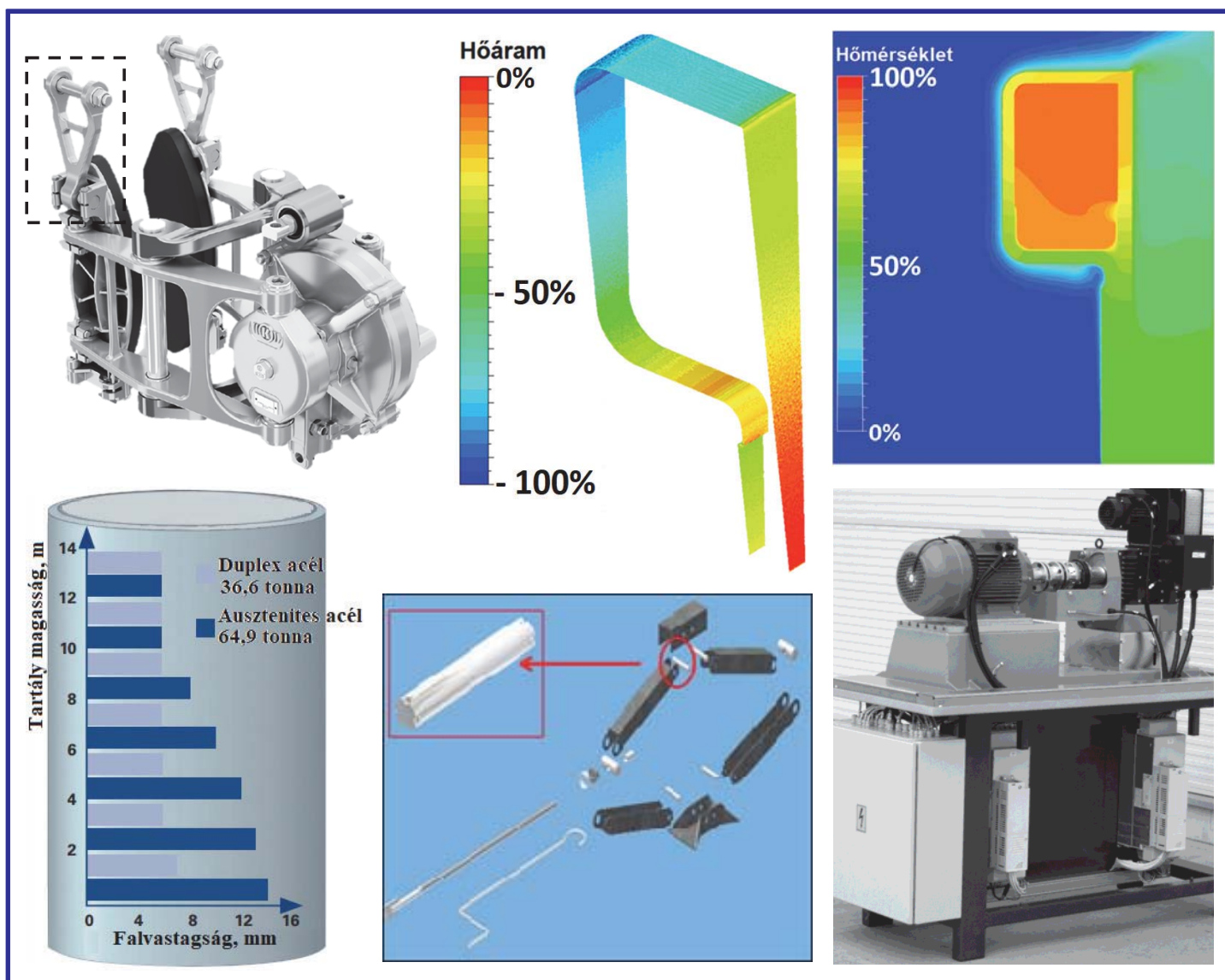


# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



**IV. GÉPÉSZETI SZAKMAKULTÚRA KONFERENCIA**  
**„A GÉPÉSZETI FEJLESZTÉS AZ ÖTLETTŐL A HASZNOSULÁSIG”**  
 BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM R ÉPÜLET I. EM. 113 – KONFERENCIA PROGRAM

**PLENÁRIS ÜLÉS**

9:30	Dr. Takács János GTE elnök	A megjelentek üdvözlése, a konferencia nyitó-indító gondolatai
9:40	Dr. Czigány Tibor dékán	A konferencia üdvözlése
9:45	Dr. Mezei Ferenc akadémikus Mirrotron Kft.	Új korszak a neutronos anyagvizsgálat területén az iparban: kompakt neutronforrások akár a helyszínen
10:10	Dr. Farkas Zsolt BME GT3	Ipar 4.0 oktatása a géptervező képzésben
10:35	Ördögh László Vivelab ERGO Kft.	1. Megatrendek, alapvető perspektívák

