öntőforma prototípusát kinyomtatták. A végleges öntőforma egy Voxeljet VX1000 típusú géppel készült 190 µm szemcse nagyságú kvarchomok és furángyanta felhasználásával. Ezután már a hagyományos öntészeti eljárások alkalmazásával készítették el az új motorblokkot.

4. ALKATRÉSZ PÓTLÁSÁNAK FOLYAMATA

4.1. Alkatrész bemutatása

A meglévő, hibás alkatrész alapján történő újragyártás folyamatának bemutatásához egy 1980-es Toyota Corolla GT Coupe típusú jármű műszerfalának ajtónyitás-visszajelző lámpa buráját választottuk. A TE71-es típuskodú Corolla legutolsó példányai is több, mint 30 éve készültek. Ezalatt az idő alatt a műszerfalat erő napsütés szinte minden példányban hasonlóan megrongálta a vizsgált lámpaburát, emiatt a tulajdonos elmondása szerint már lehetetlen sérülésmentes bontott darabot találni. Új gyári vagy utángyártott bura pedig már évek óta nem kapható az autóhoz.

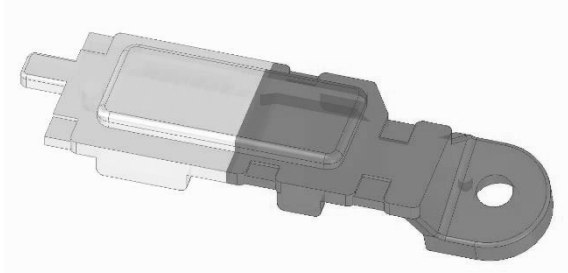


3. ábra. A sérült alkatrész

Az alkatrész gyártási dokumentációjához nem férünk hozzá, valamint az alapanyag pontos típusa sem volt ismert számunkra. Ezért az egyetlen ésszerű lehetőség a tulajdonostól kapott sérült elem alapján a gyártási dokumentáció elkészítése, majd a bura additív technológiával történő legyártása volt.

4.2. CAD modell elkészítése

A sérült alkatrészen lemerített méretek alapján elkészítettük a lámpabura 3 dimenziós CAD modelljét SolidEdge környezetben.



4. ábra. CAD modell

A modellalkotás során vizsgáltuk a 3 dimenziós szkennelés lehetőségét is. A sötétebb színű alkatrészfelületén megfigyelhető bonyolultabb geometria lényegesen pontosabban lenne közelíthető, mint az egyszerű mérőeszközökkel történő méretmeghatározás során. Viszont az eredeti alkatrész sérülései és vetemedése miatt más eltérések jelentkeznek a modell és a legyártani kívánt alkatrész alakja között. Ezért – a szkennelés költségét és időszükségletét is figyelembe véve – ezt a lehetőséget végül elvetettük.

4.3. Próbanyomtatás FDM technológiával

Az elkészült CAD modellt a geometria ellenőrzésének céljából először FDM technológiával nyomtattuk ki a BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis

Tanszékén található Zortrax M200 típusú nyomtatóval, a rétegvastagságot 0,09 mm-re választva.



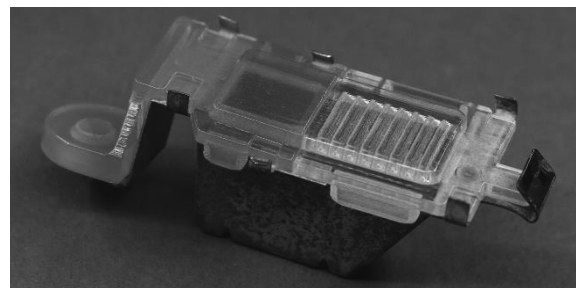
5. ábra. Próba nyomtatás FDM technológiával

4.4. Modell korrigálása

A próbanyomtatás során meggyőződünk róla, hogy a modell méretei megfelelőek az eredeti alaplemezzel való párosításhoz. A modell egyetlen megváltoztatott területe a két alkatrészfelet összekötő fül volt, amely magasságát csökkentve a lámpabura mindkét alkatrésze az alaplemezen fekszik fel.

Emellett a fenti ábra jobb oldalán látható külső fül alakja eltért a modelltől. Ezt a nyomtatás során fokozatosan lehűlő anyag és az ezzel a területtel érintkező támaszték nem tökéletes kialakítása okozhatta. A következő, PolyJet technológiával készülő darabnál erre az eltérésre viszont már nem kellett számítanunk, így itt a CAD modell módosítására nem volt szükség.

4.5. Prototípus nyomtatása PoliJet technológiával



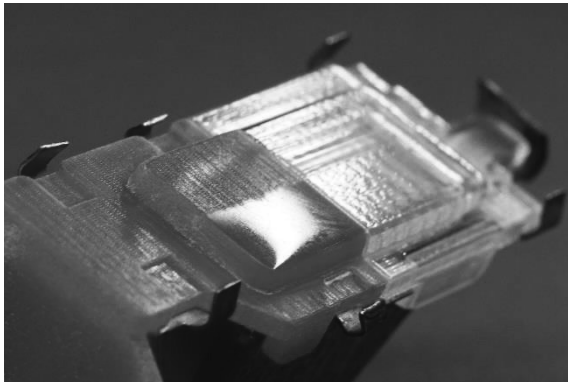
6. ábra. PolyJet technológiával nyomtatott prototípus

A prototípus végleges változatát a Varinex Zrt. segítségével egy Stratasys J750-es típusú, PolyJet technológiájú gépen készítettük el. Ennek a megoldásnak az előnye, hogy képes 0,1 mm alatti pontossággal elkészíteni a kívánt alkatrészt. Emellett a nyomtatott anyag színe, rugalmassága és átlátszósága is tetszőlegesen megválasztható.

4.6. Prototípus vizsgálata

Az elkészült prototípus méreteinek és alakjának eltérése elhanyagolható a CAD modellhez képest. A két alkatrész a várakozásoknak megfelelően fekszik fel az alaplemeze.

A nyomtatáshoz használt polyakril anyag UV fény hatására térhálósodik. A rétegek közti és a végső levilágítás mértékének különböző megválasztásával eltérő felületminőségű alkatrészeket kapunk, melyekből két különböző darabot készített el számunkra a Varinex Zrt. Mindkettő esetben lényegesen kisebb érdességű a felület, mint ami FDM nyomtatással elérhető lenne, de a fröccsöntött műanyagokét még nem éri el. Polírozással viszont könnyen létrehozható a megkívánt minőségű felület.



7. ábra. Alsó felén polírozott alkatrész

Az elkészült elemek így látszólag minden elvárásnak megfelelnek, viszont a gyártó cég javaslata és a felhasznált Stratasys VeroClear, VeroYellow és VeroMagenta anyagok adatlapja [9] alapján csupán 50 °C-ig garantált az elkészült darab minősége. Mivel egy személyautó műszerfala nyáron ennél magasabb hőmérsékletre is melegedhet, az általunk vizsgált darab vagy csupán prototípusként alkalmazható a végleges alkatrész legyártása előtt, vagy – a veterán jármű használatával összeegyeztethető módon – különös figyelmet kíván a túlzott felmelegedés elkerülésére.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A korábbi példákat áttekintve és az általunk elkészített alkatrésszel kapcsolatos tapasztalataink alapján megállapítható, hogy a jelenleg elérhető additív technológiák nagy potenciállal rendelkeznek a veteránautók alkatrészpótlásának biztosításához. Kisebb értékű hobbiautók alárendelt műanyag elemei gyorsan és olcsón pótolhatók FDM nyomtatással és ez az eljárás a visszamodellezés során gyors prototípusgyártásra is kiválóan alkalmas.

Polijet nyomtatóval tökéletesen méretpontos prototípusok és akár végleges alkatrészek is készíthetők minimális utómunka igényvel. Ebben az esetben viszont a beépítési környezet hőmérsékletére figyelemmel kell lenni.

SLS és SLM eljárásokkal akár kisebb sorozatok is legyárthatók a szükséges alkatrészekből – SLM nyomtatás esetén fém alapanyagokból is.

A legritkább járművek esetén akár egyedi öntvények elkészítése is megtérülhet, amit nagyban elősegít a homok öntőforma additív eljárással történő legyártása. Ennek a módszernek a további előnye, hogy maga az alkatrész az eredetivel megegyező, hagyományos öntészeti eljárással készülhet.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk megköszönni Falk Györgynek és Meinhardt Lindának a segítségét, akik a Varinex Zrt.-nél az alkatrészek nyomtatásával segítették a munkánkat.

7. IRODALOM

- [1]: https://www.hagerty.com/apps/valuation/tools/market-trends/collector-indexes/Blue_Chip
- [2]: <https://www.porsche.com/uk/accessories/andservice/classic/>
- [3]: <https://partssearch.mercedes-benz-classic.com/>
- [4]: <https://www.classicandsportsfinance.com/classic-car-market-2016-review/>
- [5]: <https://www.topgear.com/car-news/classic/elvis-presleys-bmw-507-has-been-restored-and-it-looks-amazing#1>
- [6]: <https://newsroom.porsche.com/en/company/porsche-classic-3d-printer-spare-parts-sls-printer-production-cars-innovative-14816.html>
- [7]: https://kwspecialprojects.com/wp-content/uploads/2017/11/KWSP_AlfaTipo_A4_4pp-002.pdf
- [8]: Philip Guilfoyle (2016): The 1914 Delage Grand Prix Type-S: Resurrecting a sole survivor. Előadás: AHA 2016 Automotive Histories: Driving Futures, Melbourne, Australia, 2016 szeptember 1-4
- [9]: Stratasys: PolyJet 3D Printers Systems and Materials Overview

A 3D NYOMTATÁS EGYES PARAMÉTEREINEK HATÁSA A NYOMTATOTT ANYAG SZILÁRDSÁGI JELLEMZŐIRE

EFFECTS OF 3D PRINTING PARAMETERS ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF PRINTED MATERIAL

*Dr. Kátai László PhD, Dr. Szabó István PhD., Lágymányosi Péter, Dr. Szakál Zoltán PhD.
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar*

ABSTRACT

The main objective of this paper is to analyse the mechanical behaviour of two type of 3D printed materials (ABSplus-P430 and PET-G010), produced by different orientation in the printer working area. We performed a tensile test of specimens printed with different orientations. It can be stated that the relative directions of the printed layers and the load has a significant effect on the load capacity of the printed material. The best value for tensile strength is obtained under fiber load direction. In case of PET-G010 material the rate of decrease relative to the raw fiber material can be even 90% in worse case, when the load direction is perpendicular to the printed layer direction.

Keywords: Additive manufacturing, FDM technology, strength property, orientation, 3D printing

1. BEVEZETÉS

A 3D nyomtatás napjaink egyik olyan szegmense, amely a legizgalmasabb gazdasági és technológiai kérdéseket hordozza magában. Egy rendkívül gyorsan fejlődő technológia, amely jelen van számos ipari szektorban, az egészségügyben, az oktatás és a szolgáltató piac világában és még további térnyerésre van esély. Amíg néhány évvel ezelőtt elsősorban a prototípus gyártásban alkalmazták, addig mára már egyre nagyobb a jelentősége a késztermék előállítás területén is, egyre több anyag használható és növekszik a gyártási sebesség, valamint csökken a termékre vetített gyártási költség. Az egyre nagyobb népszerűség miatt mindenképpen célszerű foglalkozni a végtermék minőségét is meghatározó egyik tulajdonsággal a teherbíró képességgel. Korábbi vizsgálataink során azt elemeztük, hogy az alkalmazott térkitöltés milyen hatást gyakorol a szilárdsági jellemzőkre, ugyanakkor további vizsgálatokat érdemes végezni abból az aspektusból, hogy a rétegenként történő alkatrész felépítés és a terhelés egymáshoz

viszonyított iránya befolyásolja-e és hogyan a terhelhetőséget. [1,2,3,4]

A kísérleteink célja annak vizsgálata, hogy az alkatrész (próbatest) nyomtatási orientációja (rétegépítés iránya) és a terhelés egymáshoz viszonyított iránya hogyan befolyásolja a terhelhetőséget. Ennek meghatározása igen fontos paraméter lehet a terméktervezés során.

2. A VIZSGÁLATHOZ VÁLASZTOTT ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

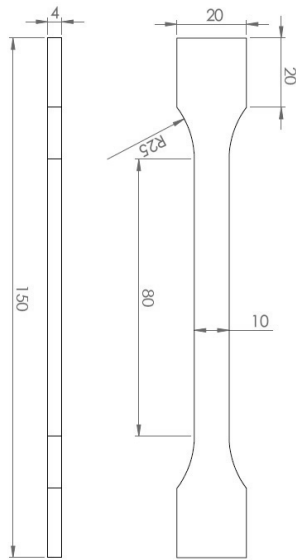
A polietilén-tereftalát (PET) az egyik legelterjedtebb polikondenzációs műanyag, ennek egyik glikol módosított változata a PET-G. Ez az anyag ötvözi PLA (Polylactic acid, politejsav) és az ABS (Akrinitil-Butadién-Sztirol) alapanyagok előnyeit. Alkalmazásával nagyon erős, ütészálló tárgyakat lehet készíteni, melyek kedvezőbb rugalmassági tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a hagyományos PLA-val nyomtatott társaiké, továbbá a nyomtatás befejeztével a modellek zsugorodása elenyésző, szemben az ABS alapanyagú alkatrészekkel. Hasonlóan a többi alapanyaghoz tekericselve tudjuk megvásárolni, 1,75mm-es és 3mm-es huzalátmérővel. Nyomtatási paramétereit tekintve az ideális szórófej hőmérséklet 245°C ~ 250°C, a tárgyasztal hőmérséklete 60°C ~ 90°C. Az anyag további előnye a hidrofób (víztaszító) tulajdonsága, valamint nyomtatása közben nem keletkezik kellemetlen szag, a felesleges (pl. támaszanyag) vagy fel nem használt kinyomtatott anyag pedig a későbbiekben újra felhasználható, mivel a nyomtatás hatására nem következik be semmiféle anyagszerkezeti átalakulás. Emellett az FDM (amerikai élelmiszer és gyógyszer engedélyezett hivatal) jóváhagyta az élelmiszerrel való érintkezést és a tárolást. Vizsgálatainkhoz a Filament gyártmányú PETG010-es alapanyagot használtuk.

A vizsgálatba vont másik anyag az ABS volt, amelyet széles körben alkalmaznak mind az iparban, mind a szálhúzásos nyomtatás területén. Három alkotó molekulája az Akrilnitril, a Butadién és a Sztién, melynek keverési aránya

befolyásolja az anyag tulajdonságait, rugalmasságát, szilárdságát és felületi keménységét. Erős, könnyű és nagyon tartós és ütésálló műanyag (pl. a legtöbb LEGO blokk is ilyen anyagból készül a nagy ütésállóság miatt). További előnye a rendkívül jó rétegek közötti tapadás és a magas lágyulási hőmérséklet (kb. 97°C). Hátránya viszont a nyomtatáskor elszenvedett jelentős zsugorodás. [5, 6]

Próbatest:

A szakítási vizsgálathoz szabványos próbatesteket alkalmaztunk, ennek megfelelően a polimerek szakításvizsgálatára vonatkozó MSZ EN ISO 527-2-1993(E) szabványt alapul véve 1A testet választottuk (1. ábra)



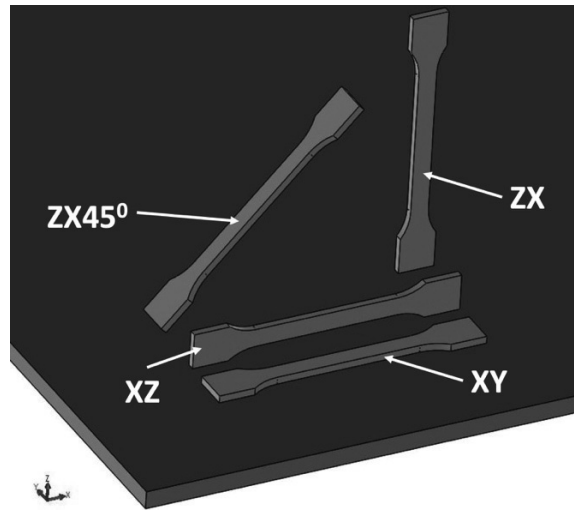
1. ábra. A szabványos szakító próbatest méretei

Alkalmazott nyomtató és nyomtatási orientációk:

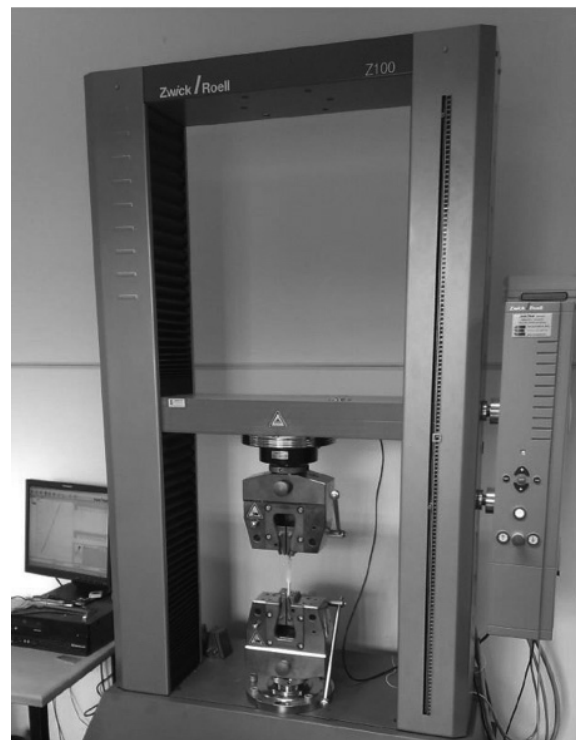
A próbatestek előállítására Stratatys Dimension Elite típusú FDM nyomtatót használunk. A nyomtatási térben alkalmazott nyomtatási orientációkat, és annak értelmezését a 2. ábra szemlélteti.

A térkitöltés valamennyi vizsgálat esetén azonos volt.

A szakító vizsgálatok Zwick/Roell Z100 típusú szakítógéppel történtek, a méréseket 5-szörös ismétléssel végeztük el (3. ábra).



2. ábra. A nyomtatási orientációk a 3D modell térben, illetve a kinyomtatott próbatestek



3. ábra. A vizsgálat során használt Zwick/Roell Z100 típusú szakító gép

3. A VIZSGÁLAT ÉRTÉKELÉSE, EREDMÉNYEK

A szakítási vizsgálatok eredményeit a szakító gép mérési programja szolgáltatja.

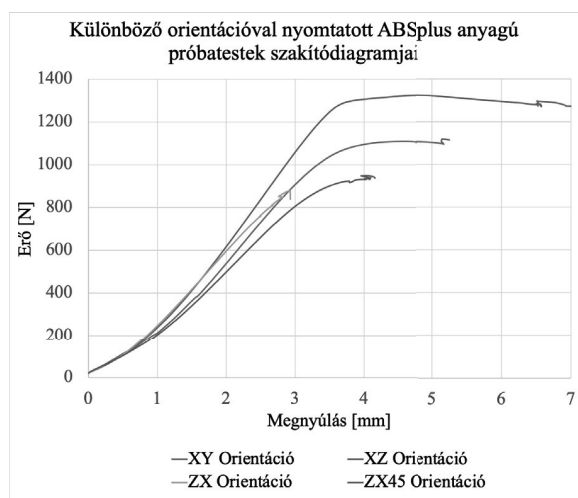
Az eredmények feldolgozására, értékelésére excel programba történő exportálást követően került sor.

Az ABSplus-P430 anyag vizsgálata:

Az adott nyomtatási orientációval előállított próbatestekre külön-külön végeztük el a szakító vizsgálatokat, amelyek során a megnyúlás-erő diagram adatait rögzítettük. Az különböző nyomtatási orientációval készített próbatestek

szakító diagramjait a legszemléletesebben akkor tudjuk összehasonlítani, ha azokat egy közös diagramban ábrázoljuk. Az egyes görbék lefutásának jellege jól tükrözi a próbatest előállítási orientációját, azaz, hogy a rétegeképzés és az aktuális terhelés milyen irányú egymáshoz viszonyítva (4. ábra).

