

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



2017/3.

nka
Nemzeti Kulturális Alap

100 oldal
LXVIII. évfolyam

GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXXIII. SZEMINÁRIUMA

MISKOLC, 2017. november 9–10.

TISZTELT GÉPTERVEZŐ ÉS TERMÉKFEJLESZTŐ KOLLÉGA!

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

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

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

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

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

Miskolc-Egyetemváros, 2017. október 20.

A szeminárium szervezői nevében szeretettel várja

*Dr. Péter József
a Szeminárium titkára*

Géptervezők és Termékfejlesztők XXXIII. Szeminárium
Gépipari Tudományos Egyesület
Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Géptervező Szakosztály

MTA Miskolci Területi Bizottsága

Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

MTA Miskolci Területi Bizottságának Székháza
Miskolc, Erzsébet tér 3.

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

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

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

I. EMELET, NAGYTEREM

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

I. SEKCIÓ, I. EMELET, NAGYTEREM 2017. NOVEMBER 9. (CSÜTÖRTÖK), 14.00-TÓL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

16.45 A szekció munkájának értékelése

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

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

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

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

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

elnök

Vesza József

főszerkesztő

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczy István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercesy Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálkinkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

TISZTELT OLVASÓ!

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 főkonstruktoré 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 Konstruktorok 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. Drobní 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 felkelthető (pl. Géptervezők és Termékfejlesztők Szemináriumára). A szeminárium szervezői megértették, hogy a pálya elején lévő korosztály is *szívesen részt vesz rendszeres szakmai összejövetelen, és örömmel veszi, ha megbízható sajtófelületben 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 szilárdági 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 szeminárium-szervező 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 szervező titkára

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

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

Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.

Telefon: 06-1/202-0656, fax: 06-1/202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gte.mtesz.hu

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

Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Zrt. • Postacím: 1900 Budapest

Előfizetésben megrendelhető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél, www.posta.hu 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. Dr. Barányi István: AZ ABRÁZIÓS KARCOK IRÁNYÁNAK BEFOLYÁSOLÓ HATÁSA A KOPÁS KEZDETI SZAKASZÁN.....5 | 11. Ecsedi István, Baksa Attila: INHOMOGEN RUGALMAS ANYAGÚ KÚPOK STATIKAI VIZSGÁLATA.....48 |
| 2. Bárdos Ádám, Németh Huba: HASZONJÁRMŰ DÍZELMOTOR SZÍVÓTARTÁLYI OXIGÉN KONCENTRÁCIÓJÁNAK SZABÁLYZÁSA MAGASNYOMÁSÚ EGR SZELEPPLEL ÉS KIPUFOGÓ OLDALI FOJTÁSSAL.....9 | 12. Fazekas Bálint, Goda Tibor: GUMISZERŰ ANYAGOK HIPER-VISZKOELASZTIKUS ANYAGMODELL PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA.....54 |
| 3. Dr. Bihari János: KISMÉRETŰ MŰANYAG FOGASKERÉK-HAJTÓMŰVEKRE HATÓ KÜLSŐ HATÁSOK VIZSGÁLATA.....15 | 13. Ficzer Péter: EGYEDI ORVOSI IMPLANTÁTUMOK MÉRETEZÉSI PROBLÉMÁI.....58 |
| 4. Bubonyi Andrea, Dr. Bihari Zoltán: KÖRNYEZETI ZAJTERHELÉS AKUSZTIKAI VIZSGÁLATA (ESETTANULMÁNY).....19 | 14. Ficzer Péter, Szabó Gábor, Lovas László, Borbás Lajos: SLS ELJÁRÁSSAL ELÉRHETŐ ANYAGJELLEMZŐK EGYÉNRE SZABOTT ORVOSI IMPLANTÁTUMOK MÉRETEZÉSÉHEZ.....62 |
| 5. Dr. Czifra Árpád, Dr. Horváth Sándor: MŰSZAKI FELÜLETEK OSZTÁLYOZÁSA MIKROTOPOGRÁFIAI PARAMÉTEREK ALAPJÁN.....23 | 15. Gárdonyi Péter, Dr. Kátai László, Dr. Szabó István: ÉKSZÍJ BELSŐ SÚRLÓDÁSI VESZTESÉGÉNEK VIZSGÁLATA ÜZEMHASONLÓ KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT.....66 |
| 6. Darabos Anita: „KÜLCSINY, KÜLLEM / HARC” NŐVÉNYEKNÉL, ÁLLATOKNÁL, EMBEREKNÉL.....27 | 16. Dr. Gáti József, Dr. Horváth Sándor: 100 ÉVES A BÁNKI VÍZTURBINA.....70 |
| 7. Bakosné Diószegi Mónika: COMPARISON OF MECHANICAL PRETREATMENT METHOD OF ORGANIC WASTE IN WASTEWATER PLANT.....31 | 17. Dr. Hegedűs József: AZ ÉRTÉKALKÍTÁSSAL SEGÍTETT GÉPTERVEZÉS ÁLTALÁNOSÍTÁSA.....74 |
| 8. Debreczeni Dániel, Dr. Kamondi László: Modifikation der Zahnradverbindungen in der Fahrzeugindustrie.....36 | 18. Hetey Csaba, Dr. Szlivka Ferenc: SZÉLTURBINA BURKOLATGEOMETRIÁJÁNAK HATÁSA A NYOMATÉKRA.....84 |
| 9. Domonyi Erzsébet, Dr. M. Csizmadia Béla, Dr. habil. Telekes Gábor: VASBETON MŰTÁRGYAK KÖTÉS KÖZBENI HŐMÉRSÉKLET KÜLÖNBSÉGE ELTÉRŐ BETONACÉL MENNYISÉGEK ESETÉN.....40 | 19. Dr. Horváth Sándor, Dr. Czifra Árpád: AKI A MAGYAR GÉPIPART NAGGYÁ TETTE: 150 ÉVE HALT MEG GANZ ÁBRAHÁM.....88 |
| 10. Dr. Dömötör Csaba: FORMA ÉS FUNKCIÓ KAPCSOLATAI A TERMÉSZETBEN....44 | 20. Péter József, Németh Géza: HERMETIKUS HAJTÁSOK.....92 |

AZ ABRÁZIÓS KARCOK IRÁNYÁNAK BEFOLYÁSOLÓ HATÁSA A KOPÁS KEZDETI SZAKASZÁN

THE INFLUENCE OF THE DIRECTION OF THE ABRASIVE SCRATCHES DURING THE RUNNING-IN STAGE OF THE ABRASION PROCESS

Dr. Barányi István, baranyi.istvan@bgk.uni-obuda.hu

ÖSSZEFOGLALÁS.

In the initial stage of the abrasive wear process the microtopography of steel drastically changes until it reaches the stable stage. This stage can be described by simulation model with the help of the roughness parameters. The value and the modification of the parameters define the disappeared peak zone and the form of the abrasion scratches.

In this paper the author describe the roughness modification in with the help of the 2D (profile) and 3D (microtopography) simulation analysis and made a comparison between the results.

1. BEVEZETÉS

A növekvő ipari igényeknek eleget téve az utóbbi 10 évben megfigyelhető, hogy nem csak a gyártott felületeink érdességi szempontú leírására van szükség, hanem a felületek működéskori megfelelőségét is figyelembe kell venni. A szakirodalmat tekintve elmondhatjuk, hogy egyrésztől felülettervezési eljárások és iránymutatások jelentek meg [1], másrésztől az érdességi paraméterek és működési jellemzők kapcsolatát leíró cikkek segítik a folyamat részletesebb leírását.

Kubiak és mtsai [2] cikkükben profil mérések segítségével vizsgálták az Ra érdességi paraméter, a súrlódási tényező és a kopási intenzitás közti kapcsolatot orientációval rendelkező műszaki felületek esetén.

Horváth és mtsai [3] [4] kutatásuk során alumínium öntvény érdességének a változását vizsgálják – a tribológiai folyamatokat is jellemző – Rsk és Rku paraméterek segítségével.

Sukumaran és mtsai [5] [6] munkájukban kihangsúlyozzák az online és az offline tribológiai mérések fontosságát, majd érdességmérést és nagysebességű képképző rendszert használnak a kopási folyamat leírásakor.

A szakirodalom alapján leszűrhetjük a következtetést, mely szerint több kutató is jellemezte tribológiai szempontból

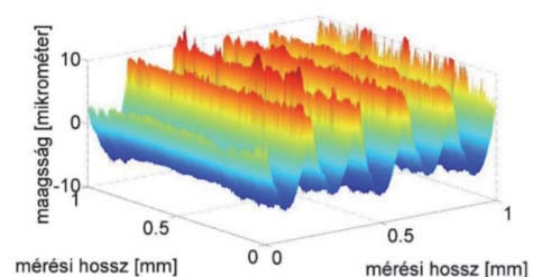
érdességméréssel a műszaki felületeket, de ugyanazon felületek különböző karcirányultsággal nem kerültek leírásra. Jelen cikkben a szerző szimulációs algoritmus segítségével jellemzi az előtolással párhuzamos és arra merőleges karcok hatását profilmérési és mikrotopográfiai mérési szempontból.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatokor ütökékes gyártási technológiával legyártott próbatest gyártás utáni és koptatási kísérlet utáni felületi minőségét használtam fel. A koptatáskor pin-on plate elrendezést alkalmaztam és száraz kenési állapot mellett a csúcszóna folyamatosan megsemmisült, a leváló szemcsék nem károsították a völgyzónát a folyamat alatt. A felületet 600 N normálerő mellett 10800 mm-es úthosszon koptattam. Érdességméréskor 1mm x 1mm-es felületet vizsgáltam mindkét irányban 2 mikronos lépésközzel 90°-os csúcshögű és 5 mikrométeres lekerekítési sugarú tapintó segítségével.

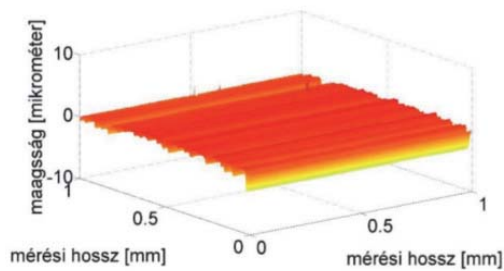
1. táblázat. Az érdességi paraméterek értékei

| paraméter | gyártott | koptatott |
|-----------------|----------|-----------|
| Sa [mikrométer] | 3,222 | 0,4294 |
| Sq [mikrométer] | 3.9244 | 0,5928 |
| SSk [-] | 0,7599 | -2,1505 |
| Sku [-] | 2,7376 | 14,9583 |



1. ábra. Az ütökékes mikrotopográfia

A vizsgálatkor alkalmazott érdességi paraméterek koptatás előtti és utáni értékeit az 1. táblázat foglalja össze, a topográfiaikat pedig az 1. és a 2. ábra szemlélteti.



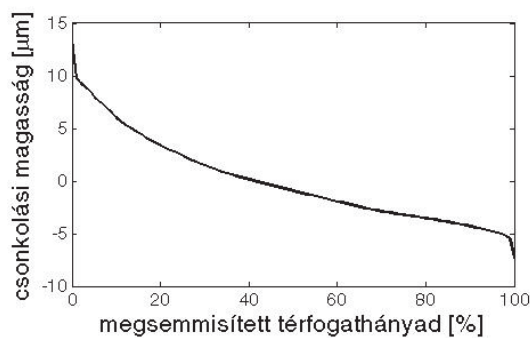
2. ábra. Koptatott mikrotopográfia

A [7] szerinti csonkoló algoritmus felépítéséből adódóan lehetőséget nyújt arra vonatkozóan, hogy a topográfia orientációjával merőleges és azzal párhuzamos karcok hatását is részletesen elemezhesük.

Az algoritmus bemeneteként felhasznált ütökéses és abrázíósan koptatott mikrotopográfia középsíkra normálás után kerül felhasználásra. Mikrotopográfiai mérések esetén elmondható, hogy a szabványok nem adnak konkrét előírásokat a szűrés megvalósítására vonatkozóan, valamint a felületi minőség hullámossági és érdességi jelösszetevői együttesen határozzák meg például a valós érintkezési zónát, így további szűrési eljárásokat nem alkalmaztam.

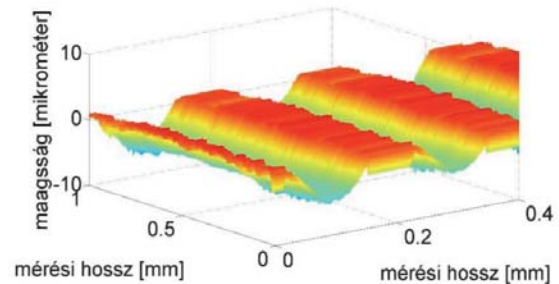
A normálás eredményeként a jel számításaim szerint alakhibát méréseim alapján nem tartalmaz, viszont a hullámossági és érdességi jelösszetevők hatása együttesen megfigyelhető. Az így előkészített mérési eredmények ponthalmazként való használata lehetőséget nyújt arra vonatkozóan, hogy az abrázíós karcokkal helyettesítsünk a koptatáskor megsemmisített csúcshatárát. Az egyes csonkolási magasságok meghatározásakor egyrésztől lineáris osztást, másrésztől állandó eltávolított anyagmennyiséget vehetünk figyelembe. A tribológiai vizsgálatokat tekintve elmondható, hogy a második módszer közelíti meg jobban a valós folyamatokat, amennyiben az abrázíós szemcse nem végez számottevő képlékenyalakítást.

Az alkalmazott 100 lépéses számítás csonkolási magasságait mutatja be a 3. ábra.



3. ábra. A csonkolási magasságok meghatározása

A csonkolási magasságok meghatározása segítségével a gyártott mikrotopográfia adott magasságban megsemmisül, a kialakuló szakadásokat pedig az algoritmus segítségével abrázíósan koptatott mikrotopográfia pontjai foltozzák össze (4.ábra).



4. ábra. Foltozás abrázíós karcokkal

Az eljárással kapott ponthalmazt középsíkra normálás után már ki lehet értékelni érdességmérési paraméterekkel.

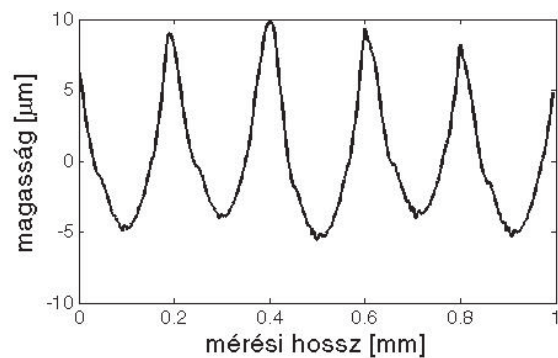
Az ismertetett módszer univerzális felhasználásaként amennyiben a profilmérés adatait kiterjesztjük mikrotopográfivá (feltételezzük, hogy a méréskor a párhuzamos profilok alakja nem változik) a profilmérés alkalmazhatóságát is meg tudjuk határozni a kopási folyamat kezdeti szakaszának jellemzésére.

3. EREDMÉNYEK

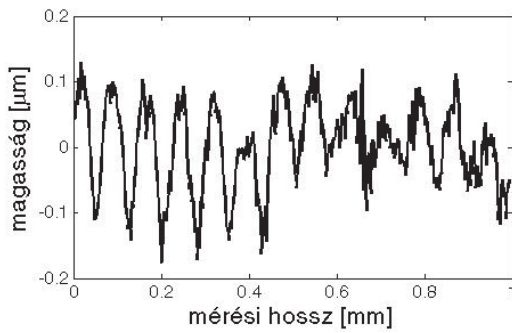
3.1. Profilmérésből meghatározott eredmények

Profilmérés esetén célszerűen a gyártott mikrotopográfia esetén az előtolással párhuzamos, koptatott esetén pedig a karcokra merőleges profil vizsgálata (ellenkező esetben a gyártáskor kialakult felületi minőség illetve a karcok alakjának figyelembevétele nem valósul meg).

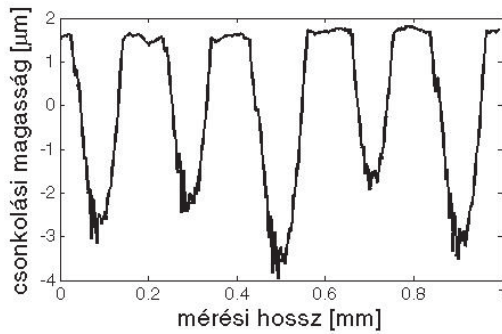
Az alkalmazott profilokat mutatja be a 5. és 6. ábra, az analízis 40. lépésekor generált profilt pedig a 7. ábra.



5. ábra. A gyártott felület profilja



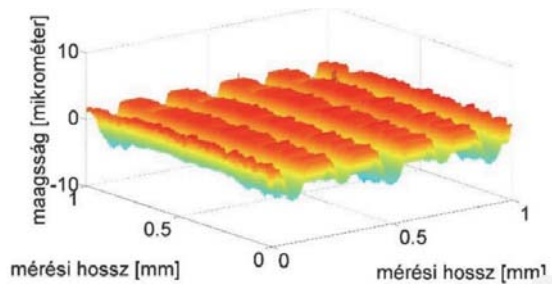
6. ábra. A koptatott felület profilja



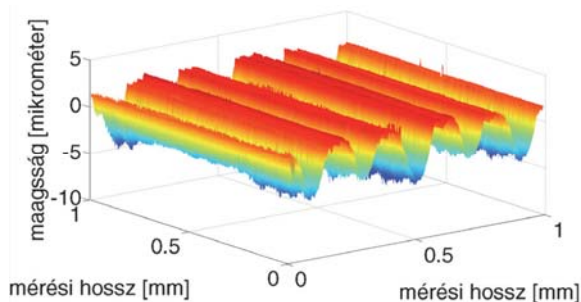
7. ábra. A profil analízis 40. lépése

3.2. A mikrotopográfiából meghatározott eredmények

A mikrotopográfiával történő foltozásokor az abrázációs karcok irányultsága már vizuálisan is befolyásolja a felületet. A 8. és a 9. ábrán előtolásra merőleges és azzal párhuzamos karcokkal történő foltozás eredményeit láthatjuk a szimuláció 40. lépésénél.



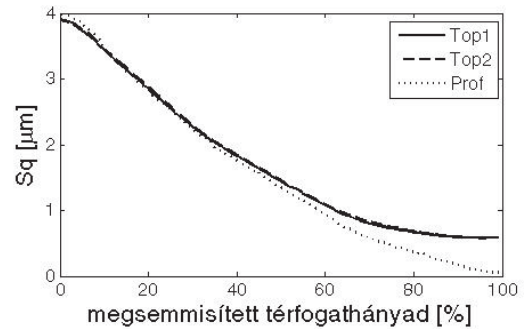
8. ábra. Az előtolással párhuzamos karcokkal foltozás



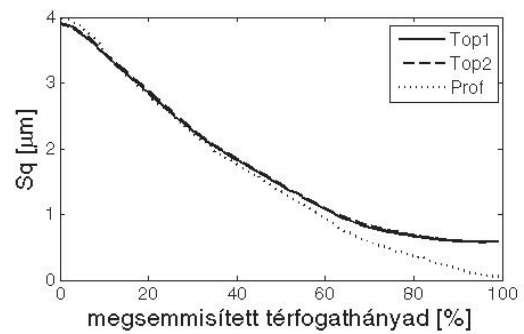
9. ábra. Az előtolásra merőleges karcokkal foltozás

3.3. Az eredmények érdességi mérőszámokkal történő kiértékelése

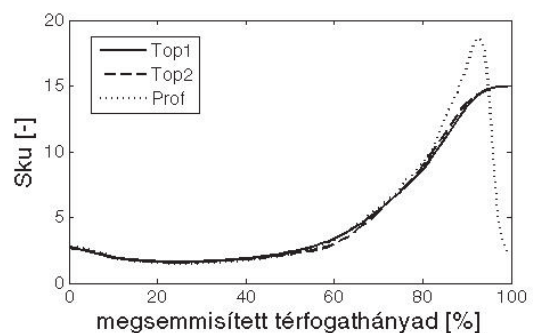
Az eredmények érdességi mérőszámokkal történő kiértékelésekor a gyakorlatban is elterjedten alkalmazott mérőszámok háromdimenziós kiterjesztését vizsgáltam és definiáltam a megsemmisített térfogathányad és a mérőszám kapcsolatát a 10.-13. ábrákon. Az ábrák jelmagyarázatánál a Top1 az előtolási irányral párhuzamos karcokat, a Top2 az előtolási irányra merőleges karcokat, a Prof pedig a profilok vizsgálatával kapott eredményeket jelöltem.



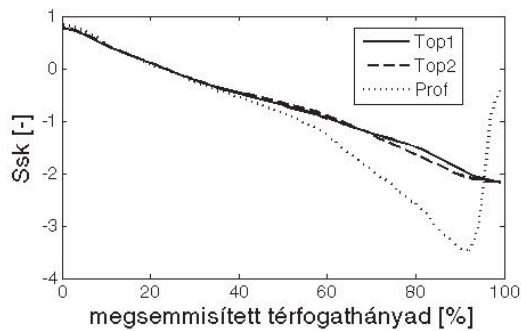
10. ábra. Az átlagos egyenetlenség változása a folyamat során



11. ábra. Az eltérések mértani átlagának változása a folyamat során



12. ábra. A lapultsági mérőszám változása a folyamat során



13. ábra. Az ferdeségi mérőszám változása a folyamat során

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett szimulációk segítségével az alábbi megállapításokat lehet megfogalmazni:

- mikrotopográfiai analíziseknél elmondható, hogy a karcok iránya az egyes eredményeket nem befolyásolja. A folyamatos csúcszóna megsemmisüléskor a karcok irányultsága figyelmen kívül hagyható érdekességi szempontból, így modellkísérleteknél nincs szükség különböző kialakítású tribológiai vizsgáló berendezés alkalmazására.
- profilmérés alkalmazásakor a számítások eredményei korlátozottan alkalmazhatóak. Az analízishez kiválasztott profilok választásakor figyelembe kell venni, hogy a profilmérés milyen mértékben jellemzi megfelelően a felület minőségét. A végrehajtott vizsgálatnál S_a , S_q és S_{sk} paraméterek esetén az eredeti profil 60%-ának megsemmisítése után, S_{ku} esetén pedig 80%-os megsemmisítése után a görbék különbsége jelentős. A különbséget az abrázációs karcok dominancia növekedését és nem reprezentatív mivoltát írja le.
- Az S_{sk} és S_{ku} görbék esetén a folyamat végén nem az abrázációs karcoknak megfelelő értéket veszi fel a görbe, így ilyen analíziseknél ellenőrizni kell használat előtt az érdekességi paraméterek értékét.
- mindhárom esetben megfigyelhető az S_{ku} görbék esetében egy minimum pont, mely feltehetőleg a gyártott felület minőség miatt keletkezik.

5. IRODALOM

[1] Bruzzone, A. A. G., Costa, H. L., Lonardo, P. M. and Lucca, D. A.: Advances in engineered surfaces for functional performance, CIRP

Annals – Manufacturing Technology 57, 2008, pp. 750–769

[2] Kubiak, K. J., Liskiewicz, T. W. and Mathia, T. G.: Surface morphology in engineering applications: Influence of roughness on sliding and wear in dry fretting, Tribology International. 44, 2011, pp. 1427–1432

[3] Horváth R., Czifra Á., Drégelyi-Kiss Á.: 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, Vol. 78:(1-4), 2015, pp. 297-304.

[4] Horváth R., Drégelyi-Kiss Á., Mátyási Gy.: The examination of surface roughness parameters in fine turning of hűőereutectic aluminium alloys, Polytechnical University of Bucharest. Scientific Bulletin. Series D: Mechanical Engineering, Vol. 77:(2),2015, pp. 205-216.

[5] J. Sukumaran, M. Ando, P. De Baets, V. Rodriguez, L. Szabadi, G. Kalacska, V. Paepegem: Modelling gear contact with twin-disc setup, Tribology International. 49, 2012, pp. 1–7

[6] J. Sukumaran, S. Soleimani, P. De Baets, V. Rodriguez, K. Douterloigne, W. Philips, M. Ando: High-speed imaging for online micrographs of polymer composites in tribological investigation, Wear 296, 2012, pp. 702–712

[7] István Barányi, Róbert Keresztes, Zoltán Szakál, Gábor Kalácska: Prediction of Surface Roughness Parameters by New Experimentally Validated Modelling Algorithm under Abrasive Condition; ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 13:(7) pp. 197-208. (2016)

HASZONJÁRMŰ DÍZELMOTOR SZÍVÓTARTÁLYI OXIGÉN KONCENTRÁCIÓJÁNAK SZABÁLYZÁSA MAGASNYOMÁSÚ EGR SZELEPPEL ÉS KIPUFOGÓ OLDALI FOJTÁSSAL

INTAKE MANIFOLD OXYGEN CONTROL OF A COMMERCIAL VEHICLE DIESEL ENGINE WITH HP-EGR AND EXHAUST THROTTLING

Bárdos Ádám, Németh Huba*

BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Gépjárműtechnológia Tanszék

ÖSSZEFOGLALÁS: Dízelmotorok nitrogén-oxid és részecske kibocsátásának kezelésére irányuló számos eljárás közül (pl.: DPF, SCR stb.) a hengertöltet összetételének precíz beállítása egy költséghatékony megoldás. A szívótartály oxigénkoncentráció jelentős befolyást gyakorol az égésre, ezzel együtt az emisszióra is, melynek csökkentése részben kipufogógáz visszavezetéssel lehetséges. Magas nyomású visszavezetési rendszer esetében a visszaáramló gázok mennyisége korlátozott a kialakuló nyomásviszony által. A cikkben a szerzők egy új megoldást javasolnak a probléma feloldására: haszonjárműveknél használatos kipufogó fojtás alkalmazásával tetszőleges visszavezetési mennyiség megvalósítását. Ennek demonstrálására egy LQ-servo szabályzó kerül megtervezésre és fékpadai mérésekkel ellenőrzésre, amely a magas nyomású EGR-szelep és a kipufogó fojtás alkalmazásával állít be precízen egy megkívánt szívótartályi oxigénkoncentráció célértékeket.

ABSTRACT: Among several methods to handle NO_x and PM emission in diesel engines (e.g DPF, SCR etc.) the precise control of cylinder charge composition seems to be an effective solution. The intake manifold oxygen concentration has a major effect on the combustion process therewith on the emission. Its manipulation is possible by EGR. In HP-EGR systems the amount of the back flowing exhaust gases is limited by the pressure difference on the EGR duct. In this paper the authors present a novel approach to solve this problem: arbitrary EGR mass flow by using the exhaust throttling which is widely applied at commercial vehicles. As demonstration an LQ-servo controller was designed and its performance was evaluated by dyno test bench measurements. The proposed control structure allows a precise intake manifold

oxygen concentration adjustment with EGR valve and exhaust flap actuators.

1. BEVEZETÉS

Napjaink emissziós normái (pl.: Euro 6 és US EPA 13) jelentős korlátozásokat vezettek be. A motorfejlesztők számára a legnagyobb kihívást a nitrogén-oxidok (NO_x) és a részecskék (PM) emissziójának csökkentése jelenti a CO₂ csökkentésével párhuzamosan. Alapvetően kétféle lehetőség kínálkozik az említett szennyező anyagok kibocsátásának befolyásolására: a motor nyers emissziójának mérséklése vagy kipufogógáz-utánkezelő rendszer alkalmazása. Dízel részecskeszűrő (DPF) alkalmazása a koromkibocsátás csökkentése érdekében a tüzelőanyag-fogyasztás megnövekedéséhez vezet a nagyobb kipufogó ellennyomás és a regeneráció igénye miatt. A szelektív redukciós katalizátorok (SCR) költségesek, nominális hatásfokukat csak korlátozott kipufogógáz hőmérsékleti tartományban érik el. Emellett a szükséges katalitikus anyag, tartály és befecskendező rendszer csak tovább növeli a költségeket és csökkenti az üzemanyag-tartály kialakítására rendelkezésre álló teret. A fent említett hátrányos tulajdonságoknak köszönhetően a mai motorfejlesztés a kipufogógáz-utánkezelő rendszerek súlyának, méretének csökkentésére törekszik [1].

Az égési folyamat közbeni NO_x és PM keletkezésének kézbentartására a hengerekbe áramló töltet oxigén koncentrációjának precíz beállítása egy hatásos módszer [2], ami kipufogógáz visszavezetés (EGR) útján valósítható meg. A jelenlegi EGR szabályzási rendszerek általában csupán a visszavezetett EGR arányra

* felelős szerző, e-mail: adam.bardos@gjt.bme.hu

fókuszálnak, így figyelmen kívül hagyják a visszavezetett kipufogógáz minőségét (oxigén tartalmát). A szívótartályi oxigénkoncentráció szabályzásának előnyei a [3] cikkben kerültek kifejtésre. Az EGR összetett hatásmechanizmusának részletes elemzése megtalálható [4]-ben. Továbbá igen magas kipufogógáz visszavezetési arány alacsony hőmérsékletű égés (LTC) különböző formáinak megvalósításában játszhat jelentős szerepet. Erről a témáról az olvasó részletesen tájékozódhat az következő irodalmakban: [5] és [6]. Továbbfejlesztett égési eljárások NO_x emisszió csökkentésében elért eredményeire a [7] irodalom ad betekintést. A fentiek alapján a cikkben ismertetésre kerülő szabályzási metódus a szívótartályi oxigén koncentrációt használja a szabályzó célértékeként, hogy a jelenleg használt EGR-arányra való szabályzás problémán felülkerekedjen.

A beszívott töltetet hígító visszavezetett kipufogógáz tömegárama az EGR ág két vége (1. ábra) között kialakult nyomásviszony függvénye. Magas nyomású visszavezetési rendszer (HP-EGR) esetén ez a turbófeltöltő és a motor közös munkapontjától függ, így nem választható meg tetszőlegesen, így az adott munkapontban visszavezethető kipufogógáz mennyisége korlátos. A szerzők által javasolt kipufogó oldali fojtás alkalmazásával azonban az EGR vezetéken előálló nyomásviszony szabadon manipulálhatóvá válik, így lehetővé téve a hengertöltet összetételének tág határok között való precíz beállíthatóságát.

Változó turbinageometriájú turbótöltő (VGT) lapátjai ugyancsak használhatóak kipufogó oldali ellennyomás generálására, ezzel HP-EGR tömegáramának emelésére [8]. Másrésztől kipufogóági fojtószelepeket széles körben alkalmaznak haszonjármű dízelmotorokon tartós fékként. Ezek a kipufogófékeket azonban általában csak két állásban tudnak működni annak érdekében, hogy ellássák tartós fékként feladatukat: teljesen nyitva vagy teljesen zárva. Jelen cikkben a szerzők a kipufogó oldali fojtások kiterjesztett használatát javasolják a szívótartályi oxigén koncentráció szabályzására. Ennek megvalósításához természetesen pontos pozíciószabályzásra képes kipufogószelepekre van szükség (lásd [9]). Ilyen kipufogó oldali fojtószelepekkel a fenti mellett számos egyéb funkció is megvalósításra kerülhet: üzemi fékműködésbe integrált üzemi kipufogógáz hőmérséklet szabályzás, stb. Részletes leírás a lehetséges alkalmazásokról [10]-ben található.

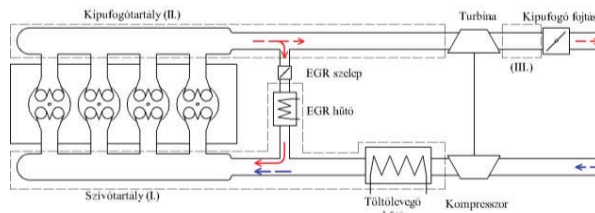
Ezekon felül a kipufogó fojtószelep alkalmazása egy olcsóbb és megbízhatóbb alternatívát kínál a VGT turbófeltöltőkhöz képest.

Az EGR szelep és VGT turbófeltöltő hasonló célú összehangolt szabályzásának megvalósítása a [11] és [12] irodalmakban található.

A cikk 2. fejezetében a javasolt szabályzó teszteléséhez használt motorfékpad kerül bemutatásra. A 3. fejezetben a szabályzási célok kerülnek összefoglalásra. Az 5. fejezetben kerül ismertetésre a kitűzött célokat kielégítő szabályzó, amely a 4. fejezetben vázolt nemlineáris motormodell alapján kerül megtervezésre. A 6. fejezetben motorfékpad mérés alapján kerül sor a szabályzó jellemzőinek bemutatására.

2. A SZABÁLYOZANDÓ RENDSZER ÉS A MÉRÉSEKHEZ HASZNÁLT ESZKÖZÖK BEMUTATÁSA

A cikkben ismertetésre kerülő szívótartályi oxigén koncentráció szabályzó jellemzői egy közepes nagyságú, turbófeltöltött és töltőlevegő hűtővel rendelkező, common rail dízelmotoron került ellenőrzésre. A motor hűtővel ellátott magasnyomású kipufogógáz visszavezető rendszerrel van felszerelve. A kipufogó oldali fojtás közvetlenül a turbina után került a kipufogócsőbe beépítésre, ezzel biztosítva a minimális motor utáni térerősséget a nyomásfelfutási idő minimalizálása végett. A szívó- és kipufogó csőhálózat sematikus ábrája az 1. ábrán látható.



1. ábra. A szabályozandó dízelmotor töltetcsere rendszere a beavatkozókkal

A motor dinamikus motorfékpadra lett telepítve, amelyen minden fontos jellemző mérhetőségét biztosította a szabályzó megtervezéséhez és teszteléséhez. A szívótartályi oxigén koncentráció egy szélessávú lambda-szondával került mérésre, melynek jele kompenzálásra került a nyomásingadozás miatt. A szabályzó MATLAB/Simulink környezetben került megtervezésre, az implementáció pedig dSpace Autobox gyors prototípus hardveren készült el.

3. JAVASOLT SZABÁLYZÁSI STRUKTÚRA ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A bevezetésben részletezett előnyök miatt a jelen cikkben javasolt EGR-szabályzó a szívótartályi oxigén koncentráció (x_{im}) beállítását tűzi ki szabályzási célként az emisszió minimalizálása végett. Ezt egyrészt az EGR-szeleppel, másrészt a kipufogó fojtással való beavatkozással éri el. A kipufogócsőbéli nyomás emelése a motor pumpálási veszteségének növekedésével jár, ami fogyasztásnövekedéshez vezet. Természetesen a motor minimális CO₂ kibocsátását is biztosítani kell a beavatkozások során. Így a következő szabályzási célokat írhatjuk fel:

- 1) a szívótartályi oxigén koncentrációnak (x_{im}) követnie kell az alapjelet ($x_{im,dem}$). Túl magas oxigén koncentrációnál megnőhet a NO_x kibocsátás, túl alacsonynál pedig a koromképződés.
- 2) A motor pumpálási veszteségeit ($p_{em} - p_{im}$, a kipufogó- és szívótartályi nyomások különbsége) minimalizálni kell, törekedve a minél alacsonyabb tüzelőanyag-fogyasztásra.

4. A SZABÁLYZÓTERVEZÉSHEZ HASZNÁLT DÍZELMOTOR MODELL

A szabályzótervezés alapjául egy termodinamikai és kémiai törvényszerűségeken nyugvó modell került felírásra, amelyben az egyes paraméterek értékei fizikai, kémiai jelentéssel bírnak. Ez nagyban elősegíti a különféle motorokra való egyszerű applikációt és az egyes részfolyamatok lezajlása is vizsgálhatóvá válik általa. A modell részletesen ismertetésre és validálásra került [13]-ban, így jelen cikkben csak az átfogó ismertetésre kerül. A töltetcsere-rendszerben három mérlegelési térfogat került kiválasztásra: szívótartály (I.), kipufogótartály (II.) és a turbina és a kipufogó fojtószelep közötti térfogat (III.). A fenti mérlegelési térfogatok az 1. ábrán szaggatott vonallal és római számmal kerültek megjelölésre. A mérlegelési térfogatok nyomására az izotermikus kvázistatikus hőmérséklet feltételezése mellett került felírásra az energia- és tömegmegmaradás. Ezen felül, mint szabályozni kívánt jellemző, a szívótartályi oxigén koncentráció változása is definiálásra került. Hasonlóképpen a nyomás és oxigén koncentráció, mint állapotváltozó a kipufogótartályra is kiszámításra került. A turbina és a kipufogó fojtószelep közötti mérlegelési térfogat nyomása is modellezésre került a kipufogó oldali fojtás

hatásának figyelembe vétele végett. Az elektromechanikusan működtetett EGR- és kipufogó fojtószelep dinamikája összemérhető a töltetcsere rendszer dinamikával, ezért a két beavatkozó-dinamika egytárolós arányos tagok segítségével került figyelembe vételre. Mindkét beavatkozó egy pozíció-szabályozott pillangószelep. A dízelmotor működésére releváns hatásukat a megnyitott aktuális átáramlási keresztmetszetükön keresztül fejtik ki (A_{EGR}, A_{et}). A szabályzó azonban egy relatív nyitási szöveget (φ_{egr} vagy φ_{et}) kérhet 0-100%-ig. A két jellemző közötti nemlineáris kapcsolat leírására vonatkozó összefüggések a [14] és [15] irodalmakban találhatóak. A rendszer nemlineáris viselkedéséből fakadóan a beavatkozók pozíciója a záráshoz közeli tartományban lesz releváns, így a [16]-ban ismertetettekhez hasonlóan történő lineáris felírás is jó közelítést ad.

Az irányításelméletben széles körben az állapotterén alapuló szabályzótervezési módszerek a legelterjedtebbek. Jelen cikk által ismertetett megközelítés is egy ilyen modellen alapszik, így a dízelmotor töltetcsere rendszerét leíró nemlineáris modell végső formájában állapotteres reprezentációban került felírásra. Az állapotvektor a szívótartály-, kipufogótartály-, turbina és kipufogó fojtás közti térrész nyomását és a szívó- és kipufogótartály oxigén koncentrációját tartalmazza az alábbi formában:

$$\mathbf{x} = [p_{im} \quad p_{em} \quad p_{to} \quad x_{O_2,im} \quad x_{O_2,em} \quad \varphi_{egr} \quad \varphi_{et}]^T. \quad (1)$$

A beavatkozó jelek: az EGR-szelep és a kipufogó fojtás megkívánt pozíciói:

$$\mathbf{u} = [\varphi_{egr,dem} \quad \varphi_{et,dem}]^T. \quad (2)$$

A mérhető zavarás a motorfordulatszám és a befecskendezett tüzelőanyag tömegárama:

$$\mathbf{d} = [n_e \quad \sigma_f]^T. \quad (3)$$

Az EGR szelep és a kipufogó fojtás hangsebességhez viszonyított áramlási állapotai és az EGR visszacsapó-szelep a modell un. hibrid, diszkrét-folytonos módjaihoz vezetnek. A szabályzótervezéshez a beavatkozó szelepek hangsebesség alatti, un. szubszónikus állapotai és pozitív kipufogó/szívó oldali nyomásviszony által

meghatározott nominális hibridmódú modell kerül felhasználásra, amely az alábbi formát ölti.

$$\begin{bmatrix} \dot{p}_{im} \\ \dot{p}_{em} \\ \dot{p}_{to} \\ \dot{x}_{O_2,im} \\ \dot{x}_{O_2,em} \\ \varphi_{egr} \\ \varphi_{et} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{x}, \mathbf{d}, r) \\ f_2(\mathbf{x}, \mathbf{d}, r) \\ f_3(\mathbf{x}, \mathbf{d}, r) \\ f_4(\mathbf{x}, \mathbf{d}, r) \\ f_5(\mathbf{x}, \mathbf{d}, r) \\ f_6(\mathbf{x}, \mathbf{d}, r) \\ f_7(\mathbf{x}, \mathbf{d}, r) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ g_{51}(\mathbf{x}, \mathbf{d}, r) & 0 \\ 0 & g_{61}(\mathbf{x}, \mathbf{d}, r) \end{bmatrix} \mathbf{u} \quad (4)$$

A rendszer mérhető kimenete az alábbi alakú:

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}_{11}\mathbf{d} + \mathbf{D}_{12}\mathbf{u}. \quad (5)$$

A tesztpadon mind a hat állapotváltozó mérhető volt így a \mathbf{C} mátrix egységmátrix. Későbbi járműves installációk esetére néhány szenzor állapotbecslő segítségével helyettesítésre kerülhet költséghatékonysági szempontok miatt.

A teljesítmény-kimenet a szívótartály oxigén koncentrációja, összhangban a szabályzási céllal, a mért kimenetből származtatható az alábbi egyenlettel:

$$\mathbf{z} = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]\mathbf{y} \quad (7)$$

5. SZABÁLYZÓTERVEZÉS

A tervezett szabályzónak maradéktalanul ki kell elégítenie a 3. bekezdésben összefoglalt célokat. Ha a töltetcsere rendszert megvizsgáljuk, akkor világossá válik, hogy a kipufogófojtás alkalmazása minden esetben emeli a motor pumpálási veszteségeit, azaz ellentétes 2)-vel. Éppen ezért addig, ameddig a beszívott töltet megfelelő hígítása elérhető pusztán az EGR szelep nyitásával, a kipufogó fojtást teljesen nyitott állapotban célszerű tartani. Zárását kizárólag abban az esetben célszerű megkezdni, ha az EGR-szelep pozíciója már teljesen nyitott állapotban. Ennek kielégítése legegyszerűbben akkor lehetséges, ha az előző szakaszban ismertetésre került MIMO modellből a szabályozási struktúrát két darab SISO szabályzóra csatoljuk szét: az egyik szabályzó egyedül az EGR-szelep nyitásának változtatása segítségével törekszik a szívótartály oxigén koncentráció alapjelének beállítására teljesen nyitott kipufogó fojtás mellett. A másik szabályzó pedig teljesen nyitott EGR-szelep állás mellett a kipufogó fojtás nagyságának állításával avatkozik be. A két szabályzó között, pedig a következő átváltási logika került implementálásra: alap esetben a csak az EGR-szeleppel működő szabályzó aktíválódik. Ha ennek a kért pozíciója eléri a 100%-ot, akkor

átkapcsolás történik a kipufogófojtással beavatkozó SISO szabályzóra. A visszaváltásra abban az esetben kerül sor, ha a kipufogófojtás kért pozíciója eléri a 70%-ot-ot. A rendszer nemlineáris viselkedéséből fakadóan ugyanis effektív hatást csak az ennél zártabb pozíciók esetén fejt ki.

Az LQ-servo szabályozók számos nemlineáris szabályozási probléma esetében sikerrel kerültek alkalmazásra (lásd [17] és [18]). Emellett csekély számítási igényüknél fogva beágyazott környezetben való implementációjuk is megoldható. Az LQ-servo szabályzó a teljes állapot-visszacsatolást alkalmazó lineáris kvadratikus szabályzó integrátorral kiegészített változata, amely így képessé válik referencijel követésére, így a szabályzási célként kitűzött 1) követelmény kielégítésére. A bevezetendő integráló mesterséges állapot az $x_{im,dem} - x_{im}$ hibajel. Az LQ-sabályozás egy optimális állapot-visszacsatolást alkalmaz, amely minimalizálja az állapotok és a bemenetek energiájának alábbi költségfüggvényét.

$$J(\bar{\mathbf{x}}, \mathbf{u}) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\bar{\mathbf{x}}^T \mathbf{Q} \bar{\mathbf{x}} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt \quad (8)$$

A súlyzómatrixok a szabályzó hangolható paraméterei, amelyek egy megfelelő kiindulási értékről tovább finomíthatók a tesztpadi mérések folyamán. [19] alapján a következőképpen kerültek felvételre:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} q_1 & & & \\ & q_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & q_n \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$\mathbf{R} = \rho \begin{bmatrix} r_1 & & & \\ & r_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & r_n \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$q_i = \frac{1}{t_{si}(x_{imax})^2}, r_i = \frac{1}{(u_{imax})^2}, \rho > 0, \quad (11)$$

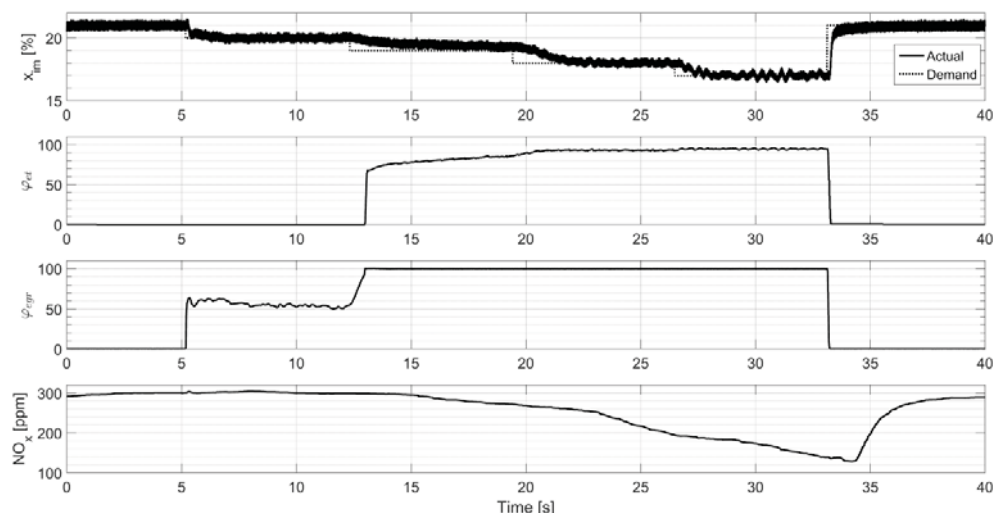
ahol t_{si} az x_i tervezett beállási ideje, x_{imax} az $|x_i|$, u_{imax} az $|u_i|$ maximális értéke, ρ pedig a választott súlyozás a szabályzás és a beavatkozási energia között.

A szabályozótervezéséhez a (4) nemlineáris egyenletrendszer Jacobi-linearizációjára került sor egy jellemző munkapontban: 1200 1/min-es fordulatszámon, alacsony terhelés mellett. Mivel két SISO szabályozó kerül megtervezésre, ezért a (4) rendszer éppen nem használt beavatkozó-állapota elhagyásra került a linearizáció során. A CARE (Control Algebraic Ricatti Equation) fenti peremfeltételekkel való megoldásával a szabályzó megtervezésre került.

6. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Az előző fejezetben ismertetésre került szabályozási struktúra MATLAB/Simulink környezetben került implementálásra. Lefordítás után gyors prototípus hardver végezte a futtatást, és a beavatkozókval a CAN-buszon való kommunikációt, illetve a mérés rögzítését is. A 2. ábrán egy egységugrásokból álló tesztesetben követhető nyomon a szabályozó működése. A mérés 1200 1/min fordulatszámon és alacsony terhelés mellett került rögzítésre, ami a motor közötti üzeme során egy gyakori üzemállapot. A szívótartályi oxigénkoncentráció 1%-os

lépcsőkben került csökkentésre egészen 17%-ig, majd visszalép a frisslevegő töltetre. A 20%-os oxigén koncentráció még pusztán az EGR szelep nyitásával pontosan beállítható. A 19%-os koncentráció beállításához azonban már nem lenne elég a teljesen nyitott EGR szelepnél a turbófeltöltő és a motor együttműködéséből kialakuló nyomásviszony. Ezért itt megtörténik az átkapcsolás a kipufogófojtással beavatkozó SISO szabályzóra. Eközben az EGR-szelep egy állandó teljesen nyitott parancsot kap. Látható, hogy minden munkapont stabilan, néhány tizedszázalék pontossággal beállításra kerül. A rendszer nemlineáris viselkedéséből fakadóan az egyre kisebb koncentrációk eléréséhez a kipufogófék pozíciójának egyre kisebb mértékű változása tartozik (pl. a 20-35s időszakban). Az ábra utolsó sorában a kipufogógáz nyers NO_x emisszió értékei kerültek ábrázolásra. A javasolt szabályzás a várakozásoknak megfelelően, korrelálva a hengertöltet oxigén koncentrációjával, 300 ppm-es értékről majdnem egyharmadára csökkenti a nyers NO_x kibocsátást.



2. ábra. A javasolt szabályzó teljesítménye a fékpadi mérés során

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjaink dízelmotor-fejlesztésében különösen nagy kihívást jelent a nitrogén-oxidok és részecskék kibocsátásának csökkentése amellet, hogy ezzel egy időben a CO_2 kibocsátás is csökkenjen, vagy legalább ne növekedjen. Ennek elérésére a kipufogógáz utánkezeléssel szemben, költség- és tüzelőanyag-fogyasztási szempontok alapján, a nyers emisszió csökkentése kedvezőnek mutatkozik. Ennek egy jól ismert eljárása a

kipufogógáz visszavezetése, ami alternatív égésfolyamatok megvalósítása során is kiemelt szerepet kaphat. A széles körben alkalmazott EGR-arány nem ad pontos képet a beszívott töltet összetételéről. Ennek megoldására a szívótartály oxigén koncentrációjának szabályzási célként való alkalmazása javasolt. Ezen felül, magas nyomású EGR-rendszerek esetében a szívóoldalra visszaáramló kipufogógáz mennyisége korlátos a szívó- és kipufogó tartályok között kialakult nyomásviszony által. Ezen probléma megoldására

a kipufogófojtás alkalmazása javasolt, amellyel tetszőleges nyomáskülönbség, így tetszőleges EGR-tömegáram valósítható meg. Ez tekinthető egyben, a köztes pozíciók pontos megvalósítására képes, új típusú kipufogófékek kiterjesztett alkalmazásának. A fenti célok elérésére egy szabályzási struktúra kerül kidolgozásra, mely a szívótartályi oxigén koncentrációjának jelkövető szabályozását valósítja meg a motor pumpálási munkájának minimalizálása mellett. A szabályzó alapjául a töltetcsere-rendszer fizikai, kémiai törvényekre épülő nemlineáris modell szolgált. A javasolt szabályzási struktúra működése motorfékpadai mérésrel kerül bemutatásra.

8. IRODALOM

- [1] Körfer T, Ruhkamp L, Herrmann O, Linssen R, Adolph D.: Verschärfte Anforderungen an die Luftpfadregelung bei Nutzfahrzeugmotoren. MTZ - Motortechnische Zeitschrift 2008; 69(11):958–65. doi: 10.1007/BF03227504.
- [2] Herrmann O. E.: Emissionsregelung bei Nutzfahrzeugmotoren über den Luft- und Abgaspfad, Aachen: Technische Hochschule; 2005. Ph.D. thesis. <http://publications.rwth-aachen.de/record/52065>.
- [3] Bessai C, Stölting E, Gratzke R. Virtueller Sauerstoff-sensor im Einlasskrümmer eines Dieselmotors. MTZ - Motortechnische Zeitschrift 2011; 72(11):874–81.
- [4] Ladommatos N, Abdelhalim S, Zhao H, Hu Z. The dilution, chemical, and thermal effects of exhaust gas recirculation on diesel engine emissions - part 4: effects of carbon dioxide and water vapour. SAE Technical Paper 971660. 1997. doi: 10.4271/971660.
- [5] Akihama K, Takatori Y, Inagaki K, Sasaki S. Mechanism of the smokeless rich diesel combustion by reducing temperature. SAE Technical Paper 2001-01-0655. SAE; 2001. doi: 10.4271/2001-01-0655.
- [6] Rebecchi P. Fundamentals of thermodynamic for pressure-based low-temperature premixed diesel combustion control, Holzgarten Str. 16, 70174 Stuttgart: Universität Stuttgart; 2013. Ph.D. thesis. <http://elib.unistuttgart.de/opus/volltexte/2013/8276>
- [7] Johnson TV. Review of diesel emissions and control. Int. J. Engine Res. 2009;10(5):275–85. doi: 10.1243/14680874JER04009.
- [8] Ammann M, Fekete N, Guzzella L, Glatfelder A. Model-based control of the VGT and EGR in a turbocharged common-rail diesel engine: theory and passenger car implementation. SAE Technical Paper 2003-01-0357. SAE; 2003. doi: 10.4271/2003-01-0357.
- [9] Ahmed FS, Laghrouche S, Bagdouri ME. Analysis, modeling, identification and control of pancake DC torque motors: application to automobile air path actuators. Mechatronics 2012; 22(2):195–212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.01.004>.
- [10] Bárdos Á, Szimandl B, Németh H.: Feedforward LQ servo backpressure controller for engine exhaust throttle. 14th mini conference on vehicle system dynamics, identification and anomalies (VSDIA 2014); 2014.
- [11] J. Wahlstrom, L. Eriksson and L. Nielsen, "EGR-VGT Control and Tuning for Pumping Work Minimization and Emission Control," in IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 18, no. 4, pp. 993-1003, July 2010. doi: 10.1109/TCST.2009.2031473
- [12] J. Wahlström and L. Eriksson, "Output Selection and Its Implications for MPC of EGR and VGT in Diesel Engines," in IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 21, no. 3, pp. 932-940, May 2013. doi: 10.1109/TCST.2012.2191289
- [13] Ádám Bárdos, Huba Németh: Model development for intake gas composition controller design for commercial vehicle diesel engines with HP-EGR and exhaust throttling, In Mechatronics, Volume 44, 2017, Pages 6-13, ISSN 0957-4158, <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2017.04.002>
- [14] B. J. Heywood: Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, Inc., 1988.
- [15] P. Carlsson. Flow through a throttle body: A comparative study of heat transfer, wall surface roughness and discharge coefficient. Technical Report ISRN: LIU-IEI-TEK-A-07/0071-SE, Linköping University, 2007.
- [16] BÁRDOS, Ádám; SZIMANDL, Barna; NÉMETH, Huba. H-infinity Backpressure Controller for High Response Engine Exhaust Throttles. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, [S.l.], v. 44, n. 4, p. 201-208, 2016. ISSN 1587-3811.
- [17] P. Bauer, G. Ritzinger, S. A., J. Bokor, LQ servo control design with Kalman filter for a quadrotor UAV, Periodica Polytechnica 36 (1-2) (2008) 9–14. doi:10.3311/pp.tr.2008-1-2.02.
- [18] B. Szimandl, H. Németh, Optimal position control of an electro-pneumatic clutch system, in: Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC'12), Seoul, Korea, 2012, pp. 1 – 6.
- [19] Burl, J. B.: Linear Optimal Control, Addison Wesley, Boston, MA, USA 1999. (p. 306)

KISMÉRETŰ MŰANYAG FOGASKERÉK-HAJTÓMŰVEKRE HATÓ KÜLSŐ HATÁSOK VIZSGÁLATA

RESEARCH OF THE EFFECT OF REACTIVE LOADS ON SMALL PLASTIC GEAR DRIVES

Dr. Bihari János, egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

BEVEZETÉS

A kisméretű műanyag fogaskerekekkel szerelt hajtóművek jellemző tulajdonságaiból fakadóan olyan terhelések is veszélyeztethetik a hajtómű épségét, amelyeket más esetekben nem, vagy kevésbé fontos tényezőként veszünk figyelembe. Ilyen terhelések tipikusan azok, amelyek a hajtómű fogaskerekeinek fokozott melegezését okozzák a hajtómű álló helyzetében, valamint azok, amelyek a hajtott oldal forgatásakor terhelik a fogazatokat.