**SZEKCIÓ ÜLÉSEK**

1. SZEKCIÓ ERGNÓMIA		2A. SZEKCIÓ ÉRTÉKELEMZÉS ÉS OKTATÁS		3A. SZEKCIÓ MODERN TECHNIKA A GÉPÉSZETBEN		
Szekció elnök: Ördögh László		Szekció elnök: Dr. Váradi Károly		Szekció elnök: Dr. Drégelyi-Kiss Ágota		
11:30	Mischinger Gábor Vivelab ERGO Kft.	2. A jövő termékei és az ergonómia	Dr. Nádasdi Ferenc – Dr. Keszi – Szeremlei Andrea Dunaújvárosi E.	Termék – és – technológia együttes értékelése – egy ipari fejlesztés példáján	Dr. Horváth R. – Fábán E. R. – Nagy A. I. – Terek P.	Duplex acélok forgácsolhatósági problémái
11:55	Dr. Szabó Gyula Óbudai Egyetem BGK	3. A munka jövője és az ergonómia	Tóth József Hepenix Kft.	Az ipari automatizálás és robotizáció új területei és Ipar 4.0 vonatkozásai	Dr. Czifra Árpád Óbudai Egyetem BGK	Műszaki felületek bifraktál viselkedése
12:20	Dr. Jókai Erika Vivelab ERGO Kft.	5. Megváltozott munkaképesség	Dr. Czifra György – Dr. Mikó Balázs Óbudai Egyetem BGK	Tetteink az Ipar 4.0 egyetemi oktatásának érdekében	Dr. Lelkes Márk Rába Futómű Kft.	Intelligens rendszerek a jövő futóműveiben.
12:45	Komlóssy Tekla Vivelab ERGO Kft.	6.1 Fókusz teszt	Dr. Marcsa Dániel – Dr. Bán Péter Energotest Kft.	Villamos hajtások oktatási és kutatási bázisának kialakítása a Széchenyi István egyetemen	Venczel Márk – Dr. Veress Árpád BME	Viszkózus torziós lengéscsillapítók termikus vizsgálata hőmérséklet-csökkentés céljából
13:10	Dr. Haidegger Géza MTA SZTAKI	A biotechnológia előretörése az európai gyártástechnológia jövőképében.	Bakosné Dr. Diószegi Mónika Óbudai Egyetem BGK	Gyakorlatorientált mérnökképzés megvalósítása a Mechanika oktatásban	Béres Márton BME	Egyedi vápakosár fejlesztése a mozgásviszonyok és terhelési modellek elemzésével.
1. SZEKCIÓ VIRTUÁLIS ERGNÓMIA		2B. SZEKCIÓ VASÚTI FÉKRENDSZEREK		3B. SZEKCIÓ ADDITÍV GYÁRTÁS		
Szekció elnök: Ördögh László		Szekció elnök: Dr. Csiba József		Szekció elnök: Dr. Haidegger Géza		
14:20	Yáhya Pákyar Vivelab ERGO Kft.	6.2 Az emberszimuláció működése	Metál Attila Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek Kft.	Termékfejlesztés fejlődése egy multinacionális K+F vállalatnál – Húsz év a Knorr-Bremse budapesti fejlesztő részlegén	Dr. Borbás Lajos – Dr. Ficzer Péter EDUTUS Egyetem	Az Ipar 4.0 hatása az egyénre szabható implantáció tervezési folyamatára
14:45	Hidasi Péter Vivelab ERGO Kft.	6.3 Virtuális gyártás modellezés	Gróza Márton – Dr. Váradi Károly – Dr. Felhős Dávid – Jónás Szabolcs BME Gép- és Terméktervezés Tanszék Knorr-Bremse Vasúti J. Kft.	Felületi hibák hatása gömbgrafitos vasöntvények üzemi szilárdságára	Dr. Drégelyi-Kiss Ágota Óbudai Egyetem BGK	Additív gyártással készült alkatrészek vizsgálata CT-vel
15:10	Babicsné Horváth Mária Vivelab ERGO Kft.	6.4 Munkafolyamat szimuláció és optimalizáció	Erdődi István Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek Kft.	Biztonsági szelepek stabilitásvizsgálata	Dr. Bánlaki Pál – Obholzer Flórián BME GJT	3D additív fém implantátumok azonosítási lehetőségei
15:50	Balla Bianka Vivelab ERGO Kft.	6.5 Virtuális verifikáció	Hauer Balázs Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek Kft.	Optimalizált szerkezeti elem tervezése a funkciók összevonásával	Acél Artúr – Dr. Takács János BME GJT	Fémporból lézersugaras additív gyártással előállított minősített implantátumok, modellek, mechanikai tulajdonságainak vizsgálata
16:15	Jármai Zsófia Vivelab ERGO Kft.	6.6 ViveLab	Ibos Igor – Kozma Márton Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek Kft.	Működtetés-stabilitás továbbfejlesztése vasúti gyorsfékező szelepnél	Varga Laura Georgina – Dr. Takács János BME GJT	Fémporból lézersugaras additív gyártású implantátumok felületkezelésre optimált kialakítása
16:45	Dr. Hegedűs József	Amit az értékelésről mindenkinek tudnia kell	Jónás Sz. – Hauer B. – Fülöp A. – Krizsma Sz. – Dr. Felhős D. – Dr. Kovács A. – Dr. Vancsay Gy. Knorr-Bremse Vasúti J. Kft.	Függvas manuális és számítógéppel segített topológiai optimalása és végelemes analízise	Varga Ferenc László – Markovits Tamás BME GJT	Lézersugaras, fémporágyas additív gyártásnál a munkatér minőség egyenletesség vizsgálata
17:10	A konferencia zárása. A szekcióelnökök rövid beszámolója, a konferencia értékelése.					

# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

**elnök**

Vesza József

**főszerkesztő**

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**főszerkesztő-helyettesek**

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Timár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

### TISZTELT OLVASÓ!

Idén január utolsó napján tartotta a GTE Konstruktív Szakosztálya a IV. Gépészeti Szakmakultúra Konferenciát.

A 2015-ben megkezdett konferencia sorozat minden évben egyre nagyobb érdeklődést keltett. A 3 plenáris előadás mellett 3 szekcióban 33 előadás hangzott el. A 66 regisztrált résztvevő mellett 5 kiállító cég támogatta részvételével a konferencia színvonalát.