A legnagyobb terhelhetőség az XZ (élén fekvő próbatest), illetve XY (lapján fekvő próbatest) irányú nyomtatással érhető el, ami azzal magyarázható, hogy a terhelés a szál irányában történik. Ezekben az esetekben közelíti a szakítódiaagram karakterisztikája a legjobban az ABS anyagokra a szakirodalomban közölt karakterisztikát.



4. ábra. A különböző orientációval nyomtatott ABSPlus-P430 próbatestek szakítódiaagramjai

A ZX (függőlegesen álló próbatest) orientáció szintén jellegzetes eredményt mutat, hiszen a nyomtatott rétegek a terhelés irányára merőlegesen helyezkednek el, így a terhelhetőséget a rétegek közötti „tapadás” határozza meg leginkább, az adott anyag rugalmassági tulajdonsága kevésbé tud érvényesülni.

Végezetül a ZX45 (45°-os szögben álló orientáció) esetében az előzőekben említett eredmények közötti jellegű diagramot kaptunk eredményül.

Az PET-G anyag vizsgálata:

A PET-G anyag esetében is az előzőekben ismertetett módon és nyomtatási verziókban történtek a vizsgálatok.

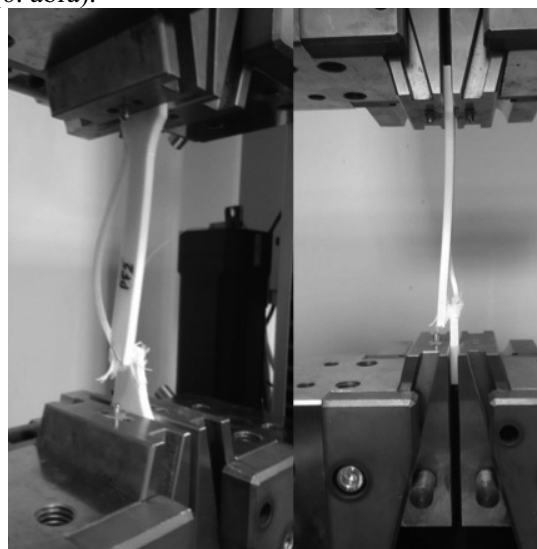
A ZX (nyomtatási rétegekre merőleges terhelés) esetében látható, hogy a teherbírás igen kis mértékű, az alapanyag szakítószilárdság értékének csupán közel 20%-a.

Fontos megemlíteni, hogy a XZ (élén fekvő) nyomtatással készült próbatest szakítóvizsgálata során a szélső falréteg leválik, nem szenved törést (5 ábra).



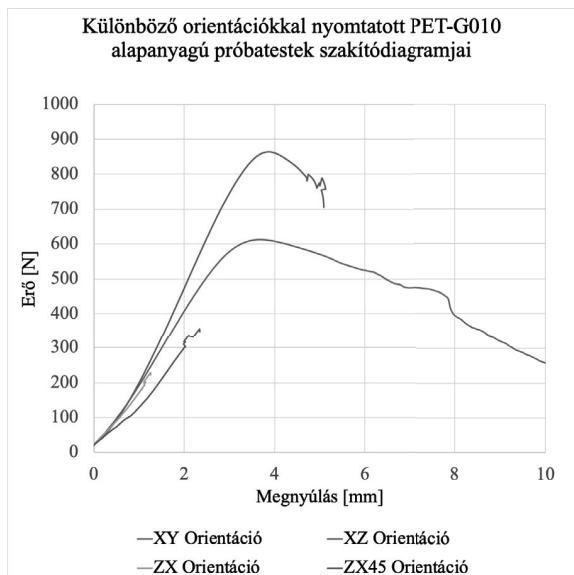
5. ábra. Az XZ orientációval nyomtatott PET-G alapanyagú próbatest szakítás utáni állapota

A nyomtatási orientációk (terhelési irányok) közötti további különbség, hogy a XY orientáció (lapján fekvő próbatest) esetében a törés nem egyszerre a teljes keresztmetszetben, hanem a nyomtatási szálakban fokozatosan következett be (6. ábra).



6. ábra. A PET-G anyag XY orientációval készült próbatest szakítóvizsgálatát követő állapota

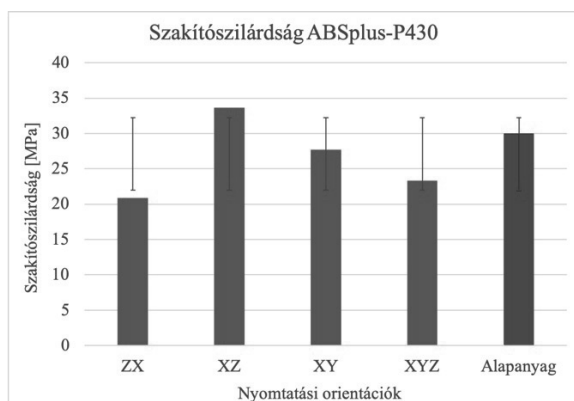
A különböző orientációkkal nyomtatott próbatest vizsgálatok szakító diagramjait szemlélteti az alábbi ábra.



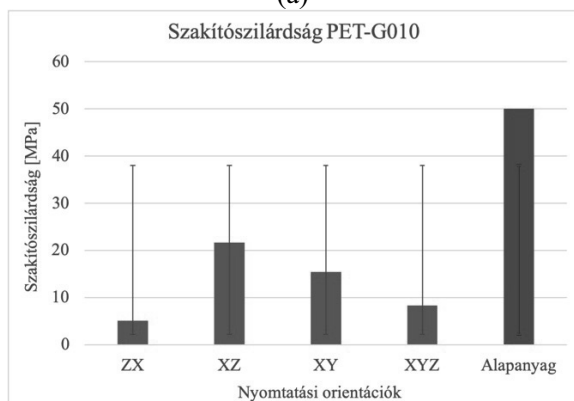
7. ábra. A különböző orientációval nyomtatott PET-G010 alapanyagú próbatetek szakítódíagramjai

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett vizsgálatok eredményeit összesítve megállapítható, hogy a 3D nyomtatáskor a nyomtatási térben elhelyezett próbatet (alkatrész) orientációja és az alkalmazás során keletkező terhelés iránya közötti kapcsolat lényegesen befolyásolja a teherbírást.



(a)



(b)

8. ábra. A vizsgált anyagok és nyomtatási orientációk esetében szakítószilárdság értékek összevetése (a) ABSplus-P430, (b) PET-G010

Általánosságban megállapítható, hogy a legjobb teherbírás a nyomtatási szál irányába eső igénybevétel esetén tapasztalható, a legkedvezőtlenebb pedig a rétegekre merőleges terhelés, amely esetében az ABS anyagnál kb. 30%-os, míg a PET-G anyagnál akár közel 90%-os szakítószilárdság csökkenés következik be (8. ábra).

Összességében az is megállapítható, hogy az adott nyomtató a PET-G alapanyag nyomtatására nem ideális választás, hiszen a legjobb orientáció által biztosított szakítószilárdság érték is több mint 50%-kal marad el az alapanyagra megadott értéktől.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KÁTAI et.al.: CAD tankönyv. Typotex Kiadó, Budapest, 2012. ISBN 978-963-279-534-8
- [2] KÁTAI L., SZABÓ I., LÁGYMÁNYOSI A., LÁGYMÁNYOSI P., SZAKÁL Z.: Additív gyártástechnológiában alkalmazott anyag szilárdsági jellemzőinek vizsgálata a 3D nyomtatás paramétereinek függvényében In: Gép, LXIX. évf. 4. szám, Miskolc, 2018, 45-48. o., ISSN 0016-8572
- [3] JOE MICALLES: BEGINNING DESIGN FOR 3D PRINTING, 2015. ISBN 978-1-4842-0946-2
- [4] B. RANKOUHI, S. JAVADPOUR, F. DELFANIANM T. LETCHER: Failure analysis and mechanical characterization of 3D printed ABS with respect to layer thickness and orientation. J. Fail. Anal. Prev. 16 (3) (2016) 467-481.
- [5] S. JUNK, M. BAMBACH: APPLICATION OF 3D (COLOR) PRINTING FOR THE VISUALIZATION AND OPTIMIZATION OF COMPLEX METAL FORMING PROCESS, PROEDIA ENGINEERING 207 (2017) 1081-1086.
- [6] A. GEBHARDT, J.-S. HÖTTER, ADDITIVE Manufacturing - 3D Printing for Prototyping and Manufacturing, Hanser, Munich, 2016

A cikk az EFOP-3.6.1.-16-2016-0016 projekt támogatásával készült

MANDZSÚRIAI MESTERSÉGES INTELLIGENCIA VESZÉLYE AZ ÖNVEZETŐ JÁRMŰVEKBEN

DANGER OF MANCHURIAN AI IN AUTONOMOUS VEHICLES

Dr. Kiss Gábor, kiss.gabor@bkg.uni-obuda.hu, Óbudai Egyetem

ÖSSZEFOGLALÁS (ABSTRACT, INHALT). In this paper I will discuss several situations that might be able to confuse the artificial intelligence of the autonomous vehicles or to make them come to an inadequate decision. You can see that safe decision-making depends on the teaching method of the artificial intelligence as well as the correctness of the data uploaded. The other aim of the research is to demonstrate how could work a Manchurian Artificial Intelligence in autonomous vehicles. I will introduce the idea of Manchurian artificial intelligence which can be activated by a certain event and can pose a threat to the passengers of the vehicles. If it is present in the software of several vehicles, a chain of worldwide accidents can be induced at a certain time.

1. BEVEZETÉS

Az teljesen önvezető autók elterjedésétől azt várják, hogy az éves szinten 1.3 millió halálesetet okozó balesetek száma, melyeknél kb. 90%-ban az emberi tényező a fő kiváltó ok [1], jelentős csökkenést mutat azáltal, hogy a szenzorokból érkező adatok információvá történő feldolgozása, valamint a szituációhoz kapcsolódó megfelelő döntéshozatal és szükség szerinti beavatkozás gyorsabban történik majd meg a felhasznált mesterséges intelligenciának köszönhetően az emberhez képest [2].

A hagyományos járművek esetében a baleseteknél a biztosító kb. 2 másodperccel számol, míg a vezető felismeri a veszélyes helyzetet és elkezd a hatékony beavatkozást annak elkerülésére, valamint a fékberendezés is működni kezd [3].

Árnyaltabb a kép a részleges önvezetéssel rendelkező járművekben, hiszen ezekben még van pedál és kormánykerék annak érdekében, hogy a sofőr szükség esetén beavatkozhasson, viszont adott közlekedési szituáció esetén akár 5-6 mp is eltelhet, mire a sofőr valóban képes a helyzetet felismerni és megfelelő beavatkozást megkezdeni [4].

A Tesla autókkal 2018. novemberéig végéig 1 milliárd mérföldet tettek meg a 2015-ben bemutatott Autopilot rendszerű önvezető módban, mely a Nap-Föld távolságának ötszöröse. A baleseti statisztika 3,34 millió mérföldenként egy baleset, vagy balesetszerű esemény, míg az Amerikai Közlekedési Hatóság a teljes amerikai autóközlekedésben 492 ezer mérföldenként számol egy balesettel, tehát az önvezető mód jelenleg hétszer biztonságosabb [5].

A kutatás célja bemutatni a Mandzsúriai mesterséges intelligencia ötletét és veszélyét az önvezető járművekben, mellyel akár egyszerre bénítható majd meg a közlekedés az egész Földön.

2. AZ ÖNVEZETŐ JÁRMŰVEK 6 SZINTRE A SAE SZABVÁNY SZERINT

A SAE szabvány az önvezető járműveket 6 különböző szintre sorolja be az önvezetés, illetve vezetéstámogatási eszközök alapján [6].

2.1. SAE Level 0

Ezen a szinten a hagyományos járművek találhatók, melyek a ma kapható járművekben elérhető vezetéstámogató rendszereket még nem tartalmazzák. A sofőr feladata minden közlekedési helyzet megoldása, semmilyen figyelmeztetés nem segíti az érzékelését.

2.2. SAE Level 1

A ma újonnan megvásárolható járművek szintje, ahol már valamilyen vezetéstámogató rendszer (pl. tempomat, városi fékasszisztens, sávkövetés, holttér figyelő, stb.) működik ezzel segítve a balesetek számának csökkenését, hiszen hangjelzéssel, fényjelzéssel hívja fel a figyelmet a veszélyessé válható közlekedési helyzetekre, illetve fékezéssel avatkozik be szükség esetén így csökkentve a baleset súlyosságát.

2.3. SAE Level 2

Ezzel a szinttel rendelkező járművek képesek a megfelelő körülmények (jellemzően szembejövő formalomtól mentes, jól látható felfestésekkel ellátott útszakasz) teljesülése esetén az önvezetésre, de a vezetőnek adott időközönként jeleznie kell a rendszer felé (pl. megfogni a kormányt), hogy bármikor képes átvenni az irányítást.

A Tesla mutatta be első kereskedelmi forgalomban kapható autót önvezető funkcióval, mely 2014 októberében elérhető volt a Tesla Model S-ben, a Tesla Autopilot 1 egyetlen előrenéző kamerát, egy radart és 12 db, 5 méteres hatótávolságú ultrahangos távolságmérőt használt. Mellette egyre több gyár mutatta be a 2-es szintű önvezető rendszereit: Cadillac Super Cruise, Audi Traffic Jam Pilot, BMW Traffic Jam Assistant, Volvo Pilot Assist and Mercedes Distronic Plus, de a többi gyártó is dolgozik a saját rendszerén. Jellemzően a parkolásban, közlekedési dugóban történő araszolásban, valamint autópálya környezetben a rendszer által megkövetelt feltételek esetén gyors haladásban segédkeznek a 2-es szintű rendszerek. Itt elegendő a jármű közvetlen környezetének felderítése is. Előfordulhat, hogy amennyiben a 2. szintű önvezetéshez szükséges körülmények nem adóttak, a jármű nem veszi át a kontrollt a vezetőtől.

2.4. SAE Level 3

A 3. szintű önvezetési funkció esetében a vezető hosszabb időre elengedheti a kormányt, de továbbra is készen kell állnia arra, hogy a teljes kontrollt szinte azonnal visszavegye a jármű felett. Az AUDI A8 járműnél jelent meg ez a funkció először 2017. nyarán, majd 2018 elején megjelent az Audi A6-osban is szolgáltatásként. Az Audi-ban LiDAR-t is használnak a radarok, kamerák és az ultrahangos érzékelők mellett, de a lézershakker nem a jármű tetején, hanem a rendszám alatti rácsba került, ezért csak 145 fokos szögben lát előre. Az A8 önvezető módja csakis olyan esetben használható, amikor fizikailag elválasztják a szembejövő forgalmat, de így is csak 60 km/órás sebességig működik ez a funkció. Amennyiben az autó ennél gyorsabban haladna, az irányítást visszaadja a vezetőnek, ha nem veszi át, hang- és fényjelzést ad és egy idő után fékezgetni kezd. Ha még ekkor sem veszi át a

vezető az irányítást, bekapcsolja a vészvillogót, megáll, és automatikus segélyhívást kezdeményez.

2.5. SAE Level 4

A 4. szinten a vezető akár aludhat is az utazás alatt, de szükség esetén készen kell állnia a vezetésre. Probléma esetén az autó kivezeti magát a forgalomból és felébreszti a sofőrt, így lehetővé téve a tovább utazást, probléma elhárítást. Ezen a szinten még az autó nem képes pl. földúton önállóan haladni. Ezen a szinten már megjelenik az igény arra, hogy a távolabbi környezetről is információval rendelkezzen a jármű, hosszabb távra előre tervezhetővé téve az utazást. 2021-től várható a 4. szintű önvezetéssel rendelkező járművek megjelenése az utakon, de az első példányát már a 2018-as Genfi Autószalon kiállításon egy horváth cég Rimac típusú járműve képviselte.

2.6. SAE Level 5

Az 5. szint, ahol már teljes mértékben utasként jelenik meg a vezető, nincs módja a szükség szerinti beavatkozásra (nem lesz pedál, kormány a járműben, max. opcióként), hogy egy esetleges balesetet elkerüljön. Információbiztonság szempontjából pont emiatt ez a szint a leginkább védendő. Tesla a többi gyártótól eltérően az 5. szintű önvezető autókban nem használja a Google autókban is használt LiDAR-t, Az újabb fejlesztésű jármű a korábbi változathoz képest az első radart, a 12 db, ultrahangos szenzort és a korábbi 1 db kamera kiegészül további 7 kamerával körbeölelve velük az autót [7][8].

3. ÖNVEZETŐ JÁRMŰVEK KÜLSŐ MANIPULÁCIÓS LEHETŐSÉGEI

Ebben a fejezetben nem az önvezető járművek rendszerének megtörését vizsgáljuk, hanem olyan néhány szituációt veszünk górcső alá, melyek alkalmasak lehetnek az önvezető járművekben üzemelő mesterséges intelligencia összezavarására, esetlegesen a károkozó számára előnyös döntés meghozatalára. Célunk ezen helyzetek felvetésével az, hogy a gyártók ezeket és ehhez hasonló szituációkat is teszteljék a fejlesztés során, így téve biztonságosabbá az önvezető járművek általán a közeljövőben uralt közlekedést.

3.1. Táblafelismerő rendszer becsapása

A táblafelismerő rendszer alkalmas ma is arra, hogy az adaptív tempomat a közlekedési táblán látható értékhez igazítsa a jármű sebességét. Egy kutatás rámutatott arra, hogy ezek a rendszerek is becsaphatók [9]. A kutatásomban a forgalmi helyzetet változtathatóságára, baleset előidézhetőségére helyezem a hangsúlyt. Ha egy mindkét irányból behajtani tilos táblát, mely pl. egy sétálóutcát zár el a forgalom elől lefedünk egy egyirányú táblával a két végén, az önvezető járművek hogyan fognak dönteni? Ha a táblán az üres fehér részre ráragasztjuk a 90-es számot, rögtön sebességkorlátozás lesz a behajtani tilos táblából (1. ábra).



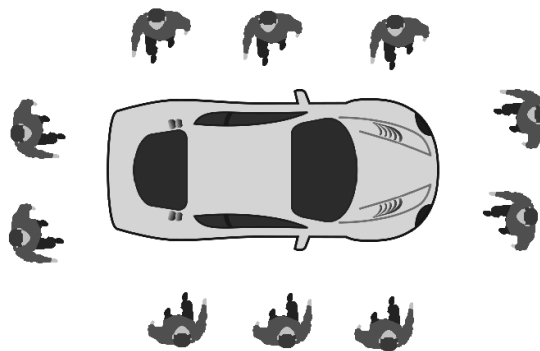
1. ábra. Táblafelismerő rendszer becsapása

Autópályán a 130-as sebességkorlátozó táblából kitaranjuk a számokat, mindkét irányból behajtani tilos táblát kapunk. Megakaszthatjuk vele a forgalmat és így dugót idézhetünk elő? Felmerül a kérdés, hogy a jármű a saját térképadatainak

higgyen, vagy bírálja felül a kamerája által felismert jelentéssel és módosítsa ennek megfelelően a haladását? Minek legyen nagyon prioritása? Egy központilag időnként frissített térképnek, mely akár valótlan adatokat is tartalmazhat annak károkozás szempontjából történő módosítása esetén, vagy az adott pillanatban felismert közúti jelzésnek, mely akár szándékos félrevezetés része is lehet?