ABSTRACT

In the application fields of small plastic gear drives, the effect of the reactive loads and the reversing the energy chain often presents a danger. I confirmed with measures, that in such cases the acting turn-back torque by multiple-stage drives can cause overload or fatal damage on the last stage of a drive.

DEFINÍCIÓK

Kis méretű fogaskerék: evolvens profilú, külső, egyenes fogazatú fogaskerék, amelynél a modul $m \leq 0,3$ mm.

Műanyagok, ebben a cikkben: fogaskerekek gyártásához általánosan használt 80 – 85 N/mm² folyási feszültségű, min. 50% szakadási nyúlású és a 3200 – 3000 N/mm² rugalmassági modulusú poliamidok, valamint 70 N/mm² folyási feszültségű, 30 % szakadási nyúlású és 3000 N/mm² rugalmassági modulusú POM alapanyagok.

1. A KISMÉRETŰ MŰANYAG HAJTÓMŰVEK NÉHÁNY JELLEMZŐ TULAJDONSÁGA

A probléma megértéséhez tekintsük át az ilyen hajtóművek néhány jellemző tulajdonságát és felhasználási területét. Műanyagból fröccsöntéssel jelentősen egyszerűbb lépcsős kereket gyártani, mint a fém alapanyagokból, ezért a tervezők gyakran élnek ezzel a

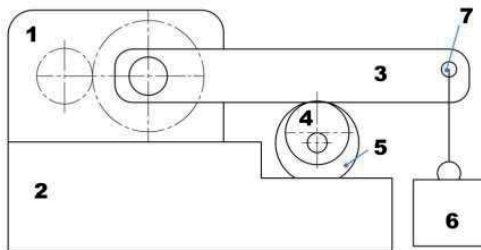
megoldással. Mivel így kis terheléseknél, amelyek nem igényelnek nagy teherbírású csapágyazásokat, jelentős helyet lehet megtakarítani, az ilyen hajtóművek gyakran szokatlanul sok, akár 6 – 14 lépcsőt is tartalmaznak. Az ilyen hajtóműveknél szokásosan megengedhető terhelések, és főként a megengedhető költségek miatt a hajtóművek csapágyazásai egyszerű kivitelűek, a csapágyak és a tengelyek illesztését pedig nem az optimális működés és élettartam, hanem a gyárthatóság határozza meg. Ugyanez igaz a fogaskerekek tűréseire is. Ebből fakadóan az ilyen hajtóművek veszteségei viszonylag, vagy abszolút mértékben is nagyok.

A nagy áttételeknek és a nagy veszteségeknek köszönhetően ezek a hajtóművek azonban alkalmasak lehetnek tartó funkció ellátására, azaz visszaforgatásukhoz az adott méretekkel jelentősnek számító forgatónyomatéokra van szükség. Ilyenkor a motor tehetetlenségi nyomatékát kihasználva elhagyhatók pl. a tartófékek pozicionálásra szolgáló hajtóműveknél, vagy léptetőmotorok esetén nincs szükség áramfelvételre a tartott helyzetben. Tipikus alkalmazások ilyen esetekre a légttechnikai berendezések terelőlemezei, a gépjárművek tükörállító szerkezetei, vagy a különböző pozicionáló hajtóművek.

2. A VISSZAHATÓ TERHELÉSEK LEHETSÉGES HATÁSAI

Problémát itt az jelent, ha a tartott elemre tartósan ismétlődő terhelés hat. Ez származhat például légttechnikai rendszerekben ventilátorok által keltett lüktető légáramból, vagy járművek esetén a jármű rezgéseiből és a járművet érő lökésekből. Ilyenkor az ismétlődő terhelés főként az utolsó lépcső kapcsolatban

lévő fogait terheli. Az 1. ábrán bemutatott egyszerű tesztpad az ilyen terhelések szimulálására szolgál. Az 1 jelű hajtómű a 2 állványon van rögzítve. A hajtómű kimenő tengelyéhez csatlakozik a 3 jelű kar. A 4 jelű excenter a kart emeli fel olyan módon, hogy alaphelyzetben a kar és az excenter között hézag van, azaz a terhelést a kar és az arra felfüggesztett 6 jelű súly biztosítja, az excenter pedig időszakosan megszünteti a terhelést.

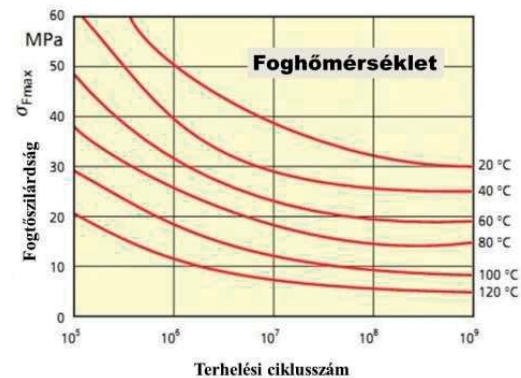


1. ábra: tesztpad a visszaható terhelések vizsgálatához

A tesztpadon elvégzett mérések kimutatták, hogy 21 °C környezeti hőmérsékletnél már 2/s ismétlési frekvencia esetén is 7 °C hőmérséklet-emelkedés következhet be a hajtómű utolsó fogaskerékpárján, amely nem hagyható figyelmen kívül a tervezés során, mivel mind a fogazatok szilárdságára, mind a működési hézagokra jelentős hatással van. A problémát a tűrészési sajátosságok miatt nem mindig lehet a méretezés, vagy az anyagválasztás optimalizálásával kezelni, ilyenkor szükség lehet kiegészítő megoldások beépítésére, pl. a mozgatott elem reteszelésére.

A szobahőmérsékleten végzett mérések azonban kizárólag arra alkalmasak, hogy igazolják a jelenség létezését és veszélyes mértékét. Ahhoz, hogy pontos képet kapjunk a hőmérséklet emelkedéséről egy adott hajtómű esetén, szimulálnunk kell a hajtómű jellemző alkalmazási területein előforduló hőmérsékleteket. Ez azért fontos, mert az ilyen egységekben általánosan használt műanyagok szilárdsága már a normál környezetben előforduló maximális hőmérsékletek esetén is jelentősen csökkenhet a szobahőmérséklethez képest, a nap közvetlen sugárzásának kitett hajtóműveknél pedig kritikus csökkenés is

előfordulhat. A 2. ábra egy PA6 alapanyag esetén mutatja be a fogtőszilárdság csökkenését a hőmérséklet függvényében [1].



2. ábra: a fogtőszilárdság és a hőmérséklet összefüggése [1]

A csökkenő szilárdság nagyobb elmozdulásokhoz vezet, ami az anyag nagyobb belső súrlódásaival jár, így a visszaható terhelések hatásából származó melegedés is nagyobb lehet. Ez a hatás két okból veszélyes. Az egyik, hogy a kapcsolatban lévő fogak szilárdsága olyan mértékben csökken, hogy már a tartott elem tartásához szükséges erő álló helyzetben is károsítja a fogakat, a másik pedig, hogy a működési hézagok elfogynak a hőtágulás miatt, a fogazat megfeszül, és a hajtómű ismételt elindításakor károsodnak a fogak.

Ezért a kutatásaim következő lépése egy olyan kamra megépítése, amelyben 80 °C hőmérsékletig lehet vizsgálni az ilyen terhelések hatásait. A 80 °C hőmérsékletet az indokolja, hogy a mindennapi környezetben körülbelül ez az a hőmérséklet, amely a nap közvetlen sugárzásának kitett, sötét színű tárgyak, pl. személygépkocsik tükörházainak vagy műszerfalainak belső terében kialakulhat.

3. A VISSZAFORGATÁSI NYOMATÉKOK, MINT VESZÉLYES TERHELÉSEK

A visszaható terhelések másik veszélyes formái a visszaforgatási nyomatékok, amelyek a hajtómű kihajtó tengelyére hatnak. Ezek nagyobb méretű, és nem műanyag hajtóművek esetén ritkán veszélyesek, ezért általában nem is vizsgáljuk a fogazatokat ilyen szempontból. A kisméretű műanyag hajtóműveket azonban gyakran építik be olyan helyekre, ahol ezek a

terhelések relevánsak lehetnek. Tipikusan ilyenek a gyermekjátékok, valamint minden olyan alkalmazás, ahol könnyű, de nagy kart biztosító elemeket mozgatnak, amelyeket karbantartáskor vagy tisztításkor a munkát végző személyzet könnyen elmozdíthat. Ilyen esetekben a hajtómű jellemzően nagy belső veszteségei miatt az utolsó lépcső fogazatait a normál forgásirányban fellépő, és így a tervezéskor figyelembe vett erőknél jelentősen nagyobb erők terhelhetik. Ennek bizonyítására méréseket végeztem, amihez először a kereskedelmi forgalomban kapható kész hajtóműveket, majd az egyértelműbb eredmények érdekében erre a célra „tenyésztett” hajtóműveket használtam.

| Sorszám | Áttétel | M motor | M hajtómű | M motor+hajtómű |
|---------|---------|-----------|-----------|-----------------|
| 1. | 1 : 48 | < 0,1 Ncm | 0,5 Ncm | 2 Ncm |
| 2. | 1 : 125 | < 0,1 Ncm | 0,7 Ncm | 5,2 Ncm |
| 3. | 1 : 300 | < 0,1 Ncm | 1,5 Ncm | 16,8 Ncm |
| 4 | 1: 825 | 0,1 Ncm | 8,3 Ncm | 114 Ncm |

1. táblázat: a visszaforgatási nyomaték mérési eredményei a kereskedelmi forgalomban kapható hajtóműveken

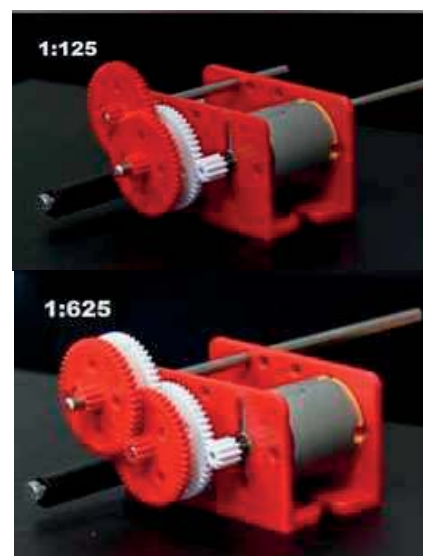
A kereskedelmi forgalomban kapható hajtóművek mérésének eredményeit az 1. táblázat tartalmazza. A hajtóműveket PCE-TM 80 statikus digitális nyomatékmérővel mértem, ahol ez lehetséges volt, folyamatos forgatással, majd a kapott mérési görbén olvastam le a jellemző maximális értékeket. Magyarázatot kíván az előző mondatban szereplő „ahol ez lehetséges volt” kifejezés. A legnagyobb áttételű hajtómű esetében a motorral együtt végzett ellenirányú forgatás nem lehetséges. Az 1. táblázatban a 4. sor utolsó oszlopában szereplő érték a műszer mérési határa. Ezt egy kissé meghaladó nyomatékkal forgatva a hajtómű kihajtó tengelyét az utolsó lépcső fogaskerekei károsodnak (3. ábra). A műszer alsó mérési határa 0,1 Ncm, ezért ahol ezt nem érte el a motor forgatásához szükséges nyomaték, ott csak <0,1 Ncm érték van megadva. A táblázatból az is látható, hogy a hajtóművek veszteségei jelentősen nagyobbak a várhatónál. Az elvégzett mérésekből azonban még nem célszerű messzemenő

következtetéseket levonni, mert a hajtóművek kialakítása és megmunkálási pontossága nem azonos, az utóbbi nem is ismert. Azt azonban jól mutatták ezek a mérések, hogy a nagy áttételűnél a hajtómű belső ellenállása jelentősen nagyobb lehet az egyéb, külső fogazású fogaskerekeket tartalmazó hajtóművekhez képest.



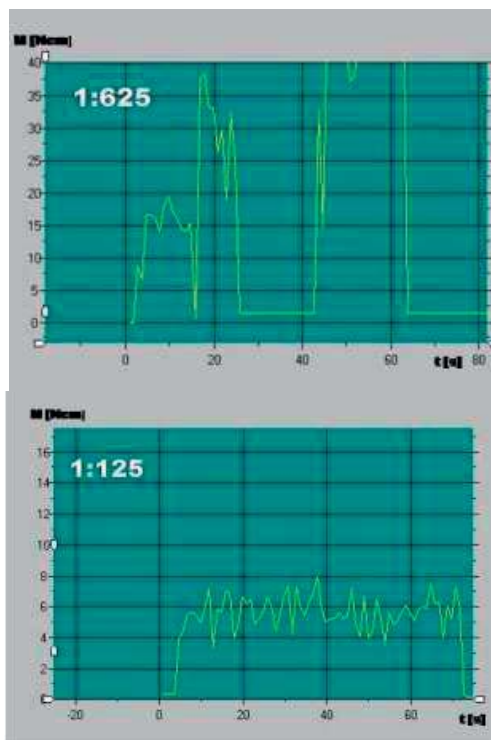
3. ábra: fogaskerék károsodása visszaforgatáskor (20x nagyítás)

A vizsgálatokat ezután elvégeztem olyan hajtóművekkel is, amelyek azonos, ismert paraméterű fogaskerekeket és azonos tengelyeket tartalmaztak, valamint a csapágyazások is azonosak voltak bennük. A 4. ábrán látható két példa két azonos elemekből felépített, de eltérő áttételű hajtóművet mutat. A sötét színű fogaskerekek rögzítve vannak a tengelyeken, a világos színűek el tudnak fordulni rajta.



4. ábra: két hajtómű a visszaforgatási nyomaték méréséhez

Ezeknél a hajtóműveknél nem csak az átforgatási nyomaték maximumát regisztráltam, hanem a forgatás folyamatát is. Így egyértelműen kimutatható volt, hogy az áttétel növelésekor a visszaforgatáshoz szükséges nyomaték nem az áttétel növelésével arányosan, hanem annál nagyobb mértékben nő, és a terhelés a gyártási pontatlanságokból adódóan nem egyenletes, hanem változik. A 4. ábrán látható két egységhez tartozó mérési görbéket mutatja az 5. ábra.



5. ábra: a visszaforgatási nyomaték mérési görbéi két különböző áttételű hajtóműnél

A görbék megfelelő értékeléséhez tudni kell, hogy az 1:625 áttételű hajtóművet valójában nem lehet visszafelé teljesen körbeforgatni az utolsó lépcső károsodása nélkül, egy fordulaton belül többször is kritikusra nő a terhelés. A nagyon alacsony értékek abból adódnak, hogy a mérőműszer tokmányában megcsúszik a hajtómű tengelye.

A kísérletek eredményeit áttekinthetően kijelenthető, hogy az energialánc megfordításának hatásával számolni kell akkor, ha a hajtómű a felhasználási területén az ilyen jellegű hatásoknak ki lehet téve. Ugyanakkor az is látható, hogy a hajtómű ellenállásának mértéke nem csak az áttételtől

és a motor által kifejtett ellenállástól függ, hanem a hajtómű elrendezésétől és belső hatásfokától, súrlódási viszonyaitól is. Az energialánc megfordulását okozó hatás mértéke pedig a hajtómű beépítési jellegzetességeinek függvénye. Ha a külső erő (jellemzően a felhasználó) nagy, biztonságos fogást nyújtó karon tudja visszafelé forgatni a hajtóművet, akkor a normál irányú energialánc teljesítményéhez képest jelentősen nagyobb teljesítményt tud kifejteni, ilyenkor az utolsó, vagy utolsó két lépcsőt ennek megfelelően kell megtervezni. Ezért ezeket az eseteket mindig egyedileg kell vizsgálni, véleményem szerint általános számítási módszer a probléma megoldására nem javasolható. A tervező feladata annak a megítélése, hogy az ilyen terhelések hogyan kerülhetők el, azaz hogy milyen kiegészítő elemekkel, vagy milyen, a szerkezet többi elemét érintő konstrukciós megoldásokkal kerülhető el a hajtómű túlterhelése.

4. IRODALOM

[LI01] LICHARZ GMBH: *Konstruieren mit technischen Kunststoffen*. Licharz GmbH, Buchholz, Németország, 2016.

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

The described article/presentation/study was carried out as part of the EFOP-3.6.1-16-2016-00011 “Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation” project implemented in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

KÖRNYEZETI ZAJTERHELÉS AKUSZTIKAI VIZSGÁLATA (ESETTANULMÁNY)

ACOUSTICS EXAMINATION OF THE NOISE POLLUTION IN THE ENVIROMENT (CASE-STUDY)

Bubonyi Andrea, buboandi@gmail.com
Dr. Bihari Zoltán, PhD, machbz@uni-miskolc.hu

ÖSSZEFOGLALÁS (ABSTRACT, INHALT)
Recently, a concrete mixing plant was built in Szikszó, in the industrial park in the center of the city. However, the householders near the site complain of heavily increased noise loads for which they have been asked for an exploratory measure to find out whether the noise is above the allowed level.

1. BEVEZETÉS

2017. tavaszán, Szikszón a Bethlen Gábor utca keleti oldalán található ipari parkba egy betonkeverő telep létesült. Bár a Bethlen Gábor utca közvetlen a 3-as számú főútról nyílik, a beljebb elhelyezkedő házak lakói eddig nem panaszkodtak a közúti forgalomból származó zajterhelés miatt. Az önkormányzat már tervbe vette egy Szikszó várost elkerülő út építését, amely lehetőséget biztosítana arra, hogy a főutat az átmenő teher- és személygépjármű forgalomtól tehermentesítse, csökkentve a közúti forgalomból származó zaj nagyságát. Jelenleg azonban úgy tűnik, hogy ha a közlekedési zaj csökkenni is fog, a lakók nyugalma mégsem biztosított, ugyanis az ipari parkban létesült betonkeverő üzem már reggel 06:00-kor megkezdte a működését, ami a délutáni órákig tart. A közelben lakók elmondása szerint ez a tevékenység jelentősen megemelte a terület zajszintjét.

Az utcán, illetve a kertekben érzékelhető zaj, az előbb említett okok miatt, több forrásból is ered. Az elsődleges, hogy a telephely működése megnövelte az érintett utca tehergépkocsi forgalmát, az alapanyag helyszínre-, és a késztermék elszállítása miatt. A korábban csekélynek mondható célforgalom a Bethlen Gábor utcában a többszörösére növekedett. Ez a zaj várhatóan akkor is meg fog maradni, ha megépítik az elkerülő utat, hiszen az itt közlekedő tehergépkocsik továbbra is a telephelyre fognak szállítani. A másodlagos zajforrás a működő betonkeverő üzem

technológiájából adódik, azaz műveleti zajként értelmezhető. Ez az alapanyag betáplálásából, a keverés, valamint a kiürítés folyamatából áll. Mindkettő zaj időszakos, csendesebb és hangosabb intervallumok váltják egymást. Jelenlegi információink szerint 2018. év tavaszán elkezdődik az elkerülő autótút építése, amely várhatóan az üzem éjszakai-nappali működésével fog együtt járni.

A lakosság először az önkormányzathoz fordult a panaszával, mivel szerintük a megengedettnél zajosabb a telephely működés közben, és nem kis károkat okozott a környező utakon a nyitott teherkocsikról lehulló alapanyag, illetve késztermék. A város jegyzője elutasította a kérelmüket arra hivatkozva, hogy a betonkeverő üzem halk és veszélytelen, és megfelel a környezeti előírásoknak, mind por-, levegő-, mind zajszennyezés tekintetében. Sajnos előzetes vizsgálatok és felmérések nem történtek, mivel a jogszabályok egy ekkora üzem működtetési engedélyéhez nem írnak elő ilyen követelményeket. Meg kell jegyezni, hogy a telephely egy ipari parkban létesült, ahol a megengedett zajszint nagyobb, mint egy lakóövezetben és a környezeti előírások is mások. Azonban a lakókat továbbra is zavarta a megszokottnál magasabb zajszint és a forgalomnövekedés, és támogatójuk is akadt, Dr. Piskóti István professzor úr személyében, aki a Miskolci Egyetem Marketing és Turizmus Intézetének igazgatója, szikszói lakos. Felkeresték a médiát, több cikk is megjelent a problémáról (például a Népszava c. napilapban [1]), hátha a megfelelő hatóságok felfigyelnek az esetre, és hathatósabb megoldásra törekvőbb intézkedés történik az önkormányzati elutasításnál.

Közben Prof. Dr. Piskóti István felkérésére egy tájékoztató jellegű zajmérést végeztünk el, amelyben tájékozódni kívántunk a zajterhelés jellegéről, valamint az esetleges túllépés mértékéről. Mivel az ipari parkban a

megengedett egyenértékű A-hangnyomásszint határértéke a 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet alapján bizonyosan magasabb, mint a lakott területen, javasolt mérést végezni mindkét részre vonatkozóan. Mivel az ipari park, illetve az üzem területe magánterület, így a vizsgálatokat kizárólag a telephelyhez legközelebb eső ingatlan tulajdonosok telekhatárára korlátoztuk.

Abban az esetben, ha az előírt határértéket nem haladja meg a telephely működése közben keletkezett zaj, akkor a lakók zajártalom elleni fölháborodásának nincs alapja, az üzem tevékenységét el kell viselniük. Ellenkező esetben azonban hatósági beavatkozás szükséges.

2. A MÉRÉS ELVÉGZÉSE

2.1. Az alapzaj felvétele

A mérésre 2017. szeptember 15.-én, a délelőtti órákban került sor. A mérésről részletes jegyzőkönyv készült [4], itt most csak a fontosabb eredményekről szeretnénk beszámolni.

Az 1. ábrán a mérés helyszíne látható, a jelölések magyarázata a következő:

- 1: az 1-es mérési pont, az egyik lakos lakóházánál;
- 2: a 2-es mérési pont, egy másik közeli lakos lakóházánál;
- Z: zajforrás, a betonkeverő telep helye.



1. ábra. A mérés helyszíne

A műszerek kalibrálása az előírásoknak megfelelően megtörtént, és a meteorológiai körülmények is megfeleltek a normának, így nem volt szükség korrekciós tényezőkhöz a mérés kiértékelésekor.

Mivel a mérési helyszínre kérésre érkezés után az érzékszervi megítélés alapján nem folyt munka, így elsőként az alapzaj felvétele történt meg. A mérést egy B&K 2260 Investigator tercsávós hangnyomásszint-mérővel végeztük, egy 15 perces időintervallumban. Az alapzaj az 1-es mérési ponton

$$L_{p0(1)} = 53,4 \text{ dB}_A \quad (1)$$

volt. Ezt az értéket a 3-as számú főútról származó intenzív forgalmi zaj okozta. Ez önmagában véve túllépte az erre a területre meghatározott 50 dB_A határértéket. Ha erre szuperponálódik a telephely zaja, - legyen az

bármilyen csekély mértékű – az máris túllépést jelent. A 2-es mérési pontban már inkább a Bethlen Gábor utca gyér forgalma dominált, így itt

$$L_{p0(1)} = 47,3 \text{ dB}_A \quad (2)$$

hangnyomásszintet mértünk. A két értékből jól látható, hogy a főút zaja a második lakóháztól beljebb már sokkal kevésbé meghatározó, így a betonkeverő telephely működése jellemzőbb változást fog eredményezni.

A biztonság kedvéért kontroll méréseket is elvégeztünk annak érdekében, hogy a mért értékek tényleg a valóságot tükrözik-e, illetve más időintervallumban hasonló értékeket kapunk-e. A kontroll mérésekhez 15 percen keresztül 10 másodpercenként felvett adatok alapján számítottuk az egyenértékű A-

hangnyomásszintet az alábbi – szakirodalomból ismert – összefüggés segítségével:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^{90} t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{pi}} \right].$$

Az ellenőrző mérésekhez Voltcraft 322 hangnyomásszint-mérőt használtunk. Az 1-es mérési ponton ez az érték

$$L_{Aeq} = 53,9 \approx 54 \text{ dB}_A \quad (3)$$

volt, a 2-es ponton pedig:

$$L_{Aeq} = 47,9 \approx 48 \text{ dB}_A \quad (4)$$

értéket számoltunk. Az látható, hogy a két különböző műszerrel mért mennyiség nem mond ellent egymásnak, így a mérés elfogadható.

Mivel a zaj nem tartalmazott keskeny sávú összetevőket, illetve nem volt impluzusszerű jellege, így a korrekciós tényezők elhagyhatók, a mért egyenértékű A-hangnyomásszint megegyezik a valós zajterhelésekkel.

A területi besorolás tekintetében mindkét lakóépület kertvárosias lakóterület [2], ahol a

megengedett egyenértékű A-hangnyomásszint nappali időszakra [3] alapján:

$$L_{p(meg.)} = 50 \text{ dB}_A. \quad (5)$$

A mérési eredményekből látjuk, hogy az 1-es mérési helyszínen már az alapzaj meghaladja a megengedett értéket, azonban mivel az önkormányzat tervezi az elkerülő út építését, ez a túllépés orvosolható. Az is előre látható, hogy ha a 2-es mérési helyen a műveleti zajt a megengedett érték feletti értéken találjuk, annak egyértelmű okozója a telephelyen működő üzem lesz.

2.2 A műveleti zaj felvétele

Ott tartózkodásunk ideje alatt, az alapzaj vizsgálata során, egy rövid időre beindították a termelést a telephelyen, így lehetőségünk nyílt a műveleti zaj mérésére is. Mivel nem tudtuk milyen hosszan kívánják működtetni a berendezést, így a 2-es mérőponton kezdtük el a méréseket, hogy az itt kapott értékek alapján azonnal következtetést vonhassunk le arra vonatkozóan, hogy valóban meghaladja-e a megengedett értéket működés közben a betonkeverő üzem. A gyanúnk beigazolódott, bár mindösszesen 4 percig sikerült a műveleti zajról információt rögzíteni.



2. ábra. A betonkeverő telephely műveleti zaj mérése közben

A 2-es mérőhelyen az üzem működése közben

$$L_{Aeq(M)} = 54,1 \sim 54 \text{ dB}_A \quad (6)$$

egyenértékű A-hangnyomásszintet mértünk, a vizsgálat ideje alatt a csúcserőteljes

$$L_{Ap(csúcs)} = 57 \text{ dB}_A. \quad (7)$$

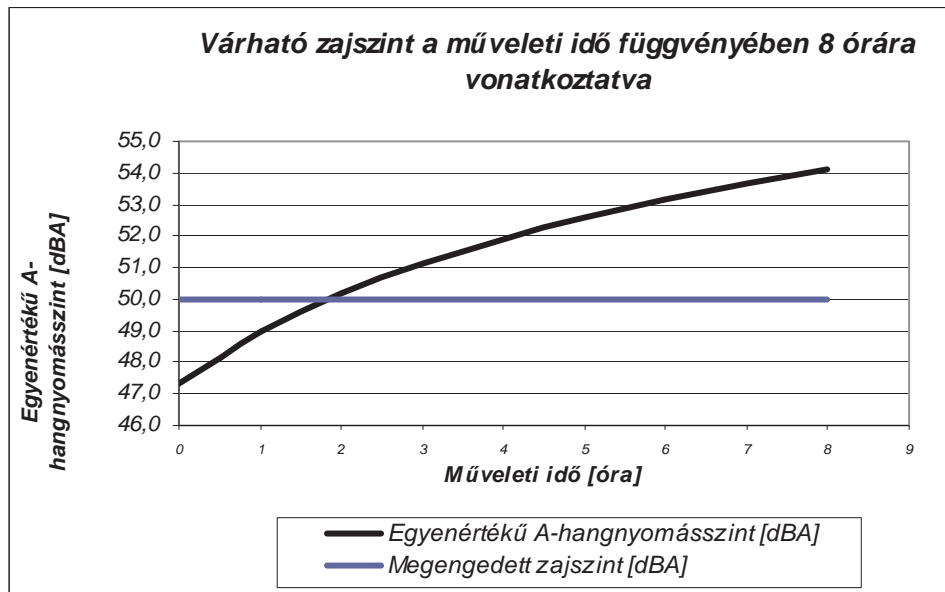
volt. Ezek szerint, a lakossági jelzéseknek megfelelően az üzemi zaj értéke meghaladta a megengedett szintet. Azonban ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy a telephelynek meg

kell szüntetnie a tevékenységét, és a működése a lakókat kis mértékben sem zavarhatja. Ahogy az itt mért értékekből egyenértékű A-hangnyomásszintet számoltunk, úgy ezt a telephely működésének teljes időtartamára, illetve a $T = 8$ órás intervallumra vonatkozóan is meg kell tenni.

Megjegyzést érdemel, hogy a vizsgálatok során az ott tartózkodó lakók állítása szerint a telephely nem működött olyan zaj-intenzitással, mint a korábbi napokban, szubjektív

megítélésük szerint máskor ennél jóval zajosabb a termelés. Véleményük szerint az üzem vezetője feltehetően tudomást szerezhetett a vizsgálat tényéről, ezért a berendezés működtetése során nagyobb gondossággal járt el.

Ettől függetlenül, ha az itt mért értékeket vetítjük tovább a $T = 8$ órás időintervallumra a következő ábrán látható eredményeket kapjuk:



3. ábra. Várható zajszint a műveleti idő függvényében 8 órára vonatkoztatva

A függőleges tengelyen az egyenértékű A-hangnyomásszint, a vízszintes tengelyen pedig a műveleti idő látható. Vízszintes vonallal bejelöltük a területre vonatkozó megengedett határértéket (5), és megrajzoltuk az adott területre vonatkozó várható egyenértékű A-hangnyomásszint görbét a telephely működési idejének függvényében. Belátható, hogy jelen feltételek mellett a telephely naponta mindössze 2 órát üzemelhet, hogy a teljes $T = 8$ órára vonatkoztatva ne lépje túl a megengedett 50 dB_A -s határt.

Valószínűsíthető, hogy a telephely kapacitását nem napi 2 órás üzemidőre tervezték. A továbbiakban a hatályos előírások betartása érdekében két lehetősége maradt az üzem tulajdonosának. Az első – és talán a város lakosai számára a megfelelőbb – ha elköltözik a város közepén elhelyezkedő ipari parkból egy a lakott övezettől távolabb eső külterületére, ahol zavartalanul folytathatja a tevékenységét. A második, hogy zajcsökkentési módszerekhez folyamodik. Ez megvalósulhat elkerülő utak

építésével, tehermentesítse a Bethlen Gábor utca forgalmát, valamint az egyes termeléshez kapcsolódó műveletek (betáplálás, keverés, kiürítés folyamatai) újragondolásával, esetleg más eszközök, berendezések beszerzésével, amelyek működési zaja kisebb a jelenleginél.

3. IRODALOM

- [1] <http://nepszava.hu/cikk/1134959-ipari-park-a-varos-kozepen---zajos-betonkevero-szikszon> (letöltés dátuma: 2017.10.08.)
- [2] Szikszó Város Önkormányzat Képviselő-testületének 21/2016.(X.27.) sz. önkormányzati rendelete, Szikszó város Szabályozási Tervének elfogadásáról és a Helyi Építési Szabályzat megállapításáról szóló 20/2011. (X.31.) számú rendeletének módosításáról
- [3] 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról
- [4] Dr. Bihari Zoltán: Szakvélemény a Szikszó, Piac téri lakott terület üzemi zajterheléséről (2017. 09.15.)

MŰSZAKI FELÜLETEK OSZTÁLYOZÁSA MIKROTOPOGRÁFIAI PARAMÉTEREK ALAPJÁN

CLASSIFICATION OF ENGINEERING SURFACES BASED ON MICROTOPOGRAPHIC PARAMETERS

*Dr. Czifra Árpád egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet,
Dr. Horváth Sándor címzetes egyetemi tanár*

ABSTRACT

Expert systems are useful engineering tools in modern machine design. Tribological importance of engineering surfaces and new production techniques means such a complex task that development of expert system in surface roughness characterisation is relevant. In our work a new method of surface roughness characterisation is presented such as a basic concept of surface classification expert system.

1. BEVEZETÉS

Műszaki felületek jellemzésére, a felületi érdesség mérésére számos módszer, technika ismert. Ezeket részben szabványok tartalmazzák [1, 2, 3] részben a szakirodalom ad új és új módszereket [4, 5].

A tribológiai folyamatok egyre mélyebb megértésének igénye, valamint a gyártástechnológia dinamikus fejlődése olyan új kihívásokkal állítja szembe a felületminőséggel foglalkozó szakembereket, melyek megválaszolása túlmutat a mindennapi érdességmérés eszköztárán, ismeretanyagán.

Az érdes felületek tribológiai viselkedésének leírása számos nehézséget hordoz magában: az egyes tribológiai folyamatok eltérő topográfiai sajátosságokkal hozhatók kapcsolatba, ezért a felület rendkívül széleskörű, ugyanakkor specifikus értékelésére van szükség ahhoz, hogy pontos megállapításokat, előrejelzéseket tehessünk. Barányi és társai [6] abráziós kopás kezdeti szakaszára adnak topográfiai tervezési eszközt munkájukban. A kidolgozott algoritmus nagyon jól használható, ugyanakkor nagyon célorientált.

Hasonlóan az új vagy a korábban megismerttől eltérő gyártástechnológiai eljárások a felületek újra-értékelését követelik meg. Horváth és Drégelyi-Kiss munkájukban [7] alumínium finom esztergálására végeztek vizsgálatokat és keresték meg azokat az

érdességi paramétereket, melyek képesek hatékonyan jellemezni a technológiát.

Jelen munkánk célja annak feltérképezése, hogy nagyszámú topográfiai paraméter használatával létrehozható-e olyan „szakértői rendszer”, mely képes a felületek osztályozására, besorolására a meglévő adatbázis ismereteire támaszkodva

2. ELMÉLETI HÁTTÉR

Érdesség méréssel foglalkozó szakemberek jól tudják, hogy egyes felületek pusztán vizuális úton is csoportosíthatók pl. megmunkálási módjuk, vagy kopási jellegük alapján. Az esztergált felület jellegzetes nyomai jól követik a megmunkálás kinematikáját (csavarvonal), illetve tükrözik a forgácsoló szerszám élgeometriáját. Erre a tapasztalatra épülnek azok az elméleti modellek, amik a forgácsolás paramétereiből, a szerszám élgeometriájából vezetnek le az elméleti felületi érdességet [8].

Hasonló módon a tribológusok is ismerik azokat a felületi sajátosságokat, amik egy-egy kopási mechanizmusra utalnak. Ilyen például a felületi kifáradás jelensége, ahol a felszínen megjelenő gödröcskék a pitting jelei. Számos kopási esetre találunk példát Tallian [9] tönkremeneteli atlaszában.

Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy az egyes tribológiai folyamatokhoz – tribológiai folyamatnak tekintve minden felületképző eljárást – sajátos mikrogeometriai, mikrotopográfiai tartozik. Ez alapján a hasonló tribológiai tulajdonságú felületek – legyen szó újonnan gyártott, működésre váró felületről, vagy éppen üzemből kiemelt, kopási nyomokat viselő topográfjáról – kategorizálható, csoportosítható a hasonló felületi tulajdonságai alapján.

Sajnos a topográfiai sajátosságok egyértelmű azonosítására nincsenek egzakt módszerek, ezért a csoportosítás alapjául a műszaki felületek 3D-s érdességméréséből származó 16 kiválasztott paraméter kombinációját választottuk. Ez a 16 paraméter

az ÓE-BGK fejlesztésében elkészült Surf3D szoftver által került meghatározásra. Négy kategóriába sorolva az alábbi paramétereket használtuk. Az egyes paraméterek értelmezése megtalálható a [2, 4, 10] szakirodalmakban.

Amplitúdó paraméterek:

- A felület középsíkjától való eltérések számtani középértéke (S_a),
- A felületi középsíktól való geometriai eltérések középértéke (S_q),
- A felület tíz pont magassága (S_z),
- A felületi topográfia magasságeloszlásának aszimmetriája (S_{sk}),
- A felületi topográfia magasságeloszlásának hegyessége (S_{ku}),

Térközi paraméterek:

- Felületi csúcspűrűség (S_{ds}),
- Alak karcsúság (S_{tr}),
- Auto-korrelációs hossz (S_{al}),

Hibrid paraméterek:

- A felület mikrogeometriai hajlásának geometriai középértéke ($S_{\Delta q}$, S_{dq}),
- A felületi csúcsok görbületeinek számtani középértéke (S_{sc}),
- A felületi csúcsok sugarainak számtani középértéke (S_{sr}),
- Felületarány (S_{dr}),

Működési paraméterek:

- Hordozófelület arány (S_{tp}),
- Hordozófelületi jelzőszám (S_{bi}),
- A magzóna folyadékmegtartási tényező (S_{ci}),
- A völgyzóna folyadékmegtartási tényező (S_{vi})

A vizsgálatok a kutatás jelenlegi fázisában arra irányulnak, hogy ez a 16 paraméter alkalmas-e arra, hogy egy-egy felületet – a meglévő adatbázis alapján – besoroljon egy adott osztályba. Távlati célként azonban megfogalmazható egy olyan tribológiai tervezést segítő szakértői rendszer létrehozása, mely egy legyártott felületet képes tribológiai szempontból osztályozni (ha erre fel van készítve a rendszer) és így rengeteg idő és tribológiai kísérlet spórolható meg.

3. AZ ALGORITMUS MŰKÖDÉSE

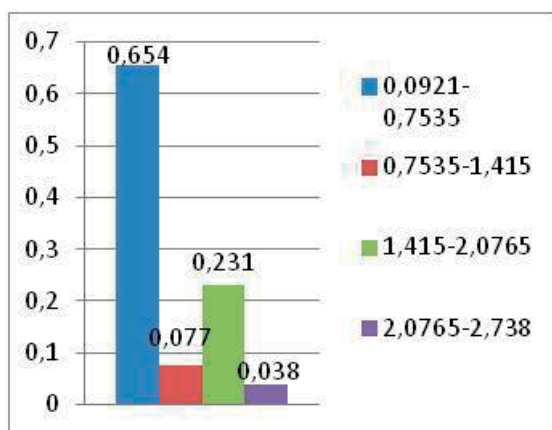
Az algoritmus működésének alapja egy adatbázis, mely jelen munka során három megmunkálási kategóriába sorolva tárolta a felületek korábban bemutatott 16 paraméterét. A három megmunkálás az esztergálás, marás és köszörülés volt. Mindhárom forgácsoló eljárás, a három technológia egyértelműen eltérő jellegű topográfiával rendelkezik, ugyanakkor

az átlagos érdesség – mint leggyakrabban alkalmazott paraméter – sok esetben átfedést mutat az egyes technológiák között. Az esztergálásnál 20, a köszörülésnél 26, a marásnál 23 mért topográfiával rendelkezünk; ezek képezték a rendszer „bázisát”. Fontos kiemelni, hogy ilyen nagyszámú bemeneti változó (16) mellett ez a darabszám igen kicsinek tekinthető, tehát a megbízhatóság előreláthatóan igen alacsony. Ennek korrigálása érdekében bevezettük az egyes paraméterek súlyozó tényezőit, ami az adatbázisban szereplő értékek „eloszlásának” függvényében 4 súlyozó tényezőt különböztet meg. Erre mutat példát az 1. táblázat és az 1. ábra. Az 1. táblázat tartalmazza a köszörült felület S_a átlagos érdesség paramétereit, míg az 1. ábra ezen paraméterek eloszlását mutatja úgy, hogy a minimum és maximum S_a értékek között 4 szintet különböztet meg. A súlyozó tényezők az adott szintbe eső mérések darabszámának és az összes darabszámnak a hányadosaként adódnak. Természetesen a négy súlyozó tényező összege így 1-re adódik. Minimális értéke: 1/összes darabszám; elméleti maximális értéke: (összes darabszám-3)/összes darabszám. Minden olyan mérés, ami az adott intervallumon kívül esik besorolás tekintetében 0 súlyozó tényezővel szerepel.

1. táblázat. Köszörült felületek S_a paramétereit

| No | S_a [μm] | No | S_a [μm] | No | S_a [μm] |
|----|----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------|
| 1. | 0,616 | 10. | 1,355 | 19. | 0,189 |
| 2. | 0,632 | 11. | 1,682 | 20. | 0,199 |
| 3. | 0,593 | 12. | 1,422 | 21. | 0,224 |
| 4. | 0,627 | 13. | 1,764 | 22. | 0,302 |
| 5. | 0,760 | 14. | 1,767 | 23. | 0,522 |
| 6. | 0,652 | 15. | 0,207 | 24. | 0,559 |
| 7. | 1,704 | 16. | 0,231 | 25. | 0,092 |
| 8. | 1,441 | 17. | 0,285 | 26. | 0,306 |
| 9. | 2,738 | 18. | 0,223 | | |

Az 1. ábra eloszlása két dologra hívja fel a figyelmet. Az egyik a korábban említett alacsony mérési darabszám, ami miatt rendezetlen az eloszlás görbe (jellege távol esik pl. a Gauss eloszlástól). Másik a tartomány szélessége, ami 0,09 μm -tól 2,7 μm -ig terjed. Marásnál ez a tartomány 0,54-4,8 μm , míg esztergálásnál 0,19-2,98 μm . Tehát az átfedés jelentős. Ugyanez elmondható a legtöbb vizsgált paraméter esetén is.



1. ábra. Sa paraméter súlyozó tényezői köszörült felület esetén

Az algoritmus működése során egy-egy új felület értékelésénél a rendszer bekéri a topográfiai 16 vizsgált paramétereit, majd minden megmunkálási típusra súlyozza mind a 16 paramétert. Azaz, ha egy „új” felület Sa paramétere 1,5 µm, akkor a köszörülésnél az 1. ábra alapján a zöld tartományba esik és a 0,231 súlyozó tényezőt kapja. Hasonlóan minden megmunkálásra. A szoftver végül összegzi mind a 16 paraméterből származó súlyozó tényezőket minden megmunkálásra és ad egy hasonlósági számot mindhárom gyártástechnológiára. A hasonlóság (H) elméleti maximális értéke a 16 paraméter maximumából:

$$H = 16 \cdot \frac{\text{Összes darabszám} - 3}{\text{Összes darabszám}} \quad (1)$$

Jelen adatbázisok esetén az elméleti maximum 13,6-14,1 közé esik adatbázistól függően. A mérések darabszámának növelésével az elméleti érték maximuma közelít a 16-hoz. A későbbiek során ez lehetőséget ad a normalásra és %-os megadásra, jelen esetben ezzel nem éltünk.

Az eljárás végeredménye egy hasonlósági fok lesz, ami egyik megmunkálásnál magasabb, míg a másiknál alacsonyabb érték. A három közül a legmagasabb érték feltételezi a legnagyobb hasonlóságot.

4. MÉRÉSEK

Az adatbázis feltöltéséhez és az algoritmus teszteléséhez különböző műszaki felületek kerültek lemérésre. A méréseket Mahr típusú 3D-s metszettepintós érdességmérő készüléken végeztük az OE, Bánki Donát Gépész és Biztonsástechnikai Mérnöki Kar Topográfiai

laboratóriumában. A mérések GD-120-as vontatóval, MFW 250 típusú, 90°-os csúcshögű, 5 µm csúcscsugarú tapintóval készültek. Minden felületről 1x1 mm topográfiai felvétel készült, a lépésköz 2x2 µm volt mindkét irányban. A felületek szűrése kizárólag a munkadarab alakjának kiszűrésére szolgált, így sík darabok esetén lineáris szűrőt, míg hengeres darabok esetén másodfokú alakszűrőt alkalmaztunk.

4. EREDMÉNYEK

Az elkészült algoritmus tesztelésére egy esztergált, egy köszörült és két mart felület adatait használtuk fel. A cél minden esetben az volt, hogy megnézzük képes-e és ha igen, milyen pontossággal képes felismerni az algoritmus az adott megmunkálású felületet.

2. táblázat. Hasonlósági fokok a négy tesztfelület esetén (T1-mart, T2-mart, T3-köszörült, T4-esztergált)

| | Hasonlósági fok a megmunkálási adatbázissal | | |
|----|---|---------------|-------------|
| | Köszörülés | Marás | Esztergálás |
| T1 | 2.8846 | 4.6956 | 2.9499 |
| T2 | 3.5384 | 5.0869 | 2.7 |
| T3 | 6.2307 | 5.9565 | 5.35 |
| T4 | 6.5769 | 3.6087 | 6.5 |

A 2. táblázat foglalja össze az eredményeket. Vastagon kiemelve szerepel az a szám, aminek a legnagyobbak kellene lennie a 3 közül, azaz ami a tesztfelület valódi megmunkálását mutatja, míg dőlt betűvel a maximális érték.

A vizsgálatok fontos kérdése volt, hogy az algoritmus képes lesz-e arra, hogy felismerje a felületeket, amiket egy-egy paraméter alapján képtelenek voltunk elkülöníteni. A négy tesztfelület esetén kettőről (T1, T2) határozottan helyes eredményt ad az algoritmus. A T1 és T2 felület marási megmunkálás; a hasonlósági fok mindkét esetben jóval magasabb a marás esetén, mind a másik két megmunkálásnál. A T3 köszörült felület esetén helyesen a köszörülést azonosítja megmunkálásként az algoritmus, de itt nagy a bizonytalanság, mert a hasonlósági fok a másik két megmunkálásra is igen magas. Mindkettőre magasabb, mint a T1 és T2 felületeknél a helyes detektálási érték. A T4 (esztergált) felület esetén az azonosítás hibás. A szoftver köszörülés esetén mutatja a legnagyobb hasonlóságot, bár az eltérés az

esztergáláshoz képest elhanyagolható. Itt a marás egyértelműen kizárható, mint lehetséges megmunkálás.

A vizsgálatok következő fázisában két változtatást végeztünk az algoritmuson. Az egyik az Ssr – átlagos csúcsgörbe paraméter elhagyása volt, mert ez az Ssc – átlagos görbe paraméter reciprok értéke, így együttes alkalmazásuk egy topográfiai sajátosság fölülbecsülését jelenti. A másik változtatás az Ssk/Sku paraméterhányados bevezetése volt. Korábbi kutatások (ld. [7], [10]) igazolták, hogy ezen paraméterek egymáshoz való viszonya fontos tribológia sajátosságokat tükröz; nevezetesen a topográfia hordfelületi viselkedését. A két paraméter csak együtt képes ezt a tulajdonságot kifejezni, külön-külön nem adnak elégséges információt. A változások hatását a T3 tesztfelületen próbáltuk ki, mert itt mutatott mindhárom megmunkálás erős hasonlóságot a tesztfelülettel.

Az eredményeket a 3. táblázat összegzi. A bevezetett módosítások hatására az azonosítás sokkal stabilabbá vált: a köszörülési megmunkálás hasonlósági foka megnőtt, míg a másik két megmunkálásé lecsökkent. Különösen jelentős a változás a marás esetén, ami az eredeti algoritmusnál még a köszörüléshez mérten nagy hasonlósági fokot mutatott, de a módosított algoritmussal egyértelműen kiszűrhetővé vált.

3. táblázat. Hasonlósági fokok a T3 – köszörült felületnél az eredeti és a módosított algoritmussal

| | Hasonlósági fok a megmunkálási adatbázissal | | |
|-------|---|--------|-------------|
| | Köszörülés | Marás | Esztergálás |
| T3 | 6.2307 | 5.9565 | 5.35 |
| T3-új | 6.3462 | 5.0343 | 5.05 |

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett kísérletek és mérések eredményeként az alábbi következtetéseket fogalmazhatjuk meg műszaki felületek osztályozó algoritmus kapcsán:

- A megvalósított algoritmus képes műszaki felületek azonosítására
- A megbízható azonosításhoz nagy méretű adatbázis szükséges. A meglévő 20-25 felület nem ad megfelelő pontosságot.
- A kiértékelésben szereplő paraméterek egymáshoz való viszonya fontos információkat tartalmaz. Az Ssk/Sku

hányados alkalmazása jelentősen javítja a kiértékelés hatékonyságát.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak Lengyel Zoltán hallgatónak a mérések és az algoritmus kivitelezésében nyújtott segítségért!

7. IRODALOM

- [1] EN ISO 4287 Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters (1997)
- [2] ISO/DIS 25178-2: Geometrical product specification (GPS) - Surface texture: Areal - Part 2. Terms, definitions and surface texture parameters (2012)
- [3] VDA 2007 Oberflächenbeschaffenheit Definitionen und Kenngrößen der dominanten Welligkeiten (2006)
- [4] Palásti K B, Kovács K.: Műszaki felületek mikrotopográfiájának jellemzése háromdimenziós paraméterekkel GÉP (8) pp. 19-24. (1999)
- [5] I. Barányi, Á. Czifra, G. Kalácska: Height-independent topographic parameters of worn surfaces, SUSTAINABLE CONSTRUCTION & DESIGN 1: pp. 35-40. (2011)
- [6] István Barányi, Róbert Keresztes, Zoltán Szakál, Gábor Kalácska: Prediction of Surface Roughness Parameters by New Experimentally Validated Modelling Algorithm under Abrasive Condition; ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 13:(7) pp. 197-208. (2016)
- [7] Horváth Richárd, Drégelyi-Kiss Ágota: Analysis of surface roughness of aluminium alloys fine turned: united phenomenological models and multi-performance optimization MEASUREMENT 65: pp. 181-192. (2015)
- [8] Palásti-Kovács Béla, Bíró Szabolcs, Sipos Sándor: A felület rejtelméi I. rész: A forgácsolt felület mikrogeometriájának jellegzetességei MŰSZAKI KIADVÁNYOK 2014:(május) pp. 3-9. (2014)
- [9] T. E. Tallian: Failure Atlas for Hertz Contact Machine Elements, ASME Press (1999)
- [10] D.J Whitehouse: Handbook of surface metrology, Inside of Physics Publ., Bristol (1994)

„KÜLCSINY, KÜLLEM / HARC”
NÖVÉNYEKNÉL, ÁLLATOKNÁL, EMBEREKNÉL

„CUT OF SY’ S RIG / BATTLE”
FOR PLANTS, ANIMALS, PEOPLE

DARABOS ANITA DLA, BME Gép - és Terméktervezés Tanszék

ABSTRACT

„All things in nature have a shape...that tells us what they are.” Louis Sullivan: The Tall Office Building Artistically Considered 1896

1. BEVEZETÉS

Jelen cikk eddigi kutatásaimnak a folytatásaként, egy nagy egésznek a részeredményeit jelenítik meg. Környezetünk szinte minden aspektusában találunk ember által készített tárgyakat, eszközöket, épületeket, melyeknél hasonlóságot fedezhetünk fel a természetben fellelhető alkotásokkal. Az eszközkészítés mindig egy probléma megoldásának igényéből fakad, amelyek a növény, állat vagy az ember esetében hasonlóak lehetnek.

2. GENETIKAI INFORMÁCIÓ A KÜLSŐ
MEGJELENÉSHEZ, FORMÁHOZ - NÖVÉNYEK
MEGOLDÁSAI, ÖSSZEHASONLÍTÁSBAN AZ
ÁLLATTAL

A növényeknek életük során hasonló feladataik, hasonló megoldandó problémáik vannak, mint az állatoknak, embereknek.



1-2. ábra. Toboz növény - Tobzoska állat (*Rubiginosa*)

Azonos probléma, védelem, védekezés mindkét fajnál azonos forma megoldást eredményezett.

„Minden dolognak a természetben van formája...hogy elmondják nekünk mik ők” Louis Sullivan : The Tall Office Building Artistically Considered 1896

Tobzoska harc az élelemért, ez nem egyszerű rövid ideig tartózkodhat csak a természetnél.



3-4. ábra Tobzoska közlekedése

Teste védelme a toboz szerkezettel megegyező páncélzat. A mag védelme, míg beérik. A megfelelő évszakban, hőmérsékleten kinyílik és kiesik a mag.



5. ábra. A toboz beért, kiszáradt, a magvak kihullnak

3. MEGHÖKENTŐ FORMAI MEGOLDÁSOK -
GENETIKAI KÜLÖNLEGESSÉGEK

Vagy az életben maradás sajátos kísérleteinek eredményéből születtek. Növény – Állat azonos, megtévesztő alakban. Az evolúció során a **mimikri** az adaptáció azon formáját, eredményét jelöli, amikor egy élőlény felveszi vagy utánozza egy másik élőlény vagy a környezet mintáját, színét, külalakját, szagát, viselkedését. A megtévesztő alkalmazkodás célja lehet önvédelem, ilyen eset az álcázás, más néven **kamuflázs**, ami a környezetbe való beolvadást jelenti. Az önvédelem másik módja a *Mertens-féle mimikri*, amikor az élőlény egy másik, veszélyes élőlény külsejét ölti fel, elriasztva így a rá nézve fenyegető ellenfeleket. A megtévesztés másik lehetséges célja a zsákmány sikeres megközelítése, aminek egy válfaja a Peckham-féle vagy **agresszív mimikri**, ilyenkor a ragadozó a zsákmány fajtához vagy egy arra veszélytelen élőlényfajtához válik hasonlóvá (farkas a báránybőrben).