A gépészeti szakmakultúra magában foglalja mindazokat a módszereket, eljárásokat, technikákat, amelyeket a gépészeti innovációs folyamat résztvevői alkalmaznak.

A plenáris ülésen elhangzó előadások közül az első az anyagvizsgálat új korszakát mutatta be, a kompakt neutronforrások alkalmazásával. A második előadás az Ipar 4.0 oktatását mutatta be a géptervező képzésben. A harmadik előadás az első szekció bevezető előadása volt az ergonómia alkalmazásáról.

A szekció előadásokat 3 szekcióban tartottuk, 5 témában:

- 1. szekció: *Ergonómia*. Az ergonómia bemutatása 9 előadásban. A jövő termékeinek, a munka jövőjének az ember és a munkafolyamat szimulációjának témáját mutatták be az előadások. Az előadásokat a Vivelab ERGO Kft. munkatársai tartották. Technikai okokból ebben a szekcióban hangzott el még két előadás: Haidegger Géza: A biotechnológia előretérése az európai gyártástechnológia jövőképében, Hegedűs József: Amit az értékelemzésről mindenkinek tudnia kell.
- 2A. szekció: *Értékelemzés és oktatás*. Az első előadás az értékelemzéssel foglalkozott. A többi előadás az Ipar 4.0 és az oktatás témájában hangzott el.
- 2B. szekció: *Vasúti Fékrendszerek*. Az előadásokat a Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek Kft. munkatársai tartották. Érdekes előadások hangzottak el a fékrendszer fejlesztés témában.
- 3A. szekció: *Modern technika a gépészetben*. Technikai okokból az additív gyártás szekcióból is egy előadás ebbe a szekcióba került.
- 3B. szekció: *Additív gyártás*. Az additív gyártás gyorsan fejlődő területe az egészségügyi implantátumok fejlesztése. Hat előadás hangzott el a témában, ezek egy része a BME-n a témában készített hallgatói dolgozatok ismertetése volt. De hallhattunk az additív gyártással készült alkatrészek CT-vizsgálata témában is egy előadást.

Konferenciánk sikerére alapozva tervezzük, hogy 2020-ben az V. Gépészeti Szakmakultúra Konferenciát is megszervezzük.

*Weszely István*  
a Konferencia szervező titkára

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

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

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

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

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

Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.

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

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

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

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

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**A megjelent cikkek lektoráltak.**

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

# TARTALOM

1. Bakosné Diószegi Mónika:  
**GYAKORLATORIENTÁLT MÉRNÖKKÉPZÉS  
MEGVALÓSÍTÁSA A MECHANIKA  
OKTATÁSBAN** ..... 5  
*Az ipar elvárja a frissen diplomázott mérnöktől a magas színvonalú tudást és a megszerzett tudás gyakorlati alkalmazását. Az egyetemi oktatásnak meg kell felelnie ezen elvárásoknak, mindemellett alkalmazkodnia kell a diákok viselkedési kultúrájához.*
2. Dr. Czifra György, Dr. Mikó Balázs:  
**TETTEINK AZ IPAR 4.0 EGYETEMI  
OKTATÁSÁNAK ÉRDEKÉBEN** ..... 9  
*Szerzők ismertetik, hogy az előző évben mit sikerült elérni az oktatás területén, milyen módszerekkel sikerült az érdeklődő hallgatók részére bemutatni az Ipar 4.0 alapvető kérdéseit, problémáit és lehetőségeit. Közlik egy véleménykutatás eredményeit, egy visszajelzést a hallgatók részéről, hogy milyen mértékben sikerült teljesíteni az elvárásokat.*
3. Dr. Haidegger Géza:  
**A BIOTECHNOLÓGIA ELŐRETÖRÉSE  
AZ EURÓPAI GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA  
JÖVŐKÉPÉBEN** ..... 13  
*A ManuFuture Európai Technológiai Platform az európai gyártás víziójával, kutatási stratégiájával, valamint megvalósítási folyamatával foglalkozik. Szerzők bemutatják a legfontosabb kutatási területeket. Az európai gyártástechnológiákban jelentős értéknövelő szerepe lehet a biotechnológia előretörésének.*
4. Horváth Richárd, Fábrián Enikő Réka,  
Nagy András István, Terek Pál:  
**KORRÓZIÓÁLLÓ DUPLEX ACÉLOK  
FORGÁCSOLHATÓSÁGI PROBLÉMÁI** ..... 19  
*Napjainkban számos kutatás foglalkozik a duplex acélok forgácsolási és forgácsolhatósági kérdéseivel. Az elvégzett vizsgálatok eredményei arra utalnak, hogy a lapkakopások részben a superduplex korrózióálló acélok kiválásainak jelenlétével, részben ezen acéltípus előállítási, öntési jellegzetességeivel hozható kapcsolatba.*
5. Jónás Szabolcs, Krizsma Szabolcs,  
Dr. Felhős Dávid:  
**FÜGGVAS INTUITÍV ÉS SZÁMÍTÓGÉPPÉL  
SEGÍTETT TOPOLOGIAI OPTIMÁLÁSA ÉS  
VÉGESELEMES ANALÍZISE** ..... 25  
*A tanulmány egy hagyományos vasúti fékegység felfüggesztő elemének, a függvasnak az optimálási folyamatát taglalja. Szerzők célja az volt, hogy egy tömegcsökkentett és egyben kifáradási szilárdságára nézve is megfelelő, 3D fém nyomtatással gyártható alkatrészt fejlesszenek ki.*
6. Dr. Marcsa Dániel, Bán Péter:  
**VILLAMOS HAJTÁSOK OKTATÁSI ÉS KUTATÁSI  
BÁZIS KIALAKÍTÁSA A SZÉCHENYI ISTVÁN  
EGYETEMEN** ..... 30  
*A Széchenyi Egyetemen zajló fejlesztések egyik fókuszpontja az elektromos és hibrid hajtásrendszerekhez kapcsolódó oktatási és kutatási infrastruktúra modernizálása. Az előadás az Energotest Kft. által elkészített 11 fékpad kivitelezésével és bemutatásával kezdődik, majd az eszközök alkalmazásával folytatódik.*
7. Mezei Ferenc:  
**ÚJ KORSZAK A NEUTRONOS ANYAG-VIZSGÁLAT  
TERÜLETÉN AZ IPARBAN: KOMPAKT  
NEUTRONFORRÁSOK, AKÁR  
A HELYSZÍNEN** ..... 36  
*A neutronvizsgálati módszerek fejlődése révén ma az előállított neutronok 1000...10000-szer nagyobb határfokkal használhatók fel vizsgálatokban, mint a szokásos neutronforrásoknál akár csak 20 évvel ezelőtt. A vizsgálatok az új, kompakt neutronforrásokkal helyszínen is végezhetők.*
8. Venczel Márk, Dr. Veress Árpád:  
**A VISZKÓZUS TORZIÓS LENGÉSCSILLAPÍTÓK  
TERMIKUS VIZSGÁLATA HŐMÉRSÉKLET-  
CSÖKKENTÉS CÉLJÁBÓL** ..... 38  
*A torziós lengéscsillapítók biztonságkritikus alkatrészeknek minősülnek a gépjárműiparban. A jelen munka egy lengéscsillapító csatolt áramlástan és termikus szimulációját mutatja be az eredmények részletes magyarázatával, különös tekintettel a hűtés hatékonyságának javítására.*
9. Dr. Ficzer Péter, Dr. Kovács Norbert Krisztián, Dr. Szabényi Gábor, Dr. Borbás Lajos:  
**ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁVAL ELŐ-  
ÁLLÍTOTT NAGYRUGALMASSÁGÚ ANYAGOK  
TERHELHETŐSÉGI VIZSGÁLATA** ..... 43  
*A rugalmas anyagok a gépészmérnöki gyakorlat sok területén használatosak. Legismertebbek a tömítő- és csillapító anyagként való alkalmazásuk. Tervezési fázisban terhelhetőségi méretezésükhöz az anyagtulajdonságok ismeretére van szükség. Jelen cikk a SoftPLA fantázianevű anyag vizsgálatát mutatja be.*