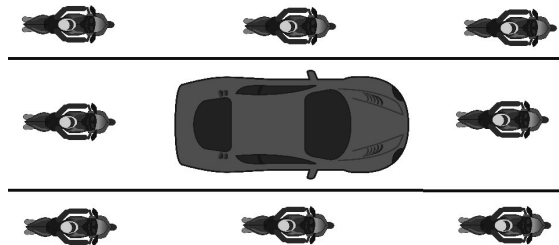
3.2. Foglyul ejtés, irányváltásra kényszerítés, hajsza

Az önvezető jármű a balesetek elkerülésére lesz programozva. Ha viszont egy piros lámpánál álló járművet körbeállnak gyalogosok, kerékpárosok, nem lesz képes elindulni és az 5. SAE szinten még a benne ülőknek sem lesz lehetőségük irányításra, hogy egy ilyen helyzetből kiszabaduljanak (2. ábra).



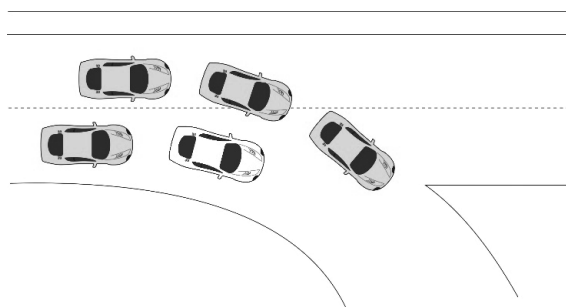
2. ábra. Gyalogosok által foglyul ejtett önvezető jármű

Haladás közben is foglyul ejthető egy önvezető jármű hasonló logika alapján, ha motorosok, hagyományos járművek veszik körül és folyamatosan lassítanak így kényszerítve az önvezető járművet is lassításra, illetve megállásra (3. ábra).



3. ábra. Motorosok által foglyul ejtett önvezető jármű

A körbevétellel irányváltásra is kényszeríthetünk egy baleset elkerülésére programozott önvezető járművet és pl. autópályáról egy kihajtóra irányíthatjuk így módosítva az eredeti haladási irányát (4. ábra).



4. ábra. Kihajtásra kényszerített önvezető jármű

Amennyiben hagyományos járművekkel, vagy motorokkal beállunk az önvezető jármű mögé és folyamatosan, egyre gyorsítva haladunk mögötte elég közel ahhoz, hogy a járművet gyorsításra készítsük az ütközés elkerülése érdekében, hajszoihatjuk a járművet. A kérdés az, hogy olyan sebességre is, amikor már az önvezető jármű gyors döntéshozatala és reakciója is kevés lehet egy baleset elkerülésére? Megengedett-e az önvezető járművekben ilyen esetekre egy „Pánikgomb” beépítése, mely akár a jármű sérülése árán is, de kitér az ilyen helyzetekből kimentve a benne utazókat? Mi történik akkor, ha valaki siet és a piros lámpánál állva a gyalogosok közé hajtja ezzel a megoldással a járművet? Ez akár terrorcselekmény végrehajtására is alkalmassá tenné a járművet.

4. MANDZSÚRIAI MESTERSÉGES INTELLIGENCIA

Az önvezető járművekben dolgozó mesterséges intelligencia döntéshozatala a korábbi tanulási fázis alapján születik meg. A tanítási módszer megfelelő kiválasztása lesz az alapja ezen járművek biztonságos közlekedésének. Az Amazon jövőbeli dolgozókat kiválasztó mesterséges intelligenciáját le kellett állítani, mert a tanításánál rosszul megválasztott adatbázist használtak, így a férfiakat részesítette előnyben [10]. Az Uber 2018 márciusi baleseténél a rendszer ismeretlen objektumként azonosította a kerékpárt toló gyalogost, így nem fékezett [11]. 2018 áprilisában az MIT egy kutatócsoportja pedig létrehozta a világ első pszichopata mesterséges intelligenciáját (Norman AI), melyet gyilkosságot és halált ábrázoló képekkel és videofelvételekkel tanítottak. Elvégeztették vele a Rorschach-tesztet és teljesen mást ismert fel a tintaképekben, mint egy hagyományos mesterséges intelligencia (5. ábra) (6. ábra) [12][13].



5. ábra. Norman AI és egy hagyományos AI által a Rorschach tesztben látni vélt esemény I.



5. ábra. Norman AI és egy hagyományos AI által a Rorschach tesztben látni vélt esemény II.

Az ötletem Richard Cordon The Manchurian Candidate c. novelláján alapul. A történet szerint egy alvó ügynökben egy kiváltó eseménnyel aktivizálják az Egyesült Államok elnökének megölésének eljárását, melynek létéről az illető addig nem is tudott. A mandzsúriai mesterséges intelligencia a korábbi normális viselkedésből egy adott ritka közlekedési szituációban, egy ritka közlekedési tábla felismerése esetén, vagy a rádióban megszólaló adott zenezámra aktivizálódna az önvezető járművekben és kapcsolna át gyilkos üzemmódba, melyben már nem a balesetek elkerülése, hanem azok minél nagyobb tömeget érintő előidézése lenne a célja. Mivel pár baleset után ez köthető lenne a kiváltó okra, így érdekesebb egy a kiváltó ok utáni véletlenszerűen generált időtartamhoz kötni az aktivizálást, nehezebbé tenni a kiváltó ok beazonosítását. Amennyiben pedig a kiváltó ok egy adott dátum adott időpillanata, akkor egyszerre a világon sok jármű kapcsolna gyilkos üzemmódba (illeszkedve az időeltolódáshoz) megbénítva széles körben a közúti közlekedést. Egy ilyen

lehetőség beépítéséhez elég lehet egy elégedetlen alkalmazott a cégen belül, ahogy a Tesla esetében is történt a szoftverbe történő beavatkozás [14], valamint ne felejtjük el, hogy Kenya nyomornegyedében élők tanítják az önvezető járművek mesterséges intelligenciáját napi 5 amerikai dollárért cserébe [15]. Az önvezető járművekben működő mesterséges intelligenciának tesztelesekor az esetlegesen beépített mandzsúriai mesterséges intelligencia aktivizálható lehetőségek kizárását is vizsgálni kell majd.

A mandzsúriai mesterséges intelligencia ötlete alapján elkészítettem egy alkalmazást, mely képes szemléltetni, hogyan is képzelem el ezen veszélyforrás működését. A program véletlenszerűen mutatja meg közlekedési táblák képét (szimulálva egy járműbe épített táblafelismerő rendszert), valamint kiírja szükséges járműirányítási feladatot (pl. lassítás, sebességtartás, gyorsítás, megállás, stb.). Amikor egy adott tábla megjelenik (pl. behajtani tilos), amely a mandzsúriai mesterséges intelligencia aktiváló eleme, a táblafelismerés szimulációja leáll, ezzel jelezve, hogy a táblafelismerés járműben is kikapcsolásra kerülne, vagy a rendszer attól kezdve figyelmen kívül hagyja a felismert táblák jelentését. Csak a „hajs be és gyorsíts, amíg nem karambolozol, vagy ölsz meg gyalogost” felirat látszik az eseményt kiváltó tábla képe alatt utalva arra, hogy a mesterséges intelligencia a korábbi irányítás helyett már csak a gyorsításra ösztönzi a járművet a baleset bekövetkeztéig. A működésről készült felvétel a https://youtu.be/J1xP6_gO8U linken érhető el.

Egy másik szimuláció is készült a mandzsúriai mesterséges intelligencia szemléltetésére. Ebben a szimulációban az Apple által kifejlesztett mesterséges intelligenciának (Siri) adhatunk utasításokat német nyelven a videóban felbukkanó táblák nevének kimondásával. Siri felismeri a tábla nevét és kimondja az önvezető járműnek szánt utasításokat a továbbhaladás érdekében. Itt is a behajtani tilos tábla a mandzsúriai viselkedés kiváltója, mely tábla nevének kimondása után csak azt ismétli a mesterséges intelligencia „gyorsíts és öld meg az utasokat!”.

A működésről készült felvétel a <https://youtu.be/fYLV3oKMFJg> linken érhető el.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az önvezetés a jövő elkerülhetetlen tartozéka, azonban még nem áll olyan szinten a technológia és az infrastruktúra, hogy az elkövetkező években a mindennapi életünk része lehessen. A fent felsorolt problémák csak kiragadott lehetőségek arra, hogy bemutassák, egy hagyományos autó, még ha fel is van szerelve vezetéstámogató funkciókkal, mennyire rá van bízva a vezetőjére és hogy egy önvezető rendszer még nem képes teljes körűen átvenni. Ugyanakkor mindenképpen említendő, hogy az autonóm járművek használata rengeteg előnnyel fog járni. A közlekedést dinamikusabbá, biztonságosabbá teszi, valószínűleg a jelenlegi 1,3 millió halálesetnél kevesebb lesz. A humán faktor kizárásával az utazási idő hasznos idővé alakulhat, ami megrövidítheti a munkahelyen eltöltött időt, kizárhatja a gyenge képességű vagy idős sofőrök félelmeit és szélesebb réteghez juttathatja el a kényelmes közlekedést.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az EFOP-3.6.2-16-2017-00016 számú projekt biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. IRODALOM

[1] S. Singh: Critical reasons for crashes investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey. (Traffic Safety, Facts Crash Stats. Report No. DOT HS 812 115).

Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2015

[2] D. Aiordachioaie: On Time-Frequency Image Processing for Change Detection Pur-poses, Soft Computing Applications, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol 633, Springer, ISBN 978-3-319-62521-8, 2016

[3] M. Green: Driver Reaction Time, <https://www.visualexpert.com/Resources/reactiontime.html>, 2013

[4] K. Funkhouser, F. Drews: Reaction Times When Switching From Autonomous to Manual Driving Control, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, ISSN: 1541-9312, 2016

[5] L. Friedman: Tesla Vehicle Deliveries and Autopilot Mileage Statistics, DOI: 10.5281/zenodo.2530449, <https://hcai.mit.edu/tesla-autopilot-miles-and-vehicles/>, 2019

[6] SAE J 3016-2018: Taxonomy and Definitions for Terms Re-lated to Driving Automation Systems for On-Road Motor Ve-hicles, Society of Automobile Engineers, sae.org, 2018

[7] S. Yanhong, W. Wei, H. Xiaoli, D. Yan, L. Yaoyao: A three-valued logic approach to partially known formal concepts, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, Pre-press, pp. 1-12, 2019

[8] H. M. Nabil: Neural network pruning based on input importance, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, Pre-press, pp. 1-10, 2019

[9] Sitawarin, C. Bhagoji, A. N. Mosenia, A. Chiang, M. and Mittal, M.: DARTS: Deceiving Autonomous Cars with Toxic Signs. PACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol. 0(0), 2018

[10] D. Lee: Amazon scrapped 'sexist AI' tool, BBC News, October 10, 2018, <https://www.bbc.com/news/technology-45809919>

[11] D. Wakabayashi: Uber's Self-Driving Cars Were Struggling Before Arizona Crash, The New York Times March 23, 2018, <https://www.nytimes.com/2018/03/23/technology/uber-self-driving-cars-arizona.html>

[12] H. Rorschach: Rorschach Test – Psychodiagnostic Plates. Cambridge, MA: Hogrefe Publishing Corp. ISBN 3-456-82605-2, 1927

[13] P. Yanardag, M. Cebrian, I. Rahwan: Norman, World's first psychopath AI, 2018, <http://norman-ai.mit.edu>

[14] L. Kolodny: Elon Musk emails employees about 'extensive and damaging sabotage' by employee, CNBC, <https://www.cnbc.com/2018/06/18/elon-musk-email-employee-conducted-extensive-and-damaging-sabotage.html>

[15] D. Lee: Why Big Tech pays poor Kenyans to teach self-driving cars, BBC News, November 03, 2018, <https://www.bbc.com/news/technology-46055595>

A MŰSZAKI ÁBRÁZOLÁS OKTATÁS ÓRASZÁM- VÁLTOZTATÁSÁNAK HATÁSAI

EFFECTS OF CONTACT HOUR DECREASE IN THE ENGINEERING DRAWING EDUCATION

Dr. Ficzer Péter, PhD – Győri Márk – Dr. Lovas László, PhD

ABSTRACT

Teaching of technical drawing has a significant role in engineering education, because most of the information is shared by drawings in the areas of design, manufacturing and operations. Unfortunately in the past few years changes appeared: the number of contact hours has been halved. In this study we examine the changes in the students results due to the halving the number of the practice lessons.

1. BEVEZETÉS

A műszaki ember nyelve a rajz. A mérnökök, gyártásban, üzemeltetésben dolgozó emberek az érdemi információk jelentős részét rajzokon keresztül osztják meg egymással. Ennek megfelelően szükségszerű, hogy a géprajzban egyszerű és egyértelmű ábrázolási szabályokat használjunk. Bármilyen gépészeti területen tanuló számára a műszaki ábrázolás az alapokat jelenti. Erre épülnek a további tanulmányok, úgy, mint a gépelemek, géptervezés stb. Az alapok megfelelő ismerete nélkül a továbbiak mélyebb megértése lehetetlen. Egy termék tervezése során készített rajzok különböző céllal készülhetnek, például alkatrészek gyártásához, összeszereléséhez, üzemeltetéséhez.

Ma a mérnöki tervezőrendszerek többnyire 3D modelleket használnak. Ezekhez a 3D modellekhez anyagjellemzőket rendelve az alkatrészek fizikai jellemzőit is meg tudjuk határozni, továbbá ezek segítenek minket a mechanikai méretezésben is. A 3D modelleket – a működésnek megfelelő kényszerekkel – össze tudjuk szerelni, így a teljes szerelésről is lesznek információink (súlypont, tömeg, szerelhetőség, ütközések, mozgásszimuláció, stb.). Ugyanezen modelleket felhasználva lehetőségünk van

renderelt ábrák készítésére, így azokat látványosan későbbi, valós környezetben is be tudjuk mutatni. Ezekon a modelleken, szereléseken a későbbi, várható igénybevételeknek megfelelő terheléses vizsgálatot is tudunk végezni, valamint – egyre inkább – ezek a 3D modellek képezik manapság a gyártás alapját [1]. Mindezek mellett a mai napig szinte mindenütt szükséges a 2D rajzdokumentáció elkészítése is, amit szintén a 3D modellek segítségével generálunk [2]. A tervezési módszerek változása és jelentős fejlődése mellett jól látható, hogy a műszaki ábrázolás továbbra is az alapja tervezésnek, gyártásnak, üzemeltetésnek, esetleges problémák jogi úton történő megvitatásának [3].

2. A MŰSZAKI ÁBRÁZOLÁS OKTATÁSA

A műszaki ábrázolás oktatása, különböző szinteken, különböző módon valósul meg (szakmunkásképző, szakközépiskola, egyetem). A rajzoknak a különböző területeken, különböző képzettséggel rendelkező emberek számára más és más a célja, ugyanakkor mindenki számára egyértelműen ugyanazt kell jelentenie.

Az utóbbi években a tárgyterület oktatásában jelentős változtatások történtek. A változtatást indokolja a technológia fejlődése, új irányok megjelenése: mechatronikai rendszerek, robotizáció a járműiparban, gépi látás, mesterséges intelligencia. A hallgatóknak ezekben a témákban is ismeretekkel kell rendelkezniük. A robotok munkatereinek szerkesztése, annak átlátása és a gépi látás ráadásul sokkal mélyebb ismereteket igényel az ábrázoló geometria témaköréből.

A fentiekkel összhangban a BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Karán az

elmúlt időszakban jelentős változtatások történtek.

Évtizedekkel ezelőtt az volt az eljárás, hogy a hallgatók rajztermi gyakorlatokat végeztek állandó tanári felügyelet mellett, blokkosítva, az egyetemen. A hallgatók a tanszék modelltárából kapták az ábrázolni való különféle egyszerű szerkezeteket. A műszaki ábrázolás tantárgyat teljes egészében a félév első felében teljesítették, így a félév második felében több idejük maradt más tantárgyakra. Ennek a megoldásnak óriási előnye volt, hogy rögtön tudtak kérdezni, ha elakadtak, ugyanakkor hátránya, hogy kevés idő állt rendelkezésre az új ismeretek befogadására, érlelődésére. További problémát okozott a különböző képességű és előképzettségű hallgatók egyszerre haladása. A tanterv módosítása után a karon áttértek az előadás – gyakorlat felosztásra. Az előadásokon elhangzott az elméleti rész. A gyakorlatokon konkrét példákon keresztül, vezetett feladatmegoldáson vettek részt a hallgatók. Az anyag mélyebb elsajátításához szükséges volt a megfelelő mennyiségű házi feladat elkészítése is, melynek során a hallgatók önállóan tudtak elmélyülni az anyagban.

Az utóbbi évek tanterv módosításai során a műszaki ábrázolás félévek számát és a gyakorlati órák számát egyaránt jelentős mértékben csökkentették. Az elsajátítandó szükséges tananyag - amire építeni kellene - nem lett kevesebb, de bizonyos részek mégis elhagyásra kerültek, míg más területek csak érintőlegesen kerülnek szóba az órák keretein belül. Ennek előre látható következménye volt a színvonal csökkenése. Sajnos napjainkra ez már nem csak az egyetemi oktatásban, hanem az ipar részéről kapott visszajelzésekben is tükröződik. Jelen tanulmányban a legutóbbi óraszám csökkentés következményeit vizsgáljuk.

3. MÓDSZER

Vizsgálatainkhoz az utóbbi évek hallgatói eredményeit használjuk fel. 2015-ben a tárgy még a BSc képzés 1. félévében indult (összel) heti két óra előadással és két óra gyakorlattal. Ezt a kifutó képzést vesszük alapnak, annak ellenére, hogy már ez is csak egy jelentősen redukált formában zajlott a korábbi évtizedekhez képest. Ezután a tárgy átkerült a mintatanterv 2. félévére, és a gyakorlati

óraszámot megfelelték. Ennek a lépésnek két fő oka volt: a hallgatók kontaktóra terhelésének csökkentése és az oktatói óraterhelés csökkentése. Kimondott ok volt még, hogy egyes vélemények szerint ez a tananyag statikus jellegű, állandósult, és így megfelelő hallgatói motiváció esetén tankönyvből, online képzésből önállóan elsajátítható. A javaslat a már akkor felvetett problémákra az volt, hogy a hallgató otthon, önálló munkával pótolja a kontaktóra hiányt.

Tapasztalatunk alapján a műszaki ábrázolás olyan tantárgy, aminek megfelelő szintű elsajátításához bizonyos készségeknek ki kell alakulniuk. Ez csak rengeteg gyakorlással érhető el, csak az elmélet „bemagolásával” nem lehet eredményt elérni. Mivel a hallgatóknak sok gyakorlásra van szükségük, fontos számukra a megfelelő iránymutatás, valamint a visszacsatolás az elvégzett munka megfelelőségével kapcsolatban. Ez azt jelenti, hogy a gyakorlati órákon kívül jelentős mennyiségű – egyedi, önálló gondolkodást igénylő – házi feladatra van szükség. Ezek elkészítéséhez viszont szükséges az oktatók által biztosított jelentős mennyiségű konzultációs idő. Az elkészített házi feladatok javítása – egyediségük következtében – szintén komoly időráfordítást igényel a tárgy oktatói részéről. Feltételezésünk szerint a gyakorlati órák számának csökkentése (az iránymutatás elmaradása) a hallgatók munkáját nagyságrendileg megnehezíti. Sok esetben azt látjuk, hogy a hallgató sok időt fordít rá feleslegesen, a nem megfelelő „tévút” elsajátításába. Ezeket a hibákat vagy korrigálni tudja több konzultációval és plusz munkával, vagy csak későn derül ki a probléma és hibás rajzokat ad le (akár a házi feladatban, akár a zárthelyin). Ennek folyamánya természetesen az eredményesség romlása.