Az alkalmazkodás aktív formájának a sebessége változatos lehet. A polip egyetlen másodperc alatt képes a terep színéhez, mintázatahoz igazodni, más élőlények egy új terepen való huzamosabb tartózkodás esetén igazítják a külsejüket a környezethez. Az evolúciós mimikri viszont számos generáción át formálódik, és a természetes szelekció elve alapján éri el végül a fajta az olykor megdöbbentően tökéletes hasonlást. Az evolúciós mimikri is változhat az egyed élete folyamán, például a rejtő szín cseréje az évszaknak, az időszaki növényzetnek megfelelően, illetve a változó életkor, életmód szerinti rejtő szín viselése.



6-8. ábra. Botsáskák faág vagy levél alakot utánozva



9-10. ábra. Bot és levél alakú botsáska



11. ábra. Szakadt sérült levelet utánozó botsáska

BOTSÁSKÁK

120 millió éves botsáska fossziliát találtak Kínában. Álcázás képessége már kora krétakorban, páfrányfenyő rokona volt a növény, amit utánozott. A rovar képes a növény levelének képét, formáját, színét magára öltetni.

De ha ilyen korai szakaszban ez már így jelen van, talán mondhatnánk azt is, hogy egy bevált formai alak jelen van egyszerre két különböző fajnál is. Hiszen így biztosítja az életben maradás lehetőségét.

Egyes zengőlegyek például mind színükben, mind mintázatukban és viselkedésükben kifejezetten hasonlítanak méhekhez és darazsakhoz, de teljesen ártalmatlanok. A lódarázs kinézetét remekül utánozza az ártalmatlan üvegszárnyú lepke. Egyes trópusi lepkék, vagy a hazánkban is honos pápaszemes lepke, egy-egy feltűnő foltot viselnek két szárnyukon. Sok esetben a hátsó foltpáros a nagyobb. Kétféle módon téveszti meg a ragadozókat: egyrészt szemeket utánozva egy nagyobb állat fejét imitálják; másrészt, ha támadásra kerül sor, a ragadozó a szárnya, és nem az állat sérülékeny fejére támad.

4. A TANULT ÉS ELSAJÁTITOTT INFORMÁCIÓ A KÜLSŐ FORMA KIALAKÍTÁSÁHOZ - ÁLLATOK MEGOLDÁSAI, AZ EMBER ÁLLTAL ELSAJÁTITOTT, FELHASZNÁLT ALAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Védelem, külső kialakítás az ember esetében harci védő ruha vagy totemikus alak. A földrészek domináns egyedei, egyedi sajátosságos alakot hoznak létre, de mindig az ott élő növények és állatok sajátosságos megoldásait és alakját átvéve. pl.:

AMERIKAI INDIÁNOK, SZAMURÁJOK, RÓMAI KATONÁK



12-13. ábra Szarvasbogár, *Lucanus cervus*



14-15. ábra Szamuráj harcosok harci páncélja

Nem véletlen a hasonlóság, tisztelték csodálták a szarvasbogarak kitaró vad harcát. Kakasviadalokhoz hasonló módon szarvasbogár harcokkal töltötték idejüket. Ha a szarvasbogarat idéző harci páncélok hoztak létre, a külsejükkel azonosultak úgy vélhették, hogy a harci módjuk, kitarásuk is átszellemülten velük vannak. A természeti környezettel szoros kapcsolatban élő emberek gondolkodásmódjára ez jellemző.

A hinduizmusban a föld, levegő, ég, a természet hierofanikus, vagyis, hogy megjeleníti és megtestesíti a szellemi birodalmat. A törzsi kultúrák számára a természet leginkább egy metafizikusan áttetsző helyszín, amelyben a szellemi valóság alakot tud öltetni.

5. INDIÁN HARCOSOK, TOTEMEK

Sok ősi kultúrában csakúgy, mint az indián hagyományokban az állatvilág és az ember közötti kapcsolat sokkal mélyebb, mint a modern életszemléletben. Az őz, szarvas, vidra, sas – totem állat és a klán spirituális világnézet – totemimádatként van jelen. Az ember és a természet milyen formákban képes megjeleníteni az erendő szellemiséget.



16. ábra. Totem oszlop



17-19. ábra. Indián harci öltözetek

A harcosokra épülő kultúrák erkölcsi alapelvei: „primitív vagy barbár” harcos szemléletmód lakota-sziú, pauni, hjuron, azték harcosok „A dicső halál jobb a szégyenletesen élt életnél.” Az egyén tettei határozzák meg a túlvilági lét minőségét. **A természet, mint szellemi létforma.** Néhány állatnak és földrajzi képződménynek mindig is volt spirituális jelentősége a törzsi népek között. A sas, a sólyom, a varjú, a bagoly, a pézsmapatkány, a vidra, az őz, a bölény, a hegyek és folyók, a meredélyek és sziklaszirtek mind olyan vonásokkal rendelkeznek, amelyek által a törzsi hagyományokkal kapcsolódnak. A láthatatlan világ testesül meg bennük.

6. RÓMAI KATONÁK HARCI ÖLTÖZETEI

Egy óriás birodalom, mely lehetőséget adott a találmányok és újdonságok széleskörű elterjedésének. A vándorló területhódító életmód, sokelemes szétszedhető, szállítható tárgyat eredményezett. A páncélok kialakításánál előkép minden bizonnyal a hadjáratok során megismert sok különleges állat páncélja, mely állatok sokszor táplálékként is szolgáltak.



20-21. ábra. Római páncélat pikkelyes fém lamellákból



22-23. ábra. Harci elefánt páncélzata

A páncél megfélemlíti az ellenfelet, védelmezi az állatot.



24-25. ábra. Tatú fontos mozgási osztásfelületek



26. ábra. Pirula bogár, tökéletes páncélat

A lágy érzékeny testrészek védelme, páncél felületekkel. A mozgás megfelelő szelvénybontást igényel. Ezt a felosztást a pirula bogár tökéletesen megoldotta.

7. NAGY NÉPEK EGYENRUHÁI - MADÁR RAJ - SAKKFIGURÁK JÁTSZMÁJA – AZONOSÍTÁS FONTOSSÁGA



27-28. ábra. Napóleon és serege egyenruhája



29. ábra. A brit sereg egyenruhája



30-32. ábra- Scarlet Tanager, kardinális pintyfélé

A Waterloo csata győzelme egy kutatás szerint ennek az egyenruhának köszönhető. A Durhami Egyetem kutatása szerint a vörösben pózoló férfiak emelkedett dominanciát is sugároztak. A kutatók szerint Napóleon kékruhás alakulatai egyértelmű lélektani hátrányból indultak a waterlooi csatában.

Az egyenruhák a harci szokások, közelharc keveredése kuszaságában fontos volt az azonosítás.



33. ábra. Waterloo csata

A fegyverek és harcászati szokások megváltoztatták a külső, kültakaró elvárásait. Azonosulni a példaképnek tekinthető állatok külsejével vagy védőruha, vagy megkülönböztető jól látható szín, vagy éppen az ellenkezője elrejtő.

8. ÉNEKES MADARAK, VÁNDORMADARAK



34-35. ábra. Fecske Hirundinidae „szabadság madara”



36. ábra. 1807. Francia köztársasági egyenruha

Madarak feltűnő színe, kolóniákban élők, és csoportokban vándorlok esetében ez információ. Gyere velünk, ha hozzánk tartozol? A has és hát mező eltérő, ez is lehet plusz információ, a kommunikációban, pl.: irány, elől hátul. Ez az egyenruháknál is fontos, ami kapcsán itt megemlítettem a vándormadarak fajtáját.

A közlekedő autó rajoknál este ugyanez az információ jelenik meg, elől fehér lámpa hátul piros, így azonnal érzékeljük merre halad a csapat.

9. JELENKORI ÁLCA EMBER ÉS KÖRNYEZETE, HARCIS KÜLSŐ



37- 40. ábra. Katonai álcaruhák, a beolvadás



41. ábra. Az adott környezet hasonmás színei és formái.



42-44. ábra. Harci álcázás az embernél



45. ábra. Rejtőzködő gyík



46. ábra. Camouflage béka - rejtőzködő színe, feltja

10. ÖSSZEFOGLALÁS

A külalakforma tehát lehet genetikai fejlődésből fakadó eredmény vagy az adaptáció azon formáját, eredményét jelöli, amikor egy élőlény felveszi vagy utánozza egy másik élőlény vagy a környezet mintáját, színét, külalakját, szagát, viselkedését. *Mertens-féle mimikri*, amikor az élőlény egy másik, veszélyes élőlény külsejét ölti fel, elriasztva így a rá nézve fenyegető ellenfeleket. A megtévesztés másik lehetséges célja a zsákmány sikeres megközelítése, aminek egy válfaja a Peckham-féle vagy *agresszív mimikri*, ilyenkor a ragadozó a zsákmány fajtához vagy egy arra veszélytelen élőlényfajtához válik hasonlóvá (farkas a báránybőrben).

11. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Werner Nachtigall: Bionik, Lernen von der Natur, Verlag C.H. Beck, München 2008
- [2] Arthur Versluis: Indián hagyományok, Édesvíz kiadó Budapest 2001
- [3] Kornis Péter: Vörös felhő földjén, Észak-amerikai indiánok között, Corvina Kiadó, Budapest 1982
- [4] Larry J. Zimmerman: Észak-amerikai indiánok, Hitvilág és szertartások, Földi és égi szertartások, Magyar Könyvklub, Budapest 2003
- [5] Paul Bohannon, Mark Glazer: Mérföldkövek a kulturális antropológiában, Panem Kiadó, Budapest 2006
- [6] Wildlife Fact – File: Csodálatos állatvilág, Mester Kiadó, Budapest 2000
- [7] Christopher O’Toole: Rovarok, Magyar kiadás, Novum Kiadó 2008

COMPARISON OF MECHANICAL PRETREATMENT METHOD OF ORGANIC WASTE IN WASTEWATER PLANT

Bakosné Diószegi Mónika, PhD, dioszegi.monika@bgk.uni-obuda.hu,

SUMMARY. Organic waste generated at the wastewater treatment plant is a potential source of biogas production. From the point of view of higher gas discharge, it is advisable to pre-treat the individual materials before fermentation. The paper compares the effect of mechanical pretreatment of the substances formed on the site based on anaerobic fermentation efficiency. Based on the results, the communication provides a recommendation for optimum adjustment of the technology and process conditions.

1. INTRODUCTION

Steps of sewage purification - as a main objective - produce primary and secondary surplus sludge, rich in organic matter, is as raw material for the production of biogas at wastewater treatment plants. The pretreatment of the substrate aims to increase the digestion efficiency. Among the methods already proven in this research, experimental or long-used procedures are used in practice. [1] [2] The water purification and the production of green energy from by-product requires the optimum formation of the interconnected technology order. The aim of the research is to examine the effect of a mechanical pretreatment device on the anaerobic digestion of mixed (primary and secondary) sludge and fermentation from the digestion tower. The procedure is compared by the quantity and quality of biogas production.

2. MATERIALS AND PROCEDURES

The pre-treatment procedures integrated into the process of sewage treatment can be integrated into a variety of stages of the cleaning process. An example of this is shown in Figure 1, where star elements marked with serial numbers refer to the possible applications of the equipment.

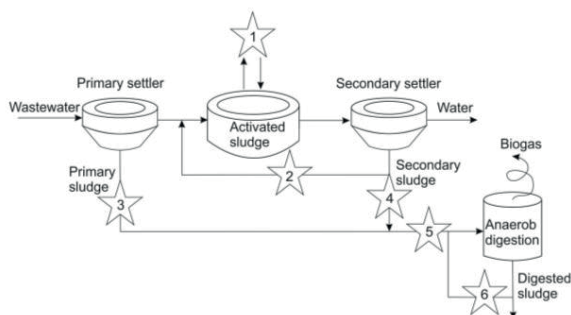


Figure 1 Position of sewage treatment technologies in sewage purification [3]
 1. simultaneous treatment of active sludge, 2. simultaneous treatment in the active sludge recycle, 3. primary sludge treatment prior to anaerobic digestion, 4. pre-treatment of secondary sludge prior to anaerobic digestion, 5. pretreatment of mixed sludge before anaerobic digestion, 6. pretreatment in the circulation of the organic fertilizer from digestion

The raw sludge to be extracted from the pre-settlers of the sewage plant and the surplus sludge of the biological stages are fed to the sludge treatment works. Aerobic and anaerobic degradation of the organic material in the sewage plant takes place in several stages. All of these are performed by different bacterial groups by biological means. The sludge from the sewage plant fermentor (sludge towers) is pre-condensed, as the reactor volume is constant. More dense sludge feed means greater amount of biomass, which results in the generation of more gas. During the compression process, the starting point is set at approx. 0.5% dry matter content of active sludge, thickened to 5-7% for digestion feed.

For the experiments I used the mixed sludge entering the digestion tower and the digested sludge coming directly out of it, being completely equivalent with the sludge of the digesters. In my experiments the pretreatment technology was inserted in the place of the pre-treatment equipment marked 5 and 6 in Figure 1 i. During my measurements, I determined the characteristics required for the experiment in the examined materials. The pH, dry matter content (TS) and its organic solids content (oTS) were determined on the basis of standard. [4]

1. Typical values of raw materials

| | Mixed sludge | digested sludge |
|------------------------------|--------------|-----------------|
| dry material content | 5,83% | 3,67–3,71% |
| organic dry material content | 79,29% | 58,26–64,02% |
| pH | 5,85 | 7,1–7,6 |

The fermentation experiment was based on the documentation of the fermentation procedure of VDI 4630 Organic Substances [5]. In my experiments I used an seed sludge for anaerobic fermentation of both substrates. I blended the mixed sludge with the and the pretreated digested sludge was seeded with its own untreated sample.

During the experiments, anaerobic fermentation was performed as liquid process in VDI 4630.

The efficiency of the process can be measured by the qualitative and quantitative increase of the biogas yield of pretreated raw materials. During fermentation at 37 C°, the amount of biogas produced was determined on a daily basis by the volume displacement principle. At the same time, the quality of gas, i.e. methane content, was measured by chromatography.

The preprocessing technology equipment tested in the experiment carries the SHARK fantasy name. The machine is a cutting mill type wet grinder. Mechanical pretreatment was performed with this device (Figure 2). In the wet grinder surface roughening and destruction are carried out on the principle of liquid crushing and collision. In the equipment, an internal rotating disk accelerates the applied substrate with up to about 8% dry matter to about 170 m / s, generating significant shear forces at the boundaries of the layer, thereby scattering a substantial portion of the particles. The machine is suitable for multiple recirculation of aqueous medium under industrial conditions.

The engine speed can be controlled by a frequency inverter. The machine operating at 200-3500 rpm can also be used for multiple recirculation of aqueous suspensions.

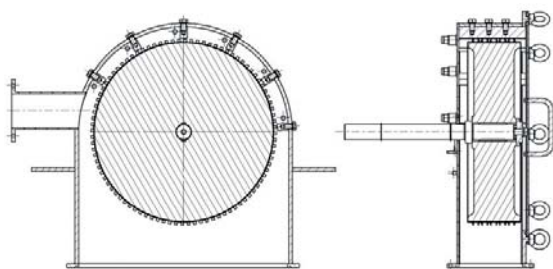


Figure 2 Structure of the chipper unit (Source: own picture)

Its operation is based on simple physical principles. Due to velocity difference between the teeth placed on the drum wall and the fluid, significant shear stresses occur which result in destruction at the boundaries of the solid material in the flowing fluid. In addition, the treated material crashes with high velocity into

the 6 prism -shaped counterparts bolted to the inner part casing. Then, the treated material falls back at the rotating drum and met the next prism. During continuous progress, the structure of the treated raw material is destroyed and its crystallinity decreases, so that the surface accessible for the bacteria is growing. The aim of the experiment is to examine the effect of the treatment conditions on the raw materials. the variable conditions (parameters) in this case the speed of the equipment and the number of repetition (recirculation). In such case, their small scale systematic alteration would result many experiments

Therefore, the experimental space and the compilation of the experiment were supported by Design of Experiment (DOE) found in the Hungarian and international literature. [6] The planned laboratory anaerobic fermentation test was carried out on the basis of international and national standards and recommendations. I used the variance analysis and statistical program for statistical analysis of the results of the experiment (ANOVA, MINITAB software).

2.table The design of experiment

| Shark number | Sludge type | rpm | Recirculation |
|-------------------------|--------------------|------------|----------------------|
| S1 | mixed | 2500 | 3 |
| S2 | mixed | 2500 | 9 |
| S3 | mixed | 1600 | 3 |
| S4 | mixed | 1600 | 9 |
| S5 centrum point | mixed | 2050 | 6 |
| untreated | mixed | 0 | 0 |
| S1 | digested | 2500 | 3 |
| S2 | digested | 2500 | 9 |
| S3 | digested | 1600 | 3 |
| S4 | digested | 1600 | 9 |
| S5 centrum point | digested | 2050 | 6 |
| untreated | digested | 0 | 0 |

In the experiment, the variables with the effect on the examined values (biogas and methane yield) were determined.

Determining Factors and Levels:

speed,

2400 rpm;

1600 rpm

Recirculation,

3times;

9times

These values are based on the experience of my previous experiments. [7]

Factors have been set at two extremes. To check linearity, one centralpoint was set. $2^n = 2^2 = 4$ and 1 centralpoint setting resulted in the compilation of a total 5 complete plans. In each experiment I worked with repeated and parallel samples.

3 RESULTS

3.1 Biogas and methane yields for the investigated raw materials

The mixed sludge experiments lasted an average of 10 days. Summary values of the mixed sludge biogas and methane yields are shown in the diagrams in Figures 3 and 4.

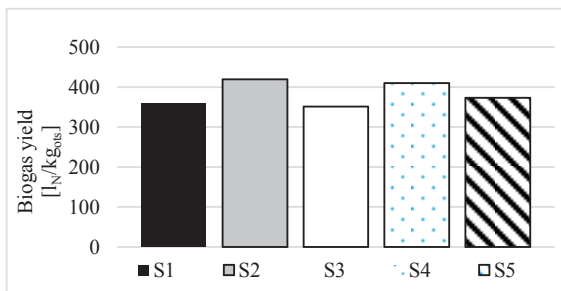


Figure 3 Biogas yield of mixed sludge

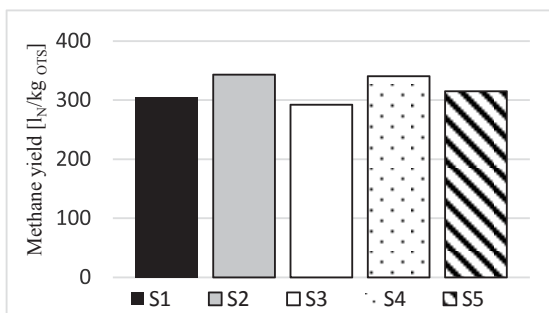


Figure 4 Methane yield of mixed sludge

From Figure 3, it can be seen that the treated samples of the mixed sludge have a biogas yield between $351 l_N/kg_{ots}$ (S3) and $421 l_N/kg_{ots}$ (S2). The yield of biogas in the untreated sample is $367 l_N/kg_{ots}$. The highest yield of methane is $343 l_{NCH_4}/kg_{ots}$ (S2) and the lowest is $292 l_{NCH_4}/kg_{ots}$ (S3) (Figure 4) Methane yield of untreated mixed sludge $297 l_{NCH_4}/kg_{ots}$.

The sludge experiments lasted for 9 days on average. Its values are much lower than those of mixed sludge. The quantitative downturn is due to the fact that the the organic solids content of this raw material is far less since it has undergone an anaerobic digestion. When analyzing the treated fermentation fluid, I found that during its post-fermentation the biogas yield was between $148-157.4 l_N/kg_{ots}$. The average biogas yield of untreated fermentation fluid was

127. l_N/kg_{ots} . The center point S5 gave the lowest gas output.

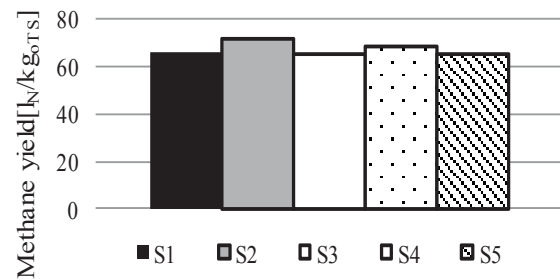


Figure 4 Methane yield of mixed sludge

Methane yields ranged between $37.0-71.6 l_{NCH_4}/kg_{ots}$ (Figure 5). The average methane yield of the untreated sample was $37 l_{NCH_4}/kg_{ots}$ at the end of day 9.

3.2 Analysis of variable parameters of pretreatment based on biogas and methane yield

At the end of the anaerobic fermentation I compared the biogas and methane yields to the untreated sample. The values of these differences were evaluated by the ANOVA method. The surplus effect diagram of the mixed sludge biogas yield from the MINTAB program can be seen in the following Pareto diagrams.

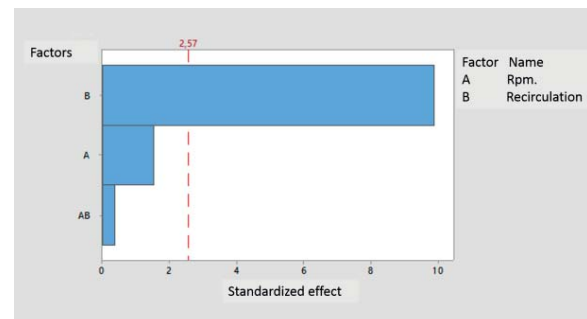


Figure 6. Examined factors of biogas yield of mixed sludge by mechanical shredder treatment

It can be seen that the effect of the speed is negligible in terms of yields. For mixed sludge, only the number of recirculations has a significant effect on fermentation (Figure 6). Similarly, the Pareto diagram of the methane yield surplus also verified this.

There is no interaction between the recirculation and the speed at either gas or methane yield. Yields are significantly increased by increasing recirculation – the speed had no such effect.(Figure 7).

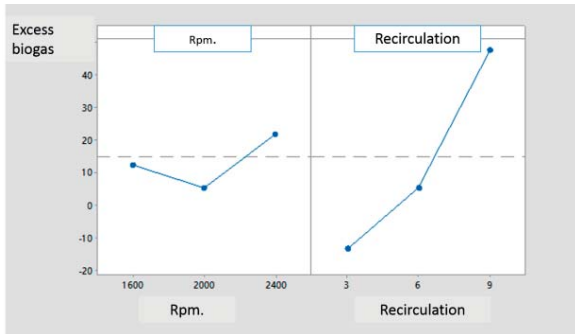


Figure 7 In case of mixed sludge, the effect of speed and recirculation on the excess methane content

During the experiments, high recirculation was the most efficient and the speed was not a factor. It follows that if the pre-treatment energy requirement is taken into account, the optimal adjustment is high recirculation number (9x) and low speed (1600rpm). [8]

As a result of this study, I estimated the regression function of the expected value of the surplus of biogas produced by anaerobic digestion of mixed sludge treated with Shark pre-treatment equipment:

$$\text{surplus biogas} = -58,2 + 0,0061n + 8,28R + 0,00092nR \quad (1)$$

$$\text{surplus methane} = -69,2 + 0,0244n + 11,72R - 0,00230nR \quad (2)$$

where n - speed
 R - number of
 $n \cdot R$ – joint effect of speed
 recirculation.[8]

For the digested sludge, Figure 8 shows that in case of biogas yield, the effect of the speed and recirculation, as well as the recirculation, shows a 95% significance level. It can be seen that the larger recirculation results in greater gas output in the space defined by the experimental settings (Figure 9)

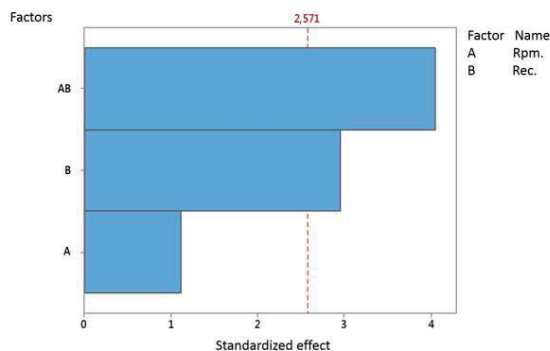


Figure 8: Factors of biogas yield from treatment of digested sludge with mechanical shredder

When examining the interaction of speed and recirculation, it can be stated that the effect by the number of recirculations at the low speed is negligible in the gas yield (Figure 9). At higher revs, however, with high re-circulation settings, the high biogas yield surplus is produced.

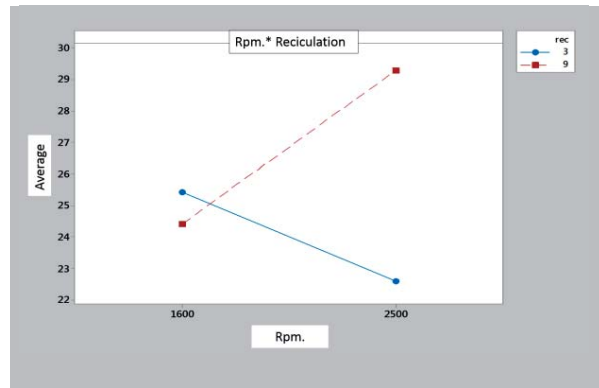


Figure 9 Interaction of the speed and the recirculation in the case of digested sludge

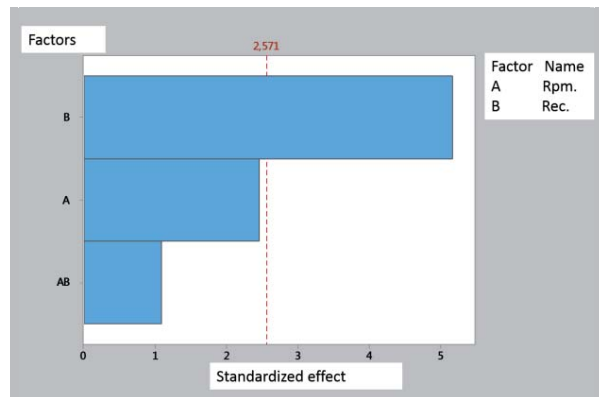


Figure 10 Test Factors for Methane yield of sewage plant Fermentation liquid Treated by Liquid shear and Collision.

The methane yield is influenced by the recirculation (Figure 10). Increasing the repetition rate increases the methane output as well. The speed approaches the 95% significance limit. [9]

Measured values and statistical analysis can be used to estimate the regression function of the predicted value of the biogas and methane surplus produced by the anaerobic digestion of the fermentation liquid treated with shear and impact principle:

$$\text{biogas surplus} = 37,8 - 0,00740n - 2,46R + 0,001428 nR \quad (3)$$

$$\text{methane surplus} = 25,26 + 0,0027n + 0,032R + 0,000355nR \quad (4)$$

where n - speed
 R - number of

n·R – joint effect of speed-recirculation.[9]

The statistical analysis, based on the above, provides an opportunity to adjust the parameters of mechanical pretreatment of both raw materials tested, which are both appropriate for both the yield values and the energy input of the shredding process.

4. CONCLUSION

In the case of mixing sludge, only the recirculation has a significant effect on the gas yields in the set parameters of the device when operating the liquid shear and impact principle. With respect to measured results, it is certain that biogas and methane yields will increase with higher recirculation. Since speed is not a significant parameter for yield values, therefore, treatment should be performed at low revs with high recirculation, observing energy invested in pre-treatment. [8]

It can also be stated that during the after-fermentation of the sewage sludge pre-treated with the equipment operating on the liquid shear and impact principle the recirculation affects the biogas and methane yield. The recirculation is proportional to the yields, they increase together. The yields also effected by the speed-recirculation interaction. At low speed, the number of recirculation is negligible, with high revs, a high recycle, gives biogas yield surplus. Based on preliminary energy estimates, it is confirmed that the energy demand for the operation of the equipment is high. The energy gain of the methane surplus and the energy used by the equipment can be achieved during the postfermentation of the digested sludge at a low speed with a low recycle number treatment.

The results summarized in the communication provide useful information for biogas plants using pretreatment. Although the surface increase of the raw material has a clear advantage over biogas yield, we should not ignore the energy demand of the process. It's not safe to use the technology with the highest yields. Careful consideration should be given to the factors influencing the achievement of economical results in the production of the energy carrier.

5. LITERATURE

[1] U. Baier, P. Schmiheiny: Enhanced anaerobic degradation of mechanically disintegrated sludge water., pp.: 137–143, Sci. Technol, 36 (11) 1997.

[2] J., Kopp, J. Müller, N. Dightl: Anaerobic digestion and dewatering characteristics of mechanically disintegrated sludge, pp.: 129–136, Schwedes : Water Sci. Technol., 36 (11) 1997.

[3] H., Carrère; Dumas, C; Battimelli, A; Batstone, D.J.; Delgenés, J.P.; Steyer, J.P.; Ferrer, I.: Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: A review, elsevier.com/locate/jhazmat, Journal of Hazardous Material, 183 (2010) pp.:1–15.

[4] MSZ 318/3–79 Szennyvíziszap vizsgálata. Szárazanyag-tartalom, izzítási maradék és izzítási veszteség meghatározása

[5] VDI 4630: Fermentation of organic materials – Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation test, 2006.

[6] S. Tedesco, K.Y. Benyounis, A.G. Olabi.: Mechanical pretreatment effects on macroalgae-derived biogas production in co-digestion with sludge in Ireland, Energyjournal homepage: www.elsevier.com/locate/energy, 2013

[7] Mónika Bakosné Diószegi, Miklós Horváth, Ágota Drégelyi-Kiss: Experimental Design and Study of Shear Technology for Biomass Comminuting, APPLIED MECHANICS AND MATERIALS 564: pp. 555-559. (2014)

[8] Kormos K., Tupa B.: Kevert iszap előkezelésének hatása a fermentációra ÓBUDAI EGYETEM BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR GÉPSZERKEZETTANI ÉS BIZTONSÁGTECHNIKAI INTÉZET, 2016

[9] Bakosné Diószegi M.: Speciális mechanikus előkezelés hatásának vizsgálata biogáz hozam növelése céljából" (2015) http://www.lib.uni-obuda.hu/sites/lib.uni-obuda.hu/files/Bakosne_ertekezes.pdf

Modifikation der Zahnradverbindungen in der Fahrzeugindustrie

*Debreczeni Dániel MSc, PhD Student, Institut für Maschinen- und
Produktplanung an Universität Miskolc,
Dr. Kamondi László PhD, Institut für Maschinen- und Produktplanung
an Universität Miskolc*

INHALT

In diesem Artikel wird die Entwicklung von Zahnradern in der modernen Fahrzeugindustrie durch die Bestimmung der gewünschten Modifikationen ermittelt. Die wichtigsten Voraussetzungen für die Festlegung der Mikrogeometrie werden erörtert. Der Artikel bietet einen Einblick in das Thema des praxisnahen Aufbaus der Geometrie und die charakteristischen Typen der verschiedenen Korrekturen werden vorgestellt. Nach einem Überblick der verschiedenen Möglichkeiten werden die zur Auswertung der festgestellten Geometrie benötigten wichtigsten Testen erläutert.

Das Ziel des Artikels ist die Darstellung der möglichen Komplexität der Auslegung der Mikrogeometrie und die Beschreibung der Schwierigkeiten bei der Auswahl der optimalen Variante. Wegen dieser Komplexität und der Sensitivität des Verhaltens des Gesamtsystems stellt die genaue Bestimmung der Modifikationen eine der vielseitigsten Aufgaben für den Entwicklungsingenieur dar.

1. EINFÜHRUNG

Schwerpunkt der Auslegung der genutzten Zahnradpaare in der modernen Fahrzeugindustrie ist die zielführende Bestimmung der Mikrogeometrie. Das Ziel des Verfahrens ist die Optimierung der Funktionsparameter im gewünschten Betriebszustand. Solche Parameter sind z.B. das Tragbild oder die Drehwegabweichung im definierten Lastbereich.

Es muss beachtet werden, dass die Verzahnung des Zahnradpaars nur für einen spezifizierten Momentbereich optimierbar ist, somit definieren wir bei der Bestimmung der Anforderungen auch die Qualitätskennzahlen der Mikrogeometrie.

Wir sollen bei der Erstellung der fachlichen Unterlagen auf die genaue Angabe der verwandten Standards achten, weil die Deutung der Vorzeichen der verschiedenen Modifikationen bei verschiedenen Standards

unterschiedlich ist. Die Bestimmung der Art der Korrekturen, ob sie additiv oder nicht additiv sind, ist auch unbedingt notwendig.

Die nächsten Abschnitte werden einen Einblick in diese Thematik ermöglichen. Bei der Formulierung der Feststellungen wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

2. VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE BESTIMMUNG DER MODIFIKATIONEN

Bei der Bestimmung der Mikrogeometrie muss beachtet werden, dass im Mikrometerbereich stehende Korrekturen vorgeschrieben werden, die mit den Toleranzen der Feinbearbeitung in selber Größenordnung stehen.

Daher müssen nicht nur das Verhalten der Nenngeometrie, sondern auch die Stabilität der Funktionsparameter im ganzen Toleranzbereich bei der Auswahl der Zielauslegung beachten.

Eine entsprechend korrigierte Verzahnung kann die innere Verformung des Antriebs und die auftretenden dynamischen Zufallsbelastungen effektiv kompensieren. Für diese Funktionen ist die Sicherstellung des entsprechenden Spiels der Verzahnungen in allen Betriebszuständen zwingend notwendig. Bei Festlegung der Modifikationen müssen das ganze Verformungssystem des Antriebs, die Wärmeausdehnung der Verzahnungen und das Knicken der einzelnen Zähne unter Belastung berücksichtigt werden. Wichtig ist es, dass die angewandten additiven Korrekturen das Verzahnungsspiel verkleinern können.

Um die Mikrogeometrie bestimmen zu können, müssen die inneren Systemverformungen exakt bekannt sein. Die Steifigkeitseigenschaften und die Steifigkeitsmatrix des Getriebegehäuses, die Steifigkeitsparameter der Wellen und der Lager, und die Lagerspiele müssen im Allgemeinen aufgrund der Innengeometrie festgelegt werden, und die Betriebsspiele der Lagerungen und der Zahnradkontakte bei den vorgeschriebenen Betriebstemperaturen bekannt sein.

In dieser Phase der Entwicklung sind die Grundgeometrie der Verzahnungen und alle

Elemente des Antriebs, außer kleinen Änderungen, bereits festgelegt.

3. PRAXISNAHER AUFBAU DER MIKROGEOMETRIE

Bei der Festlegung der Mikrogeometrie können mehrere Strategien verfolgt werden. Bei zylindrischen Gradverzahnungen kann der Ansatz gestellt werden, dass die Anwendung der Höhenballigkeit und der Breitenballigkeit ohne andere Korrekturen im ersten Schritt zur Mikrogeometrieauslegung führt. Im Hintergrund dieser Empfehlung steht, dass die Breitenballigkeit im begrenzten Verhältnis zur Ausgleichung der Verschiebung der Wellen maßgebend ist, dadurch kann die Breitenballigkeit in einzelnen Fällen die Schrägungswinkelkorrektur vertreten. Bei der Ausgleichung des Verzahnungsstoßes ist die Höhenballigkeit, wie die Kopf- und Fußrücknahmen, maßgebend. Dieses Potential kann bei Gradverzahnungen am besten ausgenutzt werden. Bei Schrägverzahnungen wird die Anwendung der Kopf- und Fußrücknahmen empfohlen.

4. MODIFIKATIONEN IN DER FLANKENRICHTUNG

Das Potential der Anwendung der Breitenballigkeit wurde bereits erwähnt. Diese Modifikation ist im Allgemeinen in einem Profil des Zahnradkontaktes ausgelegt. In der Praxis ist die Benutzung der Schrägungswinkelkorrektur typischerweise auch notwendig, die normalerweise beide Zahnräder betrifft. Diese Korrektur ist in den meisten Fällen in den rechten und linken Flanken beider Zahnräder unterschiedlich. Der Hintergrund ist, dass die Verformung des Wellensystems, insbesondere bei schrägverzahnnten Zahnradpaaren, bei Kontakt zu den anderen Flanken deutlich unterschiedlich ist.

Auch die Endrücknahme der Zahnflanken kann zugrunde gelegt werden. Diese Möglichkeit ist im Allgemeinen bei Gradverzahnungen von großer Bedeutung. In der Praxis werden die Breitenballigkeit und die Schrägungswinkelmodifikation am häufigsten zusammen verwendet.

Bei der Veränderung der geschliffenen Verzahnungen in der Serienfertigung sind die Korrekturen der Flankenlinien besonders wichtig, weil diese Modifikationen beim Schnecken- und Profilschleifen mit der

Kinematik der Werkzeugmaschine hergestellt werden, deshalb können diese Parameter ohne Werkzeugänderung verändert werden. Die Entwicklungsingenieure versuchen zunächst die Optimierung mit der Neudefinition dieser Korrekturarten durchzuführen und einen höheren Kostenaufwand zu vermeiden. Profilmodifikationen sind durch das Werkzeug bedingt, deshalb ist eine Veränderung dieser Parameter nur mit Werkzeugänderungen möglich.

Bei gehonten Zahnrädern besteht diese Möglichkeit nicht, weil die Werkzeuggeometrie in diesem Fall auch die Korrekturen der Flankenlinien enthält.

5. MODIFIKATIONEN IN DER PROFILRICHTUNG

Die Höhenballigkeit von den Profilmodifikationen wurde bereits erörtert. Die Möglichkeit der Kopf- und Fußrücknahmen wurde kurz ebenfalls angesprochen. Die sogenannte lineare Rücknahme ist die einfachste und am häufigsten verwendete Art der letzten Korrekturen. Bei dieser Modifikationsart wird das Zahnprofil in der Nähe des Kopfkreises mit einer Evolvente größeren und in der Nähe des Fußkreises mit einer Evolvente kleineren Profilwinkels verändert. Natürlich sind Kopf- und Fußrücknahmen auch separat anwendbar. Die Geometrie der linearen Rücknahme wird durch den Betrag und den Startdurchmesser der Modifikation wegen des Evolventenverlaufs eindeutig definiert. Der Betrag ist immer durch den Kopfnutz- und Fußnutzkreisdruchmesser festgelegt.

Wir haben auch eine Möglichkeit für die Benutzung eines sogenannten Übergangsradius zwischen Evolventen der Rücknahme und des Grundprofils. Diese Möglichkeit gilt oft als separater Typ, aber der Übergangsradius ist in der Praxis im Allgemeinen kein festgelegter Parameter, sondern eine Folge der Feinbearbeitung. Das Phänomen ist bei der Anwendung der Polierschleifentechnologien insbesondere anschaulich, was auf die Werkzeugsverformung bei der Bearbeitung zurückzuführen ist.

Es gibt weitere Möglichkeiten für eine bogenförmige und eine progressive Kopf- und Fußrücknahme. Die progressive Art ist in der Praxis unter diesen Typen häufig anzutreffen. Bei der Benutzung dieser Modifikation bestimmen wir neben dem Betrag und dem

Startdurchmesser auch einen Korrektionsfaktor, der das progressive Verhalten des Modifikationsverlaufs festlegt.

Eine weitere wichtige Modifikationsart ist die Eingriffswinkelmodifikation. Bei dieser Korrektur werden die Profilwinkel der Grundevolvente verändert.

6. WEITERE MODIFIKATIONEN

Es gibt Modifikationen, die weder in die Profilmodifikationen noch in die Flankenlinienmodifikation eindeutig eingeordnet werden können. Solche Modifikation ist die sogenannte dreieckförmige Rücknahme. Bei dieser Korrekturart wird im Wesentlichen eine diagonale Kopf- und Fußrücknahme in der Zahnflanke durchgeführt. Diese Modifikation ist wichtig wegen ihres Verlaufs bei Schrägverzahnungen, weil die Kontaktlinien in diesem Fall in der Zahnflanke schräg liegen. Die andere wichtige Korrekturart in dieser Gruppe ist die Verschränkung, die die Verwindung der Zahnflanke bedeutet.

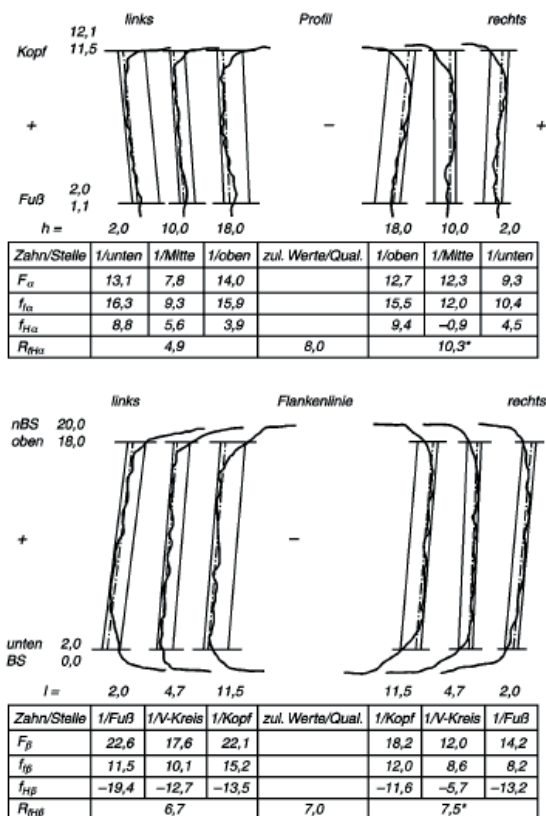


Bild 1.: Auswertung der Verschränkung bei klassischen 3D-Verzahnungsmessungen [6]

Die bis jetzt vorgestellte Mikrokorrekturen können immer mit vordefinierten geometrischen Kennzahlen charakterisiert

werden. In besonderen Fällen mag die topologische Korrektur der Verzahnungen notwendig sein. Das Verfahren gibt eine Möglichkeit der ganz freien Veränderung der Geometrie. Wir geben hier die Position der einzelnen Punkte der Zahnflanken zur Referenzoberfläche an, die normalerweise die nichtkorrigierte, geschliffene Geometrie ist.

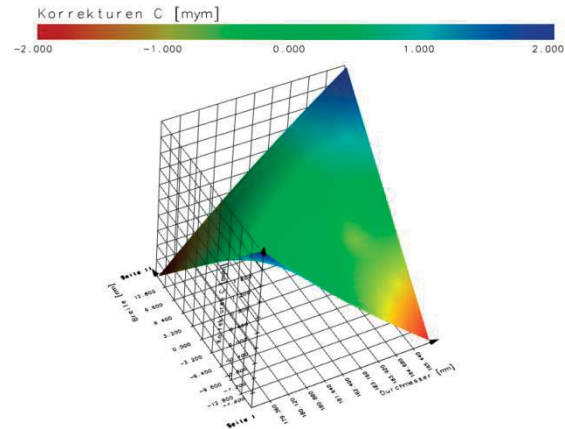


Bild 2.: Betrag der Verschränkung in der Zahnflanke (Bild hergestellt mit KISSsoft)

7. AUSWERTUNG DER AUSGELEGTEN GEOMETRIE MIT MESSUNGEN

Die Wirksamkeit der mit der theoretischen Methoden ausgelegten Zahngeometrie muss durch den Versuchen in allen Fällen unbedingt überprüft werden. Die Entsprechung der einzelnen Verzahnungen den verschiedenen Tragfähigkeitskriterien kann mit den festgelegten Lastkollektiven relativ einfach überprüft werden. Diese Kollektiven werden am Anfang der Entwicklung festgelegt. Diese Dauertests werden die Entsprechung den Flanken-, Zahnfuß-, Fressen- und andere Tragfähigkeitskriterien zeigen.

Die Abhängigkeit vom Drehmoment der Kontaktoberflächen der Verzahnungen kann mit der Tragbildanalyse überprüft werden. Die Zahnflanken werden bei dieser Analyse mit einem speziellen Lack bezogen. Die genutzte Farbe wird aufgrund der Umstände des Versuchs ausgewählt. Es gibt Lacke, die gegen Getriebeöl resistent sind, mit den wir den Antrieb im Betriebszustand im ganzen Momentbereich analysieren können. Diese Lacktypen lassen sich von den Zahnflanken etwas grob entfernen, deshalb ist die Kontur des Tragbildes nicht ganz klar.

Wir können auch solche Lacke nutzen, die das Tragbildkontur klarer zeigen, aber das Getriebeöl löst im Allgemeinen diese Varianten

auf. Diese Möglichkeiten werden typischerweise bei präparierten Getrieben bei manuellem oder anderem, mit kleinem Moment getätigtem Betrieb genutzt.

Die Ergebnisse der Tragbildanalyse müssen unbedingt durch eine ganzheitliche geometrische Messung des Antriebs mit 3D-Messmaschine ausgewertet werden. In einem anderen Fall kann die Untersuchung der Auffälligkeiten nicht durchgeführt werden. Wenn wir z.B. einen ungleichmäßigen Tragbildverlauf im Umfang des Zahnrads analysieren, müssen die geometrischen Abweichungen des Systems unbedingt genau bekannt sein. Wir können nur in diesem Fall entscheiden, ob dieses Phänomen wegen Qualitäts- oder Konstruktionsfehler auftritt.

Akustikanalysen stellen einen weiteren, wichtigen Versuchstyp für die Entscheidung der Entsprechung der Funktionsparameter der ausgelegten Geometrie dar. Bei diesen Tests untersuchen wir den Körperschall und den ausgestrahlten Luftschall des Antriebs. In unserem Fall ist die Auswertung der Kontaktfrequenzen, Oberfrequenzen der Zahnradverbindungen und des Modulationspektrums dieser Komponenten am wichtigsten. Ein Getriebe kann mit mehreren Motorvarianten zusammgebaut und in mehreren Fahrzeugen eingebaut werden. Die Herstellung solcher anregungsoptimierten Getriebe ist unverzichtbar, da sie die Wahrscheinlichkeit der Probleme bei den verschiedenen künftigen Kombinationen am effektivsten minimieren können.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Während unserer Untersuchungen wurde die Entwicklung der Zahnräder in der modernen Fahrzeugs-industrie durch die Bestimmung der gewünschten Modifikationen ermittelt. Die wichtigsten Voraussetzungen wurden zur Festlegung der Mikrogeometrie erörtert. Es wurde in die Thematik des praxisnahen Aufbaus der Geometrie einen Einblick ermöglicht. Die charakteristischen Typen der Profil-, Flanken-, und Spezialkorrekturen wurden vorgestellt. Außer diesen Themen wurden auch die Spezialfragen der nachträglichen Veränderungen der Mikrogeometrie ermittelt. Nach dem Überblick der verschiedenen Möglichkeiten wurden die für die Auswertung der festgestellten Geometrie benötigten wichtigsten Tests erörtert.

Die vorgestellten Themenbereiche zeigen die Komplexität der Auslegung der Mikrogeometrie und die Schwierigkeiten bei der Auswahl der optimalen Variante. Aufgrund der Komplexität und der Sensitivität des Verhalten des Gesamtsystems stellt die genaue Bestimmung der Modifikationen eine der vielseitigsten Aufgaben der Entwicklungsingenieure dar.

„The described article/presentation/study was carried out as part of the EFOP-3.6.1-16-2016-00011 “Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation” project implemented in the framework of the Szechenyi 2020 program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.”

LITERATUR

- [1] Constantin Weber, Kurt Banaschek: Formänderung und Profilrücknahme bei gerad- und schrägverzahnten Rädern. Bd. 11. Schriftenreihe Antriebstechnik. Braunschweig: Vieweg-Verlag, 1953
- [2] DIN3960 Begriffe und Bestimmungsgrößen für Stirnräder (Zylinderräder) und Stirnradpaare (Zylinderradpaare) mit Evolventenverzahnung, 1987.03.
- [3] ISO 21771 Gears - Cylindrical involute gears and gear pairs - Concepts and geometry, 2007.09.
- [4] ISO 6336-1 Calculation of load capacity of spur and helical gears - Basic principles, introduction and general influence factors, 2006.09.
- [5] Kamondi László: Verminderung der Eingriffsschwingungsanregung bei schrägverzahnten zylindrischen Stirnrädern durch Modifikation der Eingriffsfläche. Tagung Zahnradgetriebe. Dresden. 6 bis 8. November 1989.
- [6] VDI/VDE 2607 Rechnerunterstützte Auswertung von Profil- und Flankenlinienmessungen an Zylinderrädern mit Evolventenprofil, 2000.02.
- [7] VDI/VDE 2612 Profil- und Flankenlinienprüfung an Zylinderrädern mit Evolventprofil, 2000.05.

VASBETON MŰTÁRGYAK KÖTÉS KÖZBENI HŐMÉRSÉKLET KÜLÖNBSÉGE ELTÉRŐ BETONACÉL MENNYISÉGEK ESETÉN

THE TEMPERATURE DIFFERENCE OF THE REINFORCED MASS CONCRETE STRUCTURES IN A FUNCTION OF THE APPLIED REBAR QUANTITY

Domonyi Erzsébet domonyi.erzsebet@bgk.uni-obuda.hu, Prof. Dr. M. Csizmadia Béla csizmadia.bela@gek.szie.hu, Prof. Dr. habil Telekes Gábor telekes.gabor@ybl.szie.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

The concrete and the reinforced concrete structures capacity have been defined by external loads, environmental effect, mechanical strength and durability. The heat generation of the chemical bond causes the thermal cracks in a case of mass concrete structures is one of the main designing problem. In this paper the authors calculate the temperature distortion in the case of different amount of reinforced steel with the help of finite element modelling and the maximum temperature differences have been compared with the rebar quantity of the reinforced mass concrete structure.

1. BEVEZETÉS

A beton kötőanyaga a cement, amely a keverővízzel kémiai reakciót indít. A kötéshez szükséges vízmennyiség betonban tartásáról vagy pótlásáról utókezeléssel kell gondoskodni. A folyamat során keletkező hidratációs hő a korai kötési szakaszban a legjelentősebb mértékű, amely a keverővíz mennyiségének gyors csökkenését elősegíti. A normál szerkezeti vastagságú betonoknál az utókezelés felszíni vízutánpótlással vagy filmképző utókezelő szerek alkalmazásával megoldható, ezzel elkerülve a beton víztartalmának túl korai elvesztését.

Tömegbetonok esetében, amely szerkezetek a 40 cm-es vastagságot meghaladják, már a fent említett utókezelési eljárások nem alkalmazhatók megbízhatóan, további intézkedéseket kell megtenni a repedésveszély kialakulásának megelőzése érdekében. A tömegbetonok belsejében kialakuló adiabatikus környezet a korai kötési szakaszban hőelvezetési problémát okoz. Amennyiben a betontest magja és a felszíne között kialakuló hőmérséklet különbség hatására létrejövő húzófeszültség magasabb, mint a beton saját húzófeszültsége, úgy a szerkezet károsodása elkerülhetetlen [1].

A mérnöki gyakorlat és a szabvány ezt a ΔT hőmérséklet különbséget 20 °C-ban maximalizálta. A szerkezettervezés és kivitelezés során betontechnológiai szempontból a betonkeverék összeállítása mellett figyelembe kell venni a betonozáskori környezeti hőmérsékletet (téli és nyári betonozás) valamint a bedolgozásra váró betonkeverék hőmérsékletét egyaránt, a kialakítandó geometriára tekintettel [2].

A tartós beton készítésének alapvető ismérvei: alacsony víztartalom, minél nagyobb tömörség és gondos utókezelés. Az utókezelés a beton bedolgozását követően azonnal meg kell kezdeni, vízzel történő permetezéssel, elárasztással, fóliatakarással, zsaluzatban tartással. A környezeti hőmérséklettől és a betonszerkezet típusától függően a beton nedvesen tartásáról 7-21 napon keresztül kell gondoskodni.

A tömegbetonok legtöbbször vasbeton szerkezetek (hídpillérek, silók, tartályok, életvédelmi létesítmények), ahol a beton és betonacél hőtágulási együtthatója közel azonos, így a tömegbetonok esetén a kötéskori - anyagtól függő - hőtágulás számottevő többlet feszültséget nem okoz.

B. Klemczak és mtsa [3] cikkükben vasbeton tartály és vasbeton híd-elem repedéseinek okait vizsgálják. A szerkezet szilárdságát biztosító betonösszetétel eléréséhez CEM I típusú kötőanyagot előíró szabályozás figyelmen kívül hagyta a cement típus nagy hőtermelését, amelynek használata nagyobb repedéskockázatot jelent. Állításaikat numerikus modellel igazolják.

X. Song. és mtsai. [4] arra hívják fel a figyelmet, hogy a vasbeton szerkezeteken kialakuló repeséseken keresztül a betonacélt érő hatások az acél korrózióját elősegíthetik. Vizsgálataik a beton és a betonacél közötti kötéskori kapcsolatot célozzák; az idő függvényében állapítják meg a kötéskori

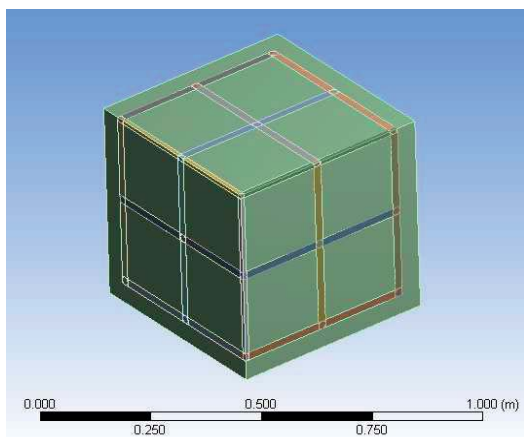
összetartó erőket, nyomószilárdságot a fiatal betonban.

Korábbi cikkükben a szerzők [5] betonacél nélküli és betonacélokkal erősített tömegbeton modellt készítettek és vizsgálták végelem módszerrel a vasalás befolyásoló hatását. Megállapították, hogy a betonacélok alacsony környezeti hőmérséklet és magas hőátadási tényező esetében is jelentősen csökkenthetik a repedésveszélyt.