# GYAKORLATORIENTÁLT MÉRNÖKKÉPZÉS MEGVALÓSÍTÁSA A MECHANIKA OKTATÁSBAN

## IMPLEMENTING PRACTICAL ENGINEER TRAINING IN MECHANICS EDUCATION

Bakosné Diószegi Mónika egyetemi adjunktus /1081 Budapest, Népszínház utca 8.

### ÖSSZEFOGLALÁS.

Az ipar elvárja a frissen diplomázott mérnöktől a magas színvonalú tudást. Fontosnak tartja továbbá, ennek a tudásnak a gyakorlati alkalmazását.

Az oktatásnak meg kell felelnie ezen elvárásoknak, mindemelett alkalmazkodnia kell az egyetemen tanuló diákok viselkedési kultúrájához.

Sikeresen együttműködni csak motivált hallgatóval lehet. Emiatt kulcsfontosságú az érdeklődés felkeltése, amely végigkíséri az egyetemi tanulmányokat, a szakmai fejlődéshez való hozzáállást. Az egyes alaptárgyak hasznosságának beláttatása, az ismeret elsajátításának fontossága, a munkaerőpiac igényeinek megfelelően. Mindez a mai fiatalokhoz közel álló gyakorlatias kivitelben, megtámogatva - a nap szinte 24 órájában általuk használt- infokommunikációs eszközökkel.

### ABSTRACT.

The industry expects from a newly graduated engineer high quality knowledge. It also considers it important to use this knowledge in practice.

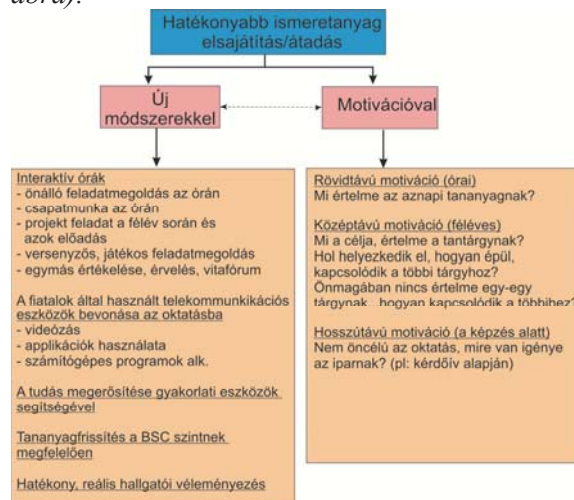
Education must meet these expectations, and it must adapt to the behavioral culture of current students. A motivated student can successfully collaborate. Because of this It is crucial to stimulate motivation that accompanies university studies and attitudes towards professional development. It is important to understand the usefulness of basic subjects, the importance of acquiring knowledge, in accordance with the needs of the labor market. All this needs practical implementation near to today's youth, with the help of infocommunication tools they use for almost 24 hours a day.