Ebben a tanulmányban megvizsgáljuk, hogyan változtak a hallgatói eredmények a gyakorlati órák felezésének következtében. Vizsgáljuk továbbá a tárgyat oktatók valós munkaterhelésének változását is. Több rutinos kollégával egyeztetve igyekeztünk megfelelő becslést adni a tárgy oktatásához kapcsolódó munkafolyamatok tekintetében. Egy kb. 20 fős gyakorlati kurzust vettünk alapul. Természetesen egy oktató általában nem egy,

hanem akár 5-6 gyakorlati kurzust is tart hetente a további tárgyai mellett. A felsőoktatásban oktatók számára ugyanakkor az oktatás mellett még heti kb. 15 órányi kutatás, projektmunka is elő van írva.

Eredetileg heti 2 gyakorlati óra (90 perc) volt a közvetlenül (elszámolt) oktatási idő hallgatói kurzusonként. Ezt tekintjük x -nek. Ebben az esetben azt mondhatjuk, hogy a gyakorlati órára történő lelkiismeretes felkészüléshez szükséges idő kb. $0,25x$, míg a konzultáció heti mértéke kb. $0,2x$.

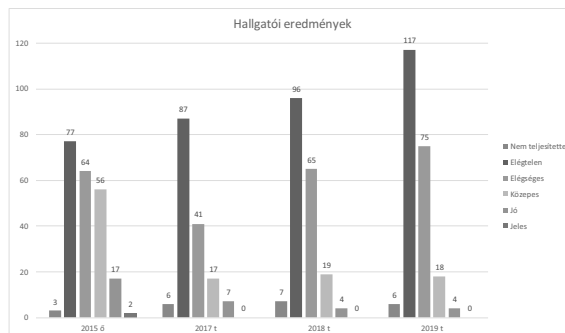
A munkaidő legidőigényesebb része a tárgyat oktató kollégák számára a rajzjavítás. Természetesen az eltérő feladatok eltérő idő alatt javíthatók. Általában a műszaki ábrázolás témakörében viszonylag egyszerű, gyorsan javítható feladatok találhatók. Ugyanakkor könnyű belátni, hogy egy „hibátlan” rajzot pillanatok alatt ki lehet javítani, míg a gyengébb, hiányos, hibás rajzok javítása már lényegesen időigényesebb. Tapasztalatunk alapján egy gyakorlati kurzus egy-egy házi feladatának javítási időigénybevétele annak minősége szerint: jeles – x , jó – $2x$, közepes – $3x$, elégséges – $5x$, elégtelen – $5x$.

Megállapíthatjuk továbbá, hogy az óraszám csökkenés következtében nem lehet befejezni a gyakorlatokat időben, így rendszeresen tovább tartanak az órák. Ez kb. $0,3x$ időterhelést jelent kurzusonként. A gyakorlati órák számának csökkenése miatt a hallgatók egyértelműen több konzultációs időt igényelnek ($+0,1x$).

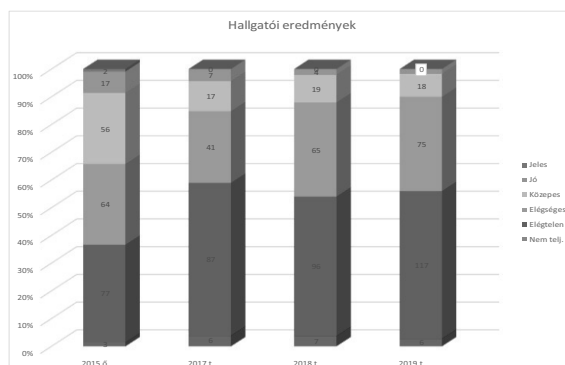
4. EREDMÉNYEK

Az 1. ábrán a hallgatói eredményeket (a különböző érdemjegyek darabszámát) láthatjuk az utóbbi négy tanév szemesztereiben.

Bár az 1. ábrából is látható, hogy az elégtelen és az elégséges érdemjegyek száma (jelentősen) emelkedett, míg a jobb érdemjegyek száma lecsökkent, azért érdemes lehet a jegyek eloszlását százalékosan is megvizsgálni, mert a hallgatói létszámok is változtak évről-évre (2. ábra).



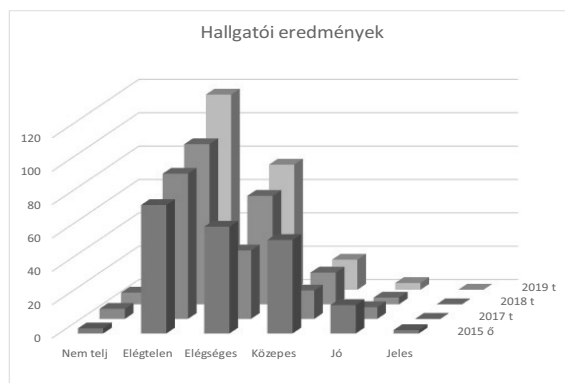
1. ábra. Az érdemjegyek darabszámai szemeszterenként



2. ábra. Az érdemjegyek darabszámai szemeszterenként

5. KIÉRTÉKELÉS

Érdemes megvizsgálni az egyes érdemjegyek alakulását külön is.

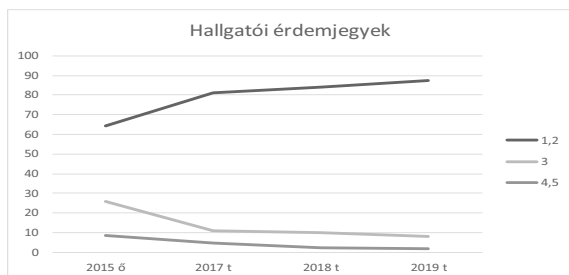


3. ábra. Az egyes érdemjegyek alakulása

A 3. ábrán jól látható, hogy a referenciaévnél tekintett 2015-ös évhez képest az elégtelenek száma drasztikusan nőtt, továbbá az elégségesek száma is folyamatosan növekszik, míg a közepes és jó érdemjegyek száma lecsökkent. A jeles érdemjegyet szerzők száma nulla lett. Ezek alapján könnyen belátható, hogy a gyakorlati óraszám megfelelése egyértelműen a hallgatói

eredményesség, valamint a színvonal csökkenéséhez vezetett.

Vizsgáljuk meg ezek után az oktatók munkaterhelésének változását is. Amit tudunk, hogy az elégtelen, illetve gyenge elégséges (határon billegő, „átmegy vagy nem?”) érdemjegyű rajzok javítása kiemelten időigényes. Érdeemes megnézni, hogyan alakultak ezek százalékosan.



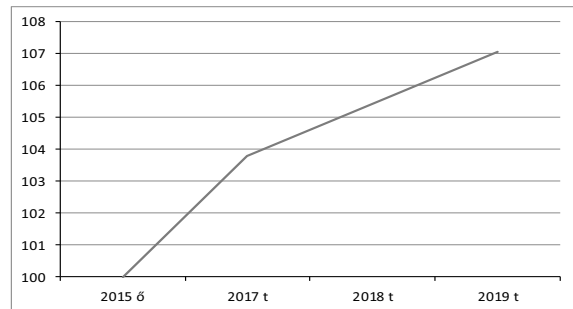
4. ábra. Az egyes érdemjegyek alakulása (1,2 és a 4,5 összevonva)

A 4. ábrán a diagramot megvizsgálva láthatjuk, hogy a nagy javítási munkaigényű rajzokat készítő hallgatók száma közel 50%-kal emelkedett (jelen pillanatban a hallgatók közel 90%-a), míg a könnyen gyorsan javítható jó és kiváló hallgatók száma a töredékére csökkent (jelen pillanatban a hallgatók 2%-a alatt). Ez azt is mutatja, hogy a javítási munkaidő igény igen jelentős mértékben megnőtt. Figyelembe véve az óraszámcsökkentést, a megnövekedett konzultációs igényt, valamint a konzultációba beleszámítva az órák meghosszabbításából adódó többletmunkát, az alábbi módon alakul a gyakorlatvezetők munkaterhelése.

1. táblázat. Az oktatók munkaidőigényének változása (a számértékek heti egy 90 perces gyakorlat számszorosságát jelentik)

	2015 ő	2017 t	2018 t	2019 t
Javítási munkaigény	4,150685	4,462025	4,554974	4,645455
Felkészülés	0,25	0,25	0,25	0,25
Gyakorlat	1	0,5	0,5	0,5
Konzultáció	0,2	0,6	0,6	0,6
Összes munkaigény	5,600685	5,812025	5,904974	5,995455
Összes munkaigény [%]	100	103,7735	105,4331	107,0486

A táblázat értékeiből is kiolvasható, valamint az 5. ábrán látható diagramon is jól látható, hogy a gyakorlatvezetők munkaterhelése az óraszámcsökkentés ellenére is nőtt (az eredeti, óraszám felezés előtti állapotot 100%-nak véve).



5. ábra. A gyakorlatvezetők munkaterhelésének alakulása

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalva megállapítható, hogy a műszaki ábrázolás oktatásában történt gyakorlati óraszám csökkentés valójában nem hozta meg a várt eredményeket. Vizsgálataink rámutatnak, hogy a vezetett gyakorlatok számának csökkentése a színvonal csökkenéséhez vezet. Mindezek mellett kijelenthető, hogy a hallgatók kárvallottjai az óraszámcsökkentésnek, ugyanakkor az oktatók sem jártak jól ezzel a lépéssel, hiszen láthatóan nem csökkent a munkaterhelésük, hanem még nőtt is.

További vizsgálatokat igényelne az is, hogy a színvonal-esés, milyen módon hat ki a felsőbb éves – a műszaki rajzra épülő – tantárgyakra. Feltételezhetően a hiányosságokból adódó problémák oda is begyűrűznek.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket nyilvánítják ki Bartha Miklós tanár úrnak aki tapasztalatával (130 szemeszter géprajz oktatás) és tudásával, információival nagy mértékben elősegítette a cikk elkészítését.

8. IRODALOM

- [1] Ficzer, P., Györi, M.: New Opportunities Of Dimensions In Machine Design Process, MACHINE DESIGN 10 : 3 pp. 135-138. , 4p. (2018)
- [2] Györi, M., Ficzer, P.: Use of Sections in the Engineering Practice, PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 45: 1 pp. 21-24., 4 p. (2017)
- [3] Ficzer, P., Györi, M.: A jelképes ábrázolásból adódó problémák vizsgálata gyárthatósági szempontból 2D-s ábrázolás és 3D-s testmodellek használata esetén, GÉP LXVII : 5-6 pp. 70-73. , 4 p.

GYÁRTÁSI PARAMÉTEREKTŐL FÜGGŐ RÉTEGKÖZI HIBÁK VIZSGÁLATA CAD SZOFTVEREKSEL

INVESTIGATION OF THE MANUFACTURING PARAMETER DEPENDENT INTERLAYER FAILURES BY CAD SOFTWARE

Lukács Norbert László – Dr. Ficzere Péter, PhD – Temesi Tamás

ABSTRACT

Nowadays the different 3D printed components are often produced for direct use. In this case the components need to be mechanical designed, therefore the material properties must be well known. It is a fact that the printing parameters have a significant effect on the printing quality. The interference between the printing parameters and the mechanical solidity is well known however the reason for this phenomenon is not. For an investigation a scanning electron microscope is needed. Our study is focused on the potential evaluation of results with the help of the CAD software.

1. BEVEZETÉS

Napjainkra az additív gyártástechnológiák túlnőttek azon, hogy csak marketingeszközként használják fel őket, így egyre gyakrabban fordulnak elő közvetlenül felhasználva szerszámként, vagy akár kis darabszámok esetén az alkatrészgyártásban is [1], [2]. A közvetlen beépítésre szánt alkatrészeket méretezni kell [3], melyhez az anyagjellemzők pontos ismerete szükséges. A legtöbb ilyen technológiára igaz, hogy a kész alkatrész tulajdonságait az orthotrop anyagmodellel lehet leírni [4], ami természetesen azt is jelenti, hogy az anyagjellemzők különböző irányokban eltérnek [5]. Természetesen a különböző gyártási eljárásokon és gyártási paramétereken túl, az adott alkatrész munkatérben történő elhelyezése (orientációja), valamint a felhasznált alapanyag is befolyásolja a végtermék mechanikai szilárdságát [6], [7].

Számos helyen foglalkoztak az anyagjellemzők meghatározásával, azonban annak mélyebb elemzése még várat magára. Az eddigi

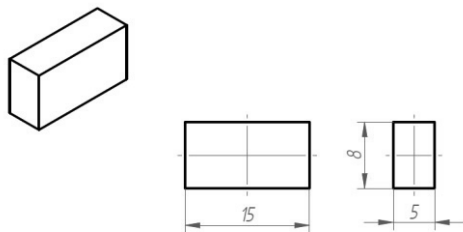
anyagvizsgálatok többnyire azt kutatták, hogy a lehetséges beállítási paraméterek közül a vizsgált tulajdonságokra miként hatnak, pl. a fúvóka hőmérsékletének változtatása hogyan befolyásolja az alkatrészek szilárdságát stb. Azzal általában már nem foglalkoztak, hogy miért van egy adott paraméternek ilyen vagy olyan hatása. Ennek vizsgálatához mélyebb elemzésre van szükség. A vizsgálat egy lehetséges módja, ha a különböző paraméterek mellett gyártott próbatesteket egy SEM (Scanning Electron Microscope) vizsgálatnak vetjük alá. Az elkészült felvételek kiértékelése jelentős rutint igényel. Néhány minta rögtön észrevehető a laikus számára is, a pontos számszerű eredmények elérése azonban nagyon időigényes feladat. Jelen tanulmány egy ilyen kiértékelés lehetséges módját mutatja be.

2. MÓDSZER

Vizsgálatainkhoz a legjobban elterjedt 3D nyomtatási eljárást, a Fused Deposition Modelling (FDM) választottuk. A próbatestek elkészítéséhez egy, a kereskedelmi forgalomban is kapható, népszerű nyomtatót használtunk (Prusa I3). Az eszköz lényeges tulajdonsága, hogy a nyomtatási paraméterek egymástól függetlenül széles tartományban változtathatók. Ezt a képességet kihasználva különböző hőmérsékletek, rétegvastagságok valamint nyomtatási sebességek mellett is elkészítettük ugyanazon geometriával rendelkező próbatestünket.

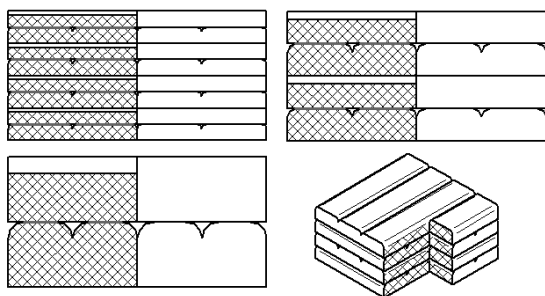
A próbatest geometriájának meghatározásánál fontos szempont volt, hogy abból gyorsan és egyszerűen lehessen előállítani a vizsgálatokhoz szükséges töreket. További szempont volt, hogy a próbatestek nagy száma

miatt azoknak a gyártása ne igényeljen irreálisan sok időt és ne használjunk feleslegesen sok anyagot.



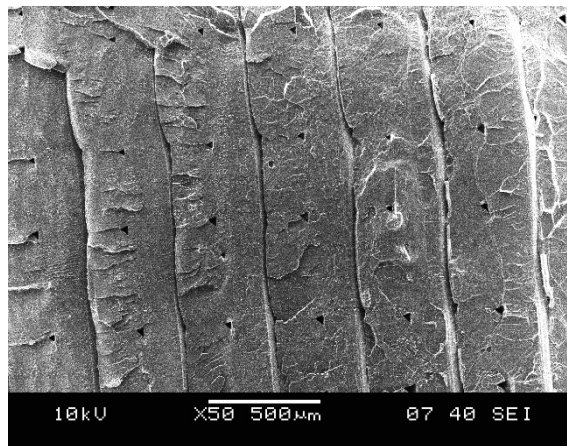
1. ábra. Próbatess méretei

A gyártás valamint a töretkészítés után minden darabról SEM felvételek készültek. A felvételek megértéséhez szükséges volt egy-egy értelmező ábra készítése, melyet az alábbi ábra mutat be.



2. ábra. A rétegvastagság növekedésével nő a rések nagysága (sorrendben 0,1, 0,2, 0,4 mm)

Ezt megfigyelve láthatjuk, hogy a nyomtató által lefektetett rétegek keresztmetszete nem teljesen téglalap alakú, pedig csak az biztosítaná a tökéletes térkitöltést. A lerakott szálak szélei mindkét oldalon „lekerekítettek”, ami alapvetően a fúvóka hengeres keresztmetszetéből adódik. A tökéletes térkitöltéshez ideálisabb lenne egy nem hengeres keresztmetszet, viszont az az ömledék áramlása és az egyenletes hőmérsékleteloszlás szempontjából problémás. Ezt figyelembe véve sejthető, hogy a rétegvastagság növekedésével a hibák átlagos nagysága is nőni fog, valamint könnyen felismerhetők a 3. ábrán látható minták is.

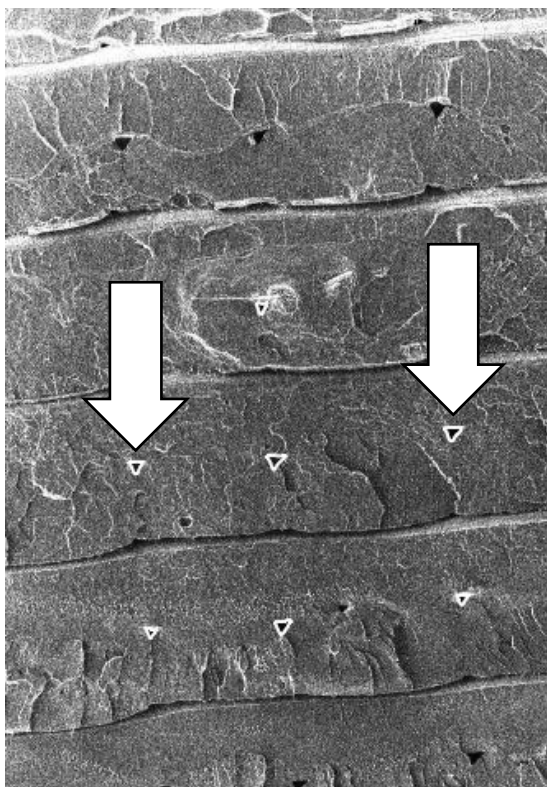


3. ábra. Egy 0,2mm-es rétegvastagsággal készült próbatess metszete. Jól láthatóak a szabályosan elhelyezkedő rések (a kép 90°-al elforgatva készült)

Vizsgálatunk célja az itt látható mintát alkotó hibák egzakt, számszerű méretének meghatározása, valamint ezen hibák hatásának megállapítása. Mivel az ábrán látható egy lépték, annak segítségével lehetséges a rések méreteinek pontos meghatározása. Képszerkesztő szoftverben megmérni az egyes hibák oldalainak nagyságát elvileg lehetséges, viszont nehezíti a dolgot a hibák szabálytalan alakja, a terület meghatározása pedig szintén problémás feladat.

A CAD rendszerekben azonban létezik egy olyan lehetőség, amivel zárt görbékkel határolt felület területét lehet meghatározni. Ráadásul a CAD rendszerek úgy vannak felépítve, hogy abban ún. NURBS (Non Uniform Rational Bezier Spline) görbékkel gyakorlatilag bármilyen görbe megfelelően közelíthető, így a réseket határoló görbék is. A 4. ábrán látható a rések közelítése NURBS görbékkel.

Fontos megjegyezni, hogy egzakt mérésekhez a vizsgálati síknak a szálakra merőlegesnek kell lennie. Csak így biztosítható, hogy a méretek valódi nagyságban látszódnak.