Cikkünkben a vasbeton szerkezetek hőelvezető tulajdonságait megismerve azt vizsgáljuk, hogy a betontest magjában és felszínén kialakuló minimum és maximum hőmérsékletek, ill. hőmérséklet különbség hogyan változik eltérő mennyiségű betonacél esetében.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

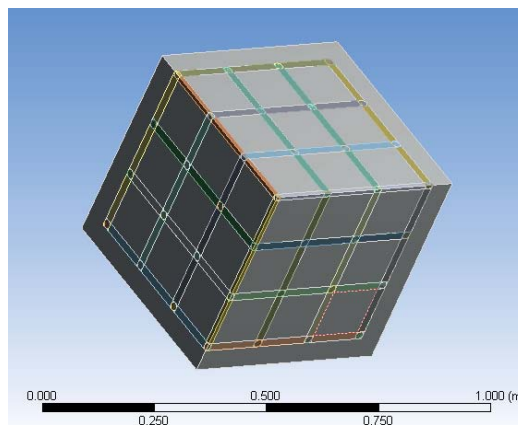
A vizsgálatot nemlineáris végelem modell segítségével végeztük el Ansys 12.0 keretrendszerben.



1. ábra. A betonacélok elhelyezkedése a modellben 22,5 cm osztásközzel

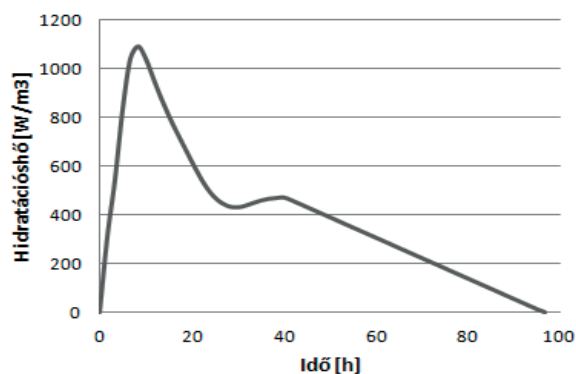
A vizsgált rendszerben a betonmodell, beton és vasbeton szerkezet készítésére alkalmas $\rho_t = 2400 \text{ kg/m}^3$ testsűrűségű, képlékeny konzisztenciájú betonkeverék.

A végelem modell 20 mm-es átmérőjű, egymástól 14,5 cm illetve 22,5 cm osztásközzel elhelyezkedő, egyenletes eloszlású szerkezeti betonacélokat tartalmaz, amelyek betonban lévő helyzete az 1. és 2. ábrán láthatók. A minimális betontakarás szabályait figyelembe vettük a modell kialakításakor. A ritkább osztásközü betonacél mennyisége is kielégíti a minimális vasalás követelményeit az ahhoz tartozó beton keresztmetszetben.



2. ábra. A betonacélok elhelyezkedése a modellben 14,5 cm osztásközzel

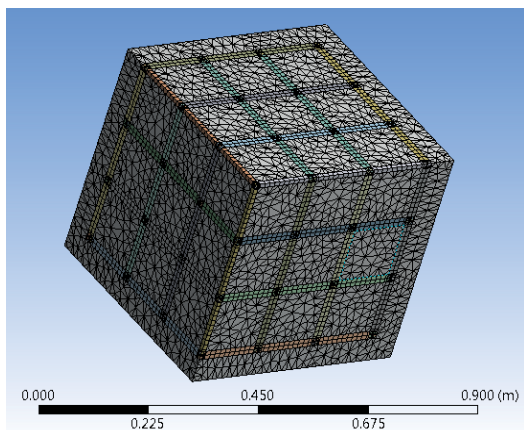
A betonkeverék összeállításánál tömegbetonok készítéséhez ajánlott, CEM III B 32,5 N jelű, mérsékelt kezdőszilárdságú, jelentős utószilárdulású, kis hőfejlesztésű cementet használtunk, amelynek hőtermelését a 3. ábra szemlélteti. A hidratációs hő a 8,3 órában éri el a maximumát.



3. ábra. A CEM III B 32,5 N jelű cement hőtermelése az idő függvényében

A végelemes modellnél kialakított geometria mindkét esetben 1 méteres élhosszúságú kocka. A modellezéskor a vizsgált térfogat nyolcadát készítettük el, amelyre a folytonossági kritériumokat peremfeltételekkel definiáltuk. A geometriai modell két szilárdtestet tartalmaz - beton és betonacél - azonos finomságú hálózással és peremfeltételekkel. A hálózás méretét tekintve a pontosabb eredmények érdekében finomhálózást (4. ábra) választottunk az elemzéshez.

A kísérlettér meghatározásakor, az anyagjellemzőket és a peremfeltételeket definiáltuk.



4. ábra. A végeelem modell hálózása

Azonos betonösszetétel mellett, a környezeti hőmérséklet és a hőátadási tényező értékeit a lehetséges szigetelési és utókezelési megoldások tekintetében vettük figyelembe, amelyeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat. A vizsgálatkor használt anyagjellemzők és peremfeltételek

| Anyagjellemzők | Beton | | Betonacél | |
|--|--------------------|-------|-----------|------|
| | Fajhő [J/(kgK)] | 1228 | | 434 |
| Hővezetési tényező [W/(m ² K)] | 3,5 | | 60,5 | |
| Testsűrűség [kg/m ³] | 2400 | | 7850 | |
| Peremfeltételek | Hőszigetelés | | Évszak | |
| | van | nincs | tél | nyár |
| Hőátadási tényező [W/m ² K] | 5 | 30 | - | - |
| Környezeti hőmérséklet [°C] | - | - | 5 | 30 |

A frissbeton bedolgozási hőmérséklete minden esetben 25 °C volt. A téli betonozáskor ezt a hőmérsékletet legtöbb esetben meleg keverővíz hozzáadásával biztosítják.

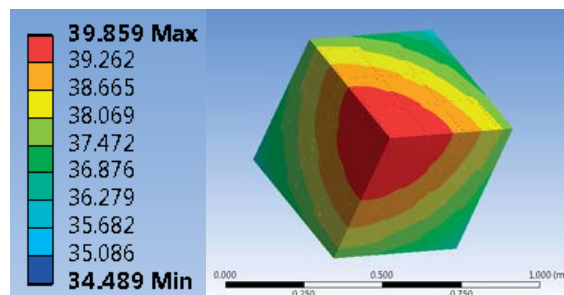
Az eredmények kiértékelésekor a peremfeltételeket változtatva, az egyes beállításokra vonatkoztatva a kialakult minimum és maximum hőmérsékletek időbeni változását vizsgáltuk mindkét modellnél.

3. EREDMÉNYEK

A vizsgálat eredményeit az eltérő mennyiségű betonacéllal elkészített modellek esetén a 2. táblázatban foglaltuk össze.

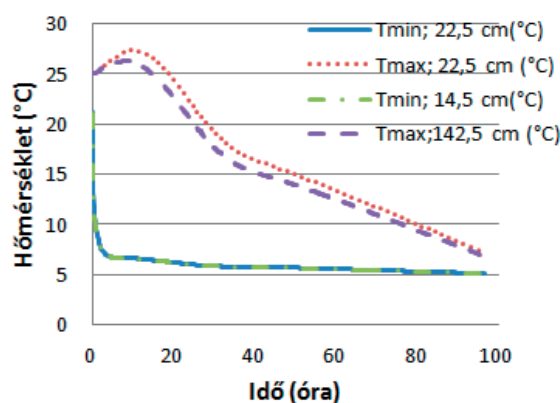
Az elemzés eredményeképpen elmondható, hogy mindkét modell esetében a minimum és maximum hőmérséklet időbeni változása hasonló volt. A vizsgált geometria középpontjában alakult ki a legmagasabb, a

sarokpontokon pedig a legalacsonyabb hőmérséklet (5. ábra).



5. ábra. A vasbeton modell szimmetriasíkjában a hőmérséklet eloszlás $h=5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, valamint $T=30^\circ\text{C}$ esetén

A 6. ábrán látható diagram is jól szemlélteti, hogy a hőmérsékleti minimumok alig mutatnak eltérést a különböző mennyiségű betonacélok esetén. A hőmérsékleti maximumok viszont jellemzően a 22,5 cm-es osztásközű betonacélok esetében magasabbak, mint a 14,5 cm-es osztásköz esetén.



6. ábra. A minimum és maximum hőmérsékletek alakulása $h=30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, valamint $T=5^\circ\text{C}$ esetén az idő függvényében

Az 6. ábrán bemutatott és a többi, vizsgált esetben is elmondható, hogy a ΔT hőmérséklet különbség mértékét a betontestben kialakuló hőmérsékleti maximumok határozzák meg.

Az elemzés során az is kiderült, hogy a két modell esetében a sűrűbb osztásközű betonacél alkalmazásakor a ΔT hőmérséklet különbség korábbi időpontban érte el maximumát, mint a ritkább vasalás esetén.

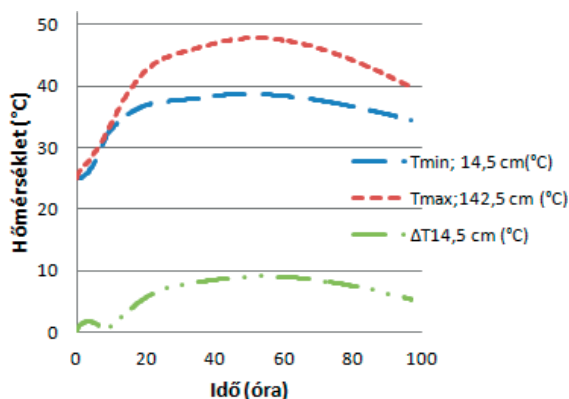
A téli betonozás esetén, ahol a környezeti hőmérséklet $T=5 \text{ [}^\circ\text{C]}$ már jelentősen befolyásolja a hőmérséklet különbségek alakulását. A szigetelés alkalmazásakor, ahol $h=5 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ és $T=5 \text{ [}^\circ\text{C]}$ a sűrűbb osztásközű betonacél alkalmazása mellett a betonban kialakuló 36,77 °C-os maximális hőmérséklet a 21,67. órában tapasztalható. A 15.-16. órában

fellépő maximális hőmérséklet különbség viszont így sem éri el a repedéskockázattal járó 20 °C-ot.

2. táblázat. A vizsgálat eredményei

| Peremfeltételek | Betonacélok távolsága: 22,5 [cm] | | Betonacélok távolsága: 14,5 [cm] | |
|--|----------------------------------|---------|----------------------------------|---------|
| | ΔT_{\max} [°C] | Idő [h] | ΔT_{\max} [°C] | Idő [h] |
| h=5 [W/m ² K] T=5 [°C] | 16,23 | 23,41 | 15,06 | 22,73 |
| h=5 [W/m ² K] T=30 [°C] | 10,00 | 54,06 | 9,12 | 53,73 |
| h=30 [W/m ² K] T=5 [°C] | 20,77 | 10,56 | 19,61 | 8,73 |
| h=30 [W/m ² K] T=30 [°C] | 11,09 | 23,06 | 10,24 | 22,04 |

A legkisebb hőmérséklet különbség a h=5 [W/m²K] T=30 [°C] peremfeltételek esetén alakult ki (7. ábra), ami nyári betonozást szemléltetett, ahol a zsaluzatot hőszigetelő lemezekkel egészítették ki. Annak ellenére, hogy a hőmérsékleti maximum az 51,68 órában a 47,81°C-os hőmérsékletet is elérte a hőszigetelő lemezek hatására az elnyújtott hőtermelés következtében nem tudott kialakulni 10 °C -nál magasabb hőmérséklet különbség a betonmodellben.



7. ábra. A minimum és maximum hőmérsékletek valamint a hőmérséklet különbség alakulása h=5 W/(m²K), valamint T=30°C esetén az idő függvényében

Ehhez hasonlóan a nyári betonozást feltételező h=30 [W/m²K] és T=30 [°C] peremfeltételek mellett, szigetetlen zsaluzat esetében sem tudott kialakulni a repedésveszélyt

előidéző hőmérséklet különbség, annak időbeni maximuma viszont a 22.-23. órában alakult ki, mindkét modell esetén.

Az elemzés eredményeképpen elmondható, hogy a repedés kialakulása a h=30 [W/m²K] hőátadási tényező és T=5 [°C] környezeti hőmérsékleti feltételek esetén a legvalószínűbb, amely a szerkezet károsodását okozhatja. A hőszigetelés nélkül hagyott zsaluzat a téli betonozáskor előidézheti a tönkremenetelt. A kialakult 20,77 °C-os hőmérséklet különbség a megengedett 20 °C-os hőmérsékleti különbséget meghaladta a 10,56. órában. Viszont a 14,5 cm-es osztásközü vasalás esetén a ΔT hőmérséklet különbség 19,61 °C-ra csökkent a 8,73. órában.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgált betontérfogatban eltérő mennyiségű betonacélok hatása az alkalmazott kezdeti és peremfeltételek esetében hőtani szempontból mutatott eltérést.

Egyértelműen igazolást nyert, hogy a nagyobb mennyiségű betonacél használata a környezeti hőmérséklettől és a hőátadási tényezőtől függetlenül minden esetben csökkentette a szerkezetben kialakuló maximális hőmérséklet különbséget. Ennek következtében már a tartószerkezet előre jelezhető a betonacél mennyiségének ismeretében a repedéskockázat.

5. IRODALOM

- [1] B. A. Klemczak: Modeling thermal-shrinkage stresses in early age massive concrete structures, Comparative study of basic models, Archives of civil and mechanical engineering 14, (2014), pp. 721-733.
- [2] Yunus Ballim: A numerical model and associated calorimeter for predicting temperature profiles in mass concrete, Cement & Concrete Compositors 26, 2004, pp. 695-703
- [3] B. Klemczak, Agnieszka Knoppik-Wróbel: Reinforced concrete tank walls and bridge abutments: Early-age behaviour, analytic approaches and numerical models, Engineering Structures 84 (2015) pp. 233–251
- [4] Xiaobin Song, Yeqi Li, Chao Chen, Feng Lin, Susu Shang: Modeling early age RC slab cracking considering time-dependent bond behaviour, Engineering Structures 138 (2017) pp. 27–34
- [5] Domonyi Erzsébet, Prof. Dr. Csizmadia Béla, Prof. Dr. Telekes Gábor: Hőmérséklet különbség változása beton és vasbeton szerkezetek kötési folyamata során, Műszaki tudományos közlemények 7: pp. 131-134. (2017)

FORMA ÉS FUNKCIÓ KAPCSOLATAI A TERMÉSZETBEN

CONNECTIONS BETWEEN SHAPE AND FUNCTION IN NATURE

Dr. Dömötör Csaba, egyetemi docens
Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet,
machdcs@uni-miskolc.hu

ABSTRACT Specialists interested in research and development become again and again aware of the fact that the key to technological development needed for the maintenance of the built environment is the adaptation to the principles of nature, the time necessity of which can substantially be shortened by the adaptation of the found solutions. The set of published natural analogies which are revealed in different fields is so extensive and diversified that inserting these in the technical way of thinking cannot be imagined without the methodical management of this amount of data. This article presents two different methods for the natural adaptation.

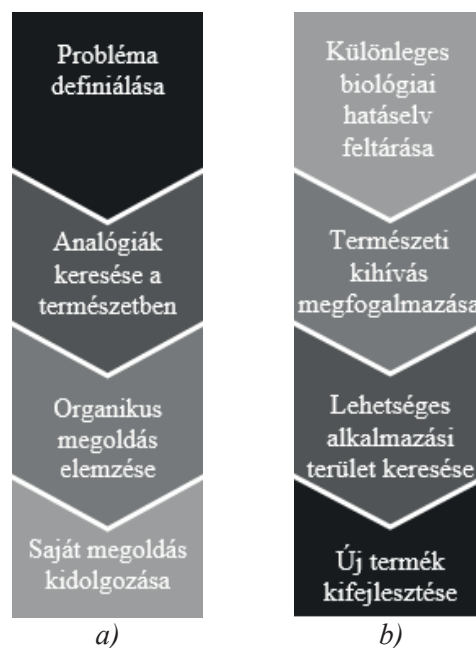
1. BEVEZETÉS

A kutatás-fejlesztésben érdekelt szakemberek újra és újra felismerik, hogy az épített környezet fenntartásához szükséges technológiai fejlődés kulcsa a természet törvényszerűségeihez való alkalmazkodás, melynek időszükséglete az élővilág felismert megoldásainak adaptálásával lényegesen lerövidíthető. Azonban a különböző tudományterületeken feltárt és publikált *természeti analógiák halmaza* [1] olyannyira kiterjedt és szerteágazó, hogy ezen adattömeg módszeres kezelése nélkül nem képzelhető el ezek műszaki gondolkodásba való beépítése. A rendelkezésre álló tudásbázis alkalmazásának alapvetően *analóg* és *absztraktív* irányát különböztetjük meg egymástól. Egyértelmű, hogy ezen ismert módszerek folyamatainak kifejezetten gépészmérnöki gyakorlatra optimalt részletes leírásával az adatbázisban való keresés irányíthatóvá és egyszerűbbé tehető.

2. A BIOMIMETIKA IRÁNYAI

A természetből történő adaptációnak szakirodalomból ismert két módszerénél a műszaki alkotás és a természeti analógia közt bejárt út éppen ellentétes irányú. A műszaki feladatból kiinduló, felkutató jellegű, leginkább a

hagyományos analógiakereséshez hasonló úgynevezett „top-down” – más forrásokban „technology pull” – folyamatot a magyar nyelvű publikációkban *analóg eljárásnak*, míg az ezzel ellentétes irányú, gyakran biológiai kutatások során fellelt hatáshordozók alkalmazásán nyugvó – a nemzetközi szakirodalomban „bottom-up” illetve „biology push” szókapcsolatokkal jelölt – módszert *absztraktív eljárásnak* nevezzük [2] [4]. Ezen módszerek alapvető lépései az analóg problémamegoldás általános modellje [3] alapján egyértelműen származtathatók.



1. ábra.

A biomimetika irányai [5]

a) Analóg eljárás b) Absztraktív eljárás

2.1 Analóg eljárás

Az analóg eljárásban az első lépés egy műszaki probléma megfogalmazása vagy újradefiniálása, melyet a kellő mértékben általánosítani szükséges azért, hogy a természetben fellépő kihívásnak megfeleltethető legyen (1.a ábra.).

Ismerve az élőlényekkel vagy élettelen objektumokkal szemben fellépő fizikai, kémiai vagy egyéb behatásokat, meg kell találni az ökoszisztéma azon résztvevőit, amelyeknek nincs lehetőségük kikerülni ezeket, hiszen így fennmaradásuk biztosításához az alkalmazkodás útján biztosan rendelkeznek valamilyen működő megoldással. Ezen megoldásokat, mint analógiákat részletesen, akár mikrobiológiai szinten megvizsgálva megtalálható az adott helyzetben optimumot képviselő hatáselv és hatáshordozó.

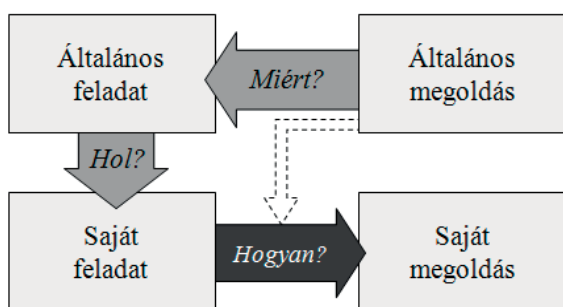
2.1 Absztraktív eljárás

Az absztraktív eljárás esetén a természet egy hatáselvének definiálásával indul a műszaki gyakorlatba való adaptáció folyamata. A természetben felismert hatáshordozók vizsgálatából ily módon piacképes termékötletek születhetnek, valamint a tudomány adott ismerettömegébe beépíthető, majd az iparban is jól hasznosítható, korszerű technológiák fejleszthetők ki. (1.b ábra.).

3. AZ ABSZTRAKCIÓ FOLYAMATA

Az absztrakció lényege, hogy az ember képes egy jelenséget az észlelést meghaladó módon is értelmezni, kiemelve az azt meghatározó lényegesebb tulajdonságokat és szabályokat, melyek általánosításával azok új, elvont alkalmazására nyílik lehetőség.

Szemléletes felvázolni a természeti adaptáció *Absztraktív irányának* az analógia alapú problémamegoldás általános modelljéből kiinduló általánosított formáját is (2. ábra.), mert így szemléletesebben értelmezhető a különböző kiindulási alaptól adódó eltérő gondolkodásmód.



2. ábra.

Az absztraktív eljárás általánosított modellje

Az absztraktív eljárás megértéséhez és irányíthatóbbá tételéhez elengedhetetlen a 2. ábra absztrakciós folyamatának kifejtése. Mivel a kiindulási alap egy valamilyen

különleges biológiai hatáshordozó, nem beszélhetünk hagyományos feladatmegoldásról. Ez esetben sokkal inkább egy létező organikus „termék” mesterséges műtárgyként való újrafogalmazása zajlik. A 2. ábrán szaggatott vonallal határolt nyíl a vizsgált analógia-párok ezen kapcsolatát szemlélteti.

A lépések részletes leírása is nélkülözhetetlen, hiszen ennek irányított módszere a szakirodalomban jelenleg nincs egyértelműen definiálva. Sorrendben megvizsgálva a fő lépéseket, azok lényege 3 kérdőszóval összefoglalható:

1. lépés - Miért?

„Miért alakulhatott ki ez a hatáshordozó?”

Egy különleges organikus konstrukció felfedezésekor a kutatók számára a természeti kihívás illetve feladat megfogalmazása az első teendő. Legtöbb esetben felismerhetők azok a konkrét környezeti tényezők, amihez a vizsgált élőlénynek alkalmazkodni kellett, vagy amelyek az adott élettelen objektum kialakulását eredményezték, így ezek jó alapot szolgáltathatnak az absztrakcióhoz.

2. lépés - Hol?

„Hol lehet mindezt hasznosítani?”

Az eredeti feltételeket és lehetőségeket műszaki előírásként, problémaként vagy funkcióként definiálva leszűkíthetővé válik az elképzelhető felhasználási terület. A várható gyakorlati alkalmazások ismeretében érdemes felkutatni az adott problémakörben jelenleg elérhető műszaki megoldásokat is, amelyek gyengeségeit összegezve a természeti analógiából irányított módon emelhető ki az abban rejlő innovatív tartalom.

3. lépés - Hogyan?

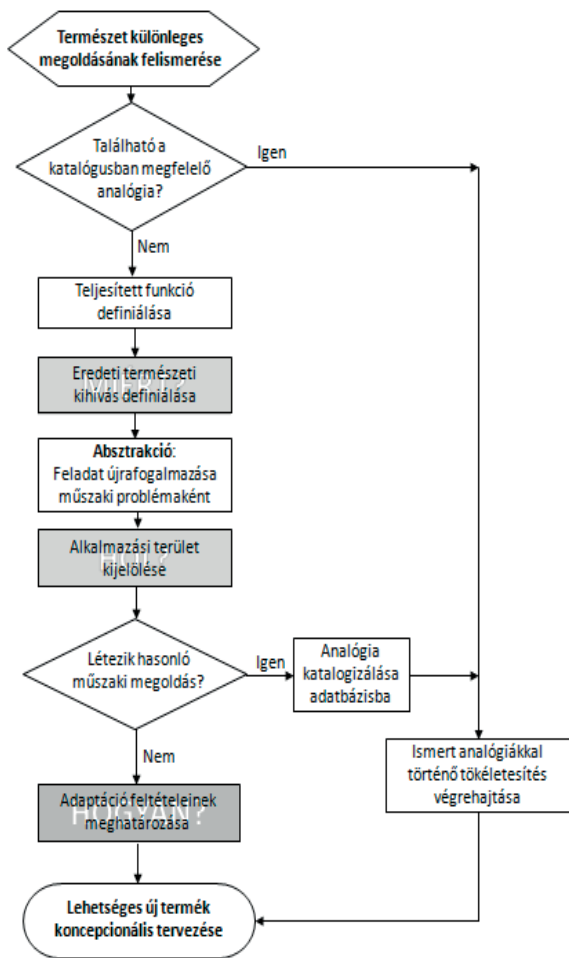
„Hogyan születhet ebből piacképes termék?”

Az alkalmazhatóság technológiai és piaci feltételeinek meghatározásával olyan termék kifejlesztése a feladat, mely gyártható és eladható formában valósítja meg a természetben felismert jellegzetes hatáshordozót.

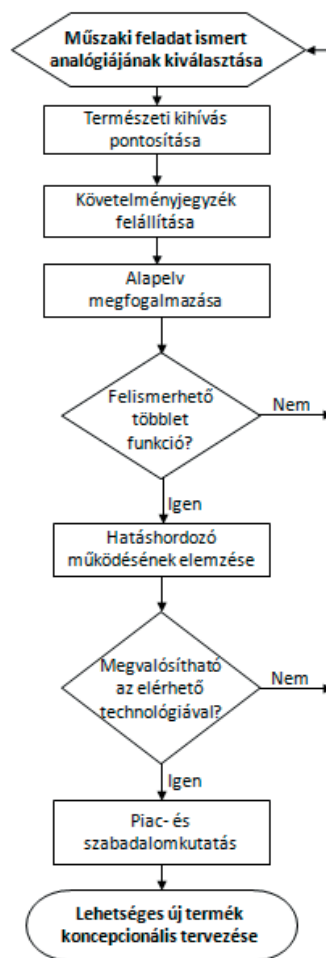
4. A BIOMIMETIKA ALGORITMUSAI

4.1 Absztraktív adaptáció

A természetben történt felfedezésből kiinduló absztraktív irányú folyamat részleteiben folyamatábrája segítségével írható le, melyet a 3. ábra mutat be.



3. ábra.
Absztraktív eljárás folyamata



4. ábra.
Ismert analógiák felhasználásával történő tökéletesítés folyamata

4.2 Tökéletesítés ismert analógiákkal

Szintén a problémamegoldás analógiákra visszavezetett általános modelljén alapul a természeti adaptáció analóg eljárása. Ismert analógiák alapján történő továbbfejlesztésre a katalógus bármely rekordja alkalmas lehet. Legnagyobb számban olyan utólag felismert analógiák állnak rendelkezésre, melyek esetében az érintett termék fejlesztéséből eredetileg kimaradt a természet vizsgálata. Ilyen esetben a műszaki és természeti oldal kapcsolatának átfogó analízise jó eséllyel eredményezhet innovatív ötleteket. Ennek a célirányos koncepcióképzési folyamatnak a lépéseit mutatja be a 4. ábra.

4.3 Felhasználási lehetőségek

A leírt algoritmusok működése esettanulmányokkal is alátámasztható. A kifejlesztett adatbázis és az algoritmusok főként a koncepcionális tervezés területén használhatók hatékonyan és alkalmazásukkal akár jelentős időmegtakarítás is elérhető a tervezés kezdeti szakaszaiban.

5. ESETTANULMÁNY

Egy létező műszaki alkotás természeti elveken alapuló tökéletesítésével illetve funkcióinak kiterjesztésével lehetőség nyílt akár merőben új termékötlet megfogalmazására is. Ezen felvetés gyakorlatban való hasznosítását, illetve annak főbb sarokköveit jelen publikáció egy esettanulmányon keresztül mutatja be.

A lőtücsök ásólábának mezőgazdasági metszőollóval fennálló párhuzamára *Lissák György*, neves magyar formatervező már 1998-ban megjelent könyvében felhívta a figyelmet [6]. A felismerés mikéntje egyértelműen az *utólagos analógiák* [1] közé sorolja ezt a hasonlóságot és az is bizonyos, hogy megfogalmazását követően még nem történt meg az ilyen jellegű termékek biomimetikai úton való fejlesztése, továbbgondolása.

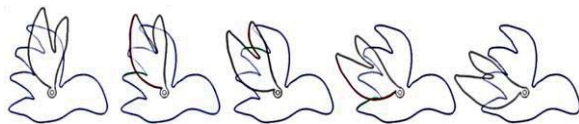
5.1 Természeti kihívás pontosítása

Ennek elvégzéséhez az első lépést a felismert hatáshordozó részletes elemzése jelenti. A lőtücsök ollójának analíziséhez először

szükséges az érintett élőlények életmódjának megismerése, aminek fő tényezője, hogy életük nagy részét a maguk ásta föld alatti járataikban töltik. Első lábaik ehhez a feladathoz tökéletesedve nagy felületű karmos ásóvá módosultak. A rajta lévő olló pedig képes elvágni a vékonyabb gyökereket és növényi szárazakat. Ebből következően tehát a robosztus vágószerszám rossz látási viszonyok között is hatékonyan kell, hogy működjön.

5.2 Analízis

Geometriai vizsgálattal megállapítható, hogy a lótücsök ollójának lényege a szorosan egymás mellett elforduló vágóél-párokban rejlik, melyekből az állatnak egyetlen lábán három is van.



5.ábra.

A lótücsök ollójának működése

Többszörös él-kialakítással az állat jóval könnyebben eltalálja az elvágandó növényi részeket. Az olló működése során a redundancia elve érvényesül, hiszen ha az egyik vágóél-pár célt téveszt, a másik kettővel még jó eséllyel megvalósulhat a vágás. Ez a fajta él-geometria minden olyan esetben előnyös lehet, ahol vágás közben a rossz látási viszonyok vagy a felhasználó látáscsökkenése miatt az elvágandó részek pontos helyzete nehezen ismerhető fel.

5.3 Műszaki alkalmazás

Az eredeti analógiában felismert termék tökéletesítésére törekedve elemezni szükséges az organikus konstrukció műszaki gyakorlatba történő átültetésének lehetőségét.

A célközönség lehet a gyengén látó fogyasztók szűkebb csoportja, de a látásukban nem korlátozott kertbarátok számára is nagy segítséget jelenthet egy ilyen eszköz, hiszen például idő szűkében kisebb koncentrációval dolgozva vagy szürkületben végezve a munkát egy több élű olló szintén a hatékonyság növelésének eszköze lehet.

5.4 Piackutatás és termékötlet

Jelenleg a hazai és külföldi internetes áruházak kínálatában nem található manuálisan működtetett több élű vágószerszám. Egyes elektromos kisgépeket azonban érdemes

megvizsgálni különös tekintettel az él-kialakításukra. Az ilyen több élű rendelkező eszközök közé sorolhatók a különböző szőr- és hajnyírók, a sövényvágó gépek és az akkumulátoros fűnyíró ollók. A lótücsök ollójához képest fontos eltérés, hogy elfordulás helyett az ilyen eszközök többségénél az élek egymáshoz viszonyítva egyenes vonalú alternáló mozgást végeznek, így ezen eszközök nem hordozzák a kézi erő kifejtéssel való meghajthatóság reális lehetőségét. Ennek fő oka, hogy éleik közül egy időben több is munkát végez, aminek leginkább gallyak metszése esetén viszonylag nagy az erőszükséglete.

A lótücsök ollójában felismert fő előny adaptációjához tehát meg kell tartani az eltérő időben működő többszörös él-kialakítást, valamint az ideális vágószöveget magvalósító ívelt éleket is.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] DÖMÖTÖR, Cs.: Természeti analógiák adatbázisa, statisztikai elemzése és alkalmazási módszerei a koncepcionális tervezésben, Ph.D. értekezés, Miskolc-Egyetemváros, 2015.
- [2] VDI 6220: 2011-06 Bionik; Konzeption und Strategie; Abgrenzung zwischen bionischen und konventionellen Verfahren/Produkten. Berlin: Beuth Verlag
- [3] MAZUR, G.H.: Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), University of Michigan College of Engineering, 1995
- [4] NACHTIGALL, W.: Bionik: Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler Springer Berlin Heidelberg, 2002, ISBN 9783540436607
- [5] DÖMÖTÖR, CS.: Natural motivations in engineering design, GÉP, 2005. (56. évf.) 9-10.sz. ISSN 00168572 25-26.old.
- [6] LISSÁK Gy.: A formáról, Láng Kiadó és Holding Rt., Budapest, 1998, ISBN 9638054093

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

INHOMOGEN ÉRUGALMAS ANYAGÚ KÚPOK STATIKAI VIZSGÁLATA

STATIC ANALYSIS OF NONHOMOGENEOUS ELASTIC CONICAL BODIES

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

ÖSSZEFOGLALÁS (ABSTRACT). The object of this paper is to determine the stresses in hollow inhomogeneous elastic conical body caused by inner and outer pressures applied to its mantles. It is assumed that the nonhomogeneous elastic material is incompressible, that is the Poisson's ratio is 0.5. An analytical method is developed to solve the boundary value problem of elastic equilibrium. Two types of nonhomogeneity are considered, first case is the layered conical body and the second case deals with the functionally gradient material (FGM).

1. BEVEZETÉS

Az 1. ábra szemlélteti a vizsgálat tárgyát képező üreges kúp alakú testet. Az üreges kúp alakú testet az O csúcspontú ∂V_1 és ∂V_2 körkúp felületek, valamint az O középpontú ∂V_3 és ∂V_4 gömbfelületek határolják. A mechanikai feladata megfogalmazására az $Or\varphi\vartheta$ gömbkoordináta-rendszert használtuk (1. ábra). A statikai peremérték feladat megoldásával kapcsolatban feltételezzük, hogy

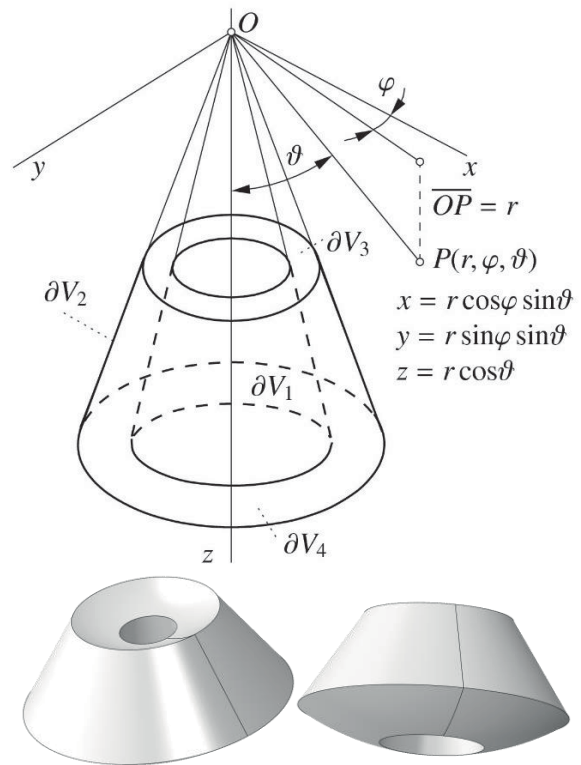
1. Az alakváltozások és az elmozdulások kicsinyek.
2. Nincs térfogati terhelés.
3. A test anyaga ideálisan rugalmas, összenyomhatatlan, vagyis a Poisson tényező $\nu = 0.5$.
4. Rétegzett inhomogenitás esetében a rétegek kapcsolata tökéletes, mindenfajta elcsúszás, elválás kizárt.
5. FGM anyag esetében a G csúsztató rugalmassági modulus a ϑ gömbi koordináta folytonos függvénye.

Jelölje e_r, e_φ és e_ϑ az $Or\varphi\vartheta$ gömbi koordináta-rendszer egységvektorait. A tanulmány tárgyát alkotó statikai peremértékfeladatot az alábbi peremfeltételek határozzák meg:

$$u_r = 0, \quad \tau_{r\varphi} = \tau_{r\vartheta} = 0, \quad P \in \partial V_3 \cup \partial V_4, \quad (1)$$

$$\tau_{r\vartheta} = \tau_{\varphi\vartheta} = 0, \quad \sigma_\vartheta = -p_1, \quad P \in \partial V_1, \quad (2)$$

$$\tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi\varphi} = 0, \quad \sigma_\varphi = -p_2, \quad P \in \partial V_2. \quad (3)$$



1. ábra. Üreges körkúp alakú test

Az elmozdulás vektor skalár koordinátáit $u_r, u_\varphi, u_\vartheta$, míg a feszültségi tenzor elemeit pedig $\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_\vartheta, \tau_{r\varphi}, \tau_{r\vartheta}, \tau_{\varphi\vartheta}$ jelöli az $Or\varphi\vartheta$ gömbi koordináta-rendszerben [1,2,3,4]. Az (1) egyenletben megfogalmazott vegyes peremfeltételek sima, merev gömbfelületekkel történő megtámasztás révén realizálhatók, hasonlóan a véges hosszúságú síkalakváltási állapotban lévő rugalmas testekhez. Ez utóbbi esetben az axiális elmozdulást sima merev síkkal való megtámasztás teszi lehetetlenné.

A kitűzött statikai feladat megoldását az alábbi elmozdulás mezőből származtatjuk:

$$u_r = u_\varphi = 0, \quad u_\vartheta = rU(\vartheta). \quad (4)$$

A fenti elmozdulásoknak megfelelő alakváltozások [1-3]

$$\varepsilon_r = \gamma_{r\varphi} = \gamma_{r\vartheta} = 0, \quad (5)$$

$$\varepsilon_{\vartheta} = \frac{\partial U}{\partial \vartheta}, \quad \varepsilon_{\varphi} = U \operatorname{ctg} \vartheta. \quad (6)$$

Az izotrop, lineárisan rugalmas összenyomhatatlan test anyagtvénye alapján [3-7] írható, hogy

$$\sigma_r = 2G\varepsilon_r + \sigma_0, \quad \sigma_{\varphi} = 2G\varepsilon_{\varphi} + \sigma_0, \quad (7)$$

$$\sigma_{\vartheta} = 2G\varepsilon_{\vartheta} + \sigma_0, \quad \tau_{r\varphi} = G\gamma_{r\varphi}, \quad (8)$$

$$\tau_{r\vartheta} = G\gamma_{r\vartheta}, \quad \tau_{\varphi\vartheta} = G\gamma_{\varphi\vartheta}, \quad (9)$$

$$\varepsilon_r + \varepsilon_{\varphi} + \varepsilon_{\vartheta} = 0, \quad (10)$$

ahol G a csúsztató rugalmassági modulust jelöli. A tanulmány tárgyát képező inhomogén rugalmas test esetében a csúsztató rugalmassági modulus a ϑ gömbi koordináta függvénye, vagyis $G = G(\vartheta)$. A (7) és (8) egyenletekben σ_0 a közepes normál feszültséget jelöli [3-7]

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_r + \sigma_{\varphi} + \sigma_{\vartheta}}{3}. \quad (11)$$

A fenti egyenleteket a jelen problémára alkalmazva, azt kapjuk, hogy

$$\sigma_{\vartheta} = 2G\varepsilon_{\vartheta} + \sigma_0, \quad \sigma_{\varphi} = 2G\varepsilon_{\varphi} + \sigma_0, \quad (12)$$

$$\sigma_r = \sigma_0 = \frac{\sigma_{\varphi} + \sigma_{\vartheta}}{2}, \quad (13)$$

$$\varepsilon_{\varphi} + \varepsilon_{\vartheta} = \frac{\partial U}{\partial \vartheta} + U \operatorname{ctg} \vartheta = 0. \quad (14)$$

A (14) egyenletből az következik, hogy

$$U(\vartheta) = \frac{K}{\sin \vartheta}, \quad \vartheta_1 \leq \vartheta \leq \vartheta_2. \quad (15)$$

A ϑ_1 és ϑ_2 gömbi koordinátákat a 2. ábra értelmezi, továbbá K egy integrációs állandó.

A mechanikai egyensúly egyenletei zérus térfogati terhelés esetén gömbi koordináta rendszerben az alábbi alakban adhatók meg [1,2]

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial \tau_{r\vartheta}}{\partial \vartheta} + \frac{1}{\sin \vartheta} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + 2\sigma_r - \right. \quad (16)$$

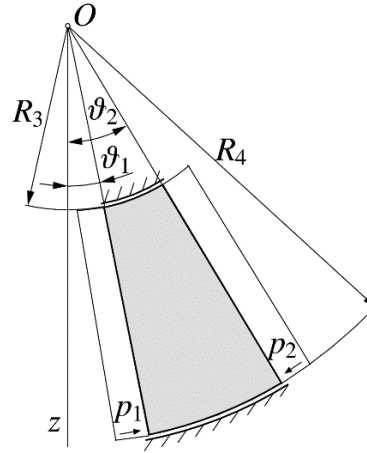
$$\left. \sigma_{\varphi} - \sigma_{\vartheta} + \tau_{r\vartheta} \operatorname{ctg} \vartheta \right] = 0,$$

$$\frac{\partial \tau_{\varphi r}}{\partial r} + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial \tau_{\varphi\vartheta}}{\partial \vartheta} + \frac{1}{\sin \vartheta} \frac{\partial \sigma_{\varphi}}{\partial \varphi} + 3\tau_{\varphi r} + \right. \quad (17)$$

$$\left. 2\tau_{r\vartheta} \operatorname{ctg} \vartheta \right] = 0,$$

$$\frac{\partial \tau_{\vartheta r}}{\partial r} + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial \sigma_{\vartheta}}{\partial \vartheta} + \frac{1}{\sin \vartheta} \frac{\partial \tau_{\varphi\vartheta}}{\partial \varphi} + 3\tau_{\vartheta r} + \right. \quad (18)$$

$$\left. (\sigma_{\varphi} - \sigma_{\vartheta}) \operatorname{ctg} \vartheta \right] = 0.$$



2. ábra. Az üreges körkúp alakú test meridián metszete

A feladat forgásszimmetriájából az következik, hogy a feszültségek φ polárszög szerinti parciális deriváltjai identikusan zérussal egyenlők. Belátható, hogy a (16), (17) egyensúlyi egyenletek a vizsgált peremérték feladatban identikusan teljesülnek és a (18) egyensúlyi egyenletből pedig az következik, hogy

$$\frac{d\sigma_{\vartheta}}{d\vartheta} + (\sigma_{\varphi} - \sigma_{\vartheta}) \operatorname{ctg} \vartheta = 0. \quad (19)$$

A (6) egyenletből azt kapjuk, hogy

$$\varepsilon_{\vartheta} = -K \frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta}, \quad \varepsilon_{\varphi} = K \frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta}. \quad (20)$$

A (12), (13) egyenletek és a (20) egyenlet kombinálásával nyerjük a (21) egyenletet

$$\sigma_{\vartheta} = -2GK \frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta} + \sigma_0, \quad (21)$$

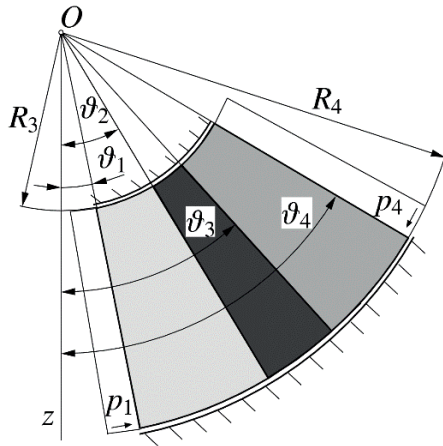
$$\sigma_{\varphi} = 2GK \frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta} + \sigma_0.$$

A (21) egyenletek (19) egyenletbe való helyettesítése az alábbi eredményre vezet

$$\frac{d\sigma_{\vartheta}}{d\vartheta} = 4KG \frac{\cos^2 \vartheta}{\sin^3 \vartheta}. \quad (22)$$

2. RÉTEGZETT RUGALMAS KÚP

A 3. ábra szemlélteti a meridián metszetét a vizsgált kompozit kúp alakú testnek. A $\vartheta_i \leq \vartheta \leq \vartheta_{i+1}$ ($i = 1, \dots, n$) szögkoordinátával, valamint az $R_3 \leq r \leq R_4$ sugárkoordinátával kijelölt rugalmas tartomány jele i ($i = 1, \dots, n$).



3. ábra. Rétegzett üreges kúpalakú test

Az előző fejezet egyenletei alapján írható, hogy

$$\sigma_{i\vartheta} = -2G_i K \frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta} + \sigma_{i0}(\vartheta), \quad (23)$$

$$(\vartheta_i \leq \vartheta \leq \vartheta_{i+1}),$$

$$\sigma_{i\varphi} = 2G_i K \frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta} + \sigma_{i0}(\vartheta), \quad (24)$$

$$(\vartheta_i < \vartheta < \vartheta_{i+1}),$$

ahol G_i az i jelű kúp alakú összenyomhatatlan rugalmas test csúsztató rugalmassági modulusát jelöli. A (19) és a (21) egyenletekből az következik, hogy

$$\frac{d\sigma_{i0}}{d\vartheta} - 2G_i K \frac{d}{d\vartheta} \left(\frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta} \right) - 4G_i K \frac{\cos^2 \vartheta}{\sin^3 \vartheta} = 0. \quad (25)$$

A (25) egyenlet integrálásával azt kapjuk, hogy

$$\sigma_{i0}(\vartheta) = \sigma_{i\varphi}(\vartheta) = -2KG_i \ln \left| \tan \frac{\vartheta}{2} \right| + c_i, \quad \vartheta_i \leq \vartheta \leq \vartheta_{i+1}, \quad (i=1, \dots, n). \quad (26)$$

Egyszerű számolással adódik a $\sigma_{i\vartheta}$ és a $\sigma_{i\varphi}$ normálfeszültségekre az alábbi két képlet

$$\sigma_{i\vartheta}(\vartheta) = -2KG_i \left[\frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta} + \ln \left| \tan \frac{\vartheta}{2} \right| \right] + c_i, \quad \vartheta_i \leq \vartheta \leq \vartheta_{i+1}, \quad (27)$$

$$\sigma_{i\varphi}(\vartheta) = 2KG_i \left[\frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta} - \ln \left| \tan \frac{\vartheta}{2} \right| \right] + c_i, \quad \vartheta_i \leq \vartheta \leq \vartheta_{i+1}. \quad (28)$$

A felírt képletekben szereplő ismeretlen mennyiségeket $(K, c_1, c_2, \dots, c_n)$ az alábbi perem és illesztési feltételek kielégítéséből nyerjük:

$$\sigma_{1\vartheta}(\vartheta_1) = -p_1, \quad \sigma_{n\vartheta}(\vartheta_{n+1}) = -p_{n+1}, \quad (29)$$

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left[\sigma_{i\vartheta}(\vartheta_{i+1} - \varepsilon^2) - \sigma_{(i+1)\vartheta}(\vartheta_{i+1} + \varepsilon^2) \right] = 0, \quad (30)$$

$$(i=1, 2, \dots, n-1).$$

A (29) egyenletek a $\vartheta = \vartheta_1$ és $\vartheta = \vartheta_{n+1}$ egyenletekkel kijelölt kúp felületekhez tartozó feszültségi peremfeltételekhez kapcsolódó egyenletek, ahol p_1 és p_{n+1} az alkalmazott terhelések (nyomások) értékeit jelölik. Az egyes rétegek határfelületein a σ_ϑ normálfeszültség folytonos függvénye a ϑ változónak. Ez utóbbi feltétel fennállását a (30) egyenlet biztosítja.

4. FUNKCIONÁLISAN GRADIENS ANYAGÚ KÚPALAKÚ TEST

Funkcionálisan gradiens anyagú összenyomhatatlan rugalmas kúp alakú test esetében G a ϑ szögkoordináta folytonos függvénye, azaz $G = G(\vartheta)$. A vizsgált test meridián metszetét és az alkalmazott terhelést a 2. ábra szemlélteti a (22) egyenlet és a (2. ábra)

$$\sigma_\vartheta(\vartheta_1) = -p_1, \quad \sigma_\vartheta(\vartheta_2) = -p_2, \quad (31)$$

statikai peremfeltételek kombinálásával jutunk a K állandó értékéhez

$$K = \frac{p_1 - p_2}{4 \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} G(\vartheta) \frac{\cos^2 \vartheta}{\sin^3 \vartheta} d\vartheta}. \quad (32)$$

A (22) egyenlet integrálásával közvetlenül megkapható a $\sigma_\vartheta = \sigma_\vartheta(\vartheta)$ feszültség képlete

$$\sigma_\vartheta(\vartheta) = -p_1 + \frac{p_1 - p_2}{\int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} G(\vartheta) \frac{\cos^2 \vartheta}{\sin^3 \vartheta} d\vartheta} \cdot \int_{\vartheta_1}^{\vartheta} G(\alpha) \frac{\cos^2 \alpha}{\sin^3 \alpha} d\alpha. \quad (33)$$

A (21) egyenletből egyszerű számolással adódik, hogy

$$\sigma_0 = \sigma_r = -p_1 + \frac{p_1 - p_2}{\int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} G(\vartheta) \frac{\cos^2 \vartheta}{\sin^3 \vartheta} d\vartheta} \left[\int_{\vartheta_1}^{\vartheta} G(\alpha) \frac{\cos^2 \alpha}{\sin^3 \alpha} d\alpha + G(\vartheta) \frac{\cos^2 \vartheta}{2 \sin^3 \vartheta} \right]. \quad (34)$$

A $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(\vartheta)$ normál feszültség számítása az alábbi egyenlet alapján történik

$$\sigma_\varphi = (\sigma_\varphi - \sigma_\vartheta) + \sigma_\vartheta = 4KG(\vartheta) \frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta} + \sigma_\vartheta(\vartheta). \quad (35)$$

Részletes számítás az alábbi eredményre vezet

$$\sigma_\varphi = -p_1 + \frac{p_1 - p_2}{\int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} G(\vartheta) \frac{\cos^2 \vartheta}{\sin^3 \vartheta} d\vartheta} \left[\int_{\vartheta_1}^{\vartheta} G(\alpha) \frac{\cos^2 \alpha}{\sin^3 \alpha} d\alpha + G(\vartheta) \frac{\cos \vartheta}{\sin^2 \vartheta} \right]. \quad (36)$$

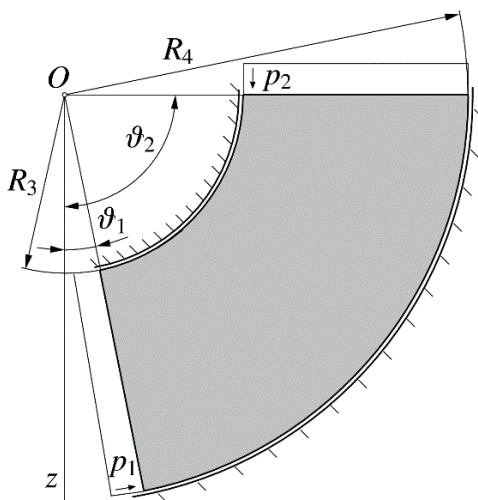
4. NUMERIKUS PÉLDÁK

4.1. Funkcionálisan gradiens anyagú kúp alakú test

A numerikus példában az alábbi adatokat használtuk (4. ábra)

$$\vartheta_1 = \frac{\pi}{20}, \quad \vartheta_2 = \frac{\pi}{2}, \quad G = G_0 \exp(a\vartheta), \quad a = 0,2, \\ G_0 = 0,1 \times 10^9 \text{ Pa}, \quad p_1 = 0, \quad p_2 = 5 \times 10^6 \text{ Pa}.$$

Mivel az alakváltozások és feszültségek függetlenek az r sugár koordinátától az R_3 , R_4 ($R_3 < R_4$) értékét nem adtuk meg.



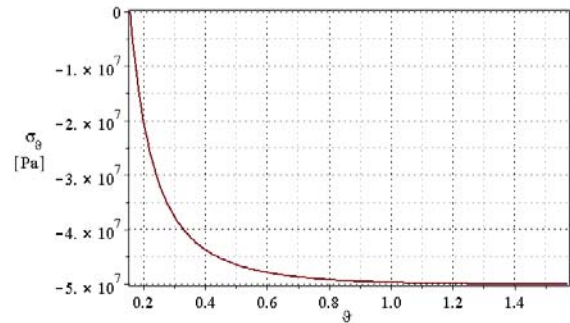
4. ábra. Funkcionálisan gradiens anyagú üreges kúp alakú test

A (32) képlet alkalmazásával azt kaptuk, hogy

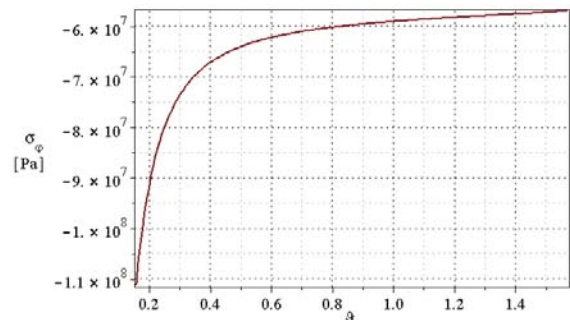
$$K = -0,006265496108. \quad (37)$$

Az 5. ábra a $\sigma_\vartheta = \sigma_\vartheta(\vartheta)$, a 6. ábra a $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(\vartheta)$ és a 7. ábra a $\sigma_0 = \sigma_r = \sigma_r(\vartheta)$ feszültségeket szemlélteti a ϑ változó függvényeként. A von Mises feszültség $\sigma_M = \sigma_M(\vartheta)$ függvényét a 8. ábra mutatja be. Egyszerű számolással azt kapjuk, hogy

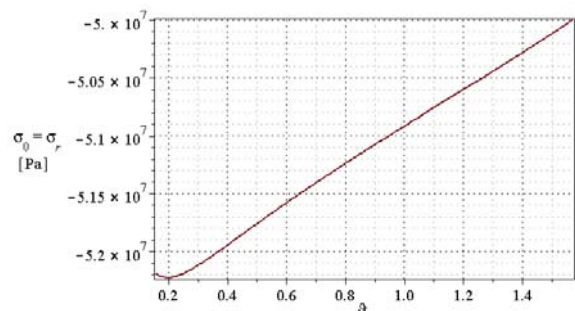
$$\max \{ \sigma_M(\vartheta) | \vartheta_1 \leq \vartheta \leq \vartheta_2 \} = 9,035510123 \times 10^7 \text{ Pa}. \quad (38)$$



5. ábra. A $\sigma_\vartheta = \sigma_\vartheta(\vartheta)$ függvény szemléltetése FGM kúpra.