### 1. BEVEZETÉS

Oktatóként feladatunk a szakmai alapozó tantárgyak órarendi keretein belül is foglalkoznunk a tanulás hatékonyságának növelésével. A finn oktatási rendszer sikere azon alapszik, hogy az akkori iskolafejlesztési

terekvések egyik fő témája a dinamikusabb tudásemélet gyakorlati megvalósítása volt. [1]

A tanárnak kell olyan módszert találnia, amivel képessé teszi az elméleti tudását az adott gyakorlati szituációban alkalmazni. Ugyanakkor az általam elképzelt oktatási módszernek több célt is kell szolgálnia (1. ábra).



1. ábra Az ismeretanyag hatékonyabb elsajátítása (saját ábra)

Az ismeretanyag hatékony elsajátítása növelhető:

a., Új módszerek bevezetésével

- interaktív órák, feladatok,
- tele és infokommunikációs eszközök alkalmazása,
- a tanultak megerősítése a gyakorlati alkalmazással,
- tananyag frissítés a műszaki fejlődés aktuális állása alapján,
- a hallgatók véleményezése a bevezetett módszerekről.

b., A motiváció serkentésével

- rövidtávon gondolkodva, az aktuális tantárgy aznapi tananyagának gyakorlati példán történő bemutatása,
  - középtávon gondolkodva, az aktuális tantárgy fontossága, a többi tantárgyhoz való kapcsolata,
  - hosszútávon gondolkodva, a tanultakat, hogyan tudja alkalmazni majd a munkája során.
- A módszert több, általam tanított tantárgy közül a Mechanika Szilárdságtan gyakorlati óráján vezettem be. A hagyományos

mechanikaoktatás túlzottan is elméleti. A hallgatók sok esetben nem tudják összekötni az órán hallott tananyagot a valósággal. Szempont a valós életből vett szerkezet mechanikai modelljének felismerése, a csapatmunka megismerése, a tudás gyakorlati alkalmazása, sikerélmény szerzés, és az eredmények prezentálása. Mindez akár a tanítási óra keretein kívül, önálló megoldandó házi feladatként. A cikk bemutatja, hogyan valósítható meg a Mechanika tantárgy oktatásába integrált Csoportos Projekt Feladat kísérleti alkalmazása, valamint annak eredménye.

## 2. A MECHANIKA TANTÁRGY SZILÁRDSÁGTAN GYAKORLATI ÓRÁJÁNAK MEGÚJÍTÁSA ÚJ MÓDSZEREK BEVEZETÉSÉVEL

Egy Diplomás Pályakövető Rendszer (DPR) 2017-es felmérése alapján: „A válaszadók közel kétharmada azt tapasztalja, hogy a tanulmányai alatt elsajátított ismereteket, a saját, illetve a kapcsolódó szakterületeken szerzett kompetenciáit, készségeit tudja a leginkább hasznosítani a munkája során, és csak egytizedük gondolja úgy, hogy egészen más szakterületen szerzett ismeretekre lenne szüksége a munkája során.” Ebben 32 intézmény vett részt – közülük 14-ben érhető el műszaki képzés –, és közel 21 ezer 2012-ben, 2014-ben vagy 2016-ban végzett hallgató töltötte ki a kérdéssort. [2]

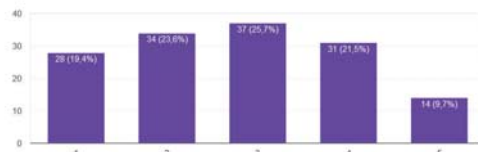
Tehát a műszaki oktatás tartalmi alapjai fontosak és hasznosak is, ennek ilyen irányú reformálása nem szükséges.

Mivel specifikusan a saját intézményünkben tűztem ki célul a tanítás módszertani változtatást, emiatt nem történt hagyományos értelemben vett irodalomkutatás. Arra törekedtem, hogy feltárjam az Óbudai Egyetem Gépész karán történő oktatásában, vannak-e olyan hiányosságok, amelyek az ipar részéről elvárásaként jelennek meg. Kollégáimmal együtt összeállítottunk egy kérdőívet a néhány évvel korábban végzett hallgatóink számára. A hiteles visszajelzést tőlük vártuk, hiszen az iparban eltöltött munka során a hiányosságokra ők adhatnak egyértelmű iránymutatást.

Ebből látható alább néhány konkrét kérdés és a rájuk adott válaszok grafikus ábrázolása (2-6. ábra).

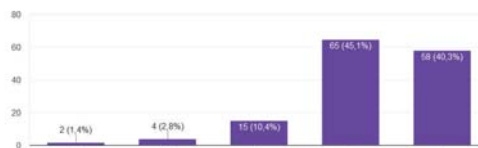
4. Kérjük értékelje, hogy milyen szintű felkészítést kapott az egyetemen a csapatban történő munka szempontjából!

144 válasz



4a. Ön szerint mennyire fontos a fenti felkészítés a szakmai érvényesülés szempontjából?

144 válasz



2. ábra Kérjük, értékelje, hogy milyen felkészítést kapott az egyetemen a csapatban történő munka szempontjából!

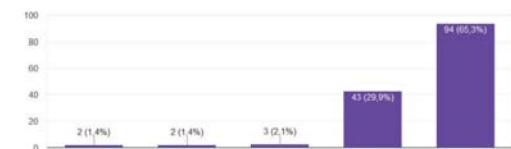
6. Kérjük értékelje, hogy milyen szintű felkészítést kapott az egyetemen a gyakorlati/alkalmazott ismeretek szempontjából!

144 válasz



6a. Ön szerint mennyire fontos a fenti felkészítés a szakmai érvényesülés szempontjából?