4. ábra. A NURBS görbékkel határolt rések

3. EREDMÉNYEK

A mérések a Solid Edge nevű CAD szoftverrel történtek, melynek műhelyrajz környezete megfelelő lehetőségeket biztosított az eredmények számszerűsítéséhez. A megfelelő méretűre nagyított képek, valamint a lépték segítségével a már körberajzolt réseket lehet mérni, a kapott értékeket összegezve és statisztikailag kiértékelve pedig megkapjuk az adott paraméterekhez tartozó átlagos résméreteket. A hibák egymáshoz képest egységesen ~0,4 mm-re helyezkednek el, ez pontosan a gyártáshoz használt fúvóka átmérője. A rések területének megállapításához hasonlóan megmérhetjük a rések azon hosszát is, amivel csökkentik az anyag a képhez képest merőleges irányú keresztmetszetét. Ezeket az értékeket számíthatjuk is, ha a réseket egyenlő oldalú háromszögnek vesszük (1).

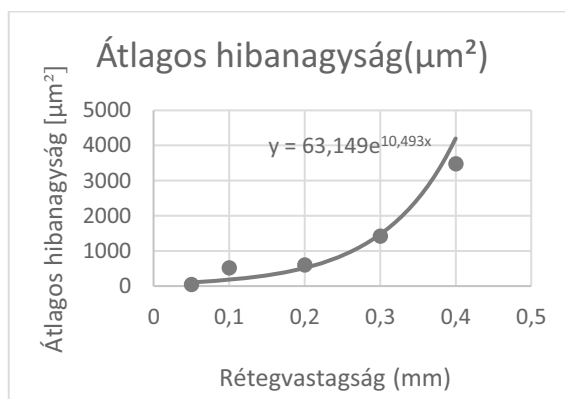
$$\text{oldalhossz} = \sqrt{4 \cdot \frac{\text{terület}}{\sqrt{3}}} \quad (1)$$

Ezekhez az értékekhez megállapíthatunk százalékos (a fúvóka átmérőhöz, próbatest keresztmetszethez mért) hibahosszokat. Mint ahogy azt az alábbi táblázat is megmutatja, a mért és számított eredmények között csak minimális eltérés tapasztalható. A táblázatban a szórás a mért hibanagyságokból számított hibahosszokra vonatkozik. Mint ahogy az adatokból is látszik, a hibák nagysága (területe), így hossza is jelentősen eltérhet a mintákon belül is.

	1	2	3	4	5
Átlagos hibanagyság (mm ²)	0,004	0,052	0,060	0,142	0,347
Átl. (számított) hibahossz (%)	2,451	8,277	9,164	13,91	21,50
Átl. (mért) hibahossz (%)	2,575	10,20	8,5	11,17	19,13
Átl. (sz.) hibahossz szórása (%)	17,38	32,55	20,64	25,86	33,37

5. ábra. A mért és számított eredmények között nincs jelentős eltérés

A következő ábra az átlagos résméret változását mutatja be a rétegvastagság változásának függvényében. Az itt látható eredmények hasonlóak ahhoz, mint amit előzetesen a magyarázó ábra alapján vártunk.



6. ábra. Az átlagos hibanagyság változása a rétegvastagság függvényében

4. KIÉRTÉKELÉS

A diagramot megvizsgálva láthatjuk, hogy a legkisebb átlagos résméret a 0,05 mm-es rétegvastagsággal készült próbatestre jellemző, e felett már folyamatos növekedés figyelhető meg.

A szakirodalmat kutatva találkozhatunk hasonló témában íródott kutatásokkal, melyek szakítóvizsgálatainak eredményei összefüggést mutatnak az általunk megmért hibák változásaival [8]. Jelen tanulmány konkrét mechanikai szilárdságot nem vizsgál, csak a hibák nagyságának változását írja le. Fontos megjegyezni, hogy a rétegvastagság csökkentésével a gyártási idő jelentősen megnő. Megjegyzendő továbbá, hogy a jelen tanulmányban feltárt hibáknak feltételezhetően – a statikus szilárdságon kívül – a dinamikus igénybevételek során is jelentős hatása van [9].

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az additív gyártástechnológiákkal gyártott alkatrészeket egyre gyakrabban közvetlen felhasználásra készítjük. Ilyen esetekben méreteznünk is kell, amihez az anyagjellemzők ismerete szükséges. Ismert tény, hogy a legtöbb eljárás meglehetősen érzékeny a gyártási paraméterekre. Azzal többnyire tisztában vagyunk, hogy egy bizonyos paraméter változtatása hogyan hat a mechanikai szilárdságra, de ennek okairól keveset tudunk. Egy mélyebb elemzéshez SEM vizsgálatra van szükség. Egy ilyen vizsgálat CAD rendszerek segítségével történő kiértékelési lehetőségeivel foglalkozik jelen tanulmány.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt a Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal támogatásával az NKIH 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.

7. IRODALOM

- [1] Kovács, N. K., Suplicz, A. Kovács, J. G.: Gyors prototípusgyártás, mint újszerű fröccsöntő szerszámozási technológia, műanyag- és gumipari évkönyv 9, pp. 45-53. 9 p. (2011)
- [2] Horváth, Á., M., Ficzere, P.: Rapid prototyping in medical sciences Production Engineering Archives / Archiwum Inżynierii Produkcji 8 : 3 pp. 28-31. , 4 p. (2015)

- [3] Ficzere, P., Kovács, N.K., Szebényi, G., Borbás, L.: Additív gyártástechnológiával előállított nagyrugalmasságú anyagok terhelhetőségi vizsgálata, GÉP LXX : 1 p. 43 (2019)
- [4] Ficzere, P., Borbás, L.: Experimental Investigation of the Shear Modulus in the Case of Pure Tensile Test Transactions of Fama 42 : 1 pp. 27-36. , 10 p. (2018)
- [5] Ficzere, P., Borbás, L.: Method to reduce the independent constants of orthotropic materials in rapid prototyping, In: 11th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics Brasov, Románia (2012) pp. 129-135. , 7 p.
- [6] Tisza, M., Tóth, D., Kovács, P. Z.: A 3D nyomtatás (FDM) paramétereinek vizsgálata, optimalizálása, GÉP 67 : 1-2 pp. 29-32. , 4 p. (2016)
- [7] Ficzere, P., Borbás, L., Falk, Gy.: Additív gyártástechnológiák alkalmazhatósági vizsgálata testreszabott orvosi implantátumok méretezéséhez, Biomechanica Hungarica 11 : 2 pp. 69-75. , 7 p. (2018)
- [8] Kuznetsov, V.E.; Solonin, A.N.; Urzhumtsev, O.D.; Schilling, R.; Tavitov, A.G. Strength of PLA Components Fabricated with Fused Deposition Technology Using a Desktop 3D Printer as a Function of Geometrical Parameters of the Process. Polymers 2018, 10, 313. DOI: doi:10.3390/polym10030313
- [9] Ficzere, Peter ; Borbás, Lajos, Experimental dynamical analysis of specimens' material properties manufactured by additive technologies, MATERIALS TODAY: PROCEEDINGS 12 pp. 352-357. , 6 p. (2019)
- [10] Ficzere, P. "Experimental Dynamical Analysis and Numerical Simulation of the Material Properties of Parts Made by Fused Deposition Modelling Technologies", Periodica Polytechnica Transportation Engineering. doi: https://doi.org/10.3311/PPtr.13947.

EMBER- ELEKTROMOS HIBRID JÁRMŰVEK NAPI HASZNÁLATA A KÖZEPES MÉRETŰ VÁROSOKBAN

COMMUTING WITH HUMAN-ELECTRIC HYBRID DRIVES IN MEDIUM-SIZED CITIES

Sarka Ferenc, egyetemi docens, Bihari János*, egyetemi docens*

1. ABSTRACT

There are several researches that examine the traffic of European cities. The congestion level of cities cannot be ignored neither in logistical planning. The congestion of vehicles has a number of harmful public health and economic impacts. At the University of Miskolc at the Institute of Machine and Product Design researches on the design and the use of human-electric hybrid vehicles started in 2011. In the last few years the University is getting overcrowded. This is why we feel that the examination of such vehicles should be linked to the measurement of access times.

2. BEVEZETÉS

Számos olyan kutatás készül, amely az európai nagyvárosok közlekedési helyzetét vizsgálja. A városok zsúfoltsági szintje ma már a logisztikai tervezés során sem hagyható figyelmen kívül. A legtöbb kutatás azonban csak a nagyvárosokat és azok környezetét vizsgálja, miközben bizonyos feltételek teljesülése esetén Miskolcon is kialakulnak torlódások. A Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézetében 2011-ben kezdődtek meg az ember-elektromos hibrid járművek tervezésével és alkalmazásával kapcsolatos kutatások. Az elmúlt években az egyetemen jelentősen nőtt a zsúfoltság, ezért éreztük úgy, hogy az ilyen járművek alkalmazhatóságának vizsgálataihoz szorosan kell kapcsolódnia az elérési idők mérésének. Egy olyan kísérletsorozatot kívánunk elvégezni, amelyben alaposan elemezzük az ilyen járművek használatának valós korlátait, előnyeit és hátrányait. A sorozat első eleme egy 2017. májusában lezajlott kísérlet volt, amelyben a Miskolci Egyetem hallgatói és oktatói vettek részt. A kísérlet során a Miskolci Egyetemről indulva két, Miskolc belvárosában található célpont elérési időit vizsgáltuk

különböző közlekedési eszközök használata esetén, figyelembe véve a kapcsolódó időket is.

3. AZ EMBER-ELEKTROMOS HIBRID JÁRMŰVEK

Ebbe a csoportba azokat a járműveket soroljuk, amelyek hajtása alapvetően emberi erővel történik, és a hajtást elektromos motor, vagy motorok támogatják. Így azok a segédmotoros kerékpárok, amelyek ugyan fel vannak szerelve pedállal, de emberi erővel hajtva nem alkalmasak folyamatos közlekedésre, a tisztán elektromos járművek közé tartoznak. A legelterjedtebb ember-elektromos hibridek az elektromos kerékpárok, a pedelecek és az ún. S-pedelecek, két, ritkábban három, vagy négykerekű kivitelben.

4. A KÍSÉRLET ÖTLETE

A járművekkel, közlekedéssel foglalkozó tantárgyak keretein belül megkerülhetetlen téma a járművek alkalmazási területeinek tárgyalása, mely során a hallgatók is beszámolnak a tapasztalataikról.

A Miskolci Egyetem elérése a csúcsidőszakokban egyre nehezebb személygépkocsival, állandósultak a parkolási problémák, számos jármű parkol tilosban, a reggeli órákról a hallgatók gyakran késnek forgalmi akadályokra hivatkozva. Ilyenkor felmerül a kérdés, hogy a megfelelő közlekedési eszközt választották-e. Azonban alaposan átgondolva ezt a kérdést, be kell látnunk, hogy valójában nehéz megalapozottan dönteni hiszen a többség kizárólag azokat az közlekedési eszközöket használja, amik elérhetőek a számára, mások pedig kizárólag érzelmi alapon döntenek. Így merült fel, hogy érdemes lenne azonos feltételekkel összehasonlítani különböző közlekedési eszközöket, az érzelmi aspektusokat teljesen

kizárva. Először irányított beszélgetésekkel felmértük, hogy a hallgatók miért használnak valamilyen közlekedési eszközt, és miért nem használnak más közlekedési eszközöket. A beszélgetések során megkérdeztük azt is, hogy ki mennyi idő alatt ér az egyetemre a napi bejárás során, és milyen útvonalakat használ. A kapott információk alapján merült fel annak az ötlete, hogy érdemes lenne egy elérési vizsgálatot folytatni, ami az elméleti összehasonlítást gyakorlati tapasztalatokkal egészítheti ki.

5. A KÍSÉRLETBEN HASZNÁLT JÁRMŰVEK

A kísérlethez a hallgatókat csoportokba osztottuk. A hallgatók egy része jellemzően tömegközlekedéssel vagy személygépkocsival jár az egyetemre, de néhányan kerékpárt vagy motorkerékpárt is használnak. Ember-elektromos hibridet senki sem használ, ebben a csoportban olyan sem volt, aki akár csak egy rövid próba erejéig közel került volna ilyen járműhöz.



1. ábra: A kísérletben használt egyik ember-elektromos hibrid. A 250 wattos motor az első kerékagyba van beépítve, az akkumulátor a csomagtartó dobozban található.

A Gép- és Terméktervezési Intézetben több éve folynak kutatások ilyen járművekkel, így ehhez a kísérlethez két kerékpárt választottunk. Az egyik ilyen járművet a jelentkezők közül olyan személy kapta, aki gyakorlott kerékpáros, a másikat pedig olyan személy, aki tud kerékpározni, de nem szokott.

Ezen kívül két hallgató saját, nem elektromos rásegítésű kerékpárral vett részt a kísérletben. Két csapat személygépkocsival vett részt, egy csapat tömegközlekedést használt. Ezen kívül egy személy segédmotoros kerékpárral, egy személy motorkerékpárral járta be az előírt útvonalat.

6. A KÍSÉRLET ÚTVONALÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Mivel a hallgatók többsége a kerékpározás hátrányai között fő helyen említette, hogy nem tartja biztonságosnak, előnyben részesítettük a zárt kerékpárutakat. Ugyanakkor a torlódások mindig a belváros irányából alakulnak ki, tehát szükség volt belvárosi célpontokra is. A végleges útvonal így két célpontot tartalmazott. Először el kellett jutni a Miskolci Egyetem A/4 épület 115. terméből Miskolc belvárosában a Kazinczy utca 2. szám előtt található Mancs kutya szobráig, itt fényképet kellett készíteni a szoborral, majd innen el kellett jutni az Erzsébet térre a MAB székházáig, ahol fényképet kellett készíteni az épületről. Innen pedig vissza kellett jutni a Miskolci Egyetem A/4 épület 115. termébe.

7. AZ ELÉRÉSI IDŐK MEGHATÁROZÁSA

Az elérési időkön sokan tévesen csak a mozgással és a közlekedéssel összefüggő várakozással töltött időt számítják bele, holott ez az idő jelentősen összetettebb lehet. Ebben az esetben a teljes elérési időt vettük figyelembe, azaz a teremből indulva el kellett jutni a buszmegállóba, a gépkocsik parkolási helyéig vagy a kerékpártárolóig. Ezután a következett az elhelyezkedés a járművekben, a kerékpárok lakatjainak nyitása, a motorkerékpároknál a bukósisak és kesztyű felvétele és hasonló tevékenységek. A célpontok megközelítésekor pl. személygépkocsival parkolóhelyet kellett keresni és gyalog megtenni a maradék utat, a tömegközlekedésnél fontos volt a megfelelő megállóhely kiválasztása. A gyalogosan megtett részútvonalakon kényelmes sétatempóban kellett sétálni. Az összes résztvevőnek be kellett tartania a közlekedési szabályokat. Az elérési idők így a tényleges elérési időket jelentették összehasonlítható módon.

8. A KÍSÉRLET VÉGREHAJTÁSA

A kísérletben hat csapat vett részt önkéntes alapon. A csapatok egyszerre indultak a járművekhez, illetve a buszmegállóhoz. A kerékpár és az ember-elektromos hibridek esetén fontos volt, hogy a résztvevők kényelmes tempóban haladjanak, úgy, hogy ne fáradjanak el jobban, mint sétálás közben.

A kezdetektől problémát jelentett az idők dokumentálása. Végül a résztvevők stopperrel

mérték az időket az egyes célpontokig, így viszont az egyes megállásokat nem lehetett rögzíteni. A csapatok használtak nyomkövető alkalmazásokat is, amikben látszanak a megállások, de az okaik nem. Itt problémát jelentett, hogy a csapattagok nem azonos eszközökkel rendelkeztek, így nem tudta minden csapat ugyanazt az alkalmazást használni. A tömegközlekedést és az egyik személygépkocsit használó csapat ugyanazzal az alkalmazással rögzítette az útvonalát, ezek közvetlenül is jól összehasonlíthatók.

A kísérlet legfontosabb eleme azonban a kerékpárok és ember-elektromos hibridek használhatósága volt. Ezek nyilvánvalóan akkor tekinthetők jól használhatónak, ha a velük elérhető átlagsebesség jelentősen magasabb a tömegközlekedéshez, és nem jelentősen alacsonyabb a személygépkocsikhoz viszonyítva. A kerékpárok esetében az elérhető átlagsebesség függ a kerékpáros kondíciójától, de az ember-elektromos hibridek esetén egy adott határig független tőle.

A kísérlet napja 2017. 04. 24. volt, a résztvevők 12:06 perckor indultak el a tanteremből. Az időjárás száraz volt, 20 °C körüli hőmérséklettel.

Az egyik autós csapat az E/2 kollégiumnál parkolt, a másik az A/4 épület előtti részen. A kerékpárok az A/4 épület előtti tárolóban voltak, kulccsal zárható lakatokkal rögzítve. A segédmotoros kerékpár az A/3 épület mögötti részen parkolt, a motorkerékpár az A/3 épület végénél. Ez az elrendezés jól szimulálta azt a helyzetet, hogy mindenkire ott vár a járműve, ahol el tudta helyezni az adott napon az egyetemre érkezéskor. Mivel ez az első kísérlet volt, ez az időpont kedvezőnek tekinthető olyan szempontból, hogy ilyenkor a kicsi a forgalom a bejárt útvonalon.

Minden csapat ugyanazt az útvonalat választotta a Mancs szoborig, a Miskolctapolcai út – Csabai Kapu – Görgei Artúr utca – Szemere Bertalan utca útvonalon haladtak. A gépjárművek az Arany János utcában parkoltak le. Innen a kerékpárral és a tömegközlekedéssel közlekedők számára voltak alternatívák az Erzsébet térig, de ez a két csapat a Széchenyi István úton haladt. A gépjárművek ezen az útvonalon nem közlekedhetnek, ezért azok gyakorlatilag egyetlen útvonalon közelíthették meg az Erzsébet teret, az Uitz Béla utca és a Kálvin János utca igénybevételével. A tér közelében a motorkerékpár és a segédmotoros kerékpár

szabályosan parkolhat a járdán, mert az elég széles, a személygépkocsiknak kissé távolabb kellett parkolóhelyet keresniük, a Városház tér melletti parkolóban.



2. ábra: Az egyik csapat a Mancs szobornál.

Visszafelé a tömegközlekedők és a kerékpárok az addig bejárt útvonalon haladtak, a gépjárművek közül az egyik személygépkocsi választotta még ezt az útvonalat, a többi gépjármű a Hideg sor - Ruzsinszőlő dűlő – Csermőkei út, illetve a Hideg sor – Klapka György út érintésével jutott vissza az Egyetemvárosba (az egyik csapat eltévedt).

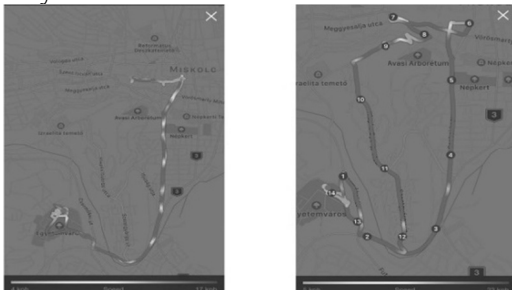
9. A KÍSÉRLET EREDMÉNYEI ÉS AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Az adott napon leggyorsabban a motorkerékpár érte el a célpontokat, elsősorban a parkolás egyszerűsége miatt. Az ilyen járműveken szükséges öltözködés, mint a bukósisak, kesztyű és kabát fel- és levételével együtt is kevesebb időt tölt a vezető parkolóhely kereséssel és beparkolással, mint a személygépkocsik utasai. A segédmotoros kerékpár lassabban haladhat, mint a személygépkocsik, ezeken az útvonalakon ennél a járműnél az elérési idő a parkolás egyszerűségét is figyelembe véve a személygépkocsikkal azonos. A kerékpárok elérési ideje a Mancs szoborig kb. 50%-kal volt hosszabb, mint a személygépkocsiké, de a Mancs szobortól az Erzsébet térig annak csak a fele volt, köszönhetően a kerékpárok számára megnyitott rövidebb, kevesebb közlekedési lámpát tartalmazó útvonalnak. A tömegközlekedés időigénye jelentősen nagyobb minden más közlekedési eszköznél. Ezen az útvonalon a megálló távolsága viszonylag kicsi, ezért a tömegközlekedési eszközök nagyon sokszor állnak meg.