6. ábra. $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(\vartheta)$ függvény szemléltetése FGM kúpra



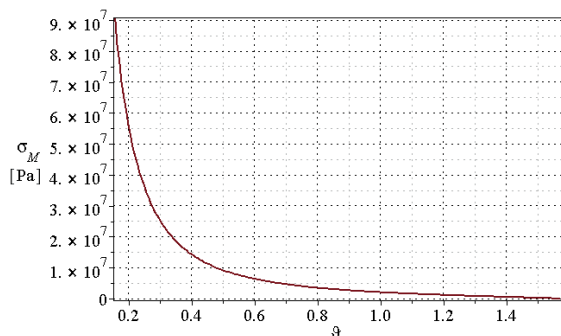
7. ábra. A $\sigma_r = \sigma_r(\vartheta)$ függvény szemléltetése FGM kúpra

4.2. Rétegezett összenyomhatatlan rugalmas kúp alakú test.

A bemutatásra kerülő numerikus példa négy rétegből felépülő kompozit kúpra vonatkozik. Az

egyres rétegeket meghatározó szögkoordináták az alábbiak:

$$\vartheta_1 = \frac{\pi}{20}, \vartheta_2 = \frac{\pi}{10}, \vartheta_3 = \frac{\pi}{6}, \vartheta_4 = \frac{\pi}{3}, \vartheta_5 = \frac{\pi}{2}.$$



8. ábra. A $\sigma_M = \sigma_M(\vartheta)$ függvény szemléltetése FGM kúpra

Az alkalmazott terhelések $p_1 = 0$, $p_5 = 50 \times 10^6$ Pa.

$$G_1 = G_0 \exp\left[\frac{a}{2}(\vartheta_1 + \vartheta_2)\right] = 1,048252 \times 10^8 \text{ Pa}, \quad (39)$$

$$G_2 = G_0 \exp\left[\frac{a}{2}(\vartheta_2 + \vartheta_3)\right] = 1,087385 \times 10^8 \text{ Pa}, \quad (40)$$

$$G_3 = G_0 \exp\left[\frac{a}{2}(\vartheta_3 + \vartheta_4)\right] = 1,1700881 \times 10^8 \text{ Pa}, \quad (41)$$

$$G_4 = G_0 \exp\left[\frac{a}{2}(\vartheta_4 + \vartheta_5)\right] = 1,29926587 \times 10^8 \text{ Pa}, \quad (42)$$

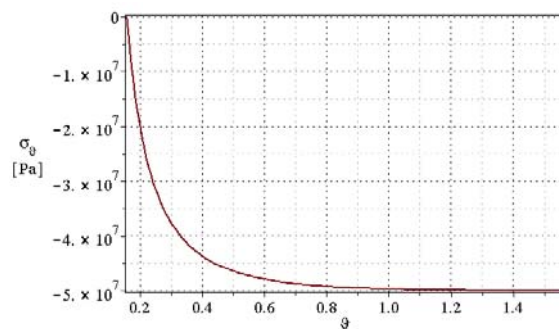
Itt G_0 és a értékét a 4.1. feladatban adtuk meg. A csúszató rugalmassági modulusok fenti megválasztásával egy közelítő módszer alkalmazására nyílik lehetőség a FGM anyagú kúp alakú testre levezetett megoldásnak az ellenőrzésére. A számítások eredményeit a 9. a 10. a 11. és a 12. ábra szemlélteti.

$$\max\{\sigma_M(\vartheta) | \vartheta_1 \leq \vartheta \leq \vartheta_5\} = 9,124975 \times 10^7 \text{ Pa}. \quad (43)$$

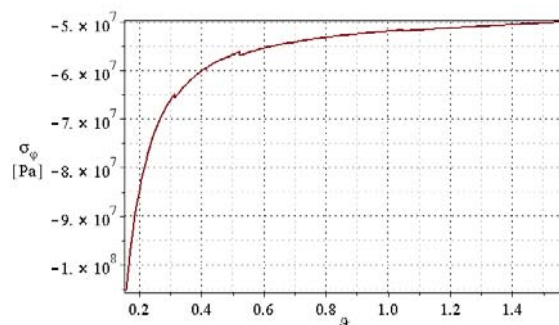
5. TÖMÖR KÚPALAKÚ TEST

A 13. ábra szemlélteti az összenyomhatatlan rugalmas anyagú tömör kúp alakú test meridián met-szetét és az alkalmazott terhelést. A G csúszató rugalmassági modulus és a ϑ szögkoordináta tet-

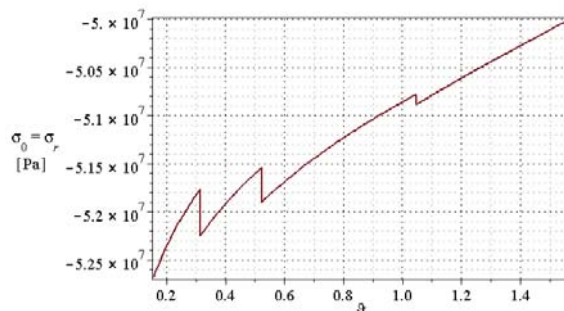
zőleges pozitív értékű függvénye. Lehet folytonos, illetve szakaszonként folytonos a $0 \leq \vartheta \leq \vartheta_2$ intervallumban.



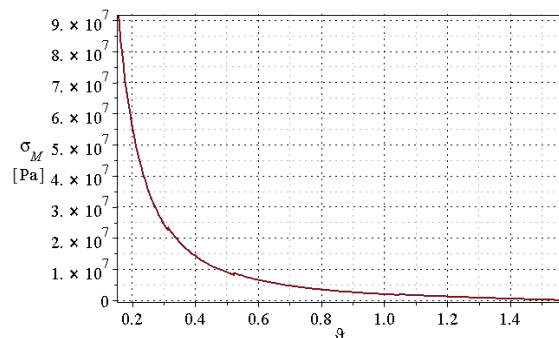
9. ábra. A $\sigma_\vartheta = \sigma_\vartheta(\vartheta)$ függvény szemléltetése rétegzett kompozit kúpra



10. ábra. A $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(\vartheta)$ függvény szemléltetése rétegzett kompozit kúpra



11. ábra. A $\sigma_r = \sigma_r(\vartheta)$ függvény szemléltetése rétegzett kompozit kúpra



12. ábra. A $\sigma_M = \sigma_M(\vartheta)$ függvény szemléltetése rétegzett kompozit kúpra

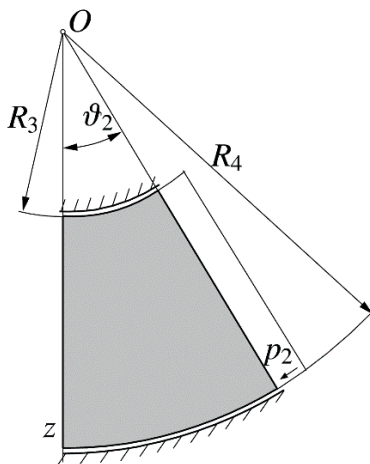
Az elmozdulások véges voltából az következik, hogy $K=0$, azaz $U=0$, vagyis a test minden pontjában

$$u_r = u_\varphi = u_g = 0 \quad (44)$$

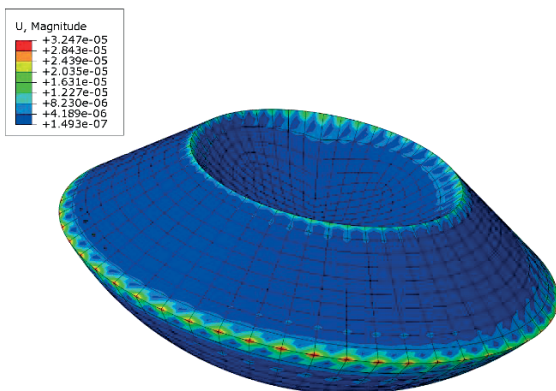
függetlenül a $G=G(\mathcal{G})$ függvénytől és a p_2 terheléstől. A (16-18) mechanikai egyensúlyi egyenletek és az (1-3) egyenletekben megfogalmazott peremfeltételi előírások nyilván teljesülnek, ha a test minden pontjában

$$\sigma_g = \sigma_\varphi = \sigma_r = \sigma_0 = -p_2, \quad (45)$$

vagyis a vizsgált rugalmas tömör kúp hidrosztatikus feszültségi állapotban van, melyet a 14. 15. és 16. ábrákon szemléltettünk a végeeselemes megoldás alapján.



13. ábra. Tömör kúp alakú összenyomhatatlan rugalmas test meridián metszete ($\mathcal{G}_1 = 0$)



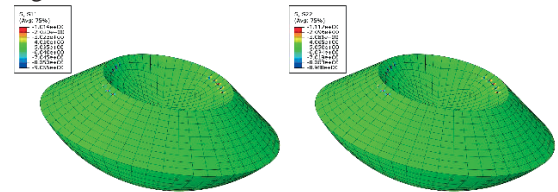
14. ábra. Az u elmozdulásmező

6. KÖVETKEZTETÉSEK

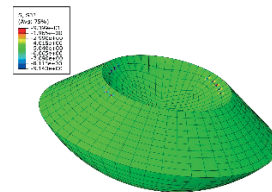
A dolgozat tárgyát inhomogén, összenyomhatatlan, rugalmas kúpok egy statikai peremértékfeladata alkotja. A kúpok külső és belső palást felületein előírt normál felületi terhelés (nyomás) működik. Analitikus megoldás került kidolgozásra a rétegzett kompozit kúpokra és a funkcionálisan gradiens anyagú kúpokra. A numerikus példákat

olyan adatokkal számoltuk ki, amikor is a rétegzett kompozit kúpra vonatkozó megoldás a funkcionálisan gradiens anyagú kúpra vonatkozó analitikus megoldás egy közelítő megoldásaként interpretálható.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány elkészítését a Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Hivatal (NKFIH) K115701 projektre támogatta. A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.2-16-2016-00011 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.



15. ábra. A σ_r és a σ_φ feszültségek



16. ábra. A σ_g feszültség

6. IRODALOM

- [1] W.S. Slaughter, *The linearized Theory of Elasticity*, Birkhäuser, Basel, 2002.
- [2] I.S. Solonnikoff, *Mathematical Theory of Elasticity*, (2nd ed.), McGraw-Hill, New York, 1956.
- [3] I. Ecsedi, A. Baksa, Spherical strain state of incompressible elastic bodies, *Journal of Computational and Applied Mechanics*, 11(1), pp.17-32, 2016.
- [4] I. Golecki, On the fundamentals of the theory of elasticity of plane incompressible non-homogeneous media, *Lecture in I.U.T.A.M. Symposium of Non-homogeneous in Elasticity and Plasticity*, Warsaw, 1959.
- [5] I. Golecki, On the assumption of incompressibility in plane problems of elasticity, *Arch. Mech. Stos.*, 9(3), pp.297-301, 1959.
- [6] I. Golecki, Statics of an incompressible elastic solid, *Arch. Mech. Stos.*, 1(4), pp.35-46, 1961.
- [7] M.E. Gurtin, *The Linear Theory of Elasticity in Handbuch der Physik II/2.*, (Ed. S. Flüge), Springer, Berlin, 1972.

GUMISZERŰ ANYAGOK HIPER-VISZKOELASZTIKUS ANYAGMODELL PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA

PARAMETER IDENTIFICATION OF HYPER-VISCOELASTIC MODEL FOR RUBBER-LIKE MATERIALS

Fazekas Bálint, doktorandusz, fazekas.balint@gt3.bme.hu
Goda Tibor, egyetemi docens, goda.tibor@gt3.bme.hu

A simple numerical algorithm has been presented for the identification of hyper-viscoelastic material model parameters in case of incompressible material behavior. The stress response of the material model has been obtained by numerical integration of the finite strain viscoelastic model implemented in the FE software Abaqus. The proposed technique provides a general strategy for parameter identification. Here, the algorithm is applied for isoprene rubber characterized by stress relaxation tests.

1. BEVEZETÉS

Az elasztomereket az iparban széles körben alkalmazzák, köszönhetően a kedvező mechanikai tulajdonságaiknak és a nagy energiaelnyelő képességüknek. A gumik nagy alakváltozásokra képesek, a feszültség-alakváltozás közötti kapcsolat erős nemlinearitást mutat, továbbá időfüggő anyagi viselkedéssel is rendelkeznek. Ahhoz, hogy a komplex mechanikai viselkedésüket modellezni tudjuk, pontos anyagmodellekre van szükség [1].

A gumi anyagi viselkedését az ún. hiper-viszkoelasztikus anyagmodellel írhatjuk le, amely egy hiperelasztikus és egy viszkoelasztikus modell összekapcsolásán alapszik. Előbbi az anyag időfüggetlen, utóbbi az időfüggő viselkedést jellemzi [2]. A modell széles körben elterjedt, azonban a modellparaméterek pontos meghatározása nem triviális. A mérnöki gyakorlatban a legelterjedtebb módszer a szeparált illesztés, ahol a hiperelasztikus és a viszkoelasztikus paraméterek külön-külön illeszthetők a mérési eredményekre, ami azonban pontatlan eredményekhez vezethet [3].

A vizsgálataink során elvégeztük az Abaqus [4] végeelem szoftverbe implementált hiper-viszkoelasztikus anyagmodell konstitutív

egyenletének numerikus integrálását, amely során megkaptuk a modellre vonatkozó növekményes feszültségválaszt. Ennek előnye, hogy a modellparamétereket egy lépésben, közvetlenül lehet illeszteni a mérési eredményekre, amely jelentősen pontosítja a kapott anyagparamétereket [5].

2. AZ ALKALMAZOTT ANYAGMODELL

2.1. Hiperelasztikus modell

A gumiszerű anyagok időfüggetlen viselkedése hiperelasztikus anyagmodellekkel írható le, amelyek az alakváltozási energiasűrűség függvényével (W) definiálhatók. Feltételezzük, hogy az anyag izotróp, ekkor W felírható a Green-féle deformációs tenzor skalár invariánsaival (I_1, I_2, I_3). További feltételezés, hogy a gumi összenyomhatatlan, vagyis $J = \det \mathbf{F} = 1$. A modellalkotás során a 3 paraméteres Mooney-Rivlin-féle hiperelasztikus anyagmodellt [6] alkalmaztuk, amelynek az alakváltozási energiasűrűség függvénye a következő:

$$W(I_1, I_2) = C_{10}(I_1 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3), \quad (1)$$

ahol C_{10}, C_{11}, C_{01} anyagparaméterek. A mérnöki főfeszültség az alábbi képlet szerint számolható:

$$P_k = \frac{\partial W}{\partial \lambda_k}, \quad (2)$$

ahol λ_k a k -adik főnyúlás ($k=1, 2, 3$).

Az egytengelyű húzás esetén az alakváltozási gradiens – kihasználva a térfogati állandóságot – az alábbi alakban írható fel:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda^{-1/2} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda^{-1/2} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

ahol λ a terhelés irányába eső főnyúlás. Az alakváltozási energiasűrűség függvény (W) ismeretében a (2) egyenlet segítségével meghatározható a mérnöki feszültségválasz. Az egytengelyű feszültségi állapot miatt az egyetlen nemzérus feszültségkomponens P_1 , míg $P_2 = P_3 = 0$.

$$P_1 = 2(\lambda^3 - 1) \left[\lambda(C_{01} + C_{10}\lambda) + 3C_{11}(\lambda + 1)(\lambda - 1)^2 \right] / \lambda^4. \quad (4)$$

2.2. Viszkoelasztikus modell

Ebben a fejezetben az Abaqus [4] által használt kifejezésekkel dolgozunk. Az anyag időfüggő viselkedése az ún. hiper-viszkoelasztikus anyagmodellrel írható le. Mivel az anyag nagy alakváltozásokra képes, ezért a kis alakváltozásokra érvényes viszkoelasztikus modell helyett a véges alakváltozásokra érvényes modell használható. Az összenyomhatatlan anyagokra érvényes pillanatnyi feszültségválasz a Kirchhoff-féle feszültségtenzorral adható meg:

$$\boldsymbol{\tau}_0(t) = \boldsymbol{\tau}_0^D(\mathbf{F}(t)) + \boldsymbol{\tau}_0^H(t), \quad (5)$$

ahol $\boldsymbol{\tau}_0^D$ a deviátoros, $\boldsymbol{\tau}_0^H$ a hidrosztatikus része a pillanatnyi Kirchhoff-féle feszültségi tenzornak. A nagy alakváltozáshoz tartozó hiper-viszkoelasztikus anyagmodell konstitutív egyenlete az alábbi alakban írható fel:

$$\boldsymbol{\tau}^D(t) = \boldsymbol{\tau}_0^D(t) - \text{dev} \left[\sum_{i=1}^N \frac{g_i}{\tau_i} \int_0^t \mathbf{F}_i^{-1}(t-s) \boldsymbol{\tau}_0^D(t-s) \mathbf{F}_i^{-T}(t-s) e^{-s/\tau_i} ds \right],$$

$$\boldsymbol{\tau}^H(t) = \boldsymbol{\tau}_0^H(t), \quad (6)$$

ahol N a viszkoelasztikus modell rendje, $\mathbf{F}_i(t-s)$ tulajdonképpen egy relatív alakváltozási gradiens $t-s$ és t időpillanatok között, τ_i az i -edik relaxációs idő, míg g_i az i -edik relatív csúsztatórugalmassági modulusz. A kis alakváltozásokra érvényes viszkoelasztikus modellhez hasonlóan, a viszkoelasztikus viselkedés a Prony sorozattal írható le az alábbi formában:

$$g_R(t) = 1 - \sum_{i=1}^N g_i (1 - e^{-t/\tau_i}), \quad (7)$$

ahol a dimenziótlan relaxációs modulusz-függvény az alábbi módon van definiálva:

$$g_R(t) = G(t) / G_0, \quad (8)$$

ahol $G(t)$ az időfüggő, míg G_0 a pillanatnyi (üveges) nyíró modulusz.

Egytengelyű húzás esetén a relatív alakváltozási gradiens a (3) egyenlethez hasonló módon írható fel:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & A^{-1/2} & 0 \\ 0 & 0 & A^{-1/2} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

ahol

$$A = \frac{\lambda(t-s)}{\lambda(t)}. \quad (10)$$

Fontos megjegyezni, hogy a paraméterillesztés során a rendelkezésre álló mérési eredményekre illesztjük a modellt, ezért a Kirchhoff-féle feszültséget át kell számítani mérnöki feszültségre. Egytengelyű húzás esetén, térfogati állandóság mellett a nemzérus feszültségek között a kapcsolat:

$$P_1 = \tau_1 / \lambda. \quad (11)$$

A (6) számú egyenletekben szereplő műveleteket elvégezve tehát meghatározható a hiper-viszkoelasztikus anyagmodell mérnöki feszültségválasza, amely egytengelyű húzásra vonatkozóan az alábbi alakban írható fel:

$$P(t) = P_1(t) + G_1(t) + G_2(t), \quad (12)$$

ahol

$$G_1(t) = -\frac{2}{3} \sum_{i=1}^N \frac{g_i}{\tau_i} \int_0^t \frac{\lambda(t)}{\lambda(t-s)} P_1(t-s) e^{-s/\tau_i} ds,$$

$$G_2(t) = -\frac{1}{3} \sum_{i=1}^N \frac{g_i}{\tau_i} \int_0^t \left(\frac{\lambda(t-s)}{\lambda(t)} \right)^2 P_1(t-s) e^{-s/\tau_i} ds, \quad (13)$$

továbbá $P_1(t)$ a pillanatnyi feszültségválasz. Megjegyzendő, hogy $\lambda(t)$ a relaxációs mérés során ismert, azt, mint bemenő adatot kezeljük.

3. AZ ILLESZTÉS ÁTTEKINTÉSE

Az időfüggő viselkedést mutató anyagok vizsgálatának egyik gyakori módszere a feszültség-relaxációs mérés, ahol az alakváltozást állandó értéken tartva detektáljuk az anyag feszültségválaszát. A mérésekből kapott relaxációs görbe (feszültség-idő diagram) két részre osztható. Az első szakasz a terhelési, a második pedig a relaxációs szakasz. A szeparált illesztési módszer esetén feltételezzük, hogy az első szakasz megfeleltethető az anyag végtelen gyors terhelésre adott válaszával, vagyis a hiperelasztikus modell paramétereit ezen görbe alapján opti-

málják, míg a második szakasz segítségével a viszkoelasztikus modellhez tartozó Prony paramétereket azonosítják. Ez az illesztési módszer azonban pontatlansághoz vezet, amelyről részletek a [7] cikkben találhatóak.

A paraméterillesztés pontossága javítható, ha az illesztést egy lépésben, a mérési eredményre közvetlenül végezzük el. Ahhoz, hogy ezt meg tudjuk tenni, szükséges a hiper-viszkoelasztikus anyagmodell növekményes feszültségválaszát előállítani, amelyet a következő alfejezetben mutatunk be.

3.1. A növekményes feszültségválasz előállítása

A 2. fejezetben előállítottuk a hiper-viszkoelasztikus anyagmodell egytengelyű húzásra vonatkozó feszültségválaszát ((12) egyenlet). A cél a konvolúciós integrálokat tartalmazó kifejezések növekményes megoldásának előállítása. Ehhez feltételezzük, hogy a megoldás ismert a t időpillanatban és szükséges előállítani a $t+\Delta t$ időpillanatban. Vagyis a (13) számú egyenletek az alábbi alakra írhatók át:

$$G_1 = -\frac{2}{3} \sum_{i=1}^N \frac{g_i}{\tau_i} \int_{-\Delta t}^t e^{-(t+\Delta t)/\tau_i} P_0(t-\bar{t}) \frac{\lambda(t+\Delta t)}{\lambda(t-\bar{t})} d\bar{t}, \quad (14)$$

$$G_2 = -\frac{1}{3} \sum_{i=1}^N \frac{g_i}{\tau_i} \int_{-\Delta t}^t e^{-(t+\Delta t)/\tau_i} P_0(t-\bar{t}) \left(\frac{\lambda(t-\bar{t})}{\lambda(t+\Delta t)} \right)^2 d\bar{t},$$

ahol $\bar{t} = s - \Delta t$.

A (14) számú egyenlet átalakítása után elvégezhető az integrálás analitikusan, így eredményül egy rekurzív formula adódik, vagyis megkapjuk a feszültségválaszt a $t+\Delta t$ időpillanatban. A számításhoz szükséges részletek megtalálhatóak az Abaqus [4] dokumentációjában. A levezetést mellőzve végeredményül az alábbi egyenletekhez jutunk:

$$G_1(t+\Delta t) = -2/3 \sum_{i=1}^N g_i \left[P_0(t) \beta_i \frac{\lambda(t+\Delta t)}{\lambda(t)} + \alpha_i P_0(t+\Delta t) \right] + \frac{\lambda(t+\Delta t)}{\lambda(t)} G_1(t) \gamma_i,$$

$$G_2(t+\Delta t) = -1/3 \sum_{i=1}^N g_i \left[P_0(t) \beta_i \left(\frac{\lambda(t)}{\lambda(t+\Delta t)} \right)^2 + \alpha_i P_0(t+\Delta t) \right] + \left(\frac{\lambda(t)}{\lambda(t+\Delta t)} \right)^2 G_2(t) \gamma_i, \quad (15)$$

ahol

$$\begin{aligned} \gamma_i &= \exp[-\Delta t / \tau_i], \\ \alpha_i &= 1 - \tau_i / \Delta t (1 - \gamma_i), \\ \beta_i &= \tau_i / \Delta t (1 - \gamma_i) - \gamma_i. \end{aligned} \quad (16)$$

Vagyis a hiper-viszkoelasztikus anyagmodell feszültségválasza az időlépést követően:

$$P(t+\Delta t) = P_1(t+\Delta t) + G_1(t+\Delta t) + G_2(t+\Delta t), \quad (17)$$

ahol Δt az időlépés, P_1 a hiperelasztikus anyagmodellrel definiált pillanatnyi mérnöki feszültségválasz ((4) egyenlet). Mivel a kezdeti feszültségi állapot általában ismert ($P=\varepsilon=0$, ha $t=0$), továbbá a nyúlás-idő értékek a mérésből adottak, ezért a feszültségválasz $t>0$ esetén meghatározható.

3.2. Anyagparaméterek meghatározása

A meghatározandó anyagparaméterek száma $m+2N$, ahol $m(C_{ij})$ a hiperelasztikus modellben szereplő anyagállandók száma, míg $N(g_i, \tau_i)$ a viszkoelasztikus modell rendje. A (17) egyenletbe behelyettesítve az összes tagot, megkapjuk a hiper-viszkoelasztikus anyagmodell növekményes mérnöki feszültségválaszát. Az anyagparaméterek meghatározásához bevezetjük az alábbi hibaértéket:

$$\zeta = \sum_{j=1}^K |P_j^{\text{exp}} - P_j^{\text{calc}}|, \quad (18)$$

ahol K a mintavételi szám, P_j^{exp} és P_j^{calc} a mért és a számított mérnöki feszültségértékek az adott mintavételi pontban. A cél a bevezetett hibaérték minimalizálása, amely feladat megoldható a MS Excel beépített minimumkereső algoritmusával. Megjegyzendő, hogy a nulladik lépésben kezdeti paramétereket kell felvenni. Továbbá fontos, hogy a Prony paramétereknek az alábbi peremfeltételeket teljesíteni kell:

$$\sum_{i=1}^N g_i < 1, \quad g_i > 0, \quad \tau_i > 0, \quad (19)$$

illetve a hiperelasztikus anyagparamétereknek a Drucker-féle stabilitási feltételnek kell eleget tenniük.

4. EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

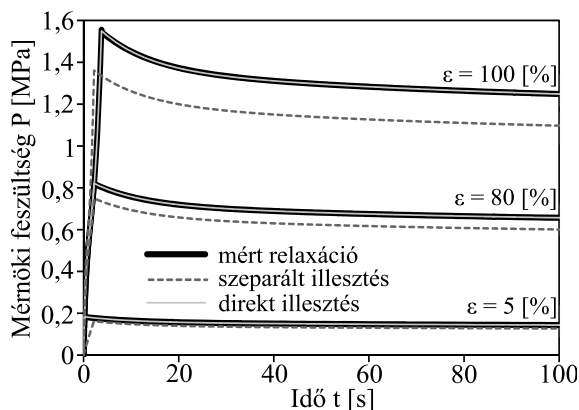
Annak érdekében, hogy bemutassuk a direkt paraméterillesztő módszer hatékonyságát, Bódai, Goda [8] izoprén gumira vonatkozó munkáját vettük alapul. A mérés részletei a [8] cikkben található. Az anyag időfüggetlen viselkedését a 2. fejezetben bemutatott három paraméteres Mooney–Rivlin-féle hiperelasztikus modellrel ($m=3$), míg az időfüggő viselkedést másodrendű ($N=2$) viszkoelasztikus modellrel

vettük figyelembe. A mérési eredmények alapján elvégeztük a szeparált paraméterillesztést, továbbá az egy lépéses illesztést a bemutatott numerikus módszerrel, felhasználva a (17) egyenletet. A két különböző módszerrel kapott paramétereket az 1. táblázat tartalmazza.

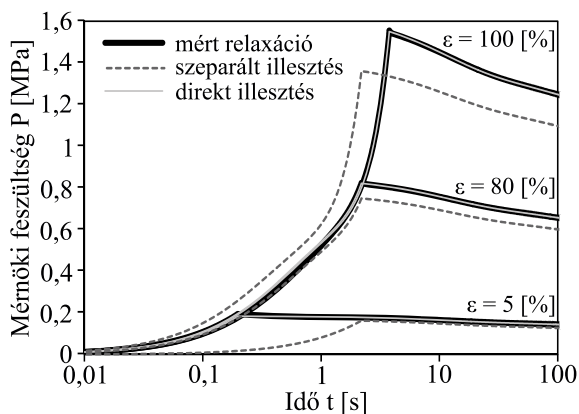
1. táblázat. A különböző illesztési módszerekkel kapott anyagparaméterek.

| Paraméterek | Illesztési módszer | |
|----------------|--------------------|--------|
| | Szeparált | Direkt |
| C_{10} [MPa] | -0,940 | -1,166 |
| C_{01} [MPa] | 1,582 | 1,894 |
| C_{11} [MPa] | 0,244 | 0,300 |
| g_1 [-] | 0,138 | 0,141 |
| τ_1 [s] | 10,55 | 9,98 |
| g_2 [-] | 0,101 | 0,115 |
| τ_2 [s] | 98,14 | 92,03 |

Felhasználva az 1. táblázatban szereplő paramétereket, elvégeztük az egytengelyű relaxációs teszt végelem szimulációját az Abaqus végelem szoftverben. A két módszerrel kapott mérési feszültségválaszt összevetve a különböző alakváltozási szintekhez tartozó feszültség-relaxációs mérési eredményekkel az 1. ábra, illetve logaritmikus skálán a 2. ábra mutatja.



1. ábra. Az illesztési módszerek összevetése.



2. ábra. Az illesztési módszerek összevetése log skálán.

Az 1. és a 2. ábrákon látható, hogy a direkt illesztési módszerrel kapott paraméterek nagy pontossággal visszaadják a mérési eredményeket, míg a szeparált illesztéssel kapott görbék pontatlan eredményekhez vezetnek, különösen a nagyobb alakváltozási szintek mellett. Elmondható, hogy a direkt paraméterillesztési módszer szignifikánsan javítja a paraméterek pontosságát.

4. KONKLÚZIÓ

Elvégeztük a hiper-viszkoelasztikus anyagmodell konstitutív egyenleteinek numerikus integrálását, így megkaptuk az anyagmodell növekményes feszültségválaszt. Ennek ismeretében az anyagmodell paraméterei nagy pontossággal illeszthetők a feszültség-relaxációs mérési eredményekre. Az általunk javasolt algoritmus előnye, hogy (A) gyorsabb és (B) a mérési eredményekkel jobban egyező megoldást ad, mint a mérnöki gyakorlatban gyakran alkalmazott szeparált illesztési módszer, így hozzájárul az időfüggő viselkedést mutató anyagok nagy pontosságú modellezéséhez.

5. IRODALOM

- [1] J. Bergström: Mechanics of Solid Polymers. Theory and Computational Modeling, Elsevier, 2015.
- [2] H. F. Brinson, L.C. Brinson: Polymer Engineering Science and Viscoelasticity. Springer, 2015.
- [3] S. Lee, W. G. Knauss: A note on the determination of relaxation and creep data from ramp tests. Mechanics of Time-Dependent Materials, (4):1–7, 2000.
- [4] Abaqus 6.14. Documentation
- [5] S. M. Goh: Determination of the constitutive constants of non-linear viscoelastic materials. Mechanics of Time-Dependent Materials, 8:255–268, 2004.
- [6] M. Mooney: A theory of large elastic deformation. Journal of Applied Physics, 11(9), 582–592, 1940.
- [7] A. Kossa, S. Berezvai: Visco-hyperelastic Characterization of Polymeric Foam Materials. Materials Today, (3), 1003–1008, 2006.
- [8] G. Bódai, T. Goda: A new, tensile test-based parameter identification method for large-strain generalized maxwell-model. Acta Polytechnica Hungarica. 8, 89–108. 2011.

EGYEDI ORVOSI IMPLANTÁTUMOK MÉRETEZÉSI PROBLÉMÁI

MEASUREMENT PROBLEMS OF INDIVIDUAL MEDICAL IMPLANTS

Ficzere Péter, PhD, ficzere@kge.bme.hu

ABSTRACT. A systematic investigation of failure analysis in the design of individualized medical implants will be presented. This paper highlights the critical steps of the process and designates the main development directions.

1. BEVEZETÉS

Korábban az orvosi implantátumok, protézisek nem igazán voltak egyénre szabhatók. Többnyire ugyanabból az anyagból méretsorozatokot készítettek, majd szükség esetén az eredeti geometriát szemre legjobban közelítőt építették be. A technika fejlődésével egyre inkább elérhetővé válnak az egyedi, testre szabott orvosi implantátumok. Ebben közrejátszik a geometria pontosabb előállíthatósága is. Ma egy CT (Computer Tomography) felvételsorozat segítségével pár egyszerű beállítási lépéssel előállíthatjuk egy adott páciens tetszőleges csontjának megfelelő geometriát leíró testmodellt. Ezt a testmodellt pedig az additív gyártástechnológiák valamelyikével különféle anyagokból valós implantátumként ki tudjuk nyomtatni. Régebben csak annyi volt az elvárás, hogy az adott implantátum a geometriai megfelelésen túl ellenálljon bizonyos igénybevételeknek. Vizsgálatokkal bizonyított, hogy sajnos ezek a feltételek sok esetben nem elegendők. A korszerű implantátumoknak az anyaggal és a geometriával szemben támasztott követelményeknek is meg kell felelniük. Ilyen követelmény például a biokompatibilitás is, de fontos szempont az is, hogy az eredeti csont rugalmasságát megközelítő anyagjellemzőkkel ruházzuk fel az implantátumokat, így elkerülve az őt körülvevő csontok idő előtti tönkremenetelét. Kritérium továbbá a megfelelő felületi minőség is, hogy a csont a környezetével együtt tudjon működni, pl. a csontszövet képes legyen belenőni az implantátumba [1]. A mai korszerű tervezőrendszerek segítségével már úgy

optimálható a geometria, hogy a várható, napi rutinszerű terhelések hatására az implantátum deformációi megegyezzenek az eredeti csont deformációival, ezzel jelentősen növelve a páciens életvitelének minőségét. Figyelembe vehetők az optimalás során a csontok anyagjellemzői is, sőt a szükséges porozitás is. Az ilyen jellegű üreges modellek gyártására is lehetőséget biztosítanak az additív gyártástechnológiák. Ezáltal gyakorlatilag az egyén meglévő ép csontjához tökéletesen illeszkedő, annak terhelés hatására történő viselkedésével megegyező, azonos súlyú implantátum készíthető. A megfelelő eredmény elérése érdekében fontos tehát az eredeti csontállomány geometriájának feltérképezése, és anyagjellemzőinek ismerete. A méretezéshez, optimaláshoz szükséges a beépítési környezet, és a várható igénybevételek meghatározása is. Az implantátumok méretezéséhez szükséges ismernünk az additív technológia következtében kialakuló anyagtulajdonságokat (anizotropia), az anyagmodellt. Ezeket az anyagjellemzőket a gyártástechnológiai paraméterek módosításával jelentős mértékben befolyásolhatjuk.

A fent említett tervezési fázisokat figyelembe véve számos olyan lépés van, ahol nagy elővigyázatossággal kell eljárunk és még az sem garantálja, hogy biztosan megfelelő eredményre jutunk. Egy ilyen egyénre szabott orvosi implantátum tervezési és gyártási folyamatában fellépő nehézségeket és problémákat szeretném bemutatni ebben a cikkben. Ezek közé tartozik a CT felvételek pontosságának korlátossága, ami a felbontásból adódik, a várható igénybevételek becslésének nehézségei, a szakirodalomban fellelhető adatok különbözőségei, a csontok anyagjellemzői közötti eltérések. További pontatlanságokat vihetünk a rendszerbe a szimuláció során, de a gyártási paraméterek nem megfelelő megválasztásával is komoly hibákat okozhatunk.

2. MÓDSZER

Cikkemben áttekintem a tervezés és a gyártás során fellépő hibalehetőségeket. Ezeket szisztematikusan, a tervezés lépéseinek sorrendjében [2] megvizsgálom, hol milyen jellegű és mértékű hibák kerülhetnek a rendszerbe, hogy a végén lehessen valamiféle rálátást biztosítani az egyénre szabott orvosi implantátumok megfelelőségét illetően.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Geometria

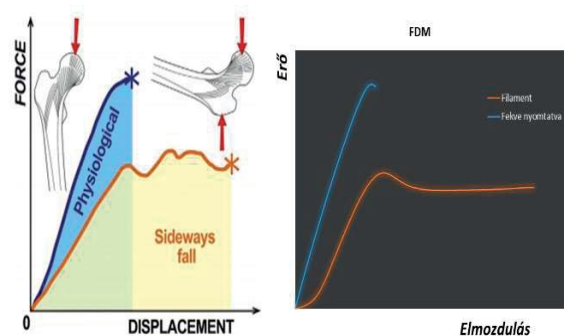
Az implantátumokhoz szükséges geometriát CT felvételek sorozatából lehet képezni [3]. Sok esetben pont a kialakítandó rész hiányzik, ekkor a meglévő csatlakozó részekhez illesztjük az anatómiai elveknek megfelelően kialakított implantátumot. Bizonyos csontok párosával szimmetrikusan megtalálhatóak az emberben, ami segíthet a hiányzó rész egzakt kialakításában. A CT felvételek alapján történő modellezés során több hibalehetőség is felmerül. A CT felvételek pontossága 512x512 pixel, ami behatárolja lehetőségeinket. A pontos 3D geometria létrehozásánál igen nagy jelentőségű a felvételek egymástól való sűrűsége is. Tovább nehezíti dolgunkat, hogy az egyes felvételek alapján a pontos kontúrt nehéz meghatározni, hiszen pont a csontok határfelületeinél gyakran elmosódott a kép. Összességében megállapítható, hogy elvárt odafigyeléssel és rutinnal a képfeldolgozó szoftverek megfelelő használatával a kérdéses geometria 3D modellje viszonylag jó közelítéssel, maximum kb. 5 % eltéréssel reprodukálható [4].

3.2. Méretezés

A méretezést általában numerikus szimulációk segítségével végezzük. Ehhez szükség van egy végeelemes hálóra, valamint a beépítési környezet (kényszerek), a várható terhelések és a pontos anyagjellemzők ismeretére. A **beépítési környezet** általában jól definiált, azt a CT felvételek segítségével megfelelő pontossággal ismerjük, elő tudjuk állítani. A **végeelemes háló** és a **kényszerek** definiálása ugyan kisebb hibákat okozhat a számítások pontossága tekintetében, de ezt a hibát konvergenciavizsgálat segítségével néhány százalék alá lehet szorítani. A csatlakozó felületeknél, a kényszerek, terhelések támadáspontjában esetenként fellépő szingularitási hibák teljes mértékben nem kiküszöbölhetők, de az eredmények kiértékelésénél megfelelő rutinnal kezelhetők.

A méretezéshez szükségünk van a **várható igénybevételek** ismeretére is. Sajnos ezt sok esetben csak becsülni lehet, az igénybevételek gyakorlatilag teljesen egyediek. A gyakorlatban a napi rutinszerű igénybevételeket szokták vizsgálni. Ennek meghatározása, mérése igen körülményes [5]. Valószínűsíthetően ez is az oka annak, hogy ugyanazon csont esetében az igénybevételek között akár nagyságrendi, tehát tízszeres eltérés is lehet. Ez pedig a méretezés során akár tízszeres túl- vagy alul méretezést is jelenthet.

Az **anyagjellemzők** tekintetében több szempontot is érdemes megvizsgálni. Az **implantátum anyagával** szemben elvárás a megfelelő rugalmasság és terhelhetőség, valamint célszerű, hogy az, az eredeti csonttal közel azonos tömegű legyen. Ezeknek a céloknak az elérése igen összetett és nehéz feladat. A terhelhetőségi szempont értelemszerű, bizonyos terheléseket (amit a csontnak is) el kell viselnie az implantátumnak. Az is könnyen belátható, hogy az implantátum tömege nem lehet az eredeti csont tömegétől jelentős mértékben eltérő, hiszen pl. egy tibia (lábszárcsont), vagy femur (combcsont) esetében zavaró lehet, ha valakinek az egyik lába az implantátum következtében jóval nehezebb, vagy könnyebb, mint a másik. Ez a későbbiekben mozgáskoordinációs problémákhoz vezethet, ami további egyenlőtlen terheléseket eredményez. Az eredeti csontanyag rugalmasságának közelítése az additív technológiák gyártási paramétereinek módosításával, az orientációk és az anizotrópia segítségével jól közelíthetők, ahogyan az az 1. ábrán is látható.



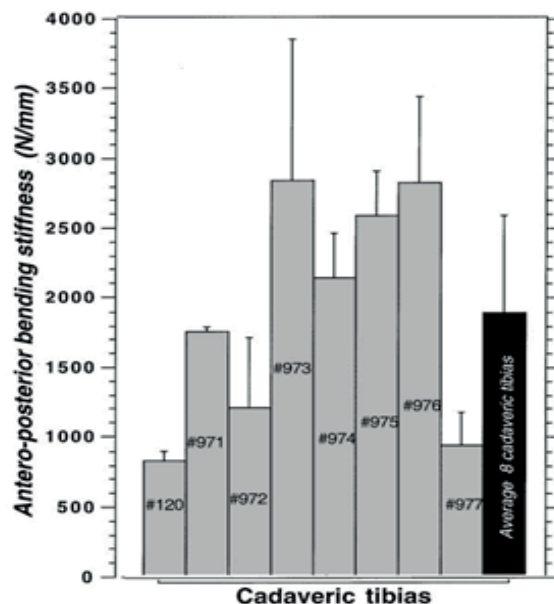
1. ábra Csont és PLA anyag szakítódíagramjai különböző terhelések illetve gyártási paraméterek esetén [7]

Az **additív gyártástechnológiákkal előállított** modellek rugalmassági modulus értékei $\pm 1-3\%$ eltéréssel reprodukálhatók [7], [8], [9]. Itt fontos megjegyezni, hogy az additív technológiákkal

előállított termékek esetében különös elővigyázatossággal kell eljárni, mert egyes eljárásoknál maradó feszültségek is lehetnek a beépítendő implantátumban, ami jelentősen befolyásolhatja a terhelhetőség mértékét [10]. Meg kell említeni azt a tényt is, hogy bizonyos additív gyártástechnológiai eljárások esetén az így előállított implantátumok anyagjellemzői irányfüggőek. Ezért a méretezésüknél, a gyártási orientációra is figyelemmel kell lennünk [11]. A cél, amit el akarunk érni, hogy **a csontok mechanikai jellemzőit** minél jobban megközelítsük. Ehhez ismerni kell azok jellemzőit. A csontokat az élő szervezet részeként “működési környezetükben” vizsgálni rendkívül nehéz feladat. Irodalmi adatokra támaszkodva adhatjuk meg a csontokra jellemző értékeket. A szakirodalmi eredmények elemzése során rengeteg akadállyal találkozhatunk. A csontok összetétele rendkívül bonyolult. Különböző helyeken teljesen eltérő szerkezetűek, ebből adódóan az anyagjellemzők is jelentős mértékben eltérnek. A különböző mérések eredményei igen nagy mértékben szórnak azonos csontszerkezet esetében is. A többnyire micro szinten mért eredmények, a csontok globális viselkedéséről nem adnak képet. A csont anizotrop, anyagjellemzői irányfüggőek [12]. A csontszerkezet változása egyértelműen az anyagjellemzők változását is eredményezi. Kvadrátikus becslést találhatunk a rugalmassági modulus meghatározására a sűrűség függvényében, tapasztalati együtthatók segítségével [13]. Egyes kutatásokban CT felvételek alapján csontsűrűség meghatározásának lehetőségét is vizsgálták, elvégezték. Egyértelműen megállapítható, hogy a corticalis és szivacsos csontállomány teljesen eltérő jellegű. Grafikonokkal adják meg az összefüggéseket a Young modulus és a csontsűrűségek között, különböző csonttípusok esetére [14]. Ezek alapján úgy gondolhatnánk – ha körülményesen is - elég pontosan meghatározhatók az egyes csontok anyagjellemzői. Azonban a kapott eredményeket összevetve még azonos csonttípus esetén is igen eltérő, mérnöki szemlélettel felfoghatatlanul nagy különbségeket találunk a mért értékek között. Találunk a csontok anyagjellemzőit összefoglaló elemzéseket is. Ezeket megvizsgálva az alábbi példákon keresztül is láthatjuk, hogy az egyes csontok rugalmassági modulusainak mért értékei milyen nagy mértékben szórnak [15]:

- femur [20 – 9800 Mpa]
- tibia [1,4 – 500 Mpa]
- vertebra [1,1 – 152 MPa]

Az eredmények alapján egyértelmű, hogy a méretezés során ebből nem indulhatunk ki. Ezeknél az eredményeknél pontosabb képet kapunk, ha több, azonos típusú csontot egészében vizsgálunk azonos körülmények között, azonos terheléssel. Erre mutat példát az alábbi ábra is.



2. ábra Human cadaver mintákon végzett hajlítóvizsgálati eredmények [16]

A 2. ábrán human cadaver minták 4 pontos hajlítóvizsgálatainak eredményeit láthatjuk. A különböző mintákat többször fel- és leterhelték. Megfigyelhető, hogy az egyes darabok átlagértékei között akár négyszeres eltérés is lehet. Ugyanakkor sokatmondó az is, hogy ugyanazon mintán, ugyanolyan feltételek mellett történő felterhelések során is akár 30-40 %-os szórás lehetséges.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az egyénre szabott orvosi implantátum készítésének lépései során fellépő hibalehetőségek szisztematikus vizsgálatával és elemzésével a következő megállapításokat tehetjük:

- a mérnöki tervezés során általánosan az egyik legnehezebb feladat a várható igénybevételek meghatározása. Ez az implantátumok tervezésének is egy kritikus része, hiszen itt nem egy önmagában működő szerkezetet kell terveznünk, hanem egy geometriailag és tömeg szempontjából is behatárolt modellt.
- A geometriai modellalkotás, a szimulációk, valamint a gyártás additív technológiákkal elővigyázatosság és megfelelő gyakorlat mellett elfogadhatóan kis hibával megvalósítható.

- A legnagyobb problémát az eredeti csontok anyagjellemzőinek megfelelő rugalmasságú anyag előállításában az jelenti, hogy nem állnak rendelkezésre hozzá a szükséges adatok. A szakirodalomban fellelhető információk alapján, nem lehet megfelelő pontossággal definiálni a célt.

A csontok anyagjellemzőinek a szakirodalomban rendelkezésre álló adatok alapján történő használata akár százas nagyságrendű hibát is eredményezhet. A várható igénybevételek és a csont rugalmassági jellemzői területén a tervezés során fellépő hibák együtt is jelentkezhetnek, ami ráadásul nem additív, hanem multiplikatív hibaként jelenik meg. Így még az átlagok használatával is elfogadhatatlanul nagy a hibalehetőség.

Az egyénre szabott orvosi implantátumok fejlesztéséhez tehát feltétlenül szükséges, egy új, az egyén adott, sérült csontjára jellemző adatok megismeréséhez szükséges technológiai eljárás kifejlesztése.

5. 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.

6. IRODALOM

- [1] Tuba F, Borbás L, Oláh L, Hadzima B: Development of polymer based scaffolds for guided tissue regeneration, In: Lajos Borbás (szerk.) Proceedings of the Third Hungarian Conference on Biomechanics: Budapest July 4-5, 2008. 424 p. pp. 379-386. (ISBN:978-963-06-4307-8)
- [2] Takács J., Bán K.: Testreszabott humán implantátumok és orvosi készülékek additív gyártása, GÉP 68:(2) pp. 1-8. (2017)
- [3] Győri M, Ficzer P: Increasing Role of Sections Caused by 3D Modelling, Periodica Polytechnica-Transportation Engineering 44:(3) pp. 168-169. (2016)
- [4] Z. MILOJEVIĆ, S. TABAKOVIĆ, M. ZELJKOVIĆ, A. ŽIVKOVIĆ, S. NAVALUŠIĆ: METHODOLOGY OF KNEE BONES MODELS 3D PRINTING BASED ON CT SERIES OF IMAGES, machine design, Vol.9(2017) No.2, ISSN 1821-1259 pp. 69-72
- [5] Gáspár J., Borbás L., Thamm F.: Experimental tests on mandible and tooth prosthesis, In: XXII DAS. Konf. helye, ideje: Parma, Olaszország, 2005.09.28-2005.10.01. pp. 130-131.
- [6] L. Cristofolini: In vitro evidence of the structural optimization of the human skeletal bones, Journal of Biomechanics 48 (2015) 787–796
- [7] Ficzer P., Borbás L., Torok, A.: Validation of Numerically Simulated Rapid-prototype Model by Photoelastic Coating, ACTA MECHANICA SLOVACA 18:(1) pp. 14-24. (2014)
- [8] Ficzer P., & Borbás, L.: (2010, September). Material law for numerical analysis of rapid prototype products. In Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics.
- [9] Ficzer P., & Borbás, L.: (2009). Gyorsprototípus készítő eljárással gyártott termékek anyagtulajdonságainak meghatározása vége-selelemes analízis számára. GÉP, 60, 10-11.
- [10] Ficzer P, Borbás L, Szebenyi G.: Reduction possibility of residual stresses from additive manufacturing by photostress method, MATERIALS TODAY: PROCEEDINGS 4:(5) pp. 5797-5802. (2017)
- [11] Ficzer P.: Orthotrop anyagmodell alkalmazása additív gyártástechnológiával előállított alkatrész méretezése során, GÉP LXVII:(5-6) pp. 78-81. (2016)
- [12] Jae-Young Rho, Liisa Kuhn-Spearing, Peter Zioupos: Mechanical properties and the hierarchical structure of bone, Medical Engineering & Physics 20 (1998) 92–102
- [13] JAE YOUNG RHO, RICHARD B. ASHMAN, CHARLES H. TURNER: YOUNG'S MODULUS OF TRABECULAR AND CORTICAL BONE MATERIAL: ULTRASONIC AND MICROTENSILE MEASUREMENTS, J. Biomechanics, Vol. 26, No. 2, pp. 111-119. 1993
- [14] D. Christian Wirtz, N. Schiessers, T. Pandorf, K. Radermacher, D. Weichert, R. Forst: Critical evaluation of known bone material properties to realize anisotropic FE-simulation of the proximal femur, Journal of Biomechanics 33 (2000) 1325-1330
- [15] LAKATOS É.: A csont mikroszerkezetének mechanikai viselkedése fogászati implantátumok környezetében, PhD értekezés
- [16] L. Cristofolini, M. Viceconti: Mechanical validation of whole bone composite tibia models, Journal of Biomechanics 33 (2000) 279-288

SLS ELJÁRÁSSAL ELÉRHETŐ ANYAGJELLEMZŐK EGYÉNRE SZABOTT ORVOSI IMPLANTÁTUMOK MÉRETEZÉSÉHEZ

MECHANICAL STRESSING OF INDIVIDUAL MEDICAL- BIOLOGICAL IMPLANTATIONS MADE BY SELECTIVE LASER SYNTERING

Ficzere Péter, PhD, ficzere@kge.bme.hu
Szebenyi Gábor, PhD, szebenyi@pt.bme.hu
Lovas László, PhD, lovas@kge.bme.hu
Borbás Lajos, PhD, borbas@kge.bme.hu

ABSTRACT. By the additive manufacturing procedures we can create the geometry of an individual medical- biological implantation. To the mechanical stressing we need to know which material law can be used. According to the expected stresses we investigated the behavior and the load capacity of models made by selective laser syntering.

1. BEVEZETÉS

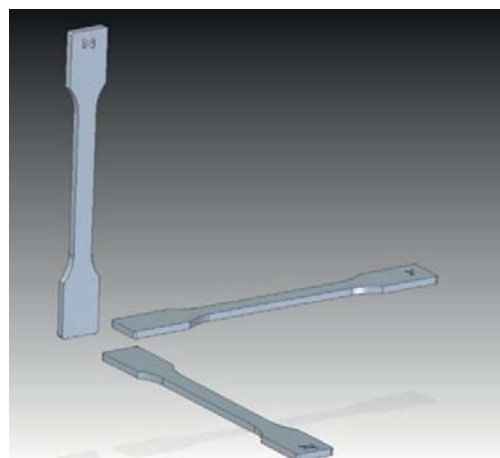
Az additív gyártástechnológiák térnyerésével és fejlődésével felhasználási területük is egyre széleskörűbbé vált. Az egyik legdinamikusabban fejlődő terület az orvosi alkalmazás, ahol többek között egyénre szabható implantátumok fejlesztéséhez használnák. Ilyen célra való felhasználáshoz lényeges, hogy a megfelelő geometria adott pontossággal legyen előállítható és az implantátum anyaga is megfeleljen bizonyos elvárásoknak. Ez azt jelenti, hogy azon túl, hogy adott, várható igénybevételeket elvisel, az anyag rugalmasságának is közelítenie kell az eredeti pótlandó csont, vagy csont rész rugalmassági modulusát. Amennyiben rugalmassági szempontból alul méretezzük az implantátumot, úgy a terhelés hatására a deformációk mértéke túl nagy lesz, ezzel az ember elveszítheti stabilitását. Túl merev protézis esetén pedig annak környezete kell, hogy felvegye a deformációt, ami hosszútávon az implantátum környezetének tönkremeneteléhez vezet. Ezért különösen fontos, hogy az implantátumok anyagtulajdonságaival tisztában legyünk.

A szükséges geometria sok esetben csak additív gyártástechnológiával valósítható meg, így az adott eljárással elérhető

anyagminőségekkel is tisztában kell lennünk. Az egyik leginkább megbízható technológia a SLS (szelektív lézer szinterezés), ezért az ilyen eljárással elérhető anyagmodellt és anyagjellemzőket vizsgáljuk PA alapanyag esetén.