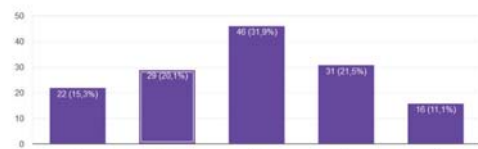
144 válasz



3. ábra Kérjük, értékelje, hogy milyen szintű felkészítést kapott az egyetemen a gyakorlati/alkalmazott ismeretek szempontjából!

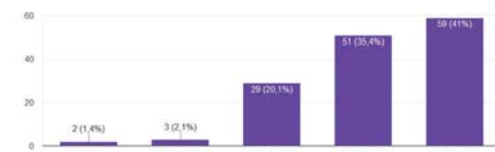
10. Kérjük értékelje, hogy milyen szintű felkészítést kapott az egyetemen a kreativitás szempontjából!

144 válasz



10a. Ön szerint mennyire fontos a fenti felkészítés a szakmai érvényesülés szempontjából?

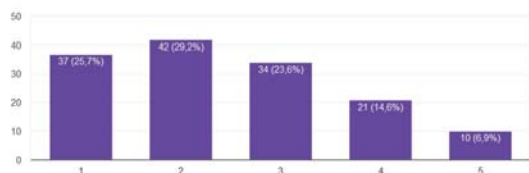
144 válasz



4. ábra Kérjük, értékelje, hogy milyen szintű felkészítést kapott az egyetemen a kreativitás szempontjából!

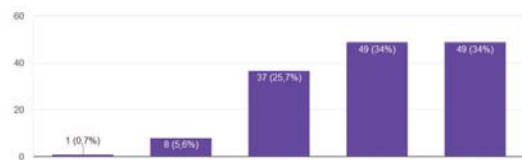
11. Kérjük értékelje, hogy milyen szintű felkészítést kapott az egyetemen az előadóképesség szempontjából!

144 válasz



11a. Ön szerint mennyire fontos a fenti felkészítés a szakmai érvényesülés szempontjából?

144 válasz



5. ábra Kérjük, értékelje, hogy milyen szintű felkészítést kapott az egyetemen az előadóképesség szempontjából?

A kérdőív minden kérdése két részből áll. A fő rész tartalmazza az egyetemen kapott felkészítés értékelését az adott szempont szerint, az a., részében pedig arra kérdeztünk rá, hogy azt mennyire tartja fontosnak a munkahelyi tapasztalatok alapján. A skálát 1-5-ig állítottuk be, ahol 1- egyáltalán nem, 5-teljes mértékben. A felmérésben 177 hallgató vett részt és adott értékelhető választ.

Megállapítható volt ez alapján, hogy fejlesztésre szorul a csoportmunka, a tudás gyakorlati alkalmazása, az önfejlesztés, a kreativitás és az előadó készségek. A kérdőív feldolgozása után tovább bővült, illetve konkretizálódott a bevezetendő módszerrel szemben támasztott követelmények sora.

### 3. A TANTÁRGY SIKERES TELJESÍTÉSÉNEK KÖVETELMÉNYE, ÉS A CSOPORTOS PROJEKT HÁZI FELADAT ISMERTETÉSE

Célul tűztem ki a kérdőív alapján feltárt hiányosságok pótlását a bevezetésben megadott eszközök és módszerek segítségével. Mindezt úgy, hogy az ne érintse az egész évfolyamot (300 Hallgatót), a kimeneti eredményesség bizonytalansága és az összehasonlíthatóság miatt. Ebből adódóan 2 kísérleti csoportban alkalmaztam az új módszert, egyenként 25-25 fővel.

A Mechanika Szilárdságtan féléve a tantárgyi követelmények teljesítése után, az aláírás megszerzésével sikeres. Ezt követően van lehetőség a vizsgaidőszakban vizsgázni. [3] A

félév során 2 db 25-25 pontos zárthelyi dolgozatot írnak az évfolyam diákjai, melyből összesen minimum 25 pontot kell szerezniük. A dolgozatok tartalmát és a pontozást tekintve nem szándékoztam változtatni, így azt meghagytam a többi gyakorlati csoporthoz hasonlóan.

A tanmenet szerint a szorgalmi időszakban a hallgatóknak fejenként 2 db házi feladatot kell dokumentáció formájában elkészíteniük. Ezeket egyenként sorszámozott kiindulási adatokkal kell kiszámolni és papíron beadni a 7. és a 12. héten. Ezekért a feladatokért plusz pont nem jár, de a félév sikeres teljesítésének feltétele, elmulasztása letiltást von maga után. A félévi számonkérések közül ezt a részt választottam ki a változtatáshoz.

Egy házi feladatot adtam ki, amit csapatban kellett elkészíteniük. A csapatokat 4-5 főben határoztam meg a névsor alapján, ami csoportonként 5-5 hallgatót jelentett. Beadási, egyben prezentációs határidőnek a 12. hetet adtam meg, ami a 2. zárthelyi dolgozat írása előtti alkalom. A téma egy gépszerkezet modellezése, majd egyik olyan tartójának kiválasztása, ami lehet kéttámaszú vagy befogott tartó mechanikai modellje. A csoportok maguk kerestek a kitzűzött feladatnak megfelelőt. Ez lehet akár otthon, akár az egyetemen, a műhelyekben, akár ismerősnél a saját életükből vett példa. Mivel a szilárdságtan félév végén tudniuk kell az egyes elemeket az igénybevételek és feszültségek alapján méretezni és ellenőrizni, továbbá azok terhelésre történő deformációját meghatározni, így ennek gyakorlati alkalmazása volt e projekt célja is.