	UNI- Mancs	Mancs- MAB	MAB- UNI
Szgek1.	11	8	24
Szgek2.	10	8	24
HE hibrid	16	4	19
Mkp.	8	7	9
Smkp.	10	7	11
Tömeg.	42	8 (gyalog)	46

1.táblázat. A célpontok elérési ideje percben

A kísérlet túlságosan ideális körülmények között zajlott, ezért igazán megalapozott következtetéseket nem lehet levonni belőle. Az időjárás nagyon kedvező volt, így a kétkerekű járművek akadálytalanul haladhattak. A forgalom nagyon enyhe volt, a személygépkocsik akadálytalanul haladhattak a megengedett sebességgel, kihasználva a zöldhullámot. Az útvonal mindössze egyetlen olyan útvonal, amit a hallgatók gyakran használnak, és miskolci viszonylatban viszonylag sík, ami szintén nagyobb sebességet tesz lehetővé még az ember-elektromos hibridek számára is. Nem ismert az sem, hogy a kerékpárosok mennyire fáradtak el. Ezért ez a kísérlet egy kísérletsorozat alapjának tekinthető, ahol az elérési időket csak korlátozottan érdemes figyelembe venni, de a tapasztalatok alapján kialakítható olyan módszer, ami jól használható adatokkal szolgál. Az ember-elektromos hibrideket ezen a napon olyan hallgatók vezették, akik sohasem használtak még ilyen járműveket, ugyanakkor gyakran járnak személygépkocsival a városban. Mindannyian azt nyilatkozták, hogy amennyiben meg tudnák fizetni, szívesen választanák ezeket a járműveket sok esetben a személygépkocsi helyett.



3. ábra: a tömegközlekedés (bal oldalon) és a személygépkocsi (jobb oldalon) összehasonlítása térképen. A világos részek a lassításokat, megállásokat, gyalogosan megtett távokat jelölik.

10. A KÉSŐBBI KÍSÉRLETEK SZEMPONTJÁBÓL FONTOS TAPASZTALATOK

Az idők mérését és az útvonalak rögzítését egységesíteni kell. Amennyiben ez megvalósul, akkor nem kell szervezett csoportokat használni, hanem az egyes résztvevők önállóan, a napi utazásaik során rögzíthetnek adatokat.

Ebben az esetben nem csak az elérési idők, hanem a költségek is megjelenhetnek az adatok között. Hosszabb távon érdemes lehet egy saját alkalmazás kidolgozása, amelyben gyorsan megjelölhetők az egyes akadályok, megállási okok. Vezetés vagy kerékpározás közben veszélyes, így nem várható el a jegyzetelés, rövidebb távon ezért vagy mozgókép-rögzítéssel lehet követni a teljes útvonalat, vagy hangrögzítőre lehet mondani az egyes megállási, lassítási okokat. A kísérletben logisztikai mérnök hallgatók vettek részt, így a közvetlenül a logisztika területéhez tartozó elemek, mint az útvonalak és idők rögzítési módja, hallgatói feladatként is kiadhatók.

11. FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1]: Straßenverkehrsgesetz (StVG) § 1 Zulassung.
- [2]: <https://www.gov.uk/electric-bike-rules>
- [3]: 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet a közúti közlekedés szabályairól

13. 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.

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

KENÉS NÉLKÜLI FOGASKERÉKHajtóművek kopásának VIZSGÁLATA ÉS ELŐREJELZÉSE

INVESTIGATION AND PREDICTING OF WEAR IN NON LUBRICATED GEAR DRIVES

Sarka Ferenc, egyetemi docens*

1. ABSTRACT

The research presented in the article took place in the second half of 2018, in which we tried to apply the linear wear theory to estimate the wear of non-lubricated open gears. In the first part of the publication we present the basics of linear wear theory. In the second half, the actual test will be presented, which was done together with an industrial partner. The goal of the research was to extend the lifetime of the engines used by the partner.

2. BEVEZETÉS

A kopás a gépelemek egyik jellemző károsodási, tönkremeneteli formája. A kopás során az egymáson elmozduló alkatrészek anyagot távolítanak el egymás felületéről. Ezáltal a méretek és ebből kifolyólag a tűrések és az illesztések, geometriai méretek változnak. A kopás során akár szilárd illesztésből, laza illesztés válhat. A gépelemek tervezése során törekszünk arra, hogy a kopás értékét minél alacsonyabb értéken tartsuk. A kopás mértékének növekedésével a gépelem egy idő után működésképtelenné válik és cserére szorul. Az elhasználódott alkatrészből hulladék lesz, mely korunk egyik, ha nem a legnagyobb problémája [6]. Ezért fontos, hogy minél jobban és egyszerűbben tudjuk vizsgálni, előre jelezni a várható élettartamot a különböző gépelemek esetében.

A kopás alacsony szinten tartásához egyik lehetőség a kenés alkalmazása, mely kenőanyag az esetek többségében egy súlyosan környezetre ártalmas anyag, így annak használatát is körültekintően kell tervezni. Másik lehetőségünk a kopás mértékének csökkentésére, hogy keményített felületeket használunk. A felületek keményítése, hőkezelése energiabefektetéssel jár, így ennek

a technológiai lépésnek is van a környezetre gyakorolt káros hatása.

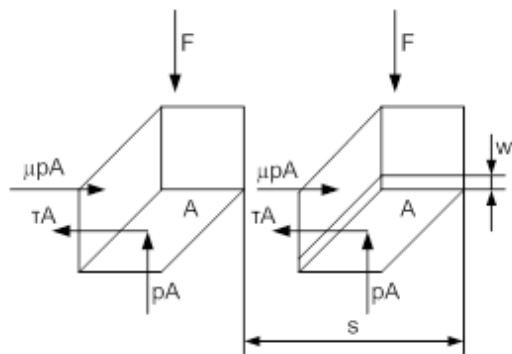
A kopás szempontjából vizsgálódva, sajnos vannak olyan esetek, amikor a kenést nem tudjuk alkalmazni különböző okok miatt. Ilyen tipikus eset a belső égésű motorok önindítójánál alkalmazott kenés nélküli, nyitott hajtóművek. A cikk az ilyen hajtóművek kopási jelenségeit kívánja bemutatni a lineáris kopási elmélet segítségével.

3. A LINEÁRIS KOPÁSI ELMÉLET, A KOPÁS MÉRŐSZÁMAI

A kopás mértékének legegyszerűbb meghatározása, ha kategóriákba soroljuk azt a kopás képe alapján. Így alakult ki a műszaki gyakorlatban az enyhe és a súlyos kopás kategóriája [3]. Ez a fajta nagyon leegyszerűsítő besorolás a műszaki gyakorlatban sajnos nem elegendő, ezért valamilyen jól definiálható mérőszámmal kell a kopás nagyságát meghatározni. A jelenlegi mérnöki gyakorlatban a kopás, mint hosszúság mérték, illetve a kopási ráta, mint viszonyszám, a kialakult mérőszámok a kopás mértékének megadására. A későbbi fejezetekben a mérőszámokat részletesen bemutatjuk.

3.1. A kopás (w) és a kopási tényező (K)

A kopás nagyságának meghatározásához az 1. ábra jelöléseit használva jutunk el. Vegyünk egy síkfelületet, melynek nagysága A . A felületek között kialakuló nyomás nagysága p . A felületek között fennálló súrlódási tényező μ . A kopás nagyságának mérőszáma pedig w , melyet mm-ben vagy inch-ben fejezünk ki.



1. ábra. A kopás nagyságának meghatározása, egymáson elmozduló felületek esetén

A súrlódó erő által, s úton végzett munka nagysága arányos a lekopott térfogattal. Az arányossági tényezőt K -val jelölt kopási tényezőnek nevezzük, mely magában foglalja a felületek között fennálló súrlódási tényezőt is. A megtett út helyett az elmozdulás sebességét és a mozgás idejét felhasználva juthatunk el az (1) egyenlethez. [1].

$$w \cdot A = K \cdot p \cdot A \cdot v \cdot t \quad (1)$$

Ez a számítás elvileg könnyen elvégezhető, a K tényező ismeretében. A kopás nagysága könnyen számítható, illetve adott kopás értékhez az elmozdulás nagysága, vagy akár a működés ideje is előre jelezhető. Sajnos a K tényezőre vonatkozóan az irodalmi adatok igen szűkszavúak. Az [1] irodalomban található tizenkét anyagminőség esetében K -ra érték, melyek nem a mérnöki gyakorlatban gyakran alkalmazott anyagok.

3.2. A kopási ráta és az Archard-féle kopási állandó

A vonatkozó irodalmat tovább kutatva egy másik mennyiséget is találunk a kopás mértékének kifejezésére. Ez a mennyiség a kopási ráta. Mivel rátáról van szó, valamilyen viszonyszámot képezzünk. A kopási ráta a lekopott anyag térfogatának és az elmozdulás távolságának hányadosa. Ebből kifolyólag a mértékegysége $[m^2]$. A kopási ráta a (2) összefüggéssel számítható. [2].

$$W_r = K_A \cdot p \cdot A \quad (2)$$

A (2)-ben megjelenő W_r a kopási ráta, a K_A az Archard-féle kopási állandó $[Pa^{-1}]$, p az érintkező felületek között kialakuló nyomás, A az érintkező felületek nagysága. A K_A tényezőre vonatkozóan a [2] irodalom közöl

értékeket a műszaki anyagok széles körére vonatkozóan. A számítás elvégzése egyszerű, az Archard-féle (Reye – Archard – Khrushchov) kopási állandó kiválasztása a közölt [2] diagram alapján már bizonytalanságot hordoz magában.

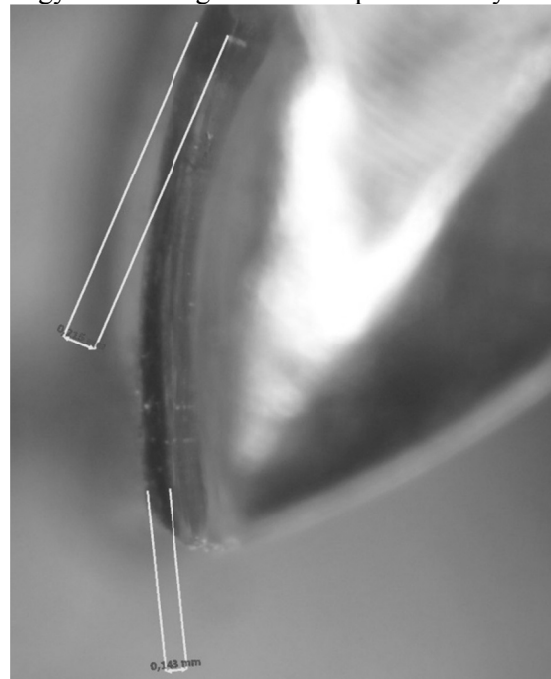
A szakirodalom további kutatása során, további összefüggésre bukkantunk a kopás számítására vonatkozóan. A [3] irodalom útmutatása szerint a kopás nagysága egyenesen arányos a terheléssel (F) és a kopási tényezővel (K), illetve fordítottan arányos a vizsgált felület keménységével (H) (3).

$$w = K \frac{F}{H} \quad (3)$$

A K tényező értékére a [3] irodalom nyolc különböző műszaki anyagra ad értéket. A (3) egyenlet nem minden terhelési tartományban ad jó közelítő eredményt, melyre vonatkozóan a [3] irodalom ad meg adatokat diagramm formájában.

4. A KOPÁS VIZSGÁLATA ÉS MÉRTÉKÉNEK MAGHATÁROZÁSA A VALÓS HAJTÓMŰVÖN

A munkánkat a megbízótól kapott hajtómű vizsgálatával kezdtük. A hajtómű kiskerekén jelentős mértékű kopással talákoztunk, míg a nagykeréken alig látható a kapcsolódás nyoma.



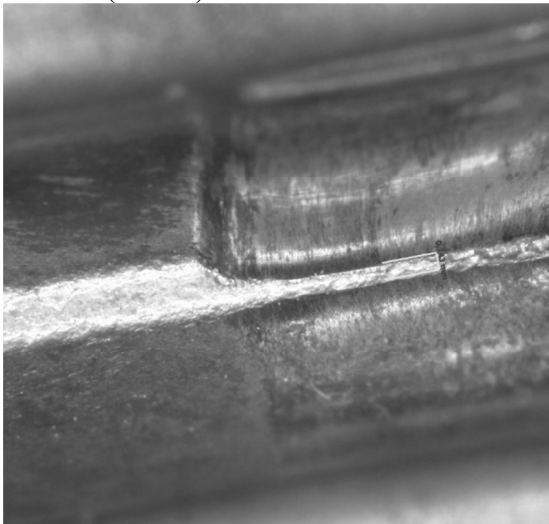
2. ábra. A kiskeréken létható kopás, a mikroszkóp felvételen

A hajtás áttétele 10,385, mely hengeres kerek esetén nagynak mondható. Ebből adódóan a kiskerek fogai sokkal többször kapcsolódtak, mint a nagykerék. A kopásnyomokat az intézetünkben található Zeiss Discoverey v12 típusú mikroszkóp segítségével végeztük. Több felvételt készítettünk a kopásnyomokról. Az alkalmazott mikroszkóp és a hozzákapcsolódó szoftver (Axio Vision) lehetőséget adott arra, hogy a képen távolságméréseket végezhessünk. A szoftver és a mikroszkóp segítségével megmértük a kopás nagyságát.

A mérésről készült fotók a 2.-3. ábrák. A mikroszkópos felvételen megfigyelhető, hogy a kopás nagysága a fogprofil mentén változik. A fogprofil végén (fogvégen) kisebb 0,14 mm, míg a foglábánál 0,215 mm nagyság mérhető (2. ábra). Egy normál körülmények között működő hajtómű esetében ilyen mértékű kopás esetén a fogaskerék már hibás gépelemnek minősül. Az indítómotorok esetében viszont még nem, ugyanis a hajtás még ellátja a feladatát, vagyis képes a belsőégésű motort hajtani a beinduláshoz szükséges ideig.

A mikroszkópon mért értékek még nem haladnak túl a keményített réteg mélységén. A kiskerek alkatrészrajzán $0,7 \pm 0,2$ a keményített réteg vastagságának előírása, illetve a keménység értéke 600 - 800 Vickers között kell legyen. Hogy valóban így van-e, azt a keménység ellenőrzésével igazoltuk is**.

A kerék fejszalagján is jól látható a kopás mértéke (3. ábra).



3. ábra. A fejszalag vastagságának változása.

A kopás hatására, gyakorlatilag a fejszalag eltűnt. A hajtókerék fogazatán már beépítés előtt láthatók a fogkihegyesedés jelei, melyet az alkalmazott profileltolás okoz. A

profileltolás alkalmazása az alámetszés elkerülése miatt történik. A kialakuló nagymértékű kopás tovább fokozva a fogkihegyesedés jelenségét.

A kopás miatt további hátrányos változások is történnek. Ilyen a kapcsolószám változása, mely a kopás következtében tovább csökken az egyébként is igen alacsony értékhez képest. A hajtás tervezett kapcsolószáma az ajánlott 1,15 alatt van [5].

A kopás következtében nő a foghézag, mely szintén hátrányos a hajtás egyenletes járása és zaja tekintetében.

5. A KOPÁST OKOZÓ MOZGÁSOK FELTÁRÁSA A VIZSGÁLT HAJTÓMŰBEN

A munkánkat a továbbiakban azzal folytattuk, hogy felderítsük azokat a mozgásokat, melyek kopást eredményezhetnek a hajtómű fogazatán.

5.1. A fogkapcsolódásból származó mozgások

A fogkapcsolódás elméletéből tudjuk, hogy tiszta gördülés a két fogfelület között csak a kapcsolódás főpontjában van. Minden főponton kívüli pontban már a gördülés mellett csúszás is megjelenik. Minél távolabb vagyunk a főponttól a csúszás mértéke annál nagyobb. A csúszás megjelenésének oka, hogy a két fogfelület evolvens görbéjén a kapcsolódási pont más-más távolságot tesz meg [5]. A csúszás sebessége a fogprofil mentén a már hivatkozott [5] irodalom alapján, vagy mérnöki szoftverek segítségével (pl.: KISSsoft) számítható. Munkánk során egy átlagos csúszási sebességgel kalkuláltunk, melyet állandónak vettünk föl, a kapcsolódás során.

5.2. A bekapcsolás folyamatából származó mozgások

A munkánk során olyan hajtóművet vizsgáltunk, mely a gépkocsi önindítójának a hajtóműve. A hajtómű két fogaskereke, csak az indítási folyamat alatt kapcsolódik, máskor egymástól szétválasztva vannak. A hajtás nagykeréke a belsőégésű motor lendítőkerekén található, míg a hajtómű kiskereke az indítómotor tengelyén. A kiskerek a kapcsolódási folyamat során tengelyirányú mozgást végez. A mozgás közben a két fogaskerék közötti közös fogszélesség folyamatosan változik nulláról a maximális értékre. Sajnos miután a közös kapcsolódási fogszélesség elérte a maximumát, a kiskerek axiális irányú mozgása nem szűnik meg. A

mozgása továbbra is axiális irányú marad, de a közös fogszélesség csökkenésének irányában mozog. A közös fogszélesség nem szűnik meg teljesen, majd a mozgás iránya ismét megváltozik. Mire a kerék nyugalmi állapotba kerül és további axiális mozgást nem végez, három, oda-vissza ciklus történik, egyre csökkenő amplitúdóval. Ez a fajta mozgás a fogaskerek között, nagy terhelés alatt megy végbe, mely igen nagy koptató igénybevételt jelent a fogak számára. A mozgás sebességének és hosszúságának meghatározására jó módszer lehet egy nagysebességű kamerával készített felvétel. Sajnos ilyen nem áll rendelkezésünkre, a kiskerék axiális irányú alternáló mozgásának hatását a kopásra nézve nem tudtuk pontosan meghatározni, de meglátásunk szerint jelentős mértékű.

A kopás szempontjából további fontos jelenség, amikor a kiskerék kapcsolódásba kerülése nem zökkenőmentes. Ilyenkor a kiskerék és a nagykerék homlokfelületével érintkeznek és egy ideig „dörzshajtásként” működnek. Egészen addig míg végül a kiskerék foga be nem ugrik a nagykerék fogárkába. Ilyenkor a két keményített felület mintha forgácsolná egymást. A leváló szemcsék egyenesen a kapcsolódó fogfelületek közé kerülhetnek, melyek tovább rontják a két fogaskerék közötti súrlódási viszonyokat.

Egy további jelenség, szintén kapcsolódásba lépéskor, amikor a kiskerék fog ugyan a nagykerék fogárkába kerül, de ott kapcsolódásba nem tud lépni, hanem onnan kiugorva a következő fogárokba kerülve lép kapcsolódásba. Ez a jelenség szintén egy nagy koptató igénybevételt jelent a fogazat számára.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A munkánkat összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a szakirodalomban található kopási elméletek igen sok bizonytalanságot hordoznak magukban. Leginkább a kopási tényező és annak megválasztása területén. Amennyiben viszont pontos adatok állnak rendelkezésre, a lineáris kopási elmélet alkalmazása a kenés nélküli nyitott hajtóművek esetében jó segítség lehet a tervező mérnök számára a fogaskerék-hajtás élettartamának előrejelzéséhez.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1]: Josep E. Shigley – Charles R. Mischke –

Richard G Budynas: Mechanical Engineering Design, McGraw Hill, 2004, ISBN 007-123270-2.

[2]: Bernard J. Hamrock – Bo Jacobson – Steven R. Schmid: Fundamentals of Machine Elements, McGraw Hill, 1999, ISBN 0-256-19069-0.

[3]: John Williams: Engineering Tribology, Cambridge University Press, 2005, ISBN-13 978-0-521-60988-3, ISBN-10 0-521-60988-7.