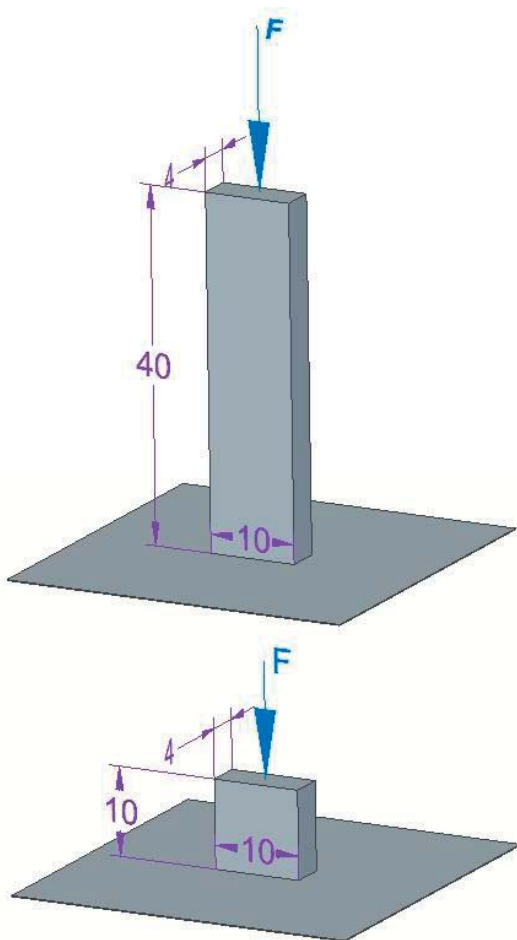
2. MÓDSZER

Az additív gyártás lényege a rétegről rétegre történő építkezés. Korábbi tapasztalataink alapján feltételezzük, hogy az anyagjellemzők egy rétegen belül azonosak, de az erre merőleges irányban, az építés irányában már ettől eltérőek [1], [2]. Ilyen esetekben az alkatrészek méretezéséhez orthotrop anyagmodell használandó [3]. Ahhoz, hogy el tudjuk dönteni, hogy egy adott technológia, adott anyaggal milyen anyagmodellel leírható viselkedésű alkatrészt eredményez, szükségünk van az anyagjellemzők meghatározására a fő építési irányokban. Ehhez szabványos szakítópróbatesteket készítettünk x, y és z irányokban (1. ábra).



1. ábra Fő építési irányokban gyártott próbatestek

Az így kapott próbatesteken szakítóvizsgálatokat végezve megkaphatjuk az anyag viselkedésének leírására alkalmas rugalmassági modulus, és a terhelhetőségre jellemző szakítószilárdságot. Az implantátumok esetében a fő igénybevétel leggyakrabban a nyomóterhelés, ezért hasznos lehet az anyag nyomó igénybevételi jellemzőinek meghatározása is. A nyomóirányban a rugalmassági modulus elvileg azonos a húzó rugalmassági modulussal, de - a rétegről rétegre való építkezés miatt - a nyomószilárdság értéke a szakítószilárdság értékétől eltérhet. Ennek tisztázásához a 2. ábrán látható szabványos nyomó próbatesteket készítettünk.



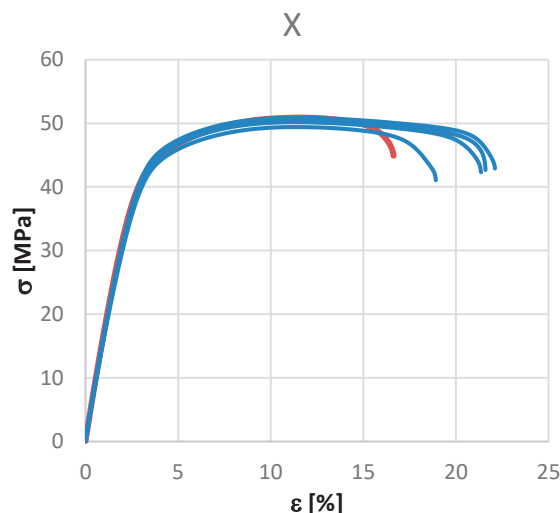
2. ábra Nyomópróbatestek modulushoz és szilárdsághoz

A 2. ábrán látható, hogy a szilárdság, valamint a rugalmassági modulus méréséhez különböző próbatesteket használtunk. A szilárdság méréséhez tartozó próbatest kicsi és merev, csak kis deformációt szenved, így a modulus érték leolvashatósága nem mindig megfelelő. A modulus

méréséhez készített próbatest pedig - alakjának köszönhetően - adott esetben még a szilárdsági határ elérése előtt kihajlik, így szilárdsági szempontból valótlán eredményt szolgáltat.

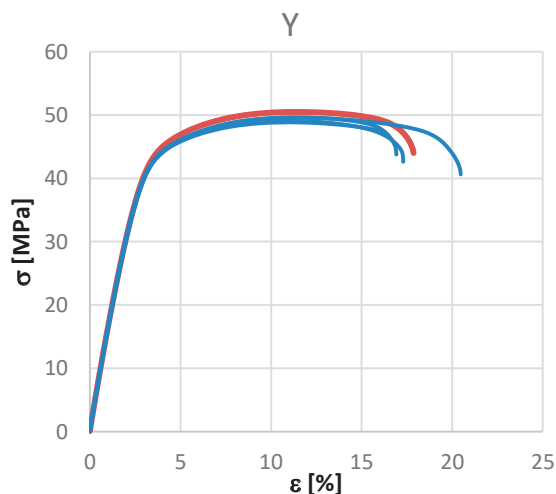
3. EREDMÉNYEK

A vizsgálatok elvégzése során az alábbi diagramokat kaptuk:



3. ábra X-irányban nyomtatott próbatest szakítódiagramjai

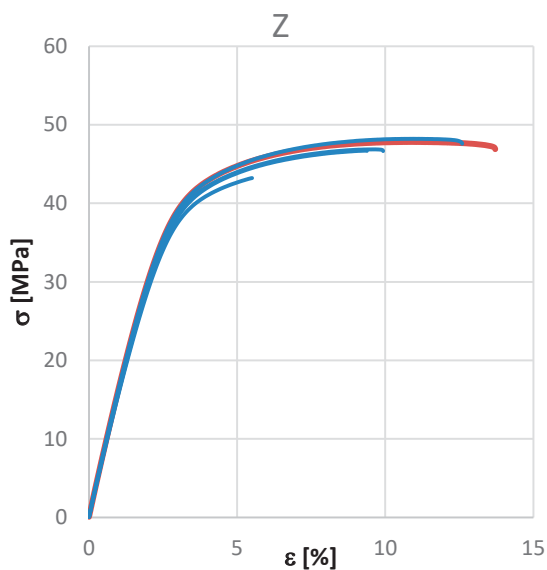
Az ábrán jól megfigyelhető a lineáris szakaszon az anyag homogenitása, a Hooke-egyenes részén a görbék gyakorlatilag azonosak.



4. ábra Y-irányban nyomtatott próbatest szakítódiagramjai

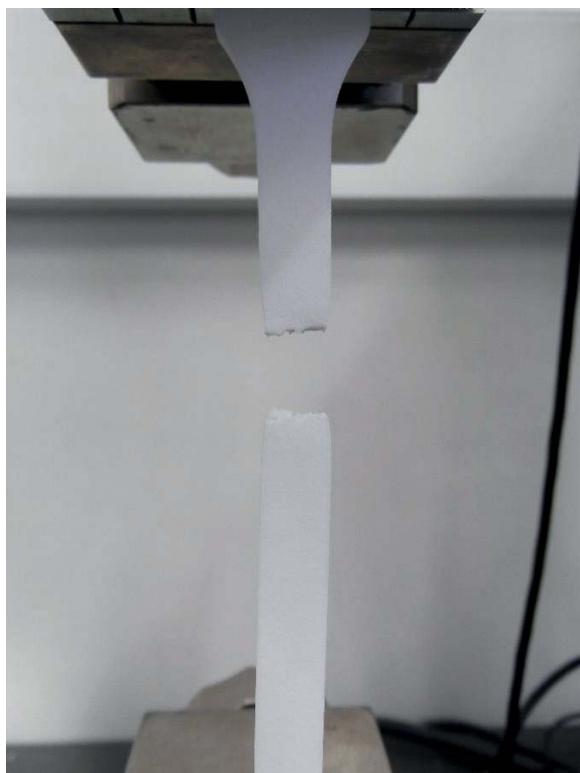
Az y irányban végzett vizsgálatok eredményei gyakorlatilag egybevágnak az x-irányban mért adatokkal mind jellegré, mind

pedig mértéküket illetően. Ezzel az anyagot – a feltételezésnek megfelelően - a síkban izotropnak tekinthetjük.



5. ábra Z-irányban nyomtatott próbatest szakítódiagramjai

Az 5. ábrán látható, hogy a z irányban végzett kísérletek esetében is hasonló jellegű eredményeket kaptunk, ugyanakkor a szakadási nyúlás esetében mértékbeli és jellegbeli eltérések is láthatóak.



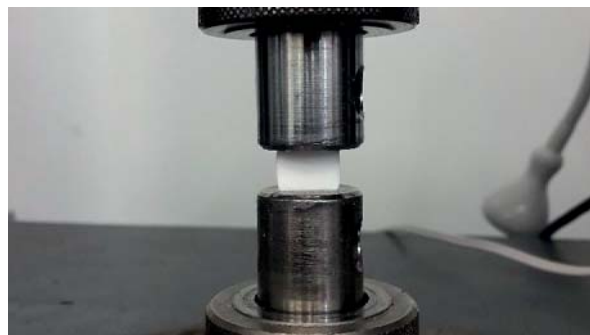
6. ábra SLS próbatest szakítóvizsgálata

A kapott eredményeket számszerűen összefoglaltuk az 1. táblázatban.

1. táblázat SLS eljárással készített anyag szakítóvizsgálati eredményei

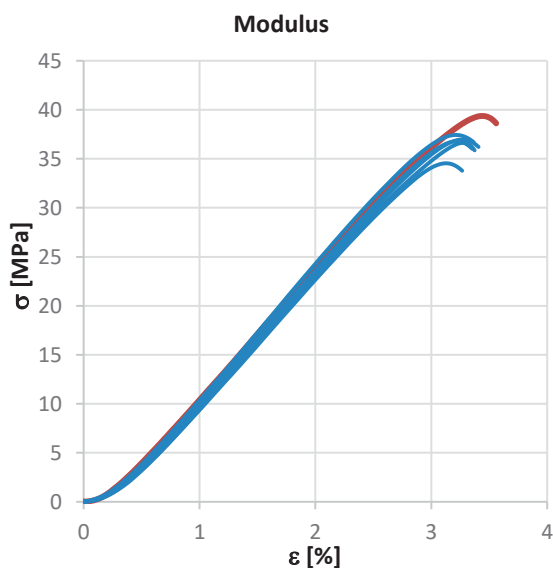
| | Szakítószilárdság R_m [MPa] | Rugalmassági modulus E [MPa] |
|-------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Fekvő (x-y) | 49.93615 ± 0.9 | 1713.48 ± 40 |
| Álló (z) | 47.4045 ± 0.8 | 1661.039 ± 30 |

A nyomóvizsgálatok során elvileg hasonló eredményekre kellene jutnunk, mint a szakítás során.



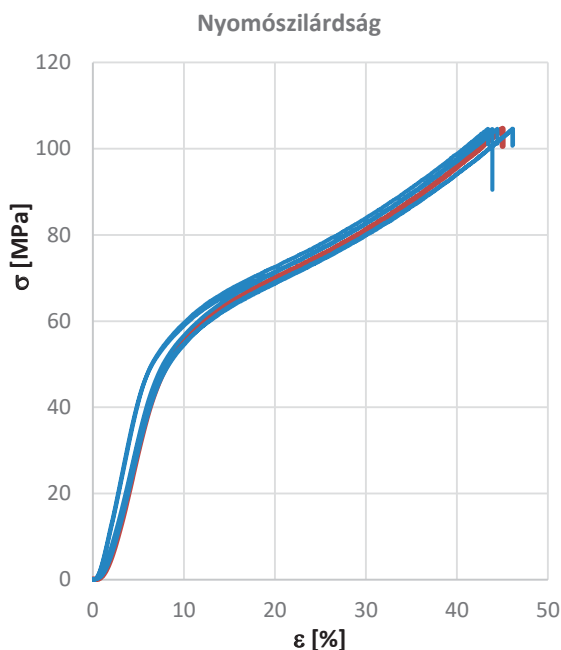
7. ábra Nyomószilárdság mérése

A nyomóvizsgálatokhoz csak egyféle irányban (függőlegesen álló, z) gyártottuk le a próbatesteket, mert a szakítóvizsgálatok során megállapítottuk, hogy az anyag gyakorlatilag izotropnak tekinthető.



8. ábra Nyomóvizsgálat során mért modulusok

A mért eredmények a modulus tekintetében a 8. ábrán láthatók. A szilárdsági vizsgálat (7. ábra) során kapott eredményeket a 9. ábrán látható diagramok reprezentálják.



9. ábra Nyomószilárdság mérése során felvett diagramok

A kapott értékeket számszerűen a 2. táblázat tartalmazza. A nyomószilárdságra vonatkozó értékeket az első, „kvázi” lineáris szakasz felső határánál állapítottuk meg.

2. táblázat SLS eljárással készített anyag nyomóvizsgálati eredményei

| | Nyomószilárdság R _m [MPa] | Nyomó rugalmassági modulus E [MPa] |
|-------------|---|---------------------------------------|
| Álló (z) | 48,26 ± 2 | 1363 ± 27 |

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Megállapíthatjuk, hogy a nyomó rugalmassági modulus, valamint a nyomó szilárdság meghatározása során felvett diagramok kezdeti kiinduló szakaszán - a nyomott felületek tökéletlenségéből adódó - beállási pontatlanság látható.

Fontos megemlíteni, hogy a nyomóvizsgálat során a szilárdság értékének meghatározásánál nem következett be az anyag katasztrofális tönkremenetele (9. ábra), de egy bizonyos szint után

már a próbatest maradó alakváltozást (plasztikus zóna) szenvedett (7. ábra), ami egy beépítés esetén a szerkezet, vagy implantátum funkcionális tönkremeneteléhez vezethet.

A modulusok közti eltérést okozhatja az anyag porozitása, de a mérési pontatlanság is. Célszerű lenne a méréseket kersztfej elmozdulás helyett nyúlásmérő bélyegekkel megismételni.

Az SLS eljárás PA alapanyag felhasználása esetén, a húzó- és nyomóvizsgálatok eredményeképpen a következő megállapítások tehetők:

- A mérési eredmények a különböző irányokban gyártott próbatestek esetében nem mutattak lényeges eltérést, így az ilyen elven előállított alkatrészek, implantátumok anyagi jellemzői irányfüggetlenek. Ez azt jelenti, hogy a méretezés során használhatjuk az izotrop anyagok viselkedését leíró modellt. Ez a korábban vizsgált additív gyártástechnológiákkal szemben egyértelmű előnyt jelent.
- Az orvosi implantátumok esetében gyakran előforduló nyomóterhelésekre való méretezésénél a húzás során meghatározott szilárdsággal azonos értékkel számolhatunk. Ez azt is jelenti egyben, hogy az adott implantátum húzó-, illetve nyomó irányban azonos mértékben terhelhető.

5. 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.

6. IRODALOM

- [1] Ficzer, P., & Borbás, L.: (2010, September). Material law for numerical analysis of rapid prototype products. In Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics.
- [2] Ficzer, P., & Borbás, L.: (2009). Gyorsprototípus készítő eljárással gyártott termékek anyagtulajdonságainak meghatározása végelemes analízis számára. GÉP, 60, 10-11.
- [3] Ficzer P.: Orthotrop anyagmodell alkalmazása additív gyártástechnológiával előállított alkatrész méretezése során [Usage of orthotropic material law for additive manufacturing in part design], GÉP LXVII:(5-6) pp. 78-81. (2016)

ÉKSZÍJ BELSŐ SÚRLÓDÁSI VESZTESÉGÉNEK VIZSGÁLATA ÜZEMHASONLÓ KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

INNER FRICTION LOSS INVESTIGATION OF V-BELTS NEAR OPERATIONAL CONDITIONS

Gárdonyi Péter, Dr. Kátai László Ph.D, Dr. Szabó István Ph.D., Balassa Zsolt
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar

ABSTRACT

The main objective of this paper is to analyze the temperature conditions of V-belt by infrared thermal camera depending on different pulley diameters. The speed ratio needed for a certain V-belt drive can be solved with wide spectrum of pulley diameters. The minimum diameter is defined by the standard and the maximum diameter is limited by the allowable belt speed. In this study, an experimental method was developed to define the V-belt temperature increase in function of pulley diameter in order to select the optimum pulley size.

Keywords: V-belt, infrared thermal analysis, temperature conditions

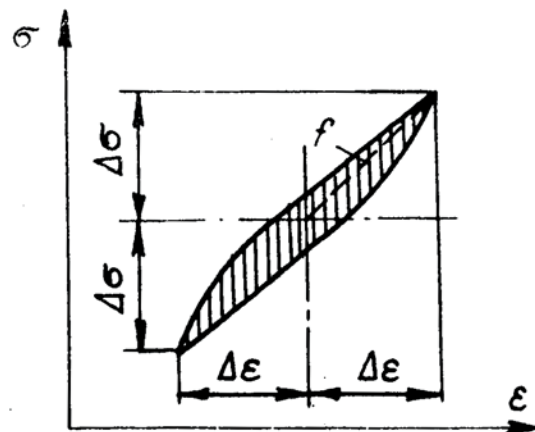
1. BEVEZETÉS

Az ékszíjhajtással előnyösen rugalmas és rezgéscsillapító teljesítmény-átvitel hozható létre, amely a hajtáselemek erőzárásának, illetve az ékszíj viszkóelasztikus anyagtulajdonságának köszönhető. A veszteségek alapvetően visszavezethetők a hajtás említett sajátosságaira, amelynek egy bizonyos hányada hő formájában jelenik meg és növeli az ékszíj hőfokát. Az ékszíjak hőfejlődésével kapcsolatos kutatásokat két csoportra bonthatjuk, a szíj felületi és belső súrlódásából származó melegedés vizsgálatokra. Ha az ékszíj hőmérsékletét vizsgáljuk, mint veszteségintenzitást, abból következtetni lehet a szíjhajtás hatásfokára. A szíjhőmérséklet nem csak a hajtás veszteségét határozza meg, befolyásolja az ékszíj élettartamát is.

A kísérleteink célja a rugalmas vonóelem hajlítgatásakor jelentkező veszteség vizsgálata a szíj hőmérséklet-emelkedése által. A szíjhajlítgatásból származó hőfejlődést üzemhasonló körülmények között, valós ékszíjakkal határoztuk meg.

2. AZ ÉKSZÍJHŐMÉRSÉKLET ÉS A BELSŐ SÚRLÓDÁS ELEMZÉSE

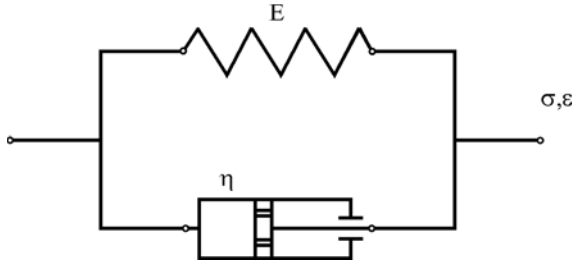
A szíjhajtások hajlítgatási vesztesége szempontjából meghatározó a szíjkeresztmetszet alakját adó magkeverék viselkedése. A gumi tulajdonságai statikus és dinamikus terheléskor különböznek. A rugalmas hajtószíjakat felépítő gumikeverék munkaképességét a dinamikus rugalmassági modulusa, a kifáradási határa és az ismétlődő igénybevételek során fellépő hiszterézis veszteségek határozzák meg. A hiszterézis görbe által bezárt terület azonos az egy terhelési ciklus alatt hővé alakuló veszteséggel (1. ábra). Ezt a hőveszteséget a molekuláris belső súrlódás okozza [7]. A keletkező hő növeli az ékszíj hőfokát. Az ékszíjhajtásoknál jelentkező ismétlődő igénybevétel a szíjágakban ébredő húzóerők különbsége ($T_1 - T_2 = F_t$), és az ékszíj hajlítgatása a szíjtárcsa átmérőjére (a szíj fel- és lefutás tartományban), amelynek a frekvenciája megegyezik az szíjhajlítgatási frekvenciával.



1. ábra. Hiszterézishurok a gumi ciklikus alakváltozásakor [7]

Az ékszíj reológiai tulajdonságainak ismerete igen lényeges a belső súrlódás elemzéséhez. Az ékszíjban jelentkező hőterhelés egyik okozója az ismétlődő hajlító igénybevétel során jelentkező

veszteség, amelyet a belső súrlódás hoz létre. A deformáció ciklus alatt fejlődő hő függ az anyag belső súrlódásától, a deformáció nagyságától és a sebességétől. Ezt az ékszíjhajtás esetén a szíj anyaga (viszkoelasztikus tulajdonsága), a tárcsaátmérő és a szíjfrekvencia befolyásolja. Az ékszíjat viszkoelasztikus lineáris modellként kezelhetjük. A modell a 2. ábra szerint jellemezhető.



2. ábra. Az ékszíj mechanikai modellje [8]

A 2. ábrán látható modell egyenlete:

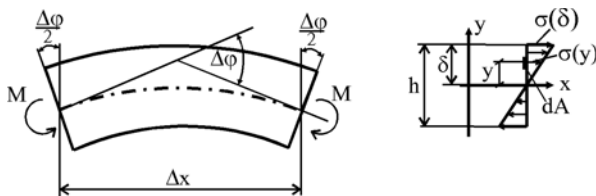
$$\sigma = E \cdot \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2)$$

Az egyszerűbb felírás miatt bevezetve a $\frac{d}{dt} = s$ operátort,

$$\sigma = E \cdot (1 + s \cdot \eta') \cdot \varepsilon = E(s) \cdot \varepsilon, \quad (3)$$

ahol $E(s) = E(1 + s \cdot \eta')$ operátoros rugalmassági modulus, és $\eta' = \frac{\eta}{E}$.

A célkitűzésem között a hajlítás során keletkező melegedés meghatározását foglaltuk meg, így ennek megfelelően azt vizsgáljuk, hogy az adott viszkoelasztikus modell hogyan viselkedik a hajlító igénybevétel során. Egy Δx hosszúságú ékszíj szakasz hajlítása a 3. ábra szerint értelmezhető:



3. ábra. Az ékszíj szakasz hajlító igénybevételének értelmezése

Feltételezhető, hogy a feszültség és a nyúlás lineárisan változik, és ennek megfelelően a feszültség:

$$\sigma(y) = \sigma(\delta) \cdot \frac{y}{\delta} \quad (4)$$

a nyúlás pedig,

$$\varepsilon(y) = \frac{\varepsilon(\delta)}{\delta} \cdot y \quad (5)$$

Az elfordulás szöge a 3. ábra szerint:

$$\Delta\varphi = \varepsilon(\delta) \cdot \frac{\Delta x}{\delta} \quad (6)$$

A hajlítónyomaték a (4) és (5) összefüggések alapján:

$$M = \int_A \sigma(y) \cdot y dA = \frac{\sigma(\delta)}{\delta} \int_A y^2 dA = \frac{\sigma(\delta)}{\delta} \cdot K, \quad (7)$$

ahol:

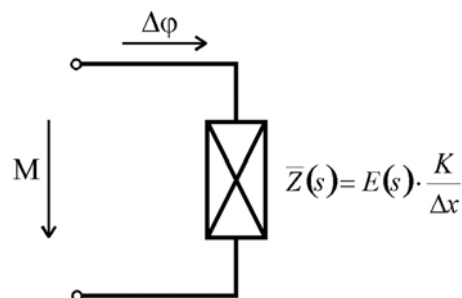
- A - az ékszíj keresztmetszet felülete [mm²];
- K - az ékszíj keresztmetszeti tényezője [mm³].

A fenti egyenletekből a nyomaték az alábbi alakban írható fel:

$$M = \left[E(s) \cdot \frac{K}{\Delta x} \right] \cdot \Delta\varphi \quad (8)$$

Az ékszíj egy mechanikai impedanciaként értelmezhető, ahol az M nyomaték, $\Delta\varphi$ szögelfordulásnak megfelelő "áramot" hoz létre, a 4. ábra szerint [8]:

$$\bar{Z}(s) = E(s) \cdot \frac{K}{\Delta x} \quad (9)$$



4. ábra. Az ékszíj mechanikai impedanciaként történő értelmezése [8]

3. A VIZSGÁLAT ÉRTÉKELÉSE, EREDMÉNYEK

Az ékszíj hajlítgatás vizsgálatát üzemhasonló körülmények között, 5 tárcsaátmérővel ($d = 90; 112; 132; 150; 180$ mm) és SPA keskenyprofilú burkolt ékszíjjal hajtottuk végre. A kísérleteink során az ékszíj szíjtárcsa hornyával érintkező oldalfelületeiről készítettünk hőkamerás felvételeket. Az üzemszerűen felfekvő felületek hőátadása miatt a hajlítgatás hatására fellépő hőfejlődés kevésbé figyelhető meg, valamint a szíj ékhoronyba történő be-, illetve kilépésekor bekövetkező súrlódás is hőt termel. A hőelvonás és a súrlódás problémájának kiküszöbölésére az ékszíjat laposszíjtárcsára futtatjuk fel (5. ábra). Ezzel a kísérleti módszerrel a szíjhajlítgatás valóságos körülmények között vizsgálható.



5. ábra A kísérleti elrendezés

A szíjtárcsa műanyagból (PA 6.6) készült, amelynek gyenge hővezetési tulajdonsága kevésbé befolyásolta a vizsgált jelenséget. A szíjtárcsa átmérőket akkorára határoztuk meg, hogy az ékszíj mozgáspályája megegyezett a szabványos ékszíjtárcsákon befutott mozgáspályával.

Az ékszíj aktív felületéről készült hőkamerás felvételekből képfeldolgozás után nyertünk hőmérsékleti adatokat. Az ékszíj oldalfelületének hőmérséklet-eloszlását, valamint az átlaghőmérsékletét vizsgáltuk. A szíj hőmérséklet-emelkedéséből meghatároztuk a hajlítgatási sugár és a hőmérséklet kapcsolatát.

A 6. ábrán az aktív szíjoldal átlaghőmérsékletének emelkedését mutatjuk be a tárcsaátmérő függvényében, valamint a függvényillesztéseket adott előfeszítés ($F_H = 300N$) és szíjfrekvencia ($f = 20 s^{-1}$) beállítások mellett. A matematikai modellt, a szíjban keletkező hajlító igénybevétel

$$\sigma_{hajl} = E_{hajl} + \frac{s}{d} \quad (10)$$

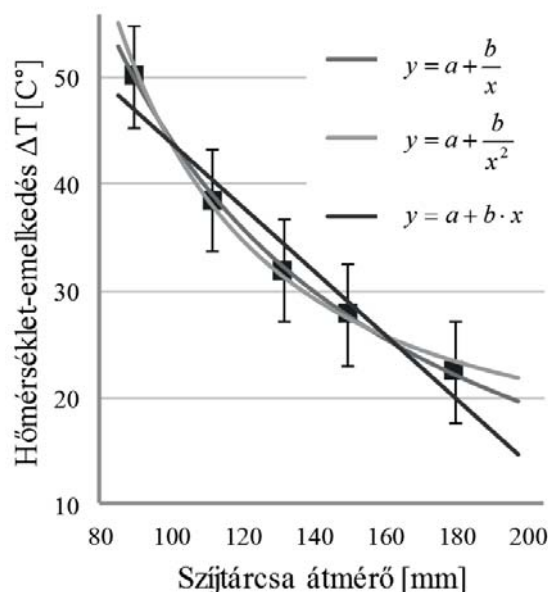
elméleti összefüggésének megfelelően,

$$\Delta T = \frac{a}{d} \quad (11)$$

és

$$\Delta T = \frac{c}{d^2} \quad (12)$$

függvény formájában, valamint lineáris illesztéssel kerestük.



6. ábra Az ékszíj hőmérséklet-emelkedése a tárcsaátmérő függvényében

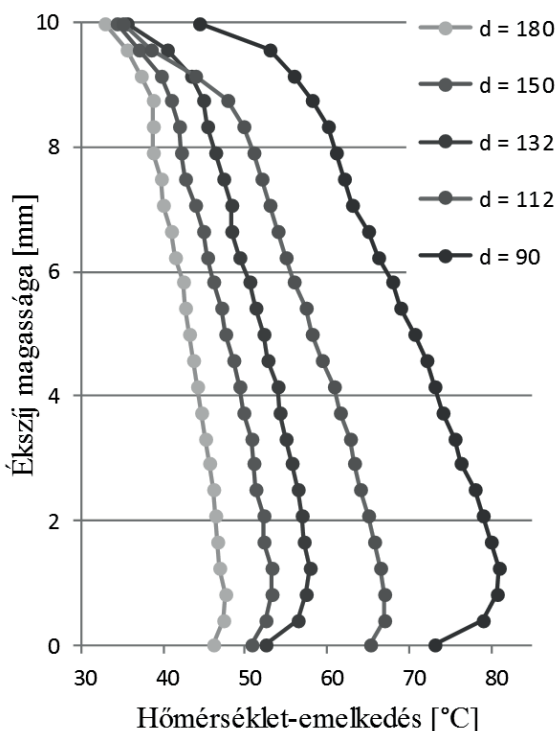
Az alkalmazott modellek mindegyike megfelelő pontossággal írja le a kapcsolatot, viszont a lineáris illesztés $d = 200$ mm tárcsaátmérő felett már nem értelmezhető, a hőmérsékletváltozás negatív értéket vesz fel. A megfelelő függvény kiválasztásánál a kellő pontosságú és emellett a legegyszerűbb modellt szem előtt tartva, az 1. táblázat alapján az $y = a + b / x$ matematikai modell mellett döntöttünk. A kiválasztott modell alapján a szíjhőmérsékletet a hajlítgatás sugara (szíjtárcsa átmérője) fordított arányban befolyásolja, azaz minél kisebb az átmérő, annál nagyobb a hőfejlődés.

1. táblázat. A tárcsaátmérő és az ékszíj hőmérséklet-emelkedését leíró modell konstans értékei, valamint a regressziós együtthatók

| függvény | a | b | r^2 |
|-------------------------|--------|------------|--------|
| $y = a + \frac{b}{x}$ | -5,442 | 4965,453 | 0,9988 |
| $y = a + \frac{b}{x^2}$ | 14,386 | 293769,43 | 0,9949 |
| $y = a + b \cdot x$ | 73,861 | -0,2992566 | 0,9441 |

A hőkamerás felvételekből nem csak a szíjoldal átlaghőmérsékletét lehet meghatározni, hanem

lehetőség nyílik az ékszíj magassága menti hőmérséklet eloszlásának elemzésére.



7. ábra Az ékszíj oldal felületének hőmérséklet eloszlása

A 7. ábrán látható, hogy a felső borító gumirétegtől az ékszíj alsó magrésze felé haladva intenzívebb a hőfejlődés. A hajlítgatás sugarának csökkentésével (az adott szíjprofilra megengedett legkisebb szíjtárcsa átmérőig) nagyobb mértékű a hőmérséklet-változás a szíjkeresztmetszet magassága mentén. A hőmérséklet-különbséget a szíjhajlítgatás során előállt hiszterézis veszteség idézi elő. Kísérleti beállításonként a szíjkeresztmetszet minden pontjában az igénybevétel gyakorisága azonos, csak a hajlításból származó alakváltozás nagysága tér el. Ebből adódóan az ékszíj oldalának hőmérséklet-eloszlása hasonló jellegű, mint a keresztmetszetében kialakuló hajlítófeszültség.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ékszíjhajtás teljesítmény átvitel nélkül is emészt fel energiát főként azzal, hogy az ékszíj a tárcsára történő fel, illetve lefutáskor hajlítgatásnak van kitéve. Az ismételt igénybevételnek kitett gumi gépelemek hőfejlődése függ az anyag belső súrlódásától, a deformáció nagyságától és sebességétől. Az ékszíjhajtás esetén a szíj struktúrája (viszkoelasztikus tulajdonsága), a tárcsaátmérő és a szíjprofil, valamint a szíjfrekvencia a legfontosabb befolyásoló tényező. A kísérletek eredményeiből meghatároztuk, hogy a szíjtárcsa átmérője és a szíjhőmérséklet (hajlítgatási

veszteség) fordítottan arányos, azaz minél kisebb a hajlítgatás sugara, annál nagyobb a hőfejlődés. Az ékszíj oldalának hőterkép elemzéséből megállapítottuk, hogy a hajlítgatás hiszterézis vesztesége számottevően a szíjkeresztmetszet első magkeverékében keletkezik.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Arntz-Optibelt KG.: Technisches Handbuch für Optibelt-Antriebsselemente. H.n., I.k., É.n.
- [2] Gárdonyi P., Kátai L., Szabó I.: Szíjhajlítgatás kísérleti módszerének fejlesztése a hajtás veszteségeinek meghatározására, GÉP 66. évf. 5-6. szám, Miskolc, 2015. pp. 47-50
- [3] Nagy D., Szendrő P., Bense L., STUDY OF NON-METALLIC ROLLING-ELEMENT BEARINGS, International journal of science, technics and innovations for the industry, 2015, Vol. 12. pp. 41-45, ISSN 1313-0226
- [4] Kátai L, Szabó I.: Hajtásbeállítás hatása az ékszíjak melegedési viszonyaira GÉP 61. évf. 9-10. szám, Miskolc, 2010. pp. 44-47
- [5] Kátai L, Szabó I.: Identification of V-belt power losses with temperature measurement. JOURNAL OF MECHANICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY 29:(8) 2015. pp. 3195-3203.
- [6] Kátai L.: Kötő- és támasztóelemek, Hajtások. In: Szendrő et.al.: Géptan. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2003. pp. 40-54
- [7] Ponomarjov, Sz.D. (1966): Szilárdsági számítások a gépészetben 7.. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 350-357. o.
- [8] Kátai, L., Szendrő, P., Vincze, Gy., Szabó, I.: Determination of Inner Viscosity of V-belts by Bending Test. In: Hungarian Agricultural Engineering, 14/2001 december pp.31-33.



EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA
AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA ÚNKP-17-3 KÓDSZÁMÚ ÚJ
NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK
TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT

100 ÉVES A BÁNKI VÍZTURBINA

DIE BÁNKI-WASSERTURBINE IST 100 JAHRE ALT

Dr. Dr. h. c. Gáti József, gati@uni-obuda.hu
Dr. habil. Horváth Sándor, horvath.sandor@bgk.uni-obuda.hu

INHALT

Es ist rund 100 Jahre her, daß Donát Bánki eine seiner bedeutendsten Erfindungen, die Bánki-Turbine patentieren ließ. Die eigenartige Idee der Nutzung der Energie von Gewässern mit geringem Gefälle ist dermaßen bedeutend, daß modernisierte Ausführungen der Turbine auch heute noch produziert werden.

1. BEVEZETŐ

A magyar műszaki és természettudomány a XIX. század végén és a XX. század első évtizedeiben kiemelkedő sikereket, nemzetközileg is nagyra értékelt eredményeket tudott magáénak. A Nature folyóirat XXI. századi első cikkében közölt megállapítás szerint a XX. század természettudománya Budapesten született! Talán túlzónak tűnik ez a megfogalmazás, de több kiemelkedő alkotó személyiség munkája is igazolja ennek jogalapját.

Olyan kimagasló képességű alkotókat és kiváló kutatókat ismerhetett meg korának műszaki érdeklődésű polgára, mint Mechwart András, Bánki Donát, Csonka János, Kandó Kálmán, Bláthy Ottó Titusz, Déri Miksa, Zipernowszky Károly, Hollán Ernő, Teller Ede, Wigner Jenő, Oláh György, hogy csak néhányat emeljünk ki közülük.

E kiválóságok közül is kimagaslik Bánki Donát személye, aki az Óbudai Egyetem egyik jogelőd intézményének, a Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskolának névadója, és nevét viseli az egyetem Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara.

A példa nélküli hazai fejlődés egyik mozgatórugóját a kor kiváló közép-, és felsőfokú oktatási intézményei jelentették, valamint az a társadalmi-gazdasági környezet, mely a műveltség társadalmi presztízsét erősítette. Ezt igazolja Bánki Donát személye, tevékenysége és egész pályája is. Jól jellemzi a lángelméjű mérnököt, a tudóst és professzort Michelberger Pál akadémikus Bánki születésének 150. évfordulója alkalmából megjelent publikációjában [1]:

„Bánki Donát az 1867-es kiegyezést követő magyar ipari fellendülés egyik meghatározó, alkotó résztvevője volt, aki tevékenységével hosszú távon is megszabta a magyar ipar és a magyar műszaki felsőoktatás pályáját. Bánki a 19-20. század fordulóján élő polihisztorok egyike volt.

Egyszerre volt mérnök, tudós és tanár, és mindhárom területen külön-külön is maradandót alkotott. Mérnöki alkotásait, tudományos tevékenységét, oktató munkáját itthon és külföldön is már életében elismerték. Az életében és halála után írt méltatások egy vaskos kötetet töltenek meg.”

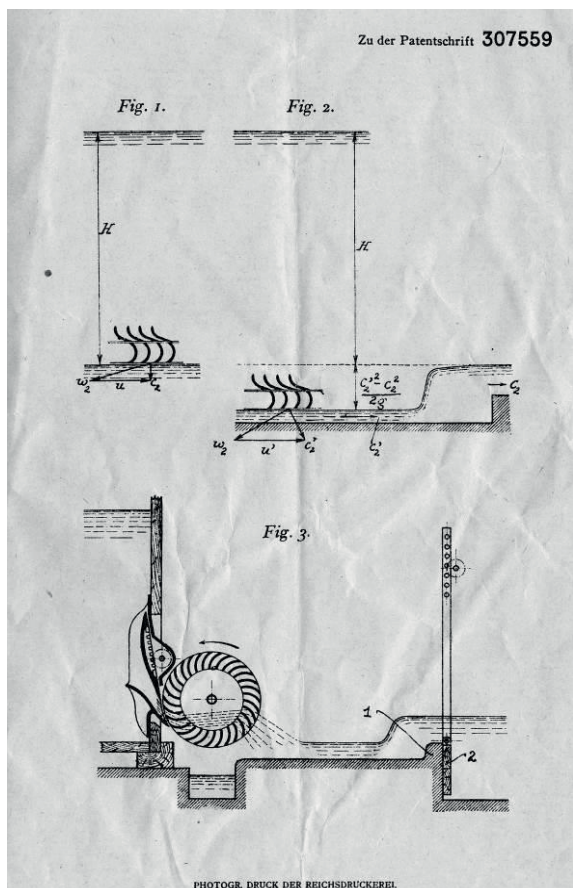
Nagyszámú műszaki alkotásai sorában jelentős helyet foglal el – az áramló folyadékok tanulmányozása, a korábbi hidraulikai tételek felülvizsgálata során szerzett elméleti és kísérleti eredményeket is felhasználó – Bánki-turbina kifejlesztése.

2. AZ „ÚJ VÍZTURBINA”

A XX. század első évtizedeinek látványos fejlődésével együtt járó növekvő energiaigény biztosítása új kihívás elé állította az országot. Hazánkban egy 1895-ös statisztikai felmérés szerint 22.674 vízikerek működött. A fából készült szerkezetek nagy helyet foglaltak el, lassú forgás mellett határfokuk alacsony volt, rendszeres karbantartást igényeltek. A malmok és a fűrésztelepek hajtására szolgáló vízikerek elöregedtek, több ezer új berendezés üzembe helyezése vált indokolttá. Külön gondot jelentett, hogy a kis és közepes esésű vízfolyások hasznosítására nem állt rendelkezésre megfelelő vízturbina. Felismerve ennek gazdasági jelentőségét – áramlástani kísérletei és az új turbinatípusok tanulmányozása alapján – kezdett hozzá Bánki a kis eséseket energiatermelésre gazdaságosan hasznosító turbinája kifejlesztéséhez.

Bánki a vízturbinát a M. kir. Szabadalmi Hivatalba 1917. augusztus 18-án jelentette be „Vízturbina a kerékdobon szabadon átfolyó vízszugárral” címen. Bánki turbinája ún. határturbina, melynél az áramló folyadék a lapátszátornát anélkül tölti ki, hogy azokban

visszaduzzadás jönne létre. A kerék koszorúján – a kerékdob belsejét átmetszve – a víz kétszer lép át. Ahogyan Bánki Donát műegyetemi tanársegédje, Treer Mór Ferenc fogalmazott: „...Bánki ugyanis a vízikerekeknél mindig alkalmazott és a turbináknál soha elő nem forduló vízvezetést valósította meg turbinájában, tisztán sugárirányú mozgást adva a víznek, úgy hogy minden vízcsepp a tengelyre merőleges síkban halad a keréken át.”



1. ábra. A szabadalmi leírás részlete

A turbina szabadalmi bejelentését kombinációs szabadalomként többek között Angliában, Franciaországban és Németországban is elvégezte, „ami világszabadalommal ért fel, azonban mint kombinációs szabadalom, utáztatokkal megkerülhető volt. A turbinával kapcsolatban szabadalmi viták is keletkeztek, melynek alapját az adta, hogy Ausztráliában Michel mérnök, a hidrodinamikai csapágykenés kiváló tudósa, korábban kétszeres átömlésű turbinát szabadalmaztatott, de ennek kifejlesztésével nem foglalkozott. Szabadalma a turbina szerkezeti kialakítására sem terjedt ki. Mindez

módot adott arra, hogy egy német cég is elkezdje a turbinák gyártását...” – tárja fel a gyártási jog körüli ellentmondásokat Varga József. [2]

Új találmányát, a kettősátömlésű vízturbinát 1917-ben ismertette a német nyelven írt, kéziratként közölt, a bevezetőben már idézett „Neue Wasserturbine” című tanulmányában. A magyar nyelvű kézirat bevezetőjét követően az alábbiakban helyezi el alkotását korának vízienergiát hasznosító berendezései között: „Víturbináknál – kevés kivételtől eltekintve – ma már csak a Pelton- és Francis-fajták vannak szintéren. Szerkezeti kialakulásuk, úgy látszik, a befejezéshez közeledik; új alap gondolatra volna szükség, ami több, alább kifejtendő okból kívánatos további fejlődésüknek új lököerőt adjon”... „A Bánki-turbina lényegileg abban különbözik az eddigiektől, hogy benne a vizet a tengely irányába sem be, sem el nem vezetik, aminek következtében a járókerék átmérőjét a vízmennyiségtől függetlenül lehet megválasztani és utóbbit csak a kerékszélesség megállapításánál kell figyelembe venni.

A szabályozás a vízmennyiség változtatásával történik, úgy mint más turbinafajtáknál”.

Addigi gyakorlatától eltérően magyarul nem a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönyében, hanem a Molnárok Lapja 1918-ban kiadott 15. számában mutatta be alkotását, ezzel is felhívva az egyik legnagyobb felhasználói réteg figyelmét. Még az évben közzétette a Lipcsében megjelenő „Die Mühle” című folyóiratban is. Az első bemutatkozásokat követően Bánki számos külföldi szaklapban ismertette az alacsonyeseű vizek energiájának hasznosítására szolgáló parciális határturbinát.

Bánki vizsgálataihoz két, egy 135 és egy 500 mm kerékátmérőjű kísérleti turbinát épített, melyeket a Műegyetem hidrogép laboratóriumában próbáltak ki. A turbinához a vizet a laboratórium vízkazánjából biztosították. „A turbina kifejlesztett munkát Prony-fékkal, a felhasznált vizet két végén zsilippel elzárható csatornában, köbözéssel mértük... A 6. és 7. ábrán közölt kísérleti adatok szerint 89 % fékezett munkára vonatkoztatott hatásfokot értünk el” – közli Bánki az „Új vízturbinák” című összeállításában.

A turbina gyártását a „Gazdaságberendező és Motoreke Rt. Budapest” kezdte meg, értékesítésére a „Bánki-

féle Víz turbinát Értékesítő Rt.” néven részvénytársaság jött létre. A Gazdaságberendező és Motoreke Rt. kiadásában 1923-ban „A Bánki-turbina” címmel megjelent kiadvány a következőkről számol be: „Az elmúlt 6 év alatt nyolc külföldi gyár vette fel a Bánki-turbinák gyártását és százával készültek el a Bánki-turbinák, melyek a feltaláló örök érdemű eszméjét a modern gépgyártás segítségével világhírűvé tették.”

Az összeállítás egy, a gyártóhoz címzett levelet idéz: „Az 1921. év augusztus 24-én Önök által szállított Bánki-turbina már több, mint egy hónap óta üzemben van. Rendkívül jól dolgozik, úgy hogy a víz erejének kihasználása által a legkisebbtől a legnagyobb töltésig minden más turbinarendszert felülmúl. Az a nagy előnye is megvan, hogy a beépítése rendkívül egyszerű és minden része könnyen kezelhető. Minden vízerő tulajdonosnak, aki vízikerekét turbinával akarja felcserélni, azt ajánlom, hogy csak Bánki-turbinát használja, mert én bizonyíthatom, hogy az én Bánki-turbinám kitűnően és teljes megelégedéssel dolgozik.” Az Rt. kiadványában több beépítési példát közöl, és végezetül egy egész oldalas hirdetésben foglalja össze a turbina előnyeit.

A Bánki-féle Víz turbinát Értékesítő Rt. a víz turbina gyártási adatairól Dr. Sasvári Géza műegyetemi tanár részére 1928. november 6-án kelt levélben ad megbízható információkat.

1929-ben a budapesti Ganz és Társa Vasöntő- és Gépgyár Rt. – ahol Bánki korábban 16 éven át dolgozott – megvásárolta a Bánki-turbina szabadalmát és típusorozatot alakított ki a költséghatékony gyártás érdekében. A Turbina-Osztály Budapesten kiadott katalógusa „Miért jobb a turbina a vízikerekénél?” címmel közöl összeállítást. Az 1930-ban kiadott, részletes teljesítményadatokat, beépítési vázlatokat, fotókat, útmutatókat tartalmazó kiadvány szerint az 1,4...90 méter közötti vízesésekre tipizált sorozat 34 tagból és azzal egyező számú ikergépet tartalmazott.

A német Deutsches Museum felismerve a Bánki turbina technikatörténeti jelentőségét, levélben fordult a Ganz Gyárhoz egy turbina átadása érdekében. „Víz erő osztályunkban kiállítjuk több történelmi nevezetességű víznyerő gép első példányait, így pl. az első Zuppinger-féle vízikereket, a Fourneyron-turbina első példányát, az első forgólappal szabályozású Francis-turbinát, a Pelton-kerek egyik első példányát.

Ennek a csoportnak fontos kiegészítése végett szeretnők a nagyon érdekes Bánki-turbinát is kiállítani. Kérjük ehhez szíves segítségét. Különösen a budapesti Műegyetemen lévő első eredeti példányát, amelyen Bánki első kísérleteit végezte, szeretnők megkapni a múzeum számára.

Ha ezt a példányt nem tudnók megkapni, kérjük a még meglévő legrégebb példány átengedését. Hogy a turbina nagyon érdekes működését is bemutathassuk, kérünk egy könnyen áttekinthető vázlatos rajzot a víz útjáról a turbinán át, a laikusok számára érthető, magyarázó szöveggel. Szeretnők a turbinát működésben is bemutatni egy üveglappal ellátott modellen...”

Amikor a Deutsches Museum megkapta az üveglappal ellátott modellt, a levélben mondott köszönetet Bánki Donát fiának, Bánki Elemérnek a modell átadásáért: „Közöljük, hogy megkaptuk az üzemképes Bánki-turbina modelljét és az illető osztályban felállítottuk azt. Ezen történelmi nevezetességű modellel Víznyerő gép osztályunk nagy mértékben gazdagodott, amit hálásan köszönünk.”

A Magyar Tudományos Akadémia 1927. évi Nagyjutalmával Bánki víz turbináját díjazta. A „Jelentés az 1927. évi Nagyjutalomról és a Marczibányi-mellékjutalomról” az alábbiak szerint méltatja a találmányt:

„Az 1918-tól 1926-ig terjedő időszak magyar nyelvű matematikai és tudományos technikai művei közül kétségtelenül Akadémiánk 1922-ben oly korán elköltözött tagjának, Bánki Donát műegyetemi tanárnak, a világhírű gépészmérnöknek Új víz turbinája című tudományos technikai értekezése, melyben új víz turbináját ismerteti, viszi el a pálmát. Az eddigi víz turbináktól eltérően az ő szerkezetében a víz sugár a járó kereken áthaladva, kétszer szeli át a lapátkoszorút. Az első átszelésnél energiájának kétharmadát, a másodiknál egyharmadát adja át...”

Bánki turbinája az eddigi rendszerekkel szemben lényeges haladást mutat. A turbina víznyelő képességét ugyanis nagymértékben függetleníti az átmérőtől. Nagyobb vízeknél az átmérő helyett a kerék sebességét növeli. Ezáltal a turbina fordulatszáma nagyobb, ami kis eséseknél igen fontos. A vízmennyiség változásához való alkalmazkodóképessége és egyszerűsége következtében a Bánki-turbina gyorsan terjed el. Németországban mintegy 200, Franciaországban mintegy 100 és

házánkban vagy félszáz Bánki-turbinával felszerelt vízierőtelep termel elektromos energiát, és tart üzemben különféle gyárakat. Bánkinak erről az alkotásáról hírneves külföldi kapacitások a legnagyobb elismeréssel nyilatkoznak.

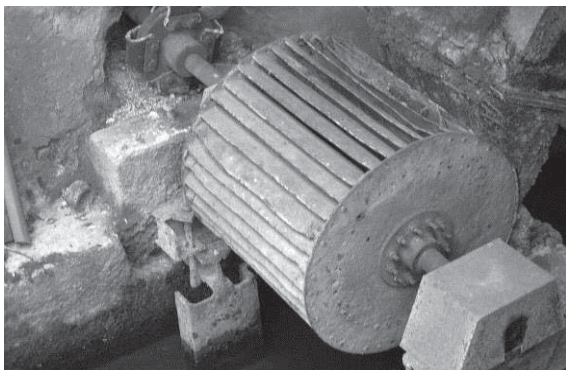
Camerer ezt írja neki: „Csodálom a bátorságát, amellyel Ön egy különben csak a gőzturbináknál alkalmazott alapelvet átvitt a vízturbinákra, és elbámultam a nagy határfokon, amelyet vele ért. Csodálatos, hogy mindig újabb szempontok merülnek fel, miután már az ember azt hitte, hogy minden lehetséges ki van merítve.”

Escher zürichi professzor szerint az új vízturbina „határfok tekintetében az emberileg lehetővé teszi”.

Ihering szerint Bánki tudományos megokolása "egyenesen klasszikus tisztaságú, és a turbinák terén a legújabb időszak legjobb munkái közé tartozik". Stodola gratulál neki, hogy képes volt ezen a teljesen letaroltnak látszó területen új és igen eredeti gondolatokat produkálni.”

Az 1940-es évek elején a Ganz Gyár megszüntette a Bánki-turbina gyártását. Az előállított turbinák nagy része hazai vízimalmokba került, de szállítottak belőlük az európai országokon kívül Afrikába, Dél-Amerikába is.

A hazai vízimalmok bezárását követően egyetlen (dr. Gáti József által 2010-ben felkutatott) példánya (2. ábra) a mai Veszprém megyei Öskü község határában szolgált, a Séd patak vízhozamát hasznosítva egy fűrészüzem hajtására. (A turbina az évek során tönkrement, a megmentésére tett kísérlet nem járt eredménnyel).



2. ábra. Az Öskü határában fellelt Bánki-turbina

3. A BÁNKI-TURBINA RENE-SZÁNSZA

Bánki Donát zseniális találmányát az elmúlt évszázad technikai fejlődése sem tette elavulttá, az ezredfordulót megelőzően egy ENSZ-tanulmány a Bánki-turbinát ajánlja a fejlődő országok energiaigényének gyors kielégítésére [4]. Napjaink alternatív energiaforrásait előtérbe helyező időszakában újra gyártják a Bánki-turbinát. A torinói székhelyű IREM SpA cég gyártási palettájában TBS és TBA típusmegjelölésekkel 7-90 kW-ig hatféle teljesítménnyel szerepeltet Bánki-turbinát.

A cég által kiadott katalógus ekképpen jellemzi a XXI. századi modellt:

„Ezek az eszközök 5-60 méter esésű, 10-1000 liter/másodperc hozamú folyamokra készülnek. Olyan kiváló megoldást jelentenek, amelyekben minőség, teljesítmény és ár összhangban van. A turbinalapátok és a mozgó alkatrészek rozsdamentes acélból készülnek. A turbinalapátok és a generátor közötti összeköttetés egy bordázott (fogazott) szíjon keresztül valósul meg, amely egyszerre biztosítja a rendszer szükséges rugalmasságát és teszi az átvitelt hatékonyá. Az átáramló mennyiségét egy kapu szabályozza, amely 0 és 100 százalék között állítható. Ez történhet kézi úton vagy egy elektromos motor segítségével automatikusan is. A folyam esése és vízhozama alapvető fontosságú az Ecowatt Hydro Micro-Hydroelectric erőmű leadott teljesítményének kalkulálásához”. [5]

A Bánki-turbina a mai kor felhasználói elvárásaihoz igazodva generátorral egybeépítve, kompakt egységként kerül forgalomba.

IRODALOM

- [1] Michelberger P.: Bánki Donát emlékezete és öröksége, Gép 60: (3) pp. 3-8. (2009)
- [2] Gáti J., Némethy K.: 100 éves a Bánki-vízturbina. Korszakalkotó lapátkoszorú, Élet és Tudomány 72:(27) pp.850-852. (2017)
- [3] Treer M.: A Bánki-turbina lapátjainak szilárdsági viselkedése, A Magyar Mérnök- és Építész Egylet közlönye, 25-26. szám LX. kötet, Budapest (1926)
- [4] Terplán Z.: Bánki Donát, Magyar Tudóslexikon, Better-MTESZ-OMIKK Budapest, pp. 146-147. (1997)
- [5] Gáti J.: Bánki Donát A mérnök géniusza, Óbudai Egyetem, Budapest (2012)

AZ ÉRTÉKALKÍTÁSSAL SEGÍTETT GÉPTERVEZÉS ÁLTALÁNOSÍTÁSA

THE GENERALIZATION OF MACHINE DESIGN WITH THE AID OF VALUE FORMATION

Dr. HEGEDŰS JÓZSEF

*a műszaki tudományok kandidátusa, c. e. tanár
detheg@t-online.hu*

ABSTRACT

Resulting from our research we have modified the MILES [2] method of value analysis by employing a method from a solution for a chosen problem from decision theory. From the evaluation factors or methodological machine design [1] we have formed the function employment that means abstract-product.