A feladat általam meghatározott fő paraméterei:

- Le kell mérni a kiválasztott szerkezet főbb méreteit, továbbá bemutatni ezeket képek és/vagy videó formájában.
  - Erről a kialakításáról vázlatot, szerkezeti modellt kell készíteni.
  - A szerkezet egy kiválasztott tartójáról mechanikai modellt kell készíteni.
  - A lemért valós méretek és a felvett vagy megadott terhelések alapján meg kell határozni a feszültségeket, majd szerkezeti, minőségi anyagot kell választani hozzá.
  - A méretezett elemet deformációra kell visszaellenőrizni.
  - Mindent dokumentálni kell word-ben és az előadáshoz szükséges ppt-ben is.
- Az előadás általam meghatározott fő paraméterei:

- Az előadáson a csoport minden tagjának aktívan részt kell vennie.
- Az előadás időtartama 10 perc.
- A word-nek és a ppt-nek tartalmaznia kell videót és/vagy fényképeket (amin mindenki rajta van, selfie).
- A word és a ppt-fílet az előadás megtartásával egyidőben elektronikusan is le kell adni.

A bemutató órán a csoportok egymást értékelik, az előre meghatározott 5 féle a szempont alapján 1-től 5-ig, maximum 25 pont értékben. Értékelési szempont a feladat kiválasztása (kreativitás), helyesek-e a mechanikai megállapítások, az előadás módja, a csapatmunka (együtt dolgozás) és a prezentációra adott idő betartása.

Az 5 csapatból az 1. helyezett tagjainak 3 plusz pontot adtam a dolgozatokkal elért féléves eredményükhöz, így motiválva őket a minél alaposabb, igényes munkára.

A csoport tagjai bármikor megkereshettek az óra előtt-után vagy a kijelölt konzultációs időben az önállóan megoldandó feladattal kapcsolatban, mellyel minden csoport élt. Továbbá a 11. héten az óra utolsó 20 percében vitafórumot rendeztem. Ekkor egy-egy maguk által választott csoport összeült és bemutatták a másik csoportnak mire jutottak, hogyan gondolják a saját szerkezetük vizsgálatát. Ott jelezheték egymásnak az esetleges hibákat illetve meg is védhették saját gondolatukat.

Ahhoz, hogy 12 hét alatt fel tudjanak készülni erre a gyakorlatias feladat megoldásra, módszeresen kellett felépítenem a heti 2x45 perc gyakorlati óra tananyagát. Minden alkalommal valós szerkezeteket vittem mintafeladatnak, amiből elkészítettük a mechanikai modellt annak terheléseivel, méretezésével, feszültség meghatározásaival, majd az alakváltozásával (6. ábra).



6. ábra Az egyik gyakorlati óra feladata (csap igénybevétele, feszültség meghatározása)

#### 4. AZ ÚJ TANÍTÁSI MÓDSZER ÉRTÉKELÉSE

A tanítás nem öncélú tevékenység. A tudást átadó és fogadó közötti módszer változtatása igényli az eredmények értékelését és a hallgatók általi véleményeztetést. Mindkét esetben összehasonlító módszert alkalmaztam, a két kísérleti csoport és az évfolyam többi csoportja között. A félév sikeres teljesítésének eredményessége alapján megállapítható, hogy az aláírás és a letiltások száma hasonló százalékos eredményt mutatott. Ugyanakkor az évfolyamszintű vizsgán az érdemjegyek sokkal jobban alakultak a Csoportos Projekt feladatot megoldóknál. Például a jó (4) jegyet évfolyam szinten 4,4% kapott, míg a kísérleti csoport 16,4%-a szerzett. Azaz a tananyag fontosságának beláttatása és annak gyakorlati alkalmazása eredményezi a motivációt amivel, növelhető az értékes tudás színvonala is.

Összeállítottam továbbá egy kérdőívet, ami a korábban megadott elvárásoknak megfelelően véleményezteteti az egész évfolyamon a hagyományos és a Csoportos Projekt házi feladatokat. Ez alapján például „Mennyire tartotta érdekesnek a házi feladatot?“, „Mennyire fejlesztette a házi feladat a problémamegoldó készséget?“, „Mennyire fejlesztette a házi feladat megoldása a tanultak gyakorlati alkalmazását?“. A kérdőív kiértékelése alapján megállapítható, hogy jóval eredményesebben teljesített a Csoportos Projekt feladat, a hagyományos házi feladattal szemben.

Lehet természetesen az új módszernek sem %-ban, sem skálán mérhető hatása. Ilyen a hallgatók kapcsolatrendszerének megerősítése, a csapatmunka során szerzett baráti, bajtársi kötelékek kialakulása, amit az egyetemi kreditrendszer jelentősen károsít. A Csoportos Projekt feladat kísérleti alkalmazása sikeresnek bizonyult, melyet a jövőben szeretnék a többi általam tanított tantárgy esetében is specifikusan alkalmazni.