[4]: Szabó, Ferenc János: Journal Bearing Optimization for Minimum Lubricant Viscosity, DESIGN OF MACHINES AND STRUCTURES 6 : 1 pp. 56-62. , 7 p. (2016).

[5]: Erney György: Fogaskerek, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1983, ISBN 963 10 5099 0.

[6]: Takács, Ágnes: Green principles, DESIGN OF MACHINES AND STRUCTURES 4:1 pp. 99-104., 6 p. (2014)

[7]: Bihari, János: The Effect of The Gear Wear for The Contact Ratio

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

**A szerzők ez úton szeretnék megköszönni a Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet kollégáinak segítségét a keménységmérés elvégzésében.

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.

TENGELYCSAPÁGYAZÁS OPTIMÁLÁSA TÖMEGMINIMUMRA A KUHN-TUCKER OPTIMALITÁSI KRITÉRIUM MÓDSZERREL

OPTIMIZATION OF A SHAFT-BEARING SYSTEM FOR MINIMUM MASS USING KUHN-TUCKER OPTIMALITY CRITERIUM METHOD

Szabó Ferenc János, PhD, Miskolc- Egyetemváros, Hungary, H-3515, machszzf@uni-miskolc.hu
 Sztankó Bálint, BSc géptervező egyetemi hallgató, Miskolc- Egyetemváros, Hungary, H-3515,

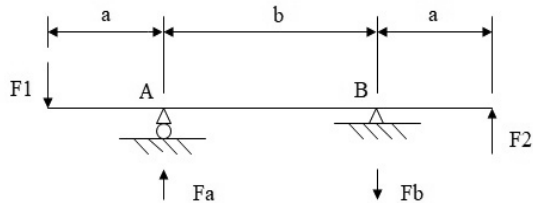
ÖSSZEFOGLALÁS (ABSTRACT, INHALT). The grapho-analytical optimization method is used for the shaft-bearing system optimization for minimum total mass of the bearings. The implicit constraint controls the minimum possible shaft diameter which is 30 mm. The objective function is the total mass of the two bearings. The shape of the objective function is a surface, which is drawn as a „zoom” until it is possible to identify the optimum solution point. Numerical example is shown in order to demonstrate the usage of the optimization process.

1. BEVEZETÉS

A Kuhn- Tucker féle optimalitási kritériumra alapuló grafo-analitikus optimumkereső módszert [2] alkalmaztuk tengelycsapágyazás [1] tömegminimumra történő optimalizálására.

A tengelycsapágyazás tervezésekor [5] először a csapágyak terheléseit és kialakítását célszerű megtervezni, ezután következik a tengely méretezése [5]. Az optimalás során is ezt a sorrendet követjük, vizsgálva, hogy a hossz méretek értékei hogyan befolyásolják a csapágyak terheléseit és a szükséges csapágyak együttes tömegét. A célfüggvény a csapágyak össztömege volt, ennek kerestük a minimumát. A vizsgálatok során természetesen kiadódott, hogy a csapágytömeg minimumához tartozó geometriai méretek befolyásolják majd a tengelyt is, így a vizsgálatokat érdemes kiterjeszteni a tengelytömeg célfüggvénybe ágyazásával is. Ezek a lépések folyamatban vannak, az így kialakuló eredményeket össze fogjuk hasonlítani a jelen vizsgálat eredményeivel, amiből további hasznos következtetések vonhatók majd le a gyakorlati tervezők számára a tengelyek tömegtakarékos csapágyazási kialakítására vonatkozóan.

Az 1. ábra mutatja a tengely sematikus kialakítását és a terhelések, csapágyazási helyek elrendezését. Az optimumkeresés során a tervezési változók az a és b méretek. Tehát a feladat az, hogy keressük ennek a két méretnek egy olyan konstellációját, melynél a tengely csapágyazásához felhasznált csapágyak össztömege minimális. Ez a vizsgálat főleg azt fogja kimutatni, hogy a méretek változtatása hogyan hat a csapágyakra és fontos eredménynek tekinthető, hogy létezik a csapágytömeg függvénynek minimuma a vizsgált tartományon.



1. ábra. A tengely sematikus ábrázolása

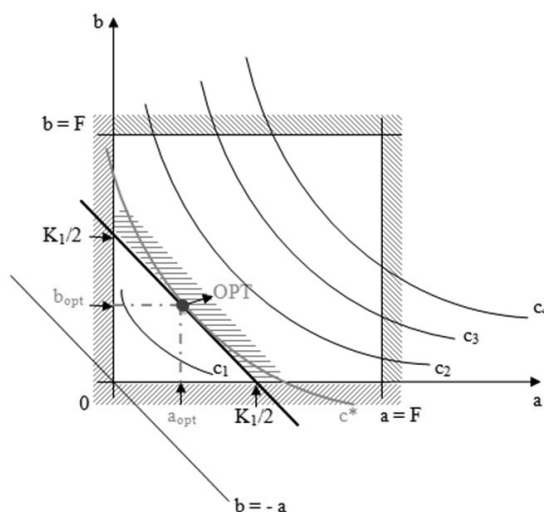
A vizsgálatok során adottnak tekintjük az F_1 és F_2 terhelőerőt, melyek konkrét esetben jelenthetik egy adott

hajtás (lánc, szíj, esetleg fogaskerék) erőt. A csapágyak szükséges élettartamára minimum 20 000 üzemórát írunk elő. a tengely fordulatszáma 400 fordulat/perc. Explicit feltételként előírjuk, hogy az a méret 20 mm és 1000 mm között lehet, a b méretre ezek a határok 20 mm és 2000 mm. Implicit feltételként a tengely megengedett legkisebb átmérőjét a csapágyaknál 30 mm- ben adtuk meg, mivel az egyszerűség kedvéért a tengely tömegét ezekbe a vizsgálatokba még nem vonjuk be. A bemutatott számpélda ezekre a számértékekre alapul.

A célfüggvény képe egy felület lesz az a és b változók függvényében, melyet több ráközelített kép formájában ábrázolunk az optimális megoldási pont jó felismerhetősége kedvéért.

2. A KUHN- TUCKER FÉLE OPTIMALITÁSI KRITÉRIUMRA ALAPULÓ OPTIMUMKERESŐ MÓDSZER

A Kuhn-Tucker optimalitási kritérium kimondja: Az optimumkeresési feladat megoldása helyén a célfüggvény szintvonala „érinti” a megfelelőségi tartományt.



2. ábra. Az optimális megoldás környezetében a célfüggvény szintvonala „érinti” a megfelelőségi tartományt

Ha ábrázoljuk a változók koordinátarendszerében (a , b) a feltételeket és a célfüggvény szintvonalait, akkor a 2. ábrához hasonló képet kapunk. Az explicit és implicit feltételek összessége egy tartományt képez, ezt nevezzük megfelelőségi tartománynak. A célfüggvény különböző, tetszőleges konstansokhoz tartozó szintvonalait ábrázolva azt vehetjük észre, hogy a célfüggvény szélsőértékének keresésekor a feltételeket is kielégítő és a szélsőértéknek is megfelelő pont egy „érintés” eredményeként adódik, ami lehet a célfüggvény egy szintvonala és a tartomány valamely határgörbéje közötti érintés, de ez a pont eshet esetleg a tartománynak valamely sarokpontjába is, ekkor az „érintést” már nem két görbe érintkezése határozza meg.

A grafo- analitikus módszer [3] az optimálási feladatban szereplő függvények ábrázolása (grafo) és egyenleteik alakítása, megoldása (analitikus) és ezeknek a kombinálása (grafo- analitikus) útján jut el az optimális megoldást kifejező pont megtalálásához. A módszer két része a megoldás folyamán egymást segíti, sőt sokszor módot adnak az egyik rész- módszerrel megtalálni vélt megoldás pontosítására vagy ellenőrzésére a másik rész- módszerrel. [8]

Nézzünk egy egyszerű példát a módszer alkalmazásának demonstrálására. Nevezük a példát „Farmer- problémá”- nak, mivel a feladat az, hogy olyan téglalap alakú kertet kerítsünk be adott hosszúságú kerítés anyaggal, aminek maximális a területe. A két változó tehát a téglalap két oldala, azaz a és b . Az optimumkeresés célfüggvénye a téglalap területe, azaz $f = T(a,b) = ab$, és keressük azt az a és b értéket, melynél T maximális, de kielégítik a feltételeket.

Explicit feltételek: a és b értéke legyen 0 és K között, ahol K az adott, rendelkezésre álló kerítés-hosszúság. Az, hogy csak adott (K) hosszúságú kerítésanyagot használhatunk fel, egy implicit feltétellel vehető figyelembe: $0 < 2a + 2b < K$.

A megoldáshoz szükség van a célfüggvény szintvonalaira, amiket a célfüggvény konstans értékeihez tartozó görbék formájában ábrázolhatunk (2. ábra). A célfüggvényt egy tetszés szerinti, szabadon választott konstanssal (c) egyenlővé téve kapjuk:

$T = ab = c$, azaz $b = c / a$, ami egy $a - b$ koordináta rendszerben ábrázolva hiperbola. Különböző konkrét c értékekhez különböző hiperbolákat kapunk, ezeket ábrázolhatjuk az $a - b$ koordináta-rendszerben.

Az implicit feltételt ugyanebben a koordináta rendszerben való ábrázolhatósága végett át kell alakítani:

$b < K/2 - a$, ami egy 45° dőlésszögű egyenes. Az explicit feltételeket pedig úgy ábrázoltuk, mint egy „fal”, azért, hogy azokat a keresés folyamán soha semmiképp ne lépjük túl. A célfüggvény és a feltételek ábrázolását mutatja a 2. ábra. Ezzel kialakult a megfeleléségi tartomány.

Alkalmazva a Kuhn-Tucker optimalitási kritériumot, meg kell keresnünk a célfüggvény valamely szintvonalának érintését a tartomány határával. Ahol ez az érintés megvalósul (a 2. ábrán ezt a pontot jelöltük OPT- tal), ott van az optimumkeresési feladat megoldása, és c értéke az érintéskor (c^*) éppen az elérhető maximális célfüggvény értéke lesz. Tehát a feladat könnyen megoldható egyszerű próbálgatások útján: c értékét addig változtatjuk, míg a c értékhez tartozó szintvonal nem érinti a tartományt. Ha elértük az érintést, akkor c értéke az elérhető maximális célfüggvény lesz ($c^* = T_{max}$), az érintési pont koordinátái (a_{opt} és b_{opt}) pedig megadják a változók optimális értékeit, ezzel a feladat megoldásra került.

A módszer alkalmazásakor tehát szükség lesz a megfeleléségi tartomány és a célfüggvény szintvonalainak ábrázolására. Jelen munkában a szintvonalak helyett a teljes célfüggvény felületét fogjuk ábrázolni, mivel a mai számítástechnikai lehetőségek már könnyen alkalmazhatóan lehetővé teszik ezt. Így tulajdonképpen azt a helyzetet érjük majd el, mintha végtelen sok szintvonalat rajzoltunk volna fel.

3. DEMONSTRATÍV SZÁMPÉLDA

A módszer használatának és hatásosságának bemutatására egy számpéldát vizsgálunk, az 1. ábrán látható elrendezéssel.

A csapágyakat terhelő erők a hajlító nyomatéki egyenletből [6], [7] adódnak, és mivel a vizsgált szerkezetben nincs axiális erő, ezért ezek azonosak a csapágyra értelmzett egyenértékű terheléssel:

$$F_a = \frac{F_1 \cdot (a+b) + F_2 \cdot a}{b} = P_a \quad (1)$$

$$F_b = \frac{F_1 + F_2 \cdot (a+b)}{b} = P_b \quad (2)$$

A csapágyak számítása a kívánt élettartamra:

A csapágy elvárt élettartama üzemmórában 20000 óra.

Csapágy élettartam kitevő: golyóscsapágy esetén: $p = 3$,

görgőscsapágy esetén: $p = \frac{10}{3}$.

Ezzel az élettartam: $L_{10} = L_{10h} \cdot \frac{60 \cdot n}{10^6} \quad (3)$

L_{10} : csapágyélettartam millió körül fordulásban.

L_{10h} : csapágyélettartam üzemmórában, C a csapágy kívánt élettartamához szükséges dinamikus alapterhelése, P pedig a csapágy egyenértékű terhelése, ami A csapágy esetén P_a , B csapágy esetén P_b .

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (4)$$

$$C = P \cdot \sqrt[p]{L_{10h} \cdot \frac{60 \cdot n}{10^6}} \quad (5)$$

Dinamikus alapterhelés függvényében és a csapágy tömegére approximációt végezve (3. ábra), az A és B csapágyra kiszámíthatjuk a csapágyak tömegét. [9]

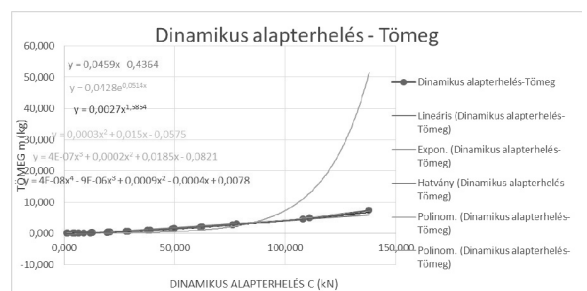
$$m_A = 4 \cdot 10^{-7} \cdot C_A^3 + 0,0002 \cdot C_A^2 + 0,0105 \cdot C_A - 0,0021$$

$$m_B = 4 \cdot 10^{-7} \cdot C_B^3 + 0,0002 \cdot C_B^2 + 0,0185 \cdot C_B - 0,0821$$

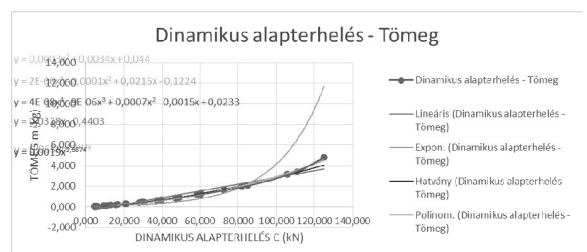
A két csapágy össztömege az optimumkeresés célfüggvénye: [10]

$$f(A, B) = m_A + m_B \quad (6)$$

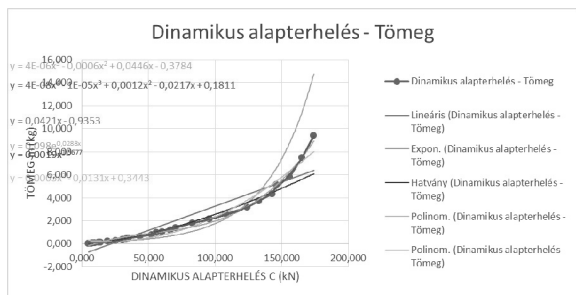
Első lépésként csak a csapágyak tömegének minimumát vizsgáljuk, ezért a tengely tömege itt még nincs figyelembevéve, így szükség van egy implicit feltételre, ami kimondja, hogy a csapágyaknál adódó tengely átmérője legalább 25 mm legyen.



3.a ábra. 61XX csapágy sorozat tömeg- approximációja



3.b ábra. 60XX csapágy sorozat tömeg- approximációja

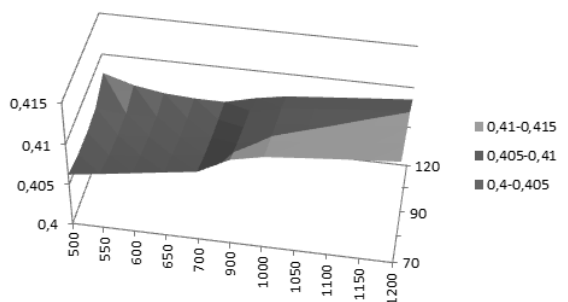


3.c ábra. 62XX csapágy sorozat tömeg- approximációja

A dinamikus alapterhelés – tömeg függvény közelítését egysorú mélyhornyú csapágyakra végeztük el, ami több görbét jelent, mert egy belső furatátmérőhöz többféle csapágy is választható. Ezekbe a görbékbe behelyettesítve, a célfüggvény egy pontját a legkisebb tömeget adó csapággal számoltuk, majd az így adódó felületnek az explicit feltételek és implicit feltétel által leírt tartomány felett meghatároztuk a minimumát.

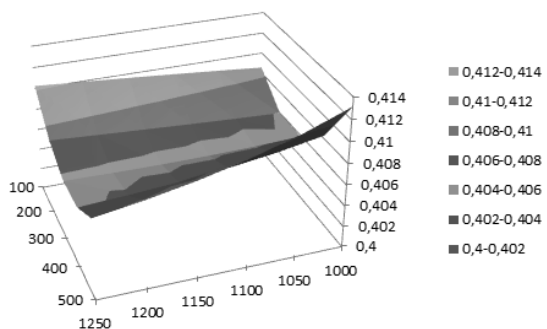
A 4. ábra több ráközelítésben (zoom) mutatja a célfüggvény alakulását, a pontos rácsponti értékek az ábrákat kísérő táblázatokban találhatóak.

a \ b	500	550	600	650	700
70	0,406299	0,406838	0,407411	0,407983	0,408538
80	0,405772	0,406113	0,406558	0,407048	0,407553
90	0,405642	0,405715	0,40598	0,406349	0,40677
100	0,405908	0,405645	0,405678	0,405883	0,40619
120	0,407631	0,406489	0,405899	0,405657	0,405637



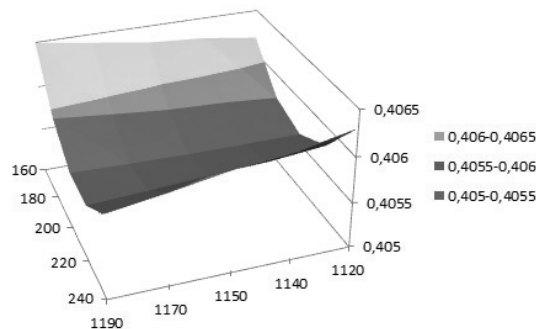
4.a ábra. A célfüggvény felülete, első ráközelítés

a / b	1000	1050	1100	1150	1200	1250
100	0,408533	0,408907	0,409266	0,40961	0,409939	0,410253
150	0,405968	0,406182	0,40642	0,406675	0,406938	0,407207
200	0,405881	0,405705	0,405624	0,405614	0,40566	0,405748
250	0,408274	0,407478	0,406876	0,406428	0,406103	0,405876
300	0,413146	0,411499	0,410177	0,409117	0,408268	0,40759



4.b ábra. A célfüggvény felülete, második ráközelítés

a / b	1120	1140	1150	1170	1190
160	0,406181	0,406268	0,406312	0,406404	0,406497
180	0,405738	0,405787	0,405813	0,40587	0,405932
200	0,405612	0,405611	0,405614	0,405627	0,405647
220	0,405802	0,405741	0,405715	0,405673	0,405642
240	0,406309	0,406175	0,406116	0,406008	0,405917



4.c ábra. A célfüggvény felülete, harmadik ráközelítés

A ráközelítések kiterjedése, iránya attól függ, hogy hová adódik az adott táblázatban a célfüggvény legkisebb értéke. Ha a tartomány szélére adódik, akkor a következő ráközelítést abban az irányban tágítani kell, hogy látható legyen a célfüggvény további alakulása a tartomány további részén is. Ha elérjük, hogy a célfüggvény minimuma egy adott ráközelítésnek megfelelő táblázat belsejében van, akkor elértük a minimális megoldást. A végső megoldás eldöntéséhez azt is vizsgálnunk kell, hogy ilyenkor az a és b értékek felbontása, lépésköze elegendő-e a számunkra. Ha szükséges, folytatható a keresés, finomabb felosztással újabb táblázat és újabb célfüggvényábrázolás létrehozásával.