Using the $E = F / F_e$ (function / functionexpense) expression, we evaluate and grade the realization of our value analysis tasks by the method of PORTFOLIO [5].

A new school of value has born which systems and methods solve value creating tasks with greater accuracy and effectiveness than ever before, both in the profit and non-profit spheres as well.

Furthermore, it is important to emphasize that we can solve any problems from any area by employing value analysis.

By opening up the thesaurus of VALUEMEANING we offer the possibility to raise creativity to higher levels.

In the lecture we will demonstrate this by using the example of machine design.

1. BEVEZETÉS

Az előadásban 50 éves kutatási munkáról számolunk be, amelynek a középpontjában a TERMÉK, illetve az értékalakítás, értéktervezés, értékelemzés helyezkedik el. Az itt érintett témakört tekintve ez azt jelenti, hogy valójában géptervezés értékelemzéssel segített megoldásáról, illetve ennek a továbbfejlesztéséről van szó (a jelenlegi divat szerint kifejezve kreatív tervezésről).

Mindezt annál is inkább meg kell említenünk, mert a félévszázados kutatásunkban

nagy jelentősége volt annak, hogy az egyik lényeges fejlesztési lehetőséget éppen a módszeres géptervezés nyújtotta [1].

Az új értékelemzési iskola alapját a módszeres géptervezés és a Miles-i [2] tervezési módszer „össze-integrálása” jelenti.

Miles [2] soha el nem múló érdeme az, hogy az emberi igények kielégítését megvalósító dolgot, eseményt, tárgyat, eszközt, szervezést a TERMÉK FUNKCIÓJÁNAK nevezte el, és ezt Tőle mint absztrakt kifejezést ismertük – tanultuk meg. Mint látni fogjuk az új tervezési, értékalkotó munka ebben rejlik.

Mindjárt le is rögzítjük azt, hogy minden új gép, szerszám, esemény, szolgáltatás, folyamat, stb. minden esetben először az emberek fejében születik meg.

Bármilyen tervezési folyamatot – így a géptervezést is – megelőzi egy absztrakt tevékenység, amely elindítója a tényleges, általunk kifejlesztett tervezési (gyártási, üzleti, stb.) munkának.

Még egy fontos, főleg értelmezési kérdést kell megemlítenünk. Ez a TERMÉK fogalma, amely legfőképpen kutató munkánk által terjedt (reméljük, terjed) el.

A TERMÉK mindazon funkciók hordozója, amely az emberi igényeket elégíti ki (részletesebben az 1. ábrán láthatjuk).

Tulajdonképpen a TERMÉKFUNKCIÓ (amely absztrakt terméket jelent) „átalakítását” foglaljuk össze az új tervezési iskolát jelentő folyamatban.

Az eredményesség egyik kifejezését is Miles-től [2] tanultuk meg

$$E = \frac{\text{Funkció}}{\text{Funkciók költség}}$$

Kutatásunk egyik eredménye az, hogy javaslatot teszünk az összefüggés alkalmazására Portfólió módszer (2. ábra) felhasználásával.

Az új értékalkotó – terméktervező – iskola az absztrakt termék elvére építve a tényleges termék megoldásokat, változatokat „segít” megalkotni, ezt is mint kutatási eredményeinket ismertetjük meg. Ezen a ponton jutunk el az ÖTLETTERMELÉSHEZ, az ÖTLETGAZDÁLKODÁSHOZ.

Mivel a GÉP SZAKLAP hasábjain több esetben leírtuk az ÉRTÉKELEMZÉST, ezért ezt részben ismertnek tekintjük.

Végül jelen ismertetésünkben „utolsó” témaként eljutunk a kreativitás kérdéséhez is.

2. AZ ALAPELV ISMÉTLÉSE

Az 1. ábra segítségével feleleveníthetjük a TERMÉKTERVEZÉS, illetve az

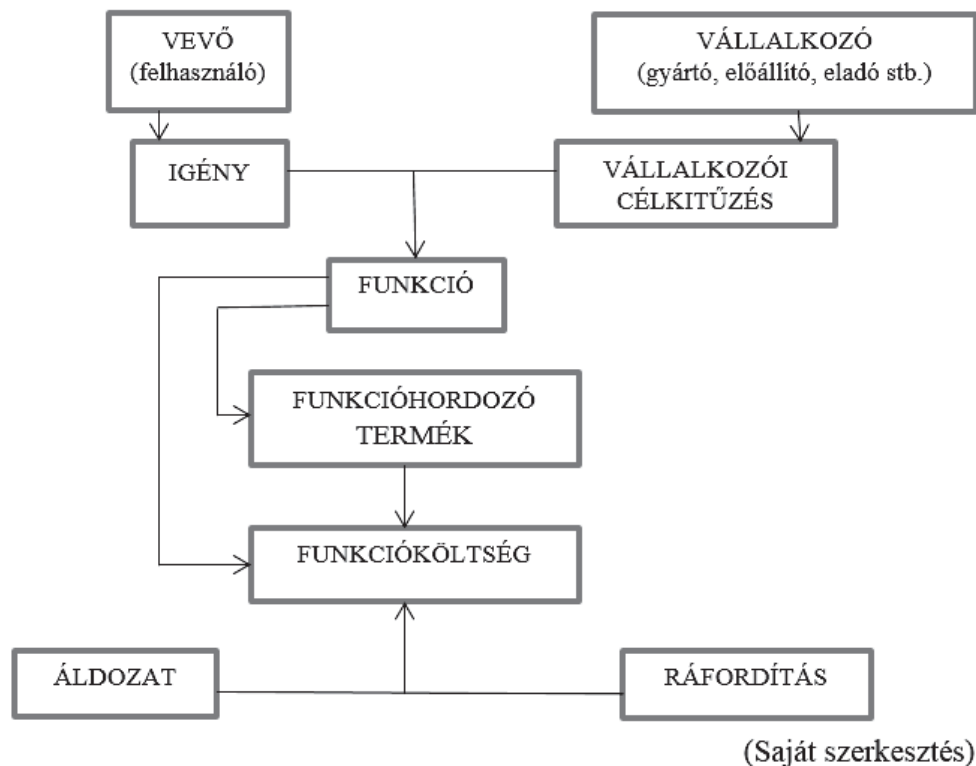
ÉRTÉKELEMZÉS alapelvét. Nem részletezzük, de ettől a ponttól kezdődően ezután

minden értékelemzést -> terméktervezésnek és minden terméktervezést -> értékelemzésnek

tekintünk.

Ez egy fontos tudománytechnikai lehetőség és kérdés, mivel itt találkoznak a világhálón megjelenő (nyert) digitális ismérvek, jellemzők, megoldások.

A VEVŐ-nek igénye van, a VÁLLALKOZÓ azt vállalja, hogy ezt kielégíti. Az értékelemzés módszere szerint az igényeket minden esetben FUNKCIÓ-val lehet kielégíteni. Az igényeket kielégítő FUNKCIÓ-kat a VÁLLALKOZÓ FUNKCIÓ HORDOZÓRA „RAKJA RÁ”, ezt TERMÉK-nek nevezzük [3].



1. ábra: A világháló (virtuális) világ és a valós világ szereplőinek találkozása

Egy példa bemutatása, a kombinálható termékmegoldásokra (változatokra)

Legyen egy termék három funkció segítségével felépítve: F1, F2, F3. A funkció

absztrakt fogalom (az a,b; c,d; f,g,h valós ötletek, amelyek felhasználásával termék változatokat hozunk létre). Van $2 \times 2 \times 3 = 12$ termékünk. Az ismert mátrix elemzést alkalmazva:

1. táblázat. Változatok kialakítása

| | | | | | | |
|---------------|----|---|---|------|------|---|
| Tételek száma | 1 | 2 | 3 | | 12 | |
| Funkciók | F1 | a | b | a | | b |
| | F2 | c | c | d | | d |
| | F3 | f | f | h | | h |
| | | Σ | Σ | Σ | | Σ |

(saját szerkesztés)

A kisbetűk helyére az ötletek költségét vagy bármilyen más termékjellemzőt írunk be és megkapjuk az oszlopösszeget, amely az 1 – 12 termékre jellemző. (Az oszlopokba írhatunk műszaki, gazdasági, ökológiai, esztétikai, ergonómia, technológiai stb. számértéket, jellemzőt.)

Annyi ilyen összemérést készítünk, ahány szempont szerint kívánjuk a megoldásváltozatokat értékelni.

3. AZ OPTIMÁLIS ÉRTÉKVÁLTOZAT (ÉRTÉKKOMBINÁCIÓ, LEGJOBB TERMÉK) KIVÁLASZTÁSA

E helyen a legjobb termék kiválasztására gondolunk, amelynek a piaci bevezetéséről kell gondoskodnunk.

A termék életének a harmadik szakaszára vonatkoznak. Ez akkor válik számunkra teljesen érthetővé, ha a világhálón végzett műveletek és a való-világ összekapcsolására gondolunk. E két műveletcsoport (nem túlzás új ipari forradalomnak nevezni) metszéspontjába kell állítanunk az értékelemzésre alapozott módszerünket.

Az optimális érték kombináció meghatározásának módja tehát kiegészült. Eddig ezt az 1. táblázatban bemutatott mátrix-elrendezéssel határozhattuk meg. A funkciók számát és a megoldásra vonatkozó ötleteket tetszés szerint növelve több ezer, vagy még nagyobb számú termékváltozatot kapunk. Ezt a számítást minden olyan tényezőre el kell végezni, amely szerint a termék kombinációkat értékelni akarjuk (például költség, vagy bármilyen más paraméter).

Minden esetben - az értékelemzés szabályai szerint - a kiválasztott paraméternek megfelelő kombinációkat rangsoroljuk (a rangsorban az első a legjobb). Kombinációról azért beszélünk, mert a terméktervezés –

piacbevezetés szempontjait a célunknak megfelelően használjuk (van, amikor a fő szempont a költség, egy másik helyen a konkurencia legyőzése stb.). Ezért az értékelési tényezőket is külön lépésben előre rangsoroljuk.

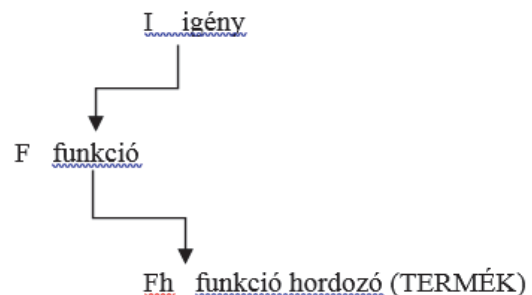
Ezzel függ össze, hogy a terméktervezés változatlanul TEAM munkában történik. Az a KREÁTOR, aki a változatokat, kombinációkat a nyílt forráskódú rendszerben keresi, tervezi és megjeleníti, a TEAM tagja és a TEAM 5-9 tagjával együttműködve tervezi a terméket, több esetben a „megtervezését”, megvalósítását, gyártását stb.

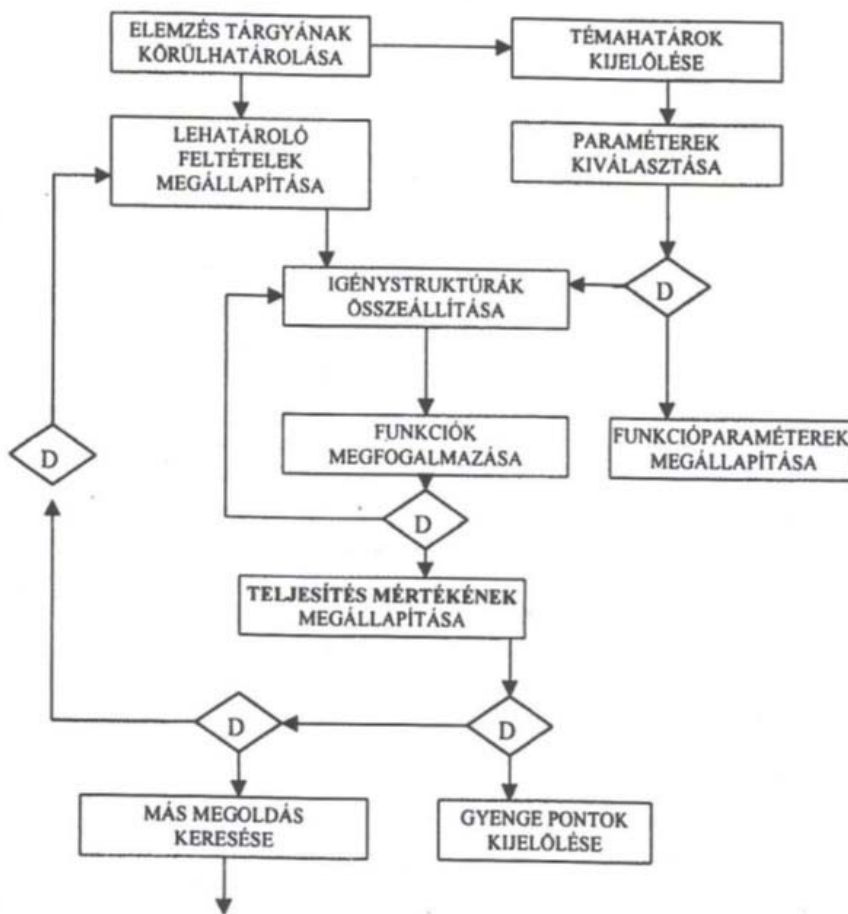
Éppen az itt felsorolt tevékenységek jelentik a bővülést, amely ma még elképzelhetetlen eredményeket hoz. Ne feledjük, hogy a hagyományos tervezést meghaladja, megsokszorozhatja a digitális tervezés (a képernyőn kialakított termék fizikai valósága).

Mivel belátható időn belül a világhálón végzett terméktervezés, gyártás és piacbevezetés nem szünteti meg a mai értelmezésben szereplő vállalati képünket, ezért érdemes a termék további életét még hagyományos szemlélettel áttekintenünk.

(Itt nem ez a fő kérdésünk, de megjegyezzük: az általunk alkalmazott digitális tervezéssel az eddigi terméktervező munka hatékonysága a jelenleginek 8-szorosa lehet, költsége 60-70 %-kal, a kockázata kb. 80 %-kal csökkenhet. Ez utóbbi azért is fontos, mert ma is a legkockázatosabb beruházás a műszaki fejlesztés, a termékfejlesztés.)

Mindebből az is következik, hogy a hagyományosan megismert termékvilágban az absztrakt termék megfogalmazása, majd a „legjobb termék” előállítása a jövőben nem „szakítható el” egymástól.





(Saját szerkesztés)

2. ábra: A funkcióteljesítés mértékének meghatározása

A legjobb változat elkészítését eddig „K” példánynak neveztük. Arra szolgált, hogy a „K” példányon minden irányú és szempontú kísérleteket végezhetünk, ezekkel bizonyítottuk azt, hogy termékünk a célnak megfelelően minden funkciót teljesít, amivel az igények kielégítése érdekében felruháztuk.

Eddig az egyik legfontosabb szakasz a prototípus gyártás volt (általában itt van a legtöbb zavar). A Pe, Pj fázisokban már elkészül a dokumentáció, a használati utasítás, a minőségi terv, a gyártmánykísérő dokumentáció stb.

Ezzel a darabbal teszteltük a terméket (MEEI, minőség stb.). A „0” széria gyártás funkciója az (volt), hogy a gyártási dokumentációt kipróbálhassuk. A „0” szériát bevizsgáltuk, a hibákat javítottuk. Ez a darab és a javított dokumentáció bárhol a világon alapja lehet (lett) a sorozatgyártásnak.

Sorozatgyártás előkészítése. A „0” sorozatértékelés alapján javított darab és a gyártási dokumentáció mellett beindulhatnak a következő előkészítő munkálatok:

- üzleti terv,
- logisztikai terv (külső, belső + raktározás stb.),
- gyártási folyamat komplex tervezése,
- piaci folyamatok tervezése,
- termékkivonás [3].

4. TERMÉK - TERMÉKTUDAT, ÉRTÉKESÉG - ÉRTÉKALKOTÁS

A következőkben röviden áttekintjük:

MIKÉNT HÁLÓZZA BE A TERMÉK ÉS ÉRTÉK FOGALOM a teljes világunkat, életvitelünket?

Kérdéskörünk legfontosabb eleme az 1. ábrán látható modell, amit a Miles-i [1] elvekből merítettünk, tanulhattunk meg.

A TERMÉK funkcióhordozó, amely a hordozott FUNKCIÓK „révén” minden emberi IGÉNYT kielégít. Nincs a világon olyan termék, amely közvetve vagy közvetlenül ne emberi igényt elégítene ki. A TERMÉK lényege tehát az ember valamennyi igényének kielégítése (érdemes az 1. ábrát még egyszer alaposan átgondolni):

- a TERMÉK gazdaságunk és boldogságunk egyik legfontosabb forrása;
- a TERMÉK a piac, a piaci műveletek megjelenése óta tőlünk függetlenül is az igény kielégítés legfontosabb emberi művelete;
- a TERMÉK gazdaságunk (vagy kulturális életünk) elemi formája, az elemi formák tulajdonságainak összessége a gazdaságra (társadalomra) jellemző;
- a TERMÉK a vállalkozás tárgya, termék nélkül nincs vállalkozás;
- a TERMÉK tárgyiasult innováció;

- a TERMÉK az ötletipar, ötletgazdaság tárgya (jellemzője: az ötletgazdálkodás az emberi igények döntő többségénél igénykeltésre ösztönöz, a piaci szempontok figyelembevételével, a termék váltás sohasem látott mértékben gyorsul, a termék pályák rövidülnek).

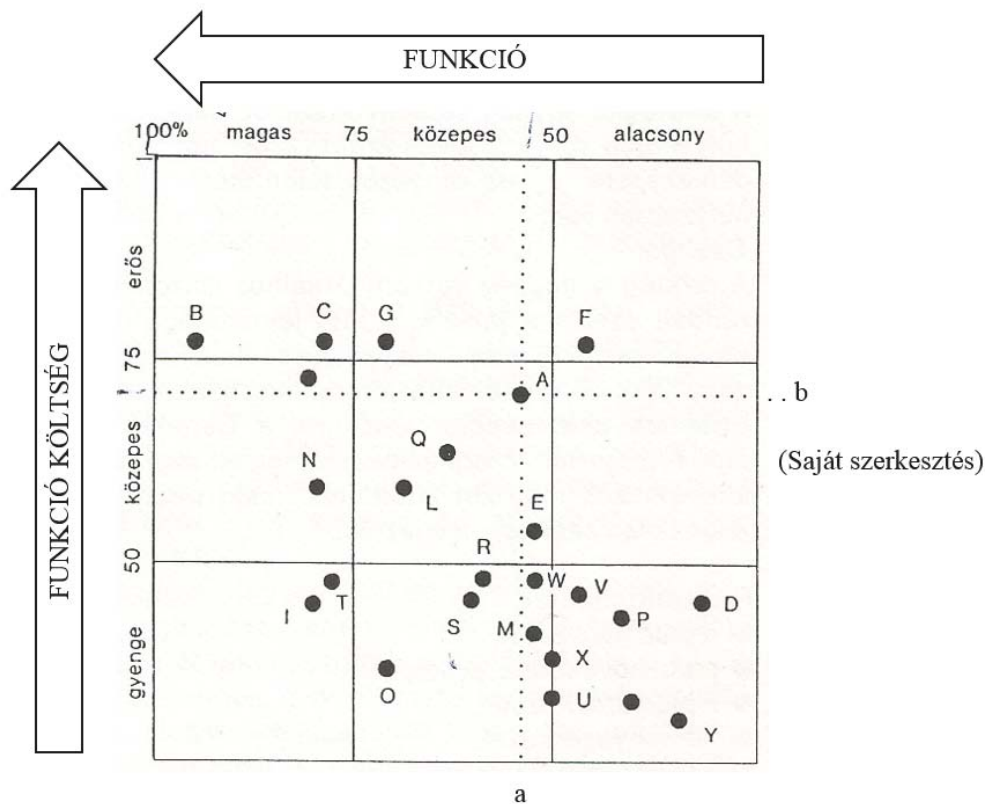
A termék eredete és felhasználási területe: a teljes életvitel, vagy gazdasági és kulturális jellegű, más szempontból:

- profit és
- non profit területekről beszélhetünk.

Megint más szempont szerint:

- termelési,
- szolgáltatási,
- a kettő meghatározott kombinációja szerint alakul a termékvilág.

Életvitelünkben a gépek, gépészeti jellegű szakmakultúrák a legnagyobb termékhalmozok. Kevés kivételtől eltekintve valamennyi területet érintenek, a legnagyobb tömegűek (pl. mezőgazdaság, automatizáció, robotológia, háztartások, egészségügyi területek, kulturális eszközök, stb.)



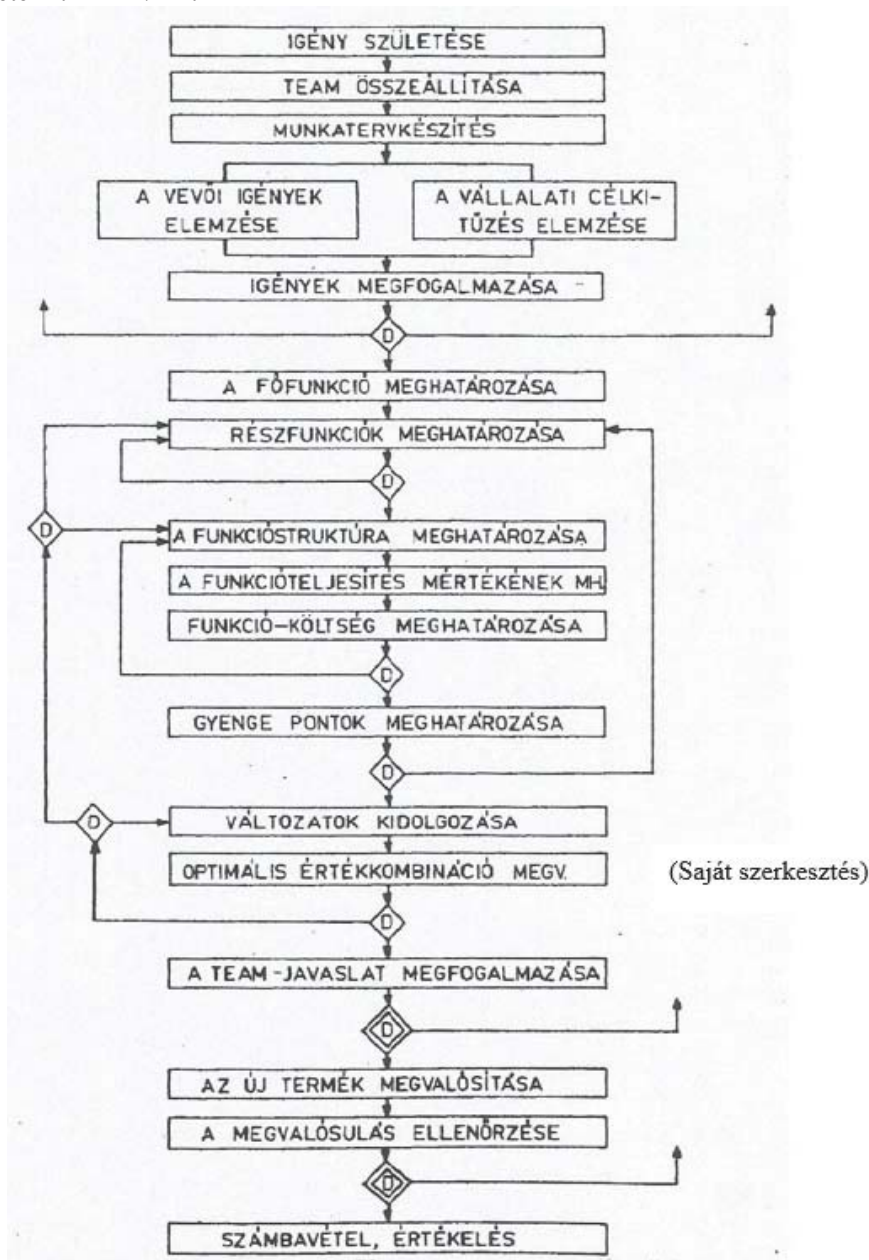
3. ábra: Értékesség elemzése

5. AZ ÉRTÉKESSÉG JAVÍTÁSA, MÉRÉSE (JELLEMZÉSE)

Az értékelemzés sok más előnye mellett azáltal is segíti az értékteremtő folyamatokat, hogy az értékelemzés módszerébe – amit már előbb is említettünk – beépíti az ÉRTÉKESSÉGET amelynek jelentéstartalma megegyezik az általános értékfogalommal. Értelmezésünk az 1. ábrán bemutatott tényezőkkel történik, érdemes ezt itt megismételni: $E = F / F_k$.

Figyelembe véve az értékelemzés módszerét az ÉRTÉKESSÉG megállapításának, javításának két útját említhetjük meg:

- az egyik: a funkcióteljesítés mértékének megállapítása, majd a teljesítés mértékének megfelelő funkcióköltségekkel történő összehasonlítása,



4. ábra: Az értékelemzés általános algoritmus

- a másik: a marketing értékek elemzésénél a digitális gazdaságban a HOLISZTIKUS MARKETING rendszerének megfelelő elemzésének alkalmazásával.

Az első változatot az „általános termékvilág” (vállalkozások, gyártók, eladók, szolgáltatók, államigazgatás, stb.) területein használhatjuk, a második ábrán szemléltetett algoritmus segítségével.

A második változat a klasszikus marketing és az értékelemzés módszerének összekapcsolása. Ez kifejezetten az iparvállalati – piaci területen segíti az elemző-tervező – és számbavételi tevékenységünket [4].

A funkcióteljesítés mértékének meghatározása meglévő terméknel a team sorra meghatározza a teljesítés mértékét, a gyenge pontokat, majd a gyenge pontok kiváltására keres új megoldásokat.

E lépéstől kezdve az elemzés az új termék értékelemzésével azonos. Felhívjuk azonban a figyelmet arra, hogy az értékességet kifejező „képletben” funkcióköltséggel számolunk, amely nem azonos a megszokott költségekkel [3].

A holisztikus marketing az értéket (értékességet) a verseny területekkel kapcsolatban

kapcsolja össze. Az értékelemzés használatát illetően a legnagyobb lehetőséget ez a megoldás hordozza számunkra.

Érdemes áttekintenünk ezeket a lehetőségeket:

- lehetőségünk van egy általános elemzésre, amikor az értékteremtést az egész vállalkozásunkra (vagy egy-egy részére pl. piac előkészítés, piaci pozícióelérésének értéke, stb.) vonatkozik,
- a vállalati adottságok értékelése, az értékvizsgálatok helyzete, gyenge pontjai,
- az új értéklehetőségek keresése, az ötletpiaccal való kapcsolat hasznossága (pl. új piacok feltárása),
- a vállalkozásunk értékalkotó térképének elkészítése,
- a vállalkozás egészének, valamely kiválasztott szervezeti egységének, termékstruktúrájának elemzése átvilágítással (az átvilágítást a 2. ábrán látható algoritmus felhasználásával).



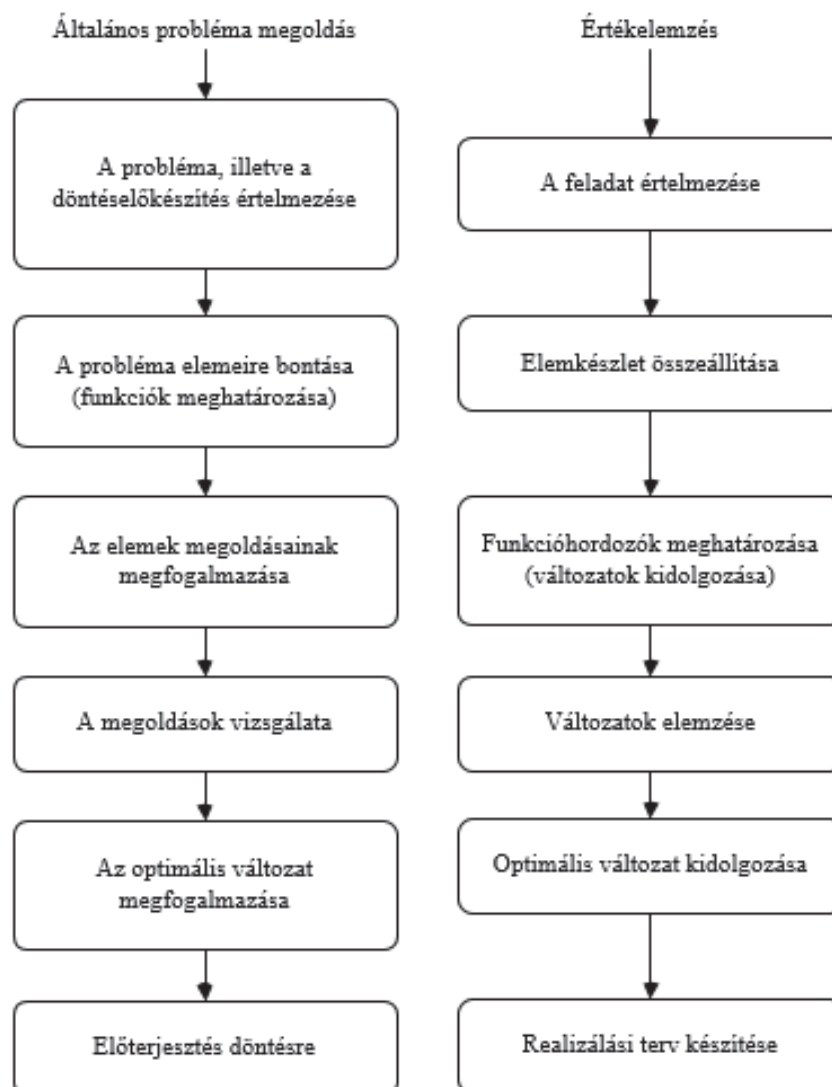
5. ábra: ÉRTÉK TEZSAURUSZ egy kiválasztott szintje

Amint már írtuk, hogy a holisztikus marketingrendszer és értékelemzés eljárásrendszerét kell összekapcsolnunk. Ezt a portfólió módszer felhasználásával oldhatjuk meg. A portfólió módszert a 3. ábra szemlélteti. Az ábra egy kísérleti kutatást ábrázol. A feladat az értékességet bemutató metszéspontok meghatározása.

A többször ismételt képlet funkció értékei az **a** irányítású, míg a nevező értékeit a **b** vízszintes irányú metszés tartalmazza. Az a-b metszéspont mutatja az értéket, illetve értékességet. (A portfólió elkészítésének technikáját ismertnek tekintjük [5]). Az ábra

felfogható a cég termék értékességeinek térképeként is lehet. Könnyű belátnunk, hogy egy (értékesség-marketing) negyedik szakmakultúra bevonásával nemcsak a kreativitásunk növekedett, hanem korlátlan elemzési lehetőséghez jutottunk.

A holisztikus marketing valamennyi tényezője felhasználható a páros ütköztetéshez (érték műveletek, kereslet, források, termékstruktúra, piaci pozíciók, minden tényező amelyekkel a holisztikus marketingben találkozhatunk, stb.).



6. ábra: Az általánosított probléma-megoldás és az értékelemzés lépéseinek összehasonlítása

A holisztikus marketing tényezője értékelemzés alá vonható funkciói és költségei szerint is. Ugyanígy a tényezők versenyterületei is. Ugyanakkor a különféle platformok – eredményrendszerek - ezek informatikai kialakításai nagyobb munkát igényelnek.

Emlékeztetőül a 4. ábra az értékelemzés általános algoritmusát, illetve TERMÉK értékelemzés ábráját mutatja be.

Remélhetőleg nem vállalunk túl nagy kockázatot amikor ezt írjuk: a portfólió elemzés gyakorlatát ismertnek tekintjük, másfelől ez a módszer több értékelemzéssel kapcsolatos közleményben megtalálható [3].

A verseny helyzetünk szakadatlan megújulása, versenyképességünk, a termelőképességünk javítása az értékteremtő folyamatok innovációja egyre inkább előtérbe helyezi az értékalkotást, az értékalkotási tevékenységünk kreativitásának javítását (ez a problémakör kutatásunk egyik “mellékterméke”).

Ismeretes hogy a kreativitásunk fokozásának (sok más feltétellel együtt) egyik fontos feltétele az elemzésbe vont határterületek és az úgynevezett “közeli” szakmakultúrák bevonása, ezek számbavétele.

A teljes rendszer tezauszának (ezt ugyanis korábban már kidolgozták) a kiinduló pontjáról teszünk néhány megjegyzést.

A 5. ábra tezausz első lépcsője azt szemlélteti hogy az értékalkotásba mely szakmakultúrákat kell bevonnunk.

Néhány - a második szinthez is tartozó - kategóriát is feltüntettünk a fontossága miatt. (pl. REKLÁM a MARKETING része, KONKURENCIA a VÁLLALKOZÁSSZERVEZÉS része, stb.)

A teljes tezausz felrajzolása messze meghaladná ennek az előadásnak a kereteit.

A még megfelelő (minimális) kreativitási szint eléréséhez az 5. ábra alapján szakaszolhatunk szakmakultúrákat, példa egy változatra:

terméktervezés - értékelemzés - marketing – döntésmélet – innováció – ökológia - minőségalkulás

Ennek alapján a felsorolt szakmakultúrákból egy – esetleg két olyan terméktervező blokkot hozhatunk létre, amely egy (vagy két) „tantárgyként” kezelendő.

Meg kell jegyeznünk, hogy az ÉRTÉK TEZAURUSZ teljes figyelembevételével nagyhatékonyságú és a kreativitást fokozó termék tervezési-gyártási folyamatokat tanító ismertető oktatást alakíthatunk ki, minden bizonnyal ez a jövő fejlesztéséhez tartozik.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A Miles-i [2] értékelemzési módszert kutatásunk eredménye képpen úgy alakítottuk át, hogy a döntésméletből kiválasztott probléma-megoldás egyik módszerét alkalmaztuk.

A módszeres géptervezés [1] értékelési tényezőiből alakítottuk ki az absztrakt-terméket jelentő funkcióhalmazt.

$$\text{Az } E = \frac{F}{Fk} = \frac{\text{Funkció}}{\text{Funkciók költsége}} \text{ kifejezést}$$

felhasználva a PORTFOLIÓ [5] módszerével értékeljük, minősítjük az értékelemzési feladataink megvalósítását.

Új értékelemzési iskola született, amelynek az eljárásrendszere nagy biztonsággal és az eddigiektől nagyobb hatékonysággal oldja meg az értéktermelő feladatokat: a profit orientált és a non profit területekről egyaránt.

Ezentúl fontos még azt kihangsúlyoznunk, hogy bármely területről bármilyen probléma megoldását értékelemzéssel végezhetjük el.

Az ÉRTÉKFOGALOM teljes tezauszát feltárva lehetőséget nyújtunk a kreativitás nagyságrendekkel történő emelésére (5. ábra).

Összefoglalva gondolatmenetünket: bármely értékelemzési feladatot tekinthetünk egy probléma-megoldásnak.

Kísérleteink eredményeképpen azt állapítottuk meg, hogy bármilyen, bármely területen előtérbe kerülő problémát az értékelemzés eljárásrendszerével megoldhatjuk. E feladat lépései:

- értelmezzük a problémát;
- a probléma-megoldást segítő döntés előkészítést tekintjük olyan terméknek, amelynek funkciója és költsége van, tehát „értékelemzés alá vonható”.

Mivel előadásunkban az értékelemzést ismertnek tekintettük, az előbbi gondolat algoritmusát is egy összefoglaló ábrán mutatjuk be.

A baloldali oszlopban egy általános probléma-megoldás, míg az ábra jobboldali

oszlopában az értékelemzés lépései láthatóak (6. ábra).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Pahl, G. – Beitz, W.: A géptervezés elmélete és gyakorlata.
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- [2] Miles, D. L.: Értékelemzés.
Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [3] Hegedűs József – Kő Ferenc: AZ ÉRTÉKELEMZÉSRE ALAPOZOTT TERMÉKTERVEZÉS MÓDSZERTANA.
Kecskeméti Főiskola, Műszaki Főiskolai Kar, Kecskemét, 2002.
- [4] Kotler, Philip – Zain, Dipak C. – Maesincee, S.: Marketinglépések.
Park Könyvkiadó, Budapest, 2003.
- [5] Neubauer, Franz Friedrich: A vállalati vezetés portfólió módszere.
Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1984.

A KUTATÁSOKAT SEGÍTŐ LEGFONTOSABB RENDEZVÉNYEK FELSOROLÁSA

- ZSENIKÉPZÉSI Kísérletek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
- Évenkénti Zsenyei Találkozó (nemzetközi) az IPARIFORMA TERVEZŐK részvételével
- Terméktervező Napok Hazai ÁLLAMI EGYETEMEKEN (Kecskemét, Pécs, Győr, Sopron, Miskolc, Budapest, Veszprém)
- BIENÁLÉK (Textil, Grafikai), TRIENÁLÉK (Minta, Szilikátipari, Üveg, Kerámiai, Gépipari)
- Ergonómiai Napok évente (Baja, Szirák)
- Ergonómiai Konferenciák
- SZAKKÖZGAZDÁSZ képzés (Corvinus Egyetem Továbbképző Intézete)
- IPARIFORMA TERVEZÉSI SZAKMÉRNÖK képzés
- FAIPARI SZAKMÉRNÖK képzés
- JÁTÉKTERVEZÉS MÉRNÖK képzés
- MOHOLY-NAGY ÖSZTÖNDÍJ
- DESIGN-HÉT
- Dunaújvárosi Tudományos Napok

A kutatások helyei: iparvállalati munkahelyen a Műszaki Fejlesztés vezetőjeként több mint 200 termék értékelemzése. Családi vállalkozásban, különféle konzorciumokban a gazdasági és non profit szervezeteknél közel 400 termék értékelemzése.

SZÉLTURBINA BURKOLATGEOMETRIÁJÁNAK HATÁSA A NYOMATÉKRA

IMPACT OF THE WINDTURBINE'S HUB GEOMETRY TO THE TORQUE

Hetyei Csaba, doktorandusz, hetyei.csaba@phd.uni-obuda.hu
Dr. Szlivka Ferenc, CSc, szlivka.ferenc@bgk.uni-obuda.hu

ABSTRACT

Today's increasing demand for energy is becoming more and more prevalent the renewable energy sources. In this article, we will inspect the HWAT's (horizontal axis wind turbine) hub geometry, using a CFD (Computational Fluid Dynamic) software. From the different hub geometries, we will choose for the energetic optimum that where the highest torque awakened.

1. BEVEZETÉS

A napjainkban jelentkező egyre nagyobb energiaigény miatt mindinkább előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások, köztük a szélenergia is.

Ennek a szegmensnek a növekedése jól látszódik a telepített szélenerómű teljesítményeken. 2000-ben összesen 17,4 GW, 2010-ben 197,9 GW, 2015-ben 432,4 GW teljesítményű szélturbina állt rendelkezésre a világon [1]. Az első széleneróművet, ami elektromos áramot termelt, 1887-ben építették, de előtérbe csak az 1980-as olajválság idején kerültek. Azóta telepítésük növekvő tendenciát mutat.

A jelenleg elterjedt közel 40 éves múltra visszatekintő szélturbinákat vizsgálva feltűnhet, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható szélkerekek geometriai kialakítása különböző.



1. ábra. Kereskedelmi forgalomban kapható lapos orrú szélturbina [2] és kupolás orrú szélturbinák [3, 4]

A többféle kialakítású orrkúp arra enged következtetni, hogy nincs olyan orrkúp geometria, amely minden lapáthoz és gondolához

megfelelő lenne. Céлом az volt, hogy a Naca 4415-ös lapátprofilhoz több orrkúpgeometriát készítsék és közülük energetikai szempontból kiválasztani a legjobbat.

A kiválasztáshoz egy numerikus áramlástani szoftvert használtam, amiben azonos peremfeltételek mellett közel azonos geometriákat vizsgáltam.

2. VIZSGÁLT GEOMETRIÁK

A vizsgálathoz készítettem egy 45 méter hosszú lapátot, melynek az paraméterei a következő táblázatban láthatóak.

1. táblázat. Szélkeréklapát adatai

| Metszet | Távolság [m] | Húrhossz [m] | Csavarodás |
|---------|--------------|--------------|------------|
| 11. | 45 | 0,309 | 0,8° |
| 10. | 40,5 | 0,343 | 1,5° |
| 9. | 36 | 0,384 | 2,4° |
| 8. | 31,5 | 0,436 | 3,5° |
| 7. | 27 | 0,504 | 5° |
| 6. | 22,5 | 0,595 | 7° |
| 5. | 18 | 0,724 | 10° |
| 4. | 13,5 | 0,912 | 14,8° |
| 3. | 9 | 1,184 | 23,6° |
| 2. | 4,5 | 0,912 | 39,66° |
| 1. | 0 | Ø 3 | 42,5° |

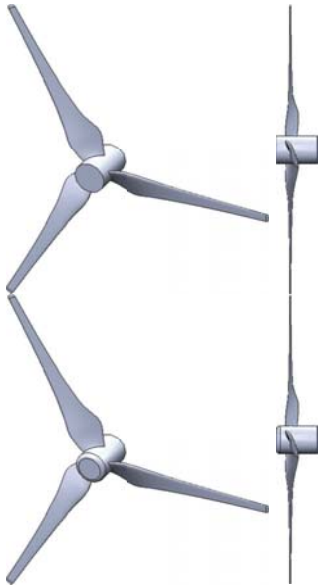
A lapát minden metszetéhez Naca 4415-ös profilgeometriát használtam, kivéve az 1. metszetenél a lapát tövében, ahol egy 3 m-es átmérőjű kört. Az ajánlott csavarodási érték megtartása miatt a függőlegeshez képest 42,5°-ra elhelyeztem a körön egy pontot, amelybe belekötöttem a lapát vezetővonalát.



2. ábra. Naca 4415 lapát

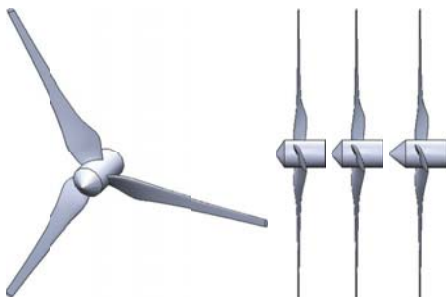
Ezt követően kiosztottam a lapátosztást és készítettem egy hengert, amit lekerekítettem. Így

megkaptam az első két orrkúp konfigurációt, melyek a következő ábrán láthatóak.



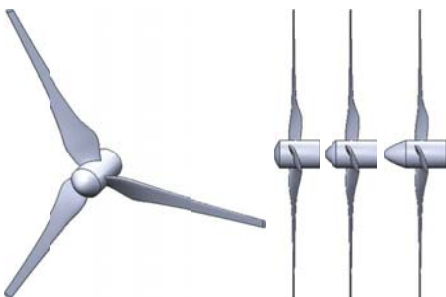
3. ábra. A sík lapú és a lekerekített sík lapú konfigurációk

A szimulációkhoz ezután készítettem 1,5, 2,5, 3, 3,5, 4,5 és 6 m-es hegyes orrú burkolatot.



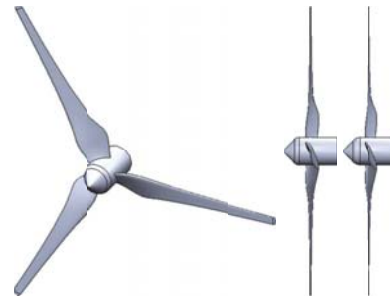
4. ábra. 2,5, 3 és 4,5 m-es „hegyes” orrgeometriájú szélturbina modellje

Ezt követően dómos elejű geometriákat készítettem 1,5, 2,5, 3, 3,5, 4,5 és 6 méteres kupola „magassággal”.



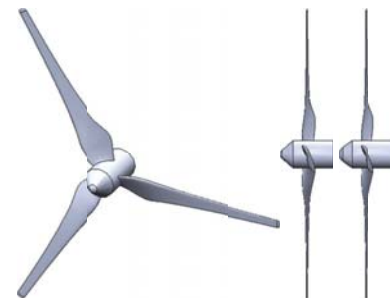
5. ábra. 1,5, 3 és 6 méteres kupolás geometriák

Majd a 3 m-es hegyes konfigurációt a R1,5 és R2,5 m-es rádiusszal lekerekítettem.



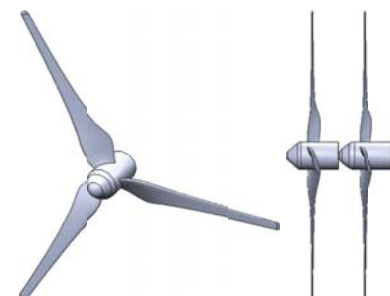
6. ábra. A lekerekített hegyes orrgeometriájú turbinák

A következő lépésben lekerekítettem R1,5 és R2,5 m-es rádiusszal a hegyes konfiguráció orrát úgy, hogy a kiindulási síklaphoz képest 3 m-re legyen a lekerekítés „csúcspontja”.



7. ábra. Tompított konfigurációk

Majd a kúp végét is lekerekítettem úgy, hogy a kiindulási síklaphoz képest a lekerekítés „csúcspontja” ugyanúgy 3 m-re legyen, mint az előző konfigurációnál.



8. ábra. A tompa R1,5+R1,5 és az R2,5+R2,5 konfiguráció oldalnézeti képe

Az így kialakított geometriákból a 3 m-es hegyes orrú konfigurációt választottam alap geometriának, a szimulációk folyamán ehhez hasonlítom a többi eredményét.

3. VÉGES TÉRFOGAT SZIMULÁCIÓRÓL

A numerikus áramlástan szimulációs szoftverek közül a SOLIDWORKS Flow Simulation-jét választottam, ami egy véges térfogat módszerre (VTM) épülő áramlástan szoftver a SOLIDWORKS CAD rendszerébe integrálva.

A szimulációs szoftver a rendelkezésre álló teret véges térfogatú cellákra bontja, és az így kapott térrészekre a megmaradási tételek segítségével kiszámolja a nyomás, a sebesség és a hőmérséklet mezőket. Ez a számolás jellemzően a következő transzport egyenletre épül:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V U dV + \oint_A \underline{F} d\underline{A} = \int_V S_V dV + \oint_A \underline{S}_A d\underline{A} \quad (1)$$

Az egyenletben

- $\frac{\partial U}{\partial t}$, az időfüggő tag ($\frac{\partial U}{\partial t} = 0$, állandósult állapot),
- U , egy megmaradó mennyiség térfogati sűrűsége,
- F , az adott jellemző fluxusa,
- S_V , térfogati forrás az adott F fluxusra,
- S_A , felületi forrás az adott F fluxusra,
- V , ellenőrző térfogat,
- A , az ellenőrző térfogat felülete.

A szoftver tér diszkrétizált részeire egy kiindulási értékkel elvégzi a számításokat. Az így kapott eredményekkel újabb iterációkat végez, míg a szimuláció el nem éri az előírt leállítási kritériumot.

4. SZIMULÁCIÓ PEREMFELTÉTELEI

A szimulációhoz egy minden oldalán nyitott téglatest formájú teret használtam. Az áramlási tér mérete 1000 x 320 x 320 méter volt. Az áramlási tér elejétől 380 méterre helyezkedtek el a szélkerék, a tér közepén.

A térbe belépő levegő áramlási sebessége 15 m/s volt és a szélkerék minden esetben csúszó hálós módszerrel 20 fordulat/perc sebességgel forogtak.

Az eddig ismertett geometriai és peremfeltételek alapján a szélkerekek gyorsjáratú tényezője $\lambda = 6,283$.

A turbulencia leírásához k- ϵ modellt használtam.

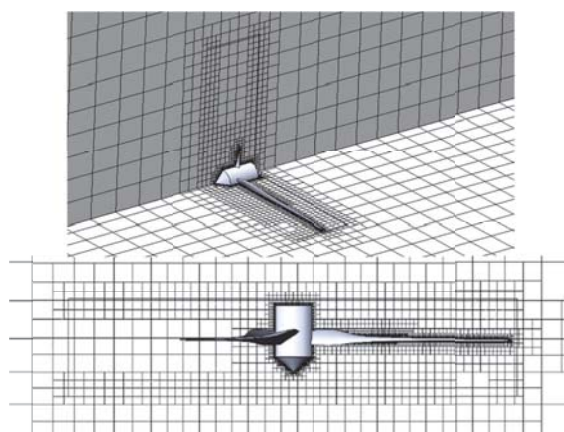
A szélkeréken ébredő nyomatókat célként definiáltam, így ezt konvergenciafeltételként elő tudtam írni.

A csúszóháló és a forgás közben kialakuló örvények miatt a vizsgálat minden esetben időfüggő volt, automata időlépéssel. A szimuláció leállításához három feltételnek kellett teljesülni,

- a szélkerék forgási tengelyére nézve a rajta ébredő nyomatóknak konvergálnia kell,
- minimum 1800-at iterált a szoftver,
- a szimulációnak minimum 3 (fizikai) másodpercig futott.

Az első feltétel konfigurációtól függően a 700. és az 1200. iteráció között teljesült, mely 1,5 és 3 (fizikai) másodpercnek felelt meg. Az 1800-adik iteráció változó időpillanatokra esett, átlagosan 4,77 másodpercre.

A tér felbontására téglatest hálót készítettem. Az egyik geometriához kapott véges térfogat háló a következő ábrán látható.

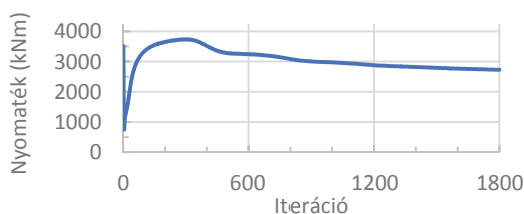


9. ábra. Hegyes 3 m-es konfiguráció hálózása felül-, és izometrikus nézetből

A szimulációkhoz használt geometriák eltérő felülettel rendelkeztek, így a végestérfogat háló elemszáma is eltérő volt, a konfigurációtól függően 500-800 ezer cella.

5. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A következő ábrán a szélkeréken ébredő nyomatók látható az iterációk függvényében.



10. ábra. Nyomatók alakulása az iterációk függvényében

A grafikonon megfigyelhető, hogy a nyomatók a kezdeti értékhez képest nő, majd pár száz iteráció után elér egy pontot, ahonnan elkezdi csökkenni és konvergálni egy értékhez. Ennek a jellegnek két oka van. Az egyik, hogy az

áramlásnak ki kellett alakulnia és állandósulnia kellett, a másik pedig, a véges térfogat módszer matematikai háttere.

A VTM iterációs számítási módszere miatt az utolsó 25 iterációra kapott nyomatókértékek átlaga látható a következő táblázatban.

2. táblázat. Nyomatékok összehasonlítása

| | Hegyes 1,5 | Hegyes 2,5 | Hegyes 3 | Hegyes 3,5 |
|---|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| M | 2962,8 | 2835,77 | 3061,14 | 2729,86 |
| % | 96,79% | 92,64% | 100,00% | 89,18% |
| | Hegyes 4,5 | Hegyes 6 | Dóm 1,5 | Dóm 2,5 |
| M | 2526,02 | 2880,13 | 3036,67 | 2749,44 |
| % | 82,52% | 94,09% | 99,20% | 89,82% |
| | Dóm 3 | Dóm 3,5 | Dóm 4,5 | Dóm 6 |
| M | 2542,29 | 2440,31 | 2730,99 | 2780,25 |
| % | 83,05% | 79,72% | 89,21% | 90,82% |
| | Tompított R1,5 | Tompított R2,5 | Tompa R1,5 R1,5 | Tompa R2,5 R2,5 |
| M | 2731 | 2733,01 | 2731,67 | 2732,97 |
| % | 89,22% | 89,28% | 89,24% | 89,28% |
| | Hegyes leker. R1,5 | Hegyes leker. R2,5 | Síklap | Síklap leker. |
| M | 2526,73 | 2525,43 | 3099,48 | 3107,45 |
| % | 82,54% | 82,50% | 101,25% | 101,51% |

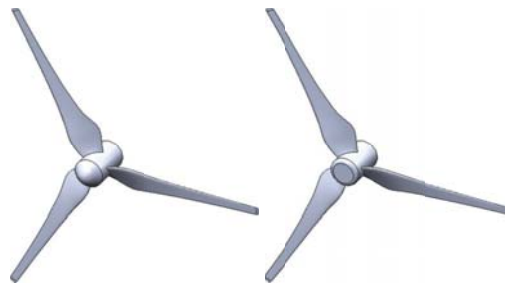
A táblázatban M a nyomatékot, % az aktuális és a 3 m-es hegyes konfiguráció nyomatékának arányát jelöli. (M értékei kNm-ben értendők.)

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kereskedelmi forgalomban kapható szélturbinák orrburkolata gyártónként eltérő, ezért megvizsgáltam ugyanazt a lapátot különböző orrgeometriákkal.

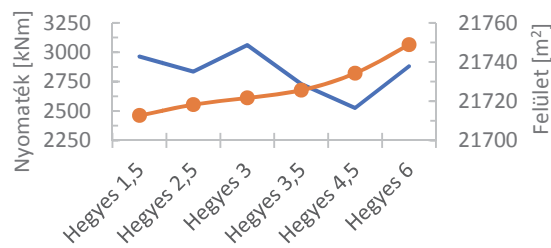
Vizsgálatokhoz egy numerikus áramlási szoftvert használtam, amivel azonos peremfeltételek mellett vizsgáltam a közel azonos geometriákat. Tizenhat esetből az alapkonfigurációnak választott Hegyes 3 nyomatékánál két esetben kaptam nagyobb nyomatékot.

A burkolatgeometriák közül a legkisebb nyomatékot a 3,5 m-es dóm burkolatokhoz kaptam, míg a legnagyobbat a lekerekített szélű síklaphoz.



11. ábra. A dóm 3,5-ös és a lekerekített szélű konfigurációk

Az eredményeket látva, a felület és nyomaték viszonyát összehasonlítottam, ami a hegyes konfigurációra következő ábrán látható.



12. ábra. A nyomaték és a felület viszonya a hegyes konfigurációk esetén

Az ábrát vizsgálva kiemelhető a Hegyes 3 m-es konfiguráció csúcspontja, amit leszámítva a kiindulási Hegyes 1,5 m-hez képest csökkenő jelleg figyelhető meg, a Hegyes 4,5 m-es konfigurációig.

A lokális csúcsokat leszámítva (Hegyes 3 és 6 m), a csökkenő jellegből és a dóm konfigurációk hasonló jellegéből arra következtettek, hogy az orrkúpgeometriát célszerű minél kisebbre elkészíteni. Amennyiben a szélturbinák gépészeti rendszerei megengedik, a lekerekített szélű síklap konfiguráció az ideális.

7. IRODALOM

- [1] Global Wind Power Cumulative Capacity https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power#/media/File:Global_Wind_Power_Cumulative_Capacity.svg (2017.09.18.)
- [2] Szélkerék <https://www.nrel.gov/workingwithus/assets/images/13890.jpg> (2017.08.11.)
- [3] Lapos orrú szélturbinák https://www.energiarenovables.com/ficheroenergias/fotos/agenda/ampliada/2/2wr_bottom.jpg (2017.09.01.)
- [4] Kupolás orrú szélturbinák http://www.telegraph.co.uk/content/dam/business/2016/09/09/Dong_wind_farm_trans_NvBQzQ_Njv4BqjIwIjDXBmcU79gdGK1cNfvK_F-ycLYGpDiQxg2m3y9Q.jpg (2017.09.01.)

AKI A MAGYAR GÉPIPART NAGGYÁ TETTE: 150 ÉVE HALT MEG GANZ ÁBRAHÁM

EIN MANN, DER DIE UNGARISCHE MASCHINENINDUSTRIE GROSS GEMACHT HAT: ÁBRAHÁM GANZ STARB VOR 150 JAHREN

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

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

INHALT

Der in der Schweiz geborene Ábrahám Ganz, dem die Schaffung einer europaweit anerkannten Maschinenindustrie in Ungarn zu verdanken ist, starb vor 150 Jahren. Er erhielt zahlreiche internationale Anerkennungen für die Entwicklung vom perfekten Schalenenguss, die von ihm gegründete Fabrik wurde zur zentralen Werkstatt der einheimischen, wissenschaftlichen, maschinentechnischen Entwicklung.

1. KORTÜKÖR - SZÉCHENYI SZEREPE

A Gróf Széchenyi István által elindított gazdasági reformok, a közlekedési infrastruktúra fejlesztése, a modern hazai ipar megteremtése a tehetséges, ambiciózus fiatal szakemberek számára a XIX. század közepének Magyarországon egy olyan inspiratív szakmai környezetet teremtettek, ahol ki tudták bontakoztatni tehetségüket, dolgozni és alkotni tudtak. A jogot végzett Irinyi János például ennek hatására döntött úgy, hogy a Bécsi Politechnikumba iratkozzon, majd tudását, külföldön megszerzett tapasztalatait itthon próbálja kamatoztatni

A tehetséges skót mérnököt, Adam Clarkot Széchenyi 1934-es angliai útja során a Hunter&English gyárban ismerte meg, és a megvásárolt folyamszabályozó eszközök összeszerelésével és működtetésével bízta meg. Clark még abban az évben Magyarországra utazott, és a megbízást másfél év alatt teljesítette. Visszatérően Angliába komoly hírnevet és további tapasztalatot szerzett, így 1839-ben, a Lánchíd építészeti feladatával bízták meg az akkor még csak 28 éves szakembert. Adam Clark-kal kapcsolatban is észre kell vennünk, hogy Széchenyinek milyen

különös érzéke volt az adott feladatra leginkább alkalmas szakemberek kiválasztásához. (Mai kifejezéssel kiváló humán-erőforrás menedzser is volt.)

A Svájcban született fiatal vasöntőmester, Ganz Ábrahám éppen Bécsben dolgozott, amikor hírére vette, hogy a Széchenyi István által alapított Pesti Hengermalmi Társulat szakembereket toboroz a József Hengermalom gépeinek beüzemeléséhez. Ganz 1841 augusztusában érkezett Pestre, és rögtön el is szegődött a Hengermalomhoz.

Széchenyi munkássága következtében tehát Magyarországon egy olyan műszaki szellemi erőtér jött létre, amely külföldi szakembereket is ide vonzott.

Azt, hogy Ganz Ábrahám munkássága, „magyarrá válása” mekkora hatást gyakorol majd a hazai iparfejlődésre, Széchenyi sem láthatta előre. Nem láthatta, hogy a Ganz által alapított kis öntödéből a magyar gépipar fellegvára, a gépészeti tudományok központi műhelye lesz, ahol a magyar mérnöktársadalom olyan kiválóságai dolgoznak majd, mint Mechwarth András, Bánki Donát, Zipernowsky Károly, Déri Miksa, Bláthy Ottó Titusz, Kandó Kálmán, Jendrassik György.

Nem láthatta, hogy a fiatal svájci szakember elképesztő munkabírásiának, fanatizmusának és kitartásának köszönhetően kétkezi munkából Magyarország legjelentősebb nagyvállalkozójává, a magyar gépipar megteremtőjévé válik. Nem láthatta, hogy a svájci öntőmester magyar hazafivá válik, aki a szabadságharc idején „Ne bántsd a magyart!” felirattal fog ágyúkat gyártani.

A „legnagyobb magyar” érdeme, hogy Ganz Ábrahám közvetetten ugyan, de az ő hívó szavára jött Magyarországra, és maradt itt végleg, de nem kérdőjelezhető meg Kossuth szerepe sem. A reformkor két egymással ellentétes politikai felfogást képviselő

kiemelkedő alakja, Széchenyi és Kossuth egyben feltétel nélkül egyetértettek: „ipar nélkül a nemzet félkarú óriás”. Az Iparegyesületet megálmodó, a későbbiekben igazgató Kossuth 1845-ben Ganz Ábrahámnak személyes támogatást is nyújtott.

2. GANZ ÁBRAHÁM ÉLETE ÉS MUNKÁSSÁGA

Ganz Ábrahám Abraham Ganz néven a Zürich melletti Unter-Embrach városkában született 1814. november 6-án, egy református kántortanító első házasságából harmadik gyermekként, de első fiúként. Tízéves korában elveszítette édesanyját, majd édesapja újra nősült. A sokgyerekes szegény családban a legnagyobb fiúnak már 15 évesen szakmát kellett tanulnia. Előbb ácsmesterséget tanult, de a vas jobban vonzotta, ezért Zürichben Escher vasöntő mesternél öntőinasnak állt.

Tizenöt hónapi tanulás után, a kor szokásainak megfelelően, vándorútra indult. Előbb Schaffhausenbe, utána Elzászba, innen vissza Svájcba, majd Franciaországba ment. Közel másfél évet Bécsben dolgozott, ezután olaszországi városokat látogatott meg, de visszatért Bécsbe.



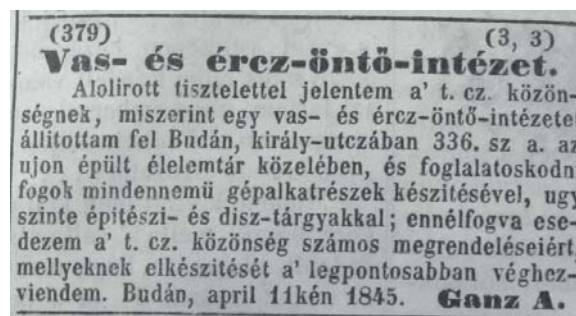
1. ábra. Ganz Ábrahám (Péter József rajza [1])

Amikor 1841-ben tudomására jutott, hogy a Pesti Hengermalmi Társulat szakembereket toboroz a József Hengermalom gépeinek beüzemeléséhez, Pestre utazott, és rögtön el is szegődött a Hengermalomhoz, ahol a gépek beszerelését irányította. A következő év tavaszán megépült a Hengermalom öntödéje, Ganzot annak első öntőmesterévé nevezték ki.

Az öntöde feladata az eredeti elképzelés szerint csupán a malom alkatrészek

utánpótlásának biztosítása lett volna, de ezen Ganznak köszönhetően gyorsan túllépett. Termékeikkel az 1842 őszen megrendezett első magyar iparmű kiállításon mutatkoztak be, és komoly szakmai elismerést arattak. Ganz Ábrahám elhivatottságát, jó értelemben vett megszállottságát jól mutatja, hogy amikor 1843-ban öntés közben a folyékony vas a szemébe fröccsent, feljegyzések szerint azt mondta: „A fél szem oda, de az öntés sikerült.” A baleset ellenére ugyanebben az évben azt írta édesapjának, hogy Magyarországon kíván végleg letelepedni.

1844-ben az ugyancsak svájci Fehr Vilmos igazgatóval elszámolási vitája támadt, ezért elhatározta, hogy önálló öntödét nyit. A szükséges iparendélyt a Budán felállítandó „vasöntési és gyártási intézet” felállítására viszonylag hamar megkapta. A folytatás azonban nem volt zökkenőmentes, vállalkozásának ugyanis több ellenzője akadt: többek között a Hengermalom igazgatói tanácsának tagjai, részvényesei és maga Széchenyi István is. A gróf megtiltotta a szénszállítást Ganznak, és meg is fenyegette: ha nem tér vissza a Hengermalomhoz, akkor a lánchídnál, a hajógyárnál és a vasútnál sem fog munkát kapni, és így tönkre fog menni. Ganz Kossuth segítségét kérte, aki levélben fordult Széchenyihez. Ez először csak olaj volt a tűzre, de később Széchenyi képes volt sérelmén felülemelkedni, és az öntöde 1845 áprilisában végre zavartalanul megkezdte működését. Ganz Kossuth lapjában, a Pesti Hírlap 1845. április 11-i számában hirdetést jelentetett meg. (2. ábra)



2. ábra. A Ganz öntöde hirdetése

A hirdetésekre annyi megrendelés érkezett, hogy a hét meglévő munkás mellé még tizenötöt kellett felvennie. Ekkor már két öccse, Konrád és Henrik is az üzemben dolgoztak.

Az 1846. évi harmadik magyar iparmű kiállításon a Ganz cég öntöttvas kályhájával elnyerte az Iparegyesület ezüst és József nádor bronz kitüntetését is. Gyártmányai között rostélyok, csatorna fedelek, szőlőprések, oszlopok, kerítések, mosdók szerepeltek.

Az öntöde a szabadságharc alatt tíz ágyút és ágyugolyókat öntött a magyar honvédseregnek, ezért az osztrák hadbíróóság egy haragos szomszéd feljelentése alapján Ganzot felelősségre vonta. Valószínűleg svájci állampolgárságának köszönhetően csak hat hét elzárásra ítélték, amit nem kellett letöltenie.

1849 októberében feleségül vette Heisz Jozefinát, egy pesti polgárcsalád lányát. Gyermeük nem született, ezért az évek során két rokon árva lányt fogadtak örökbe.

1851 nyarán betársul Marquart Frigyes szászkaai bánya és vasgyár vállalatába, hogy öntőüzeme nyersanyag-ellátása biztosítva legyen. Az új vállalat működtetése újabb hatalmas terhet jelentett. (A szászkaai üzletrészt 1856 végén eladta az Osztrák Államvasút társaságnak.)

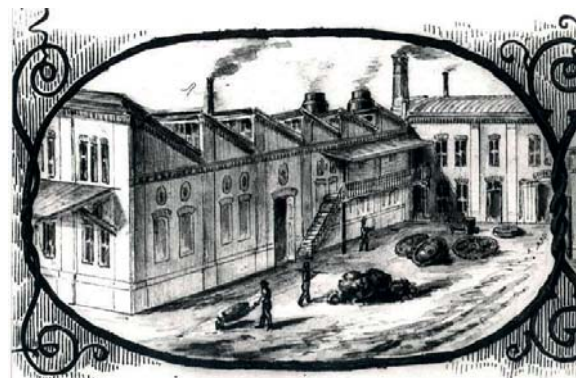
Az 50-es évek elején lassan újból lendületet vett az ipar, így Ganz öntödéje is. A budai öntőüzem 1852-ben elnyerte az „Országos Gyár” kitüntető címet. De Ganz felismerte, hogy ha növekedni akar, akkor találnia kell olyan gyártmányt, amelynek folyamatosan nagy a piaci kereslete. Ezt a piacot az egész Európára kiterjedő vasút építésekben látta. Úgy látta, hogy a vasúti kocsikereke az a termék, amely öntödében az akkoriaknál jobb minőségben és olcsóbban gyártható, és aminek hatalmas piaca lesz.

A kéregöntést az angol John Burn 1812-ben fedezte fel, Ganz ezt az eljárást továbbfejlesztve használta fel a vasúti kocsikerekek gyártására. Eljárásának alapja az volt, hogy az öntöttvas kerék futófelületén kemény kéreg hozható létre egy gyors hűtést biztosító ún. kokilla és fémes antimont tartalmazó máz alkalmazásával. Ganz mindezt így írja le: *"Hogy tökéletes keményöntvényt, úgynevezett kéregöntvényt kapjunk, főszeközül antimonium anyagot használunk. Ezt finomra őröljük, és festéket vagy masszát csinálunk belőle. Az öntvényforma borítófalát bekenjük, majd megszáritjuk és a formát összerakjuk. Végül 100 fokra felhevítjük, és a folyékony vasat a formába öntjük. A merevedéskor azon a helyen, ahol az öntvényforma falát az említett anyaggal bekenjük, üveggeménységű kéreg*

keletkezik, amely - aszerint, hogy a borítófalat vékonyabban vagy vastagabban kentük be - 2, 3 vagy 4 milliméter vastagságú lesz. Ezért az antimonium anyagot találtam legalkalmasabb eszköznek a tökéletesen jó kéregöntvény előállítására ..."

Eljárására 1856-ban kapott hazai szabadalmat, amit 1857-ben az egész világra kiterjesztettek. Az általa alkalmazott technológia nagyszerűségét az 1855. és 1867. évi párizsi, valamint az 1862-es londoni világiállításokon is rangos elismerésekkel jutalmazták. 1863-ban Pest városa díszpolgárává avatta, és megkapta a Ferenc József-rendet is.

Ganz fokozott energiával folytatta nagyüzemépítő vállalkozását. Ahhoz, hogy a nagy számban érkező megrendeléseket kielégíthesse, át kellett építeni az üzemet, jelentősen bővítve a termelékenységet. Az új üzem 1858 és 1862 között épült fel (3. ábra).



3. ábra. Az új öntöde (ma Öntödei Múzeum)

Különlegessége az országban elsőként megvalósított ún. sédtető, amelyen keresztül minden irányban természetes fény árasztotta el az épületet. (Az öntőcsarnok 1965-ig működött, ma védett ipari műemlék.)

A sikerrel egyre nagyobb teher hárult Ganzra, hiszen szinte egy személyben ő látta el az üzem irányítását, az anyagbeszerzést és a kalkulációt is. Emiatt új munkaerőre volt szüksége a gyár irányítására. Egyik külföldi útja során ismerte meg Eichleiter Antal mérnököt, akit szerződtetett. A 25 éves bajor Mechwart András pedig barátját Eichleiter Antalt meglátogatva döntött úgy, hogy Ganz alkalmazásába áll. Mindketten nagyot lendítettek a gyár működésén. Mechwart még 40 évig állt a Ganz cég szolgálatában és szerepe óriási volt. Ganz Ábrahám halála után egy nagy

gyárbirodalmat épített föl, aminek nevét az egész világon megismerték.

1853 és 1866 között 59 vasúttársaságnak 86.074 kéregöntésű kereket szállított a gyár. Ganz megvett egy angol szabadalmat is, ami a vasúti váltók szívcsúcsainak gyártására vonatkozott. Természetesen ezt is azonnal továbbfejlesztette, két újabb szabadalmat kapott 1861-ben és 1865-ben. 1860-1866 között 6293 kéregöntésű szívcsúcsot szállított a vasúttársaságoknak. De nemcsak a vasutaknak gyártott termékeket, hanem többek közt hidak vas alkatrészeit (például a Lánchíd öntöttvas keresztartóinak nagy részét, a szegedi híd öntvénydarabjainak egy részét), valamint kéregöntésű malomipari rovátkolt hengereket is gyártottak. Később a gyár ez utóbbi termékével is világhírű eredményeket ér el Mechwart András vezetése altt.

A Ganz-gyár munkáslétszáma 1854-ben 60, 1857-ben 106, 1867-ben pedig már 371 volt. A napi termelés 2-3 tonna öntvény volt (közte 50-60 db kerék).

Ganz Ábrahámot 1863. szeptember 4-én Buda díszpolgárává választották, 1865-ben a császár személyesen fejezte ki legmagasabb elismerését. 1867. november 23-án ünnepelték a százezredik kéregöntésű kerék gyártását, amelynek alkalmából vacsorát adott minden alkalmazottja és családtagjai részére.

Életének utolsó éveiben egyre többet gyötörte fejfájás, gyakran volt kimerült, szervezetét az állandó stressz, a sok munka megviselte. Az orvosi kezelések sem jártak eredménnyel. Családjában többen is elmebajban haltak meg, és Ganz tartott tőle, hogy előbb-utóbb nála is jelentkezik majd ez a betegség. 1867. december 15-én a család éppen Duna-parti palotájuk díszes ebédlőjében tartózkodott, amikor Ganz hirtelen föllált, bement a betegen fekvő nevelt lányához, megsimogatta őt, majd leugrott az első emeletről az udvarra. Azonnal szörnyethalt. 53 éves volt.

3. A HUMANISTA GANZ

Életében sokat fordított szociális célokra, üzemében Magyarországon akkor egyedülálló nyugdíjas- és betegpénztárt létesített. A jó munkaerőt nagyon megbecsülte, emberként bánt velük, rendes fizetést adott nekik. Pest-Budán az ő alkalmazottjai keresték a legtöbbet, s még nyereségjutalékot is fizetett. Munkásai

szeretete jeleként értelmezhetjük, hogy sokan közülük felkérték őt a keresztapaságra. Hatvannégy keresztgyermeké volt. Számos olyan jóléti intézkedést tett, amelyek akkoriban még Nyugat-Európában is ritkaságnak számítottak. Így például a gyárban kórházat alapított, ahol a munkások ingyen vehették igénybe az egészségügyi szolgáltatásokat. Betegségük idejére megkapták a bérük felét. Nyugdíjat is biztosított számukra.

Ganz Ábrahám az ország egyik leggazdagabb polgára lett, de megmaradt annak, aki volt. Szerény embernek, aki nem felejtette el, hogy honnan jött és miként jutott ily magasra.

Ganz Ábrahám neve és tevékenysége meghatározó a magyar gépipar történetében.



4. ábra. Ganz Ábrahám mauzóleuma a Fiumei úti sírkertben (tervezte Ybl Miklós)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Terplán Z.: Az én gépészeim, Miskolci Egyetemi Kiadó (2009)
- [2] Szekeres J.: Ganz Ábrahám élete, Budapest (1967)
- [3] Lengyel K. K.: Ganz Ábrahám emlékezete, előadás, XIX. Országos Mezőgazdasági Gépész Találkozó, Mezőkövesd, 2017. szept. 03.
- [4] Horváth S.: Széchenyi, a műszaki alkotó, Széchenyi emlékülés, Óbudai Egyetem, 2017. pp. 6-11.

HERMETIKUS HAJTÁSOK

HERMETIC DRIVES

Péter József PhD, Németh Géza, egyetemi adjunktus

Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

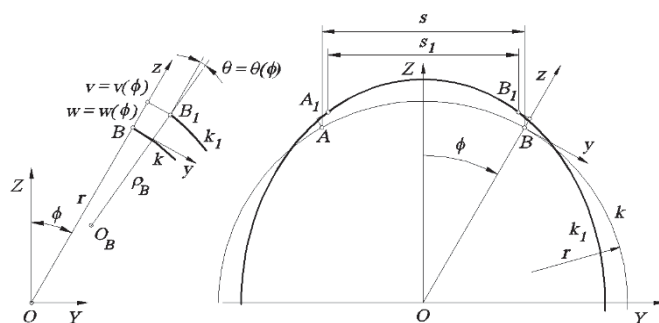
ABSTRACT. Design of most mechanical drive is based on the set of „laws” defined as „rigid-body mechanics”. Rotating elements are assumed to remain rigid and rotate circularly about fixed axes. The elastic drive systems use controlled elastic deflection one or more parts for transmission, conversion, or change of mechanical motion. The modified elastic gear drive is used for conversion of rotary-to-linear motion.

1. Bevezetés

A géptervezők többsége a feladat egyszerűsítése érdekében merevtest modellt alkalmaz. Ez a megközelítés feltételezi, hogy a testen belül két pont változó terhelés mellett is megtartja egymáshoz viszonyított távolságát. Ha ettől a feltételezéstől eltekintünk, a testek terhelés hatására bekövetkező alakváltozásán alapuló újszerű mechanizmusokhoz juthatunk. Ezek a mechanizmusok alkalmasak lehetnek pl. az űrutatásban időszerű feladat, forgó éshaladó mozgás nyugvó tömítésekkel történő átadására, gondoljunk A légtüres térre vagy a robotokat körülvevő porra.

2. Testek rugalmas alakváltozásán alapuló mechanizmusok

A testek rugalmas alakváltozásában rejülő lehetőségeket C.W. Musser a [2] - ben foglalta össze. Az általa vizsgált elvek: 1. Ívhajlás (Arcuation), 2. Integrálás (Integration), 3. Szélhajlás (Scalloping), 4. Differenciálás (Differentia), 5. Felületi nyúlás (Interfacial strain), 6. Poisson hatás (Poisson’s wedge), 7. Torziós emelő (Torsion level), 8. Csavart szalag (Twisted strip).



1. ábra. Ívhajlás

3. Hullámhajtómű

A hullámhajtómű vizsgált változatainak alapja C. W. Musser elvei közül az ívhajlás, az integrálás és szélhajlás.

3.1. Ívhajlás

A 1. ábrán látható állandó keresztmetszetű síkgörbe rúd k középvonala egy r sugarú körív, általános esetben egy $\rho = \rho(\varphi)$ görbületi sugarú görbe. Terhelés hatására a középvonal pontjai érintő és sugár irányban elmozdulnak, $w = w(\varphi)$ és

$v(\varphi) = -\int w(\varphi) d\varphi$, a normális

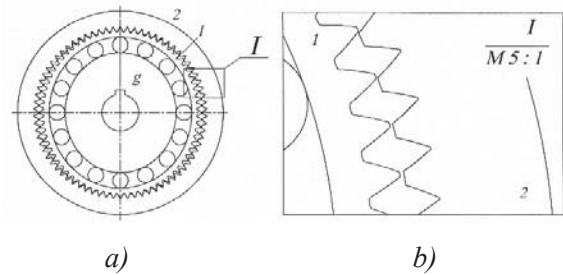
elfordulás $\vartheta(\varphi) = \frac{1}{r} \left(v - \frac{dw}{d\varphi} \right)$, a középvonal

görbülete megváltozik

$\kappa(\varphi) = \frac{1}{\rho(\varphi)} = -\frac{1}{r^2} \left(\frac{d^2 w}{d\varphi^2} + w \right)$. Az s és s_1

ív hossz a görbületfüggvénye, nagyobb görbületű szakaszhoz kisebb ívhossz tartozik, és fordítva. Ez a felismerés a fogaskerék-hullámhajtómű feltalálásának az alapja.

A 2.a) ábrán látható fogaskerék– hullámhajtómű 3.a) ábrán látható *b* típusú fogaskerék-bolygómű [8] egyik változata. Kis fogszám különbség esetén a belső fogazatú

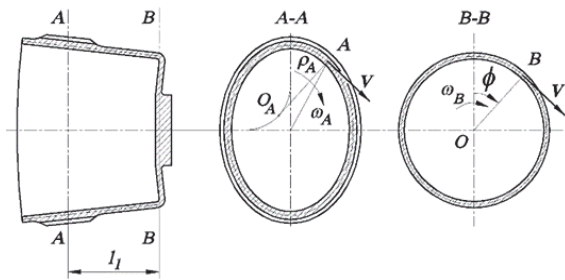


2. ábra. Fogaskerék-hullámhajtómű. 1 hullámkerék, 2 gyűrűkerék, g generátor

2.2. Integrálás

A hullámkerék középfelülete egy r sugarú körhenger. A hullámkerék a generátor hatására homlokfelületénél oválisra alakváltozik, másik szélén a körtől való eltérés elhanyagolhatóan kicsi. A középfelületről feltételezzük, hogy a hajtómű működése során hosszváltozása elhanyagolható.

A hullámkerék hossz tengelyére merőleges tetszőleges $A-A$ metszetében (4. ábra) a középvonal pontjai érintőirányban v sebességgel mozognak. A középvonal tetszőleges A pontjában a középvonal görbületi sugara $\rho_A(\varphi)$, a görbületi középpont O_A . A v sebességgel mozgó A pont az O_A pont körül

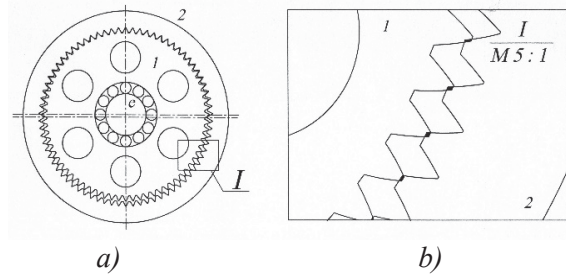


4. ábra. Integrálás. A palást integráló kapcsoló

2.3. Szélhajlás

Az 5. ábrán látható hullámkerék középfelülete a g generátor hatása előtt egy r sugarú egyenes körhenger. A generátorról feltételezzük, hogy az $A-A$ síkban hat a hullámkerékre, és a középfelületből egy r sugarú középkört metszi ki. A generátor hatására az r sugarú középkör pontjai sugár és érintő irányban elmozdulnak:

kerékpár fogai akadnak (3.b) ábra), a hullámhajtómű kerékpárjának fogai *a* hullámkerék megnövelt görbületű szakaszán akadás nélkül kapcsolódnak.

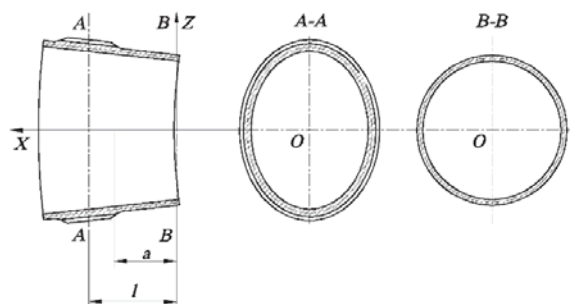


3. ábra. Fogaskerék-bolygómű 1 bolygókerék, 2 gyűrűkerék, 3 excenter

$\omega_A(\varphi) = \frac{v}{\rho_A}$ szögsebességgel mozog. A hullámkerék $B-B$ metszetében a középvonal pontjai r sugarú kör mentén v sebességgel mozognak, a szögsebesség $\omega_B = \frac{v}{r}$. Az állandó hosszúságú középfelület pontjainak változó szögsebességét

$$\text{integrálja, } \omega = \omega_B = \frac{v}{r} = \frac{1}{2\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{v}{\rho_A(\varphi)} d\varphi,$$

ebben a felfogásban a középfelületegy integráló tengelykapcsoló.



5. Szélhajlás. A hullámkerék sugár, érintő, és hossz irányban alakváltozó elem

$w_{x=l} = w(\varphi)_{x=l}$, $v(\varphi)_{x=l} = -\int w(\varphi)_{x=l} d\varphi$. A hullámkerék végén a $B-B$ síkban a körtől való eltérése elhanyagolhatóan kicsi, az elmozdulások $w_{x=0} = w(\varphi)_{x=0} \approx 0$, $v_{x=0} = v(\varphi)_{x=0} \approx 0$.

A középhenger alkotóiról feltételezzük, hogy a hullámkerék alakváltozása során egyenesek maradnak. A középhenger alkotóinak sugár és érintő irányú elmozdulása a φ szög és a hullámkerék végétől mért x távolság függvényében változik:

$$w_{x=a} = w(\varphi)_{x=l} \frac{a}{l} \quad \text{és} \quad v_{x=a} = v(\varphi)_{x=l} \frac{a}{l}.$$

A középfelület pontjai tengelyirányú elmozdulása a generátor síkjában

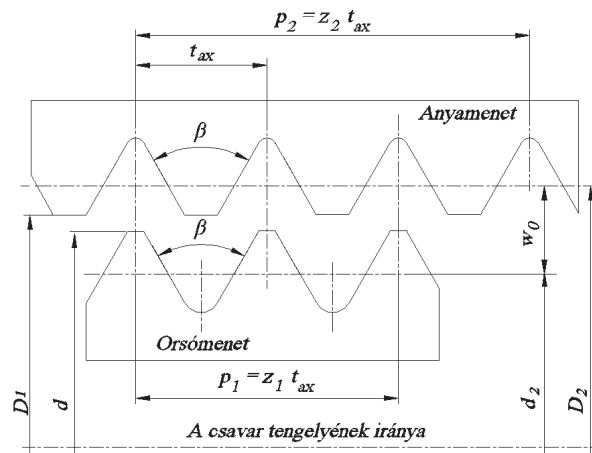
$$u(\varphi)_{x=l} = -r \int \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_{x=l} d\varphi.$$

Mivel a középfelület alkotóinak hosszirányú változása

elhanyagolhatóan kicsi, az alkotók tengelyirányú elmozdulása a hullámkerék hossza mentén állandó, $u(\varphi)_{x=l} = u(\varphi)_{x=a} = u(\varphi)_{x=0}$.

4. Fogaskerék-hullámhajtómű és csavar-hullámhajtómű

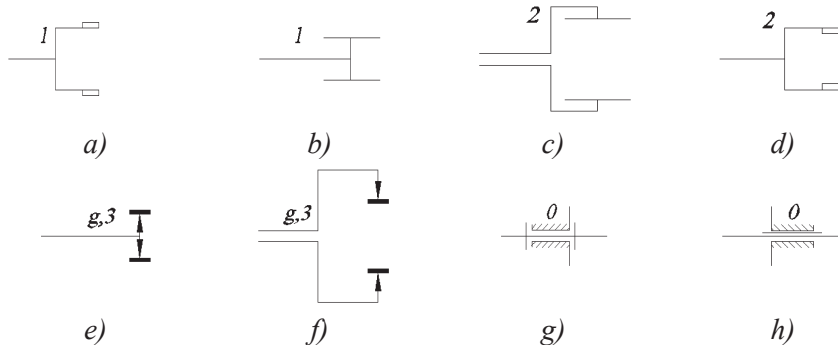
A fogaskerékpár kerekei a fogferdeségtől függően egyenes fogúak, ferde fogúak, vagy a mozgó csavarok menetemelkedési szögének tartományában csavarról és csavaranyáról beszélünk.



6. ábra. A csavar és az anya jellemző méretei

A csavarment és az anyament tengelymetszetét a 6. ábra mutatja. d, d_2 és p_1 a csavar külső átmérője, középátmérője és menetemelkedése, D_2, D_1 és p_2 az anya középátmérője, belső átmérője és menetemelkedése a generátor hatása előtt. A

csavar és az anya tengelyirányú osztása t_{ax} , a menetszög β . s_1 a csavar, s_2 a csavaranya házhoz viszonyított tengelyirányú elmozdulása, φ_g a generátor házhoz viszonyított elfordulása.



7. ábra. A hullámhajtómű elemei

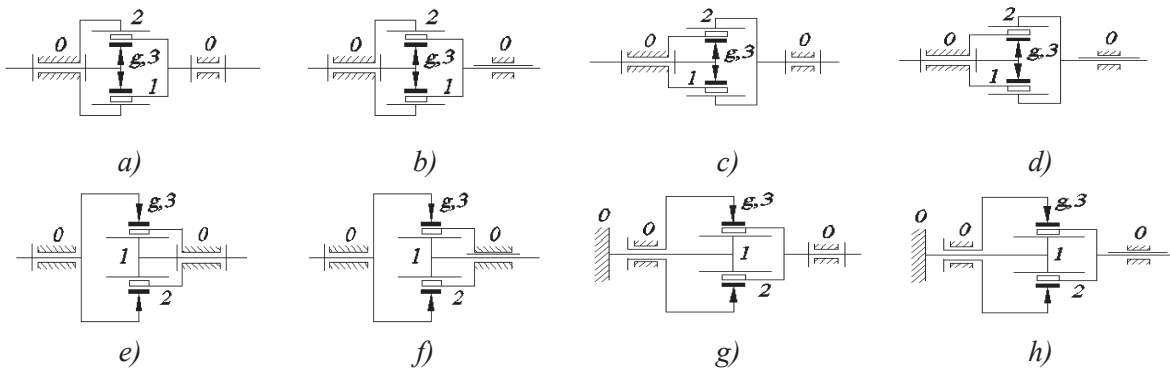
A hajtóműelemeit a 7. ábra mutatja. a) Külső fogazatú hullámkerék, hullámcsavar. b) Külső fogazatú kerék, csavar. c) Belső

fogazatú kerék, anya. d) Belső fogazatú hullámkerék, hullám-anya. e) Belső generátor, belülről hat a hullámkerékre, a hullámcsavarra.

f) Külső generátor, kívülről hat a hullámkerékre, a hullámcsavarra. g) Forgó

mozgás megengedő támasz. h) Haladó mozgást megengedő támasz.

1. táblázat. A fogaskerék-hullámhajtómű és a csavar-hullámhajtómű vázlata és áttétele



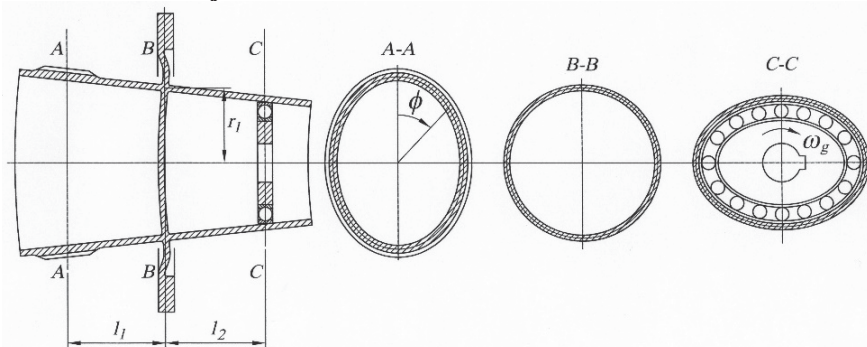
A hajtás iránya

$$\begin{array}{ll}
 g \rightarrow 1 & g \rightarrow 2 \\
 i_{g1} = \frac{\varphi_g}{\varphi_1} = -\frac{z_1}{z_2 - z_1} & i_{axg1} = \frac{\varphi_g}{s_1} = -\frac{2\pi z_1}{(z_2 - z_1)t_{ax}} \\
 i_{g2} = \frac{\varphi_g}{\varphi_2} = \frac{z_2}{z_2 - z_1} & i_{axg2} = \frac{\varphi_g}{s_2} = \frac{2\pi z_2}{(z_2 - z_1)t_{ax}}
 \end{array}$$

Az 1. táblázat a fogaskerék-hullámhajtómű és a csavar-hullámhajtómű áttételét tartalmazza. A fogaskerék-hullámhajtómű hajtó és hajtott eleme forgó, a csavar-hullámhajtómű hajtó eleme forgó, hajtott eleme haladó mozgást végez. A táblázatban a fogaskerék-hullámhajtómű

áttétele $i_{\text{Hajtó Hajtott}} = \frac{\text{Elfordulás}_{\text{Hajtó}}}{\text{Elfordulás}_{\text{Hajtott}}}$, a csavar-hullámhajtómű áttétele $i_{\text{Hajtó Hajtott}} = \frac{\text{Elfordulás}_{\text{Hajtó}}}{\text{Elmozdulás}_{\text{Hajtott}}}$.

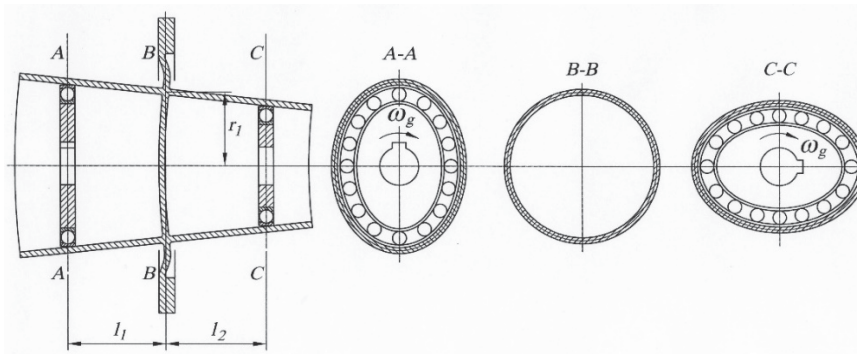
5. Hermetikus hullámhajtómű



8. ábra. Szélhajlás elvén alapuló hermetikus hullámhajtómű

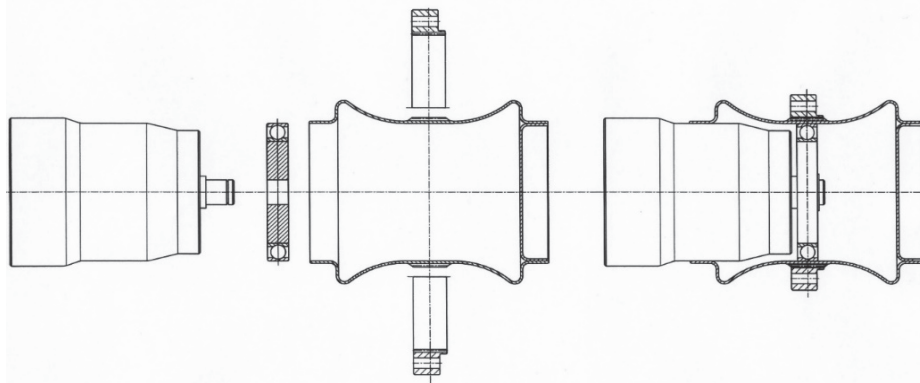
A hermetikus hajtómű rugalmasan alakváltozó hullámkeréke nyugvó tömítésekkel választja el a hajtó oldalt a hajtott oldaltól. A 8. ábrán látható megoldás alapja a szélhajlás, a hajtó és a hajtott oldali kiegyenlítő kapcsoló egyenes alkotói biztosítják a két fél együtt mozgását.

A 8. ábrán a generátor oldali rész a hajtó oldal. A hajtott oldal fogaskerék-hullámhajtómű vagy csavar-hullámhajtómű. A 9. ábra egy hullám-tengelykapcsolót mutat, működésének alapja a szélhajlás. A hajtó és a hajtott oldalt a rugalmasan alakváltozó membrán és nyugvó tömítések választják el.



9. ábra. Szélhajtás elvén alapuló hullám-tengelykapcsoló

6. Hermetikus hullámhajtómű az űrtechnikában



10. ábra. Hermetikus hullámhajtómű

A 10. ábrán a *Lunar Roving Vehicle* (holdjármű) rekonstruált rajza látható. A jármű meghajtását a kerékagyba épített $P=0,186$ kW (0,2 LE) névleges teljesítményű, és $n_{\max}=10000/\text{min}$ szabályozható fordulatszámú motor biztosítja. A motor fordulatszámát $i_{g2} = 80$ áttételű fogaskerék-hajtómű csökkenti. A hullámkerék hermetikusan zárt fogaskerék, a belső fogazatú osztott fogaskerék a kerékagyhoz van rögzítve.

7. Összefoglalás

A hullámhajtómű működésének alapja az ívhajtás, az integrálást, és a szélhajtást lehetővé tevő rugalmas alakváltozás. A cikk a hermetikus hullámhajtómű működésének alapjaival és konstrukciós lehetőségeivel foglalkozik. A hermetikus hullámhajtómű kialakítását a hullámkerék integráló része határozza meg.

9. Felhasznált irodalom

[1] Krisch R.: Síkkerekes hullámhajtóművek fejlesztése. PhD. értekezés. BME Budapest, 2010.

- [2] Musser C.W.: Elastic-Body Mechanics. Machine Design. 1961. No. 6. 150-156. p.
- [3] Musser C. W.: USA Pat. No 2906143
- [4] Musser C. W.: USA Pat. No 2930254
- [5] Házkötő I.: Hullámhajtómű fogazatok határproblémái. Műszaki doktori ért. BME Budapest, 1978, 156 p.
- [6] Péter J.: Fogazott hullámhajtóművek kapcsolódásának vizsgálata: Műszaki doktori értekezés. NME Miskolc, 1981, 174 p.
- [7] Péter József: Fogaskerék-hullámhajtómű és tengelykapcsoló kapcsolódásának vizsgálata. (az MTA Tudományos Minősítő Bizottsága által elfogadott kandidátusi értekezés). Miskolc, 1992. 111 p.
- [8] Terplán Z., Apró F., Antal M., Döbröczöni Á.: Fogaskerék-bolygóművek. Műszaki Könyvkiadó. Bp. 1979. 258 p.

A cikkben és a hozzá tartozó előadásban 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.

CONTENTS

| | | | |
|---|----|---|----|
| 1. Dr. Barányi István: THE INFLUENCE OF THE DIRECTION OF THE ABRASIVE SCRATCHES DURING THE RUNNING-IN STAGE OF THE ABRASION PROCESS..... | 5 | 11. Ecsedi István, Baksa Attila: STATIC ANALYSIS OF NONHOMOGENEOUS ELASTIC CONICAL BODIES..... | 48 |
| 2. Bárdos Ádám, Németh Huba: INTAKE MANIFOLD OXIGEN CONTROL OF A COMMERCIAL VEHICLE DIESEL ENGINE WITH HP-EGR AND EXHAUST THROTTLING..... | 9 | 12. Fazekas Bálint, Goda Tibor: PARAMETER IDENTIFICATION OF HYPER-VISCOELASTIC MODEL FOR RUBBER-LIKE MATERIALS..... | 54 |
| 3. Dr. Bihari János: ANGOL..... | 15 | 13. Ficzer Péter: MEASUREMENT PROBLEMS OF INDIVIDUAL MEDICAL IMPLANTS..... | 58 |
| 4. Bubonyi Andrea, Dr. Bihari Zoltán: ACOUSTICS EXAMINATION OF THE NOISE POLLUTION IN THE ENVIROMENT (CASE-STUDY)..... | 19 | 14. Ficzer Péter, Szabó Gábor, Lovas László, Borbás Lajos: MECHANICAL STRESSING OF INDIVIDUAL MEDICAL-BIOLOGICAL IMPLANTATIONS MADE BY SELECTIVE LASER SYNERGING..... | 62 |
| 5. Dr. Czifra Árpád, Dr. Horváth Sándor: CLASSIFICATION OF ENGINEERING SURFCES BASED ON MICROTOPOGRAPHIC PARAMETERS..... | 23 | 15. Gárdonyi Péter, Dr. Kátai László, Dr. Szabó István: INNER FRICTION LOSS INVESTIGATION OF V-BELTS NEAR OPERATIONAL CONDITIONS..... | 66 |
| 6. Darabos Anita: „CUT OF SY' S RIG / BATTLE” FOR PLANTS, ANIMALS, PEOPLE..... | 27 | 16. Dr. Gáti József, Dr. Horváth Sándor: DIE BÄNKI-WASSERTURBINE IST 100 JAHRE ALT..... | 70 |
| 7. Bakosné Diószegi Mónika: COMPARISON OF MECHANICAL PRETREATMENT METHOD OF ORGANIC WASTE IN WASTEWATER PLANT..... | 31 | 17. Dr. Hegedűs József: THE GENERALIZATION OF MACHINE DESIGN WITH THE AID OF VALUE FORMATION..... | 74 |
| 8. Debreczeni Dániel, Dr. Kamondi László: Modifikation der Zahnradverbindungen in der Fahrzeugindustrie..... | 36 | 18. Hetey Csaba, Dr. Szlivka Ferenc: IMPACT OF THE WINDTURBINE'S HUB GEOMETRY TO THE TORQUE..... | 84 |
| 9. Domonyi Erzsébet, Prof. Dr. M. Csizmadia Béla, Prof. Dr. habil Telekes Gábor: THE TEMPERATURE DIFFERNECE OF THE REINFORCED MASS CONCRETE STRUCTURES IN A FUNCTION OF THE APPLIED REBAR QUANTITY..... | 40 | 19. Dr. Horváth Sándor, Dr. Czifra Árpád: EIN MANN, DER DIE UNGARISCHE MASCHINENINDUSTRIE GROSS GEMACHT HAT: ÁBRAHÁM GANZ STARB VOR 150 JAHREN..... | 88 |
| 10. Dr. Dömötör Csaba: CONNECTIONS BETWEEN SHAPE AND FUNCTION IN NATURE..... | 44 | 20. Péter József, Németh Géza: HERMETIC DRIVES..... | 92 |

GÉP

INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of
Mechanical Engineering

Dr. Döbröczeni Ádám

President of Editorial Board

Vesza József

General Editor

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

Deputy

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Timár 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 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 Döbröczeni, 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.gte.mtesz.hu

Web: http://www.gepujsag.hu * Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Igaz Jenő, Managing Director

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: www.posta.hu WEBSHOP

(https://eshop.posta.hu/storefront/), via e-mail: hirlapelofigetes@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 hirlapelofigetes@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

14.30-14.45 Károsi Zoltán DLA egyetemi adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gép- és Terméktervezés Tanszék: A keresztény ikonról a design ikonig.

14.45-15.00 Darabos Anita DLA, adjunktus BME Gép- és Terméktervezési Tanszék: Külcsin, Küllem / Harc Nővényeknek, Állatoknak, Embereknek.

15.00-15.15 Bakosné Dr. Diószegi Mónika egyetemi adjunktus Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar: Comparison of mechanical pretreatment method of organic waste in wastewater plant.

15.15-15.30 Dr. Ficzer Péter egyetemi adjunktus BME – JSZT, Dr. Szabó Gábor egyetemi adjunktus BME-PT, Dr. Lovas László egyetemi docens BME – JSZT, Dr. Borbás Lajos Professor emeritus Edutus Főiskola MIF: SLS eljárással elérhető anyagjellemzők egyénre szabott orvosi implantátumok méretezéséhez.

15.30-15.45 Dr. Ficzer Péter egyetemi adjunktus BME-JSZT: Egyedi orvosi implantátumok méretezési problémái.

15.45-16.00 Gárdonyi Péter egyetemi tanársegéd, Dr. Szabó István egyetemi tanár, Balassa Zsolt hallgató, Dr. Kátai László egyetemi docens Szent István Egyetem Mechanikai és Géptani Intézet: Ékszíj belső súrlódási veszteségének vizsgálata üzemhasonló körülmények között.

16.00-16.15 Szabó Gyula PhD hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék, Dr. Váradi Károly egyetemi tanár Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék, Dr. Felhős Dávid, csoportvezető, Műszaki Számítások, Knorr-Bremse Vasúti Jármű Rendszerek Hungária Kft.: Száltekeresztelt kompozit tömlő horpadása.

16.15-16.30 Gróza Márton PhD hallgató BME Gép- és Terméktervezési Tanszék, Dr. Váradi Károly BME Gép- és Terméktervezési Tanszék: Felületi hibák hatása gömbragított vasöntvények kifáradási élettartamára.

16.30-16.45 Heteyi Csaba PhD hallgató, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Dr. habil. Szlivka Ferenc, egyetemi tanár, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar: Szélturbina burkolatgeometriájának hatása a nyomatékra.

16.45-17.00 Fazekas Bálint PhD hallgató, Dr. Goda Tibor egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék: Gúmszerű anyagok hiper-viszkoelasztikus anyagmodell paramétereinek meghatározása.

17.00 A szekció munkájának értékelése

I. SEKCIÓ, I. EMELET, DEÁK-TEREM 2017. NOVEMBER 10. (PÉNTEK) DÉLELŐTT 9.00-TÓL

Szekcióvezető: Dr. Szabó Ferenc János egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet, **Dr. Horváth Sándor** c. egyetemi tanár, Óbudai Egyetem

9.00-9.15 Dr. Ecsedi István Professor Emeritus, Dr. Baksa Attila egyetemi docens, Miskolci Egyetem Műszaki Mechanikai Intézet: Inhomogén rugalmas anyagú kúpok statikai vizsgálata.

9.15-9.30 Dr. Horváth Sándor c. egyetemi tanár, Dr. Czifra Árpád egyetemi docens Óbudai Egyetem: Aki a magyar gépipart nagyra tette: 150 éve halt meg Ganz Ábrahám.

9.30-9.45 Dr. Horváth Sándor c. egyetemi tanár, Dr. Gáti József c. egyetemi docens Óbudai Egyetem: 100 éves a Bánki turbina.

9.45-10.00 Dr. Szabó Ferenc János egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Rugók optimális tervezése.

10.00-10.15 Dr. Jálics Károly egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Poroelasztikus anyagok akusztikai vizsgálata szimulációval és méréssel.

10.15-10.30 Dr. Takács Ágnes egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Környezet szempontú ajánlások a koncepcionális tervezés során.

10.30-10.45 Dr. Varga Gyula egyetemi docens, Ferencsik Viktória PhD hallgató Miskolci Egyetem, Gyártástudományi

Intézet: Gyémántvasalt munkadarab-felületek keménységének és maradó feszültségének vizsgálata.

10.45-11.00 Dr. Dömötör Csaba egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Forma és funkció kapcsolatai a természetben.

11.00-11.15 Dr. Kelemen László adjunktus Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: A Pneumobil verseny 10 éve az egyetemen.

11.15-11.30 Dr. Barányi István tanársegéd Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépszerkeztetési és Biztonságtudományi Intézet: Az abráziós karcok irányának befolyásoló hatása a kopás kezdeti szakaszán.

11.30-11.45 Domonyi Erzsébet tanársegéd Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépszerkeztetési és Biztonságtudományi Intézet, Prof. Dr. M. Csizmadia Béla, egyetemi tanár SZIE-GEK Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék, Prof. Dr. habil. Telekes Gábor főiskolai tanár SZIE-YMEK Építőmérnöki Intézet: Vasbeton műtárgyak kötés közbeni hőmérséklet különbsége eltérő betonacél mennyiségek esetén

11.45-12.00 Bárdos Ádám tanszéki mérnök, Dr. Németh Huba egyetemi docens Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépárműtechnológia Tanszék: Haszonjáromú dízelmotor szivótartályi oxigénkoncentrációjának szabályozása magasnyomású EGR szeleppel és kipufogó oldali fojtással.

12.00-12.15 Németh Géza egyetemi adjunktus Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Kent acélfelület-párok sűrűdés-vizsgálata

12.15-12.30 Tóth Sándor Gergő PhD hallgató, Tóth Dániel tanársegéd, Dr. Takács György egyetemi docens, Dr. Szilágyi Attila egyetemi docens ME Szerszámgépek Intézeti Tanszéke: Kúpos hidrosztatikus csapágyazások vizsgálata.

12.30-12.45 Debreczeni Dániel PhD hallgató, Dr. Kamondi László címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Modifikation der Zahnradverbindungen in der Fahrzeugindustrie.

12.45-13.00 Sipkás Vivien PhD hallgató, Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella egyetemi tanár Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Mikrokapcsolók élettartamának vizsgálata.

13.00 Dr. Péter József c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet: Értékelés. A Géptervezők és Termékfejlesztők XXXIII. Szemináriumának értékelése és bezárása.

A GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXXIII. SZEMINÁRIUMÁNAK SZERVEZŐI:

Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella
MTA doktora, habil intézetigazgató
Dr. habil. Döbröczöni Ádám egyetemi tanár, professor emeritus
Dr. Péter József c. egyetemi tanár, a szeminárium titkára
Dr. Siposs István c. egyetemi tanár
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.

CÍMÜNK:

GÉPTERVEZŐK ÉS TERMÉKFEJLESZTŐK XXXIII. SZEMINÁRIUMA

Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

H-3515 MISKOLC-EGYETEMVÁROS

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

E-mail: machpj@uni-miskolc.hu



II. SZEKCIÓ, I. EMELET, NAGYTEREM 2017. NOVEMBER 10. (PÉNTEK) DÉLELŐTT, 9.00-TÓL

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

9.00-9.10 Jakab Tamás Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: GF 1530 JH Lézervágó gép ventilációjának a megtervezése.

9.10-9.20 Zabos Tamás Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Formula Student versenyautó futómű geometriájának elemzése.

9.20-9.30 Kriston J. Balázs Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Ablakok hőszigetelési tulajdonságainak vizsgálata.

9.30-9.40 Bartha István Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Két szintet áthidaló emelőszerkezet.

9.40-9.50 Fejér Norbert Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Polisztirol vágó berendezés tervezése.

9.50-10.00 Szabó Zoltán Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Vasalógép tervezése.

10.00-10.10 László Tibor Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Sodrottfül-alapanyag gyártó gép tervezése.

10.10-10.20 Bubonyi Andrea Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Felvonószerkezetek rezgéstani vizsgálata.

10.20-10.30 Derekas Csaba Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Hobby CNC rajzológép tervezése.

10.30-10.40 Ferenci Dávid Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: PET-palack aprító célgép tervezése.

10.40-10.50 Molnár Fanni Csilla Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Vidámparkí játék fejlesztése.

10.50-11.00 Tóth Dániel Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Mozgatható, emelhető ipari szerelőállvány tervezése.

11.00-11.10 Fedor Áron Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Kompozit íj tervezése és optimalizálása.

11.10-11.20 Székely Krisztina Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Lineáris mozgás generáló mechanizmus egészségügyi környezetben.

11.20-11.30 Gyökér Gábor: Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató, Általános géptervező szakirány: Motoros hajtás tervezése fall napellenzőhöz.

11.30-11.40 Suhaj Anett Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató: Egyszeresen átlapolat ragasztott kötése vizsgálata dinamikus igénybevételre.

11.40-11.50 Tarczali Marcell Boldizsár Miskolci Egyetem gépészmérnök hallgató Az aerodinamika fejlődése az autósportban.

11.50 A szekció munkájának értékelése.