A 4. ábra c részében látható, hogy a keresett optimum $a = 200$ mm, $b = 1140$ mm esetén adódik, ekkor az elérhető legkisebb csapágy-össztömeg 0.405611 kg. Tehát kimondható, hogy létezik optimum és a módszer alkalmas a minimum meghatározására, akár tetszőleges mértékű kívánt pontosság mellett.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen cikkben azt vizsgáljuk, hogy létezik-e a csapágytömegek összegének, mint célfüggvénynek minimuma egy előírt tengelyhossz- tartományon (1. ábra, a és b hosszak). Ehhez az optimumkeresési feladatot megfogalmazva, a Kuhn- Tucker féle optimalitási kritériumra alapuló grafo- analitikus optimumkereső módszert alkalmazzuk.

A célfüggvényt nem szükséges szintvonalakkal ábrázolni, mert az alkalmazott szoftverek lehetővé teszik a teljes célfüggvénynek mint felületnek az ábrázolását is, így már csak a minimális függvényértéket kell megkeresni a feltételek által leírt tartományon belül. Ezt több „zoom”, azaz ráközelített ábrázolás segítségével meg is tesszük, bemutatva a rácspontokbeli függvényértékeket táblázatos formában is, megkönnyítve a pontos leolvasást, azaz az optimumkeresési feladat még pontosabb megoldását.

A keresési folyamat eredményeként kijelenthető, hogy létezik optimum, tehát található olyan a és b hossz érték kombináció, aminél a tengely csapágyazásához felhasznált csapágyak össztömege minimális. Természetesen eklatánsan látszik, hogy a két hossz értéke meghatározza a tengely méreteit is, tehát a feladat folytatásaként szükség lesz a tengelytömeg figyelembe vételére is a célfüggvényben.

A tengelytömeg nélküli és a tengelytömeg figyelembe vételével létrejövő eredmények érdekes és hasznos összehasonlításra, további következtetések levonására fognak lehetőséget adni, és ezek a következtetések, észrevételek már haszonnal alkalmazhatók lesznek a konkrét csapágyazási kialakítások, konstrukciók tervezése során.

5. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

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.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SKF Főkatalógus. SKF, 1997. Budapest.
- [2] Dr. Nagy Tamás: Feltételes optimalizálás. Egyetemi elektronikus oktatóanyag, Miskolci Egyetem Alkalmazott Matematikai Tanszék, Miskolc, 2012.
TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001
- [3] Dr. Szabó Ferenc János - Bihari Zoltán – Sarka Ferenc: „Termékek, szerkezetek, gépelemek végeelemes modellezése és optimalizálása” Szakmérnöki jegyzet, HEFOP CAD/CAM/FEM Kompetencia Kurzusok, Miskolci Egyetem, 2006.
- [4] Terplán Zénó: Gépelemek I. Egyetemi jegyzet Tankönyvkiadó, Budapest, 1982.
- [5] Terplán Zénó: Gépelemek II. Egyetemi jegyzet Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [6] Döbröczöni Ádám (Szerk.): Gépszerkezetan I. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1998.
- [7] Ungár Tamás, Vida András: Segédlet a gépelemek I – II kötetéhez. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
- [8] Szabó, F. J.: Multidisciplinary optimization of a structure with temperature dependent material characteristics, subjected to impact loading. *International Review of Mechanical Engineering*, 2 (3) pp. 499- 505. (2008).
- [9] Szabó, F. J.: Tengelyek csapágyazásának optimalizálási lehetőségei. The Publications of the MultiScience - XXVIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference ISBN: 978-963-358-051-6, Paper No. 26.
- [10] Kovács, K.: Tengelycsapágyazás optimalizálási lehetőségei tömegminimumra. *Ajövő mérnökeinek prezentációi* (Szerk. Bihari Z.) Miskolc, 2013. December 6. Konferencia CD Kiadvány, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet, Miskolc, 2014. ISBN 978-963-358-050-9. pp. 77- 85.

CONTENTS

1. Czifra Árpád, Horváth Sándor: CHANGES OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ENGINEERING SURFACES DUE TO SURFACE TREATMENT	5	9. Janoch Ábel, Ficzere Péter: THE ROLE OF ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY IN CLASSIC VEHICLE SPARE PART SUPPLY SYSTEM	38
2. Darabos Anita: AZ ECO-DESIGN APPROACH IN PRODUCT DESIGN AND CREATION	9	10. Kátai László, Szabó István, Lágymányosi Péter, Szakál Zoltán: EFFECTS OF 3D PRINTING PARAMETERS ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF PRINTED MATERIAL	42
3. Debreczeni Dániel, Kamondi László: ZAHNFUSS-NENNSPANNUNG VON SYMMETRISCHEN UND ASYMMETRISCHEN, EVOLVENTISCH-AUSSENVERZÄHNTEN, ZYLINDRISCHEN ZAHNRADPAAREN	13	11. Kiss Gábor: DANGER OF MANCHURIAN AI IN AUTONOMOUS VEHICLES	46
4. Ecsedi István, Baksa Attila: STATIC ANALYSIS OF RADIALLY POLARIZED PIEZOELECTRIC SPACE WITH A SPHERICAL CAVITY	17	12. Ficzere Péter, Győri Márk, Lovas László: EFFECTS OF CONTACT HOUR DECREASE IN THE ENGINEERING DRAWING EDUCATION	50
5. Fazekas Bálint, Goda Tibor: MECHANICAL MODELLING OF ELASTOMERS	21	13. Lukács Norbert László, Ficzere Péter, Temesi Tamás: INVESTIGATION OF THE MANUFACTURING PARAMETER DEPENDENT INTERLAYER FAILURES BY CAD SOFTWARE	54
6. Ficzere Péter: THE IMPACT OF THE POSITION OF PARTS IN WORKSPACE ON MANUFACTURING COSTS IN THE CASE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES	26	14. Sarka Ferenc, Bihari János: COMMUTING WITH HUMAN-ELECTRIC HYBRID DRIVES IN MEDIUM-SIZED CITIES	58
7. Fodor Lóránt: ISINTERFACE POINTS FOR INDUSTRIAL DESIGN IN PRODUCT DEVELOPMENT	30	15. Sarka Ferenc: INVESTIGATION AND PREDICTING OF WEAR IN NON LUBRICATED GEAR DRIVES	62
8. Hegedűs József: AZ INNOVÁCIÓS FOLYAMATOK ELEMI TÉNYEZŐINEK FEJLESZTÉSE AZ ÉRTÉKELEMZÉS FELHASZNÁLÁSÁVAL	32	16. Szabó Ferenc János, Sztankó Bálint: OPTIMIZATION OF A SHAFT-BEARING SYSTEM FOR MINIMUM MASS USING KUHN-TUCKER OPTIMALITY CRITERIUM METHOD	66

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. Barkóczy István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálinkás 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,

On 22-24th August 1973 a number of 234, mainly top designer members of 110 firms and institutes dealt with the industrial design and its organisation. The idea of the conference was born in the summer of 1972 during the national secretariat meeting of the Scientific Society for Mechanical Engineering (GTE) that was arranged by the GTE committee of the University of Miskolc, with the collaboration of professor Dr. Zénó Terplán, Dr. József Magyar, Dr. Rezső Száday and the workmates of the Department of Machine Elements, University of Miskolc. The conference was opened by professor Dr. Jenő Varga, former chief designer of the GANZ factory, highlighting that *this was the very first occasion of such a meeting in Hungary*. He called the attention of the participants to the *evaluation of the design*, considering the mainly West German papers *dealing with design methodology*, published during the last years. The authors of all the 15 papers of the conference proceedings argued for a design work that framed into a consolidated system, fruitful and effective. After the event of the Discussion of Chief Designers in 1975 the conference title was transformed into *National Seminary of Machine Designers* in 1977.

Previously to the 1990-es changes, similarly to the earlier events in mood, was the 6th National Seminary of Machine Designers in 1985, held in Miskolc-Tapolca. The 43 presentations, all in printed form, too, were followed by 210 participants, arrived from the industry, research institutes and higher education. At the opening ceremony, professor Dr. József Drobní talked about the *design of energy-efficient, reliable and aesthetic machines that are competitive not only abroad but also inland*, and called the attention to challenges ahead. The bankruptcy of state-owned companies and research institutes influenced the VII. National Seminary of Designers. The conference was organized at the University of Miskolc and the presentations were held by university lecturers, professors and researchers for colleagues from the higher education and some industrial expert, with unchanged effort.

During the last decade of the 20th century the Hungarian industry was transformed radically, the producer changed places with the consumer, the underestimated consumer goods became equal to the machines and means of production, the dictionary of machine designers was completed by the word "product". The designers have understood the meaning of the product: everything which are interested in, e.g. Conference of Machine Designers, or on which the interest can be aroused, e.g. Conference of Machine and Product Designers. The organizers of the conference also understood the needs of the entrant generations, *the kind participation in regular professional meeting, and the pleasure of the reliable publication at a reasonable price, by the support of the Scientific Society for Mechanical Engineering*.

The change is perceptible in the theme of the presentations, too. *Beside the mathematics, the mechanics, the material and manufacturing sciences, the dimensioning, strength calculation, lubrication and structure of machine elements, the computer aided manufacturing of real products and virtual models, the biology, the medical sciences, the analogies of nature and the results of industrial design became also into the groups of analyzed areas*.

At the end of this recommendation, do allow us the kind Reader a personal voice. Our organizing work since 1985 has not become fruitful without the support of the leaders, the teaching and non-teaching staff of the Institute of Machine and Product Design (formerly the Department of Machine Elements) Personally, I am indebted for their encouragement, critic and work to professor Gabriella Bognár Vadászné, director of Institute, to professor emeritus Ádám Döbröczöni, to Géza Németh senior lecturer, and to Aranka Gere economic administrator.

Dr. József Péter
organizing secretary of the Seminary

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.gteportal.eu

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: hirlaplofizetes@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 hirlaplofizetes@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

1545-16.00 Szabó Gyula PhD hallgató, Dr. Váradi Károly professor emeritus BME Gép- és Terméktervezés Tanszék: Nyomásnak és hajlításnak kitett száltekeresztelt kompozit tömlő instabilitási vizsgálata

16.00-16.15 Szalai Enikő MSc hallgató BME Gép- és Terméktervezés Tanszék, Dr. Szódy Róbert főorvos Országos Traumatológiai Intézet, Dr. Váradi Károly professor emeritus BME Gép- és Terméktervezés Tanszék, Dr. Borbás Lajos professor emeritus EDUTUS: Kiterjedt csonthiányos környezetben alkalmazott vápakosarak rögzítését szolgáló csavarok végeelem vizsgálata

16.15-16.30 Temesi Tamás doktorandusz, BME Polimertechnika Tanszék, Bella Szabolcs, AedusSpace Kft, Dr. Czigány Tibor, BME Polimertechnika Tsz, MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport: Lefogó készülék tervezése alumínium-polimer kötések létrehozásához

16.30-16.45 Béres-Deák Emília MSc hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszék, Vajda Márk Zsolt MSc hallgató, tanszéki demonstrátor Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszék: Talajművelő gépek kopásálló anyagainak összehasonlító vizsgálata

16.45-17.00 Tóth Bogdán Barnabás demonstrátor BME Gép- és Terméktervezés Tanszék: Csipőprotézis vizsgáló berendezés koncepcionális tervezése és fejlesztése

17.00-17.15 Fazekas Bálint PhD hallgató, Dr. Goda Tibor egyetemi tanár Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszék: A Mullins hatás mechanikai modellezése viskoelasztikus elasztomereknél

17.15-17.30 Tóth Dániel tanársegéd Miskolci Egyetem Szerszámgépek Intézeti Tanszéke, Dr. Takács György Miskolci Egyetem Szerszámgépek Intézeti Tanszéke, Dr. Szilágyi Attila Miskolci Egyetem Szerszámgépek Intézeti Tanszéke: Csapágyhibák diagnosztizálására alkalmas módszerek elemzése

I. SZEKCIÓ, I. EMELET, DEÁK-TEREM 2019. NOVEMBER 8. (PÉNTEK) DÉLELŐTT 9.00-TÓL

Szekcióvezető: Dr. Jálics Károly egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet, Dr. Kamondi László címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

9.00-9.15 Dr. Jálics Károly PhD, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Burkolatok, falak hanggátolása meghatározásának lehetőségei a konstrukciós fázisban

9.15-9.30 Dr. Dömötör Csaba egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Autoemlékek az állatvilágban

9.30-9.45 Dr. Kamondi László címzetes egyetemi tanár Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet, Drágár Zsuzsa tanszéki mérnök Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: A nem-szimmetrikus fogalaku hengeres ferde fogú fogaskerékpárok kapcsolószám sajátosságai (Characteristics of contact ratio in case of cylindrical helical gear pairs with non-symmetrical tooth shape)

9.45-10.00 Debreczeni Dániel PhD hallgató, Dr. Kamondi László címzetes egyetemi tanár Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Szimmetrikus és aszimmetrikus, evolvens, külső fogazatú, hengeres fogaskerékpárok névleges fogtőfeszültsége

10.00-10.15 Sipkás Vivien PhD hallgató Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet, Vadászné Dr. Bognár Gabriella egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet: Kerti gépekben alkalmazott mikrokapcsolók élettartam adatainak vizsgálata és elemzése

10.15-10.30 Dr. Lelkes Márk, Rába Futómű Kft.; Dr. Szávai Szabolcs, Miskolci Egyetem; H. Tóth Zsolt, VARINEX Informatikai Zrt.: Hajtóművek kenési viszonyainak áramlástanai modellezése

10.30-10.45 Soltész László fejlesztési igazgató, Emerson Aventics Hungary Kft: Nagyteljesítményű elővezérő szelep fejlesztési projekt a gyakorlatban

10.45-11.00 Dr. Bányai Tamás egyetemi docens Miskolci Egyetem Logisztikai Intézet: Intelligens hulladékgyűjtő konténernek kibernetikai hulladékgyűjtési rendszerekben

11.00-11.15 Mohamad Barhm Abdullah PhD hallgató, Dr. Jálics Károly egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet, Andrei Zelenitsom Bauman Allami Műszaki Egyetem, Moszkva: Hangtompító akusztikai tervezése hibrid módszerrel

11.15-11.30 Alsarayefi Saad Jabber Nazal PhD hallgató, Dr. Jálics Károly egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Károsodás hatása szálerezítésű polimer rezgéscsillapítási tulajdonságaira

11.30-11.45 Haidar Faisal Helal Mobark PhD student University of Miskolc Institute of Materials Science and Technology, Dr. János Lukács Professor University of Miskolc Institute of Materials Science and Technology: Mismatch effect on fatigue crack propagation limit curves of GMAW joints made of S690QL, S960QL and S960TM type base materials

11.45-12.00 Mohamad Klazly PhD hallgató, Vadászné dr. Bognár Gabriella egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Investigation of the enhancement of convective heat transfer for flow of nanofluid over flat plate

12.00-12.15 Chahboub Yassine PhD hallgató Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Determination of GTN parameters using artificial neural network for ductile failure

12.15-12.30 Dr. Péter József c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Hermetikus hajtások

12.30 A Géptervezők és Termékfejlesztők XXXV. Szemináriumának bezárása

II. SZEKCIÓ, I. EMELET, NAGYTEREM 2019. NOVEMBER 8. (PÉNTEK) DÉLELŐTT 9.00-TÓL

Szekcióvezető: Dr. Bihari Zoltán egyetemi docens, Dr. Jálics Károly c. egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

9.00-9.15 Barna Bence BSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Érintés nélküli testszártó gép

9.15-9.30 Bubonyi Andrea MSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Figyelemfelkeltő bemutató eszköz továbbfejlesztésének lehetőségei

9.30-9.45 Gulyás Márk BSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Mikrofon mozgató manipulátor tervezése

9.45-10.00 Majoros Péter BSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Csomagolástervezési berendezés tervezése

10.00-10.15 Kmetz Barbara MSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Implantátumok élettartam vizsgálata.

10.15-10.30 Papp Szonja MSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Síklócsapágy tribológiai vizsgálatának szimulációja

10.30-10.45 Nádasi Máté BSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Szalagcsiszoló tervezése

10.45-11.00 Sztankó Bálint BSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Tengelyek csapágyazásának optimalizálása tömeg- és költségminimumra

11.00-11.15 Topa Martin BSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Fröccsöntő szerszám tervezése

11.15-11.30 Urbán Bertalan BSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Bojlí ext-ruder tervezése

A GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXXV. SZEMINÁRIUMÁNAK SZERVEZŐI:

Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella
az MTA doktora, habil intézetigazgató
Dr. habil. Döbröczöni Ádám egyetemi tanár, professor emeritus
Dr. Péter József c. egyetemi tanár, a szeminárium titkára
Németh Géza egyetemi adjunktus
Gere Aranka intézeti ügyintéző

KORÁBBI RENDEZVÉNYEINK:

Vezető Konstruktőrök Tanácskozása
Miskolc, 1973. augusztus 23 - 24.

Vezető Konstruktőrök Tanácskozása
Miskolc, 1975. július 23 - 24.

Géptervezők III. Országos Szeminárium
Miskolc, 1977. augusztus 30 - szeptember 1.

Géptervezők IV. Országos Szeminárium
Miskolc, 1980. augusztus 26 - 27.

Géptervezők V. Országos Szeminárium
Miskolc, 1982. augusztus 25 - 26.

Géptervezők VI. Országos Szeminárium
Miskolc, 1985. április 11 - 12

Géptervezők VII. Országos Szeminárium
Miskolc, 1989. május 29 - 31.

Géptervezők VIII. Országos Szeminárium
Miskolc, 1991. május 29 - 30.

Géptervezők IX. Országos Szeminárium
Miskolc, 1993. szeptember 30 - október 1.

Géptervezés ,94 (Géptervezők X. Országos Szeminárium)
Miskolc, 1994. május 20.

Géptervezők XI. Országos Szeminárium
Miskolc, 1995. május 29-30.

Géptervezés-termékfejlesztés ,96 (Géptervezők és
Termékfejlesztők XII. Országos Szeminárium),
Miskolc, 1996. május 24-25.

Géptervezők és Termékfejlesztők XIII. Országos Szeminárium,
Miskolc, 1997. november 28.

Géptervezők és Termékfejlesztők XIV. Országos Szeminárium,
Miskolc, 1998. december 15.

Géptervezők és Termékfejlesztők XV. Országos Szeminárium,
Miskolc, 1999. szeptember 30-október 1.

Géptervezők és Termékfejlesztők XVI. Országos Szeminárium,
Miskolc, 2000. november 15 - 16.

Géptervezők és Termékfejlesztők XVII. Országos Szeminárium,
Miskolc, 2001. november 8 - 9.

Géptervezők és Termékfejlesztők XVIII. Országos Szeminárium,
Miskolc, 2002. november 7 - 8.

Géptervezők és Termékfejlesztők XIX. Országos Szeminárium,
Miskolc, 2003. november 6 - 7.

Géptervezők és Termékfejlesztők XX. Országos Szeminárium
Miskolc, 2004. november 11 - 12.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXI. Országos Szeminárium
Miskolc, 2005. november 10 - 11.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXII. Országos Szeminárium
2006. november 9 - 10.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXIII. Országos Szeminárium
2007. november 15 - 16.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXIV. Országos Szeminárium
2008. november 13 - 14.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXV. Országos Szeminárium
2009. november 5 - 6.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXVI. Országos Szeminárium
2010. november 11-12.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXVII. Országos Szeminárium
2011. november 10-11.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXVIII. Országos Szeminárium
2012. november 8-9.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXIX. Országos Szeminárium
2013. november 7-8.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXX. Országos Szeminárium
2014. november 6-7.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXXI. Országos Szeminárium
2015. november 5-6.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXXII. Országos Szeminárium
2016. november 10-11.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXXIII. Országos Szeminárium
2017. november 9-10.

Géptervezők és Termékfejlesztők XXXIV. Országos Szeminárium
2018. november 8-9.

GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXXV. SZEMINÁRIUMA

Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet
H-3515 MISKOLC-EGYETEMVÁROS
Telefon/Fax: (0036)-46-327 643
E-mail: machpj@uni-miskolc.hu