#### 5. IRODALOM

- [1] <http://folyoiratok.ofi.hu/uj-pedagogiai-szemle/gyakorlatiassag-kreativitas-es-jozan-esz>
- [2] [https://www.felvi.hu/felsooktatasi-muhely/kutatasok/Hallgatok/frissdiplomas\\_muszaki\\_hallgatok\\_munkaeropiac](https://www.felvi.hu/felsooktatasi-muhely/kutatasok/Hallgatok/frissdiplomas_muszaki_hallgatok_munkaeropiac)
- [3] [http://old.gbi.bgk.uni-obuda.hu/oktatas/pdf/ME22NND\(ngm-mech2\).pdf](http://old.gbi.bgk.uni-obuda.hu/oktatas/pdf/ME22NND(ngm-mech2).pdf)



# TETTEINK AZ IPAR 4.0 EGYETEMI OKTATÁSÁNAK ÉRDEKÉBEN

## OUR ACTIVITY FOR ENSURING UNIVERSITY EDUCATION IN THE FIELD OF INDUSTRY 4.0

*Dr. Czifra György, mestertanár*  
*Dr. Mikó Balázs, egyetemi docens*

### ÖSSZEFOGLALÁS

Tavalyi cikkünkben részletesen taglaltuk, milyen elvárásoknak kell megfelelniük a hallgatóknak egyetemi képzésük befejezte után, milyen kihívásokkal találkoznak a munkahelyeiken az Ipar 4.0 témakörében. Írásunkban leltárt készítettünk, elemezzük az elmúlt év történéseit. Bemutatjuk, mit sikerült elérni az oktatás területén, milyen módszerekkel sikerült biztosítani az érdeklődő hallgatók részére bemutatni az Ipar 4.0 alapvető kérdéseit, problémáit, lehetőségeit. Közöljük egy véleménykutatás adatait és eredményeit, egy visszajelzést a hallgatók részéről, hogy milyen mértékben sikerült teljesíteni az elvárásokat, illetve mit kell tennünk a jövőben, hogy még eredményesebb legyen a felkészítő munka. Munkánk eredményét megosztjuk abban a reményben, hogy ez másoknak is tud ötleteket, akár segítséget nyújtani az Ipar 4.0 alapjai oktatásának területén.

### ABSTRACT

Last year we discussed in detail what expectations students have to meet after completing their university studies, what challenges they face in their workplace in the field of Industry 4.0. Now we present what has been achieved in the field of education, what methods have been used to provide the basic questions, problems and opportunities of Industry 4.0 to our students. We will share the results and results of an opinion poll, a feedback from students on the extent to which they have met their expectations and what we need to do in the future to make the preparatory work even more effective. We share the experiences of our work and we hope that it can provide ideas for others or help in the education of industry 4.0 fundamentals.

### 1. BEVEZETÉS

Tavalyi cikkünkben részletesen elemeztük, milyen feltételek mellett lehet megvalósítani olyan egyetemi képzést, amely általános ismereteket tud nyújtani az egyik legtöbbször tárgyalt fogalom, az Ipar 4.0 témakörében. A lehetőségeket felmérve úgy döntöttünk, hogy kialakítunk egy szabadon választható

tantárgyat, amelyet előfeltételek nélkül minden hallgatónk felvehet. A tantárgy felépítését úgy alakítottuk ki, hogy minden érdeklődő megtalálja benne azokat a támpontokat, amelyekre építve további, mélyebb ismereteket szerezhet majd az I4.0 témaköréből akár tanulmányi során, akár egyéb forrásokat felhasználva autodidakta módon.

Az Ipar 4.0 kifejezés magában foglalja az információs forradalmat, a kommunikációs forradalmat, az automatizálás mesterséges intelligenciával való bővítését, valamint a nagy adattömegek mozgatását és a felhőalapú adatfeldolgozást is.

Nagyon sokrétű és szerteágazó folyamatokról beszélünk, amelyek behálózzák egész környezetünket. Okos gyárak, okos termelőeszközök, okos otthonok, intelligens járművek, önálló döntéshozatalra képes eszközök, amelyek az egymás közötti információcsere segítségével emberi beavatkozás nélkül képesek váratlan eseményre helyesen reagálni, vagy az ember által definiált célt saját erőforrásaikat mozgósítva, szervezve és átszervezve elérni.

A folyamat egyértelműen a humán erőforrás felhasználásának minimalizálása és a mesterséges intelligencia által irányított okos eszközök maximális használata felé irányul. Az ember, mint jelentős hibaforrás kizárása a folyamatokból a termelés és ellátás maximális minőségét, időfüggetlenségét és egyenletességét jelenti.

Ahhoz, hogy a különböző folyamatok, az intelligens gyárak, közlekedési rendszerek el tudják látni a rájuk bízott feladatokat, több feltételnek is meg kell felelniük.

Az első feltétel, hogy a folyamatokban részt vevő rendszerlemek megfelelő adatokat, információkat legyenek képesek előállítani, amelyek leírják a pillanatnyi állapotukat, az általuk végzett tevékenység aktuális lefolyását. A következő feltétel, hogy az így keletkezett adatokat, információkat megosszák egymással, illetve továbbítsák egy biztonságos, állandóan rendelkezésre álló tárhelyre – ezt a felhőalapú számítógépes adatfeldolgozási eljárások teszik lehetővé.

Mivel minden egyes, a rendszerbe integrált eszköz adatokat állít elő, másodpercenként elképzelhetetlen mennyiségű adat forgalmát kell lebonyolítani.

Az adatok, információk óriási mennyisége kezelésére ki kell fejleszteni olyan intelligens adatelemző eljárásokat, amelyek segítségével egyszerű, átlátható és a döntésképeséget támogató információk képernyők jeleníthetők meg, illetve a mesterséges intelligencia különböző szintjein dolgozó rendszerek képesek önálló döntéseket hozni.

A döntéseket felügyelő rendszereknek tanulóképeseknek kell lenniük, hogy a már előfordult problémák megoldásait adaptálni tudják a hasonló, de még az előzőekben nem tapasztalt meghibásodások kezelésére.

## 2. A KEZDETEK

Az előbbieken tárgyalt problémakörök jelentőségét szem előtt tartva az első lépés a tantárgyi tematika összeállítása volt. Figyelembe véve a potenciális érdeklődők előképzettségét, valamint a képzés körülményeit, olyan tematikát állítottunk össze, amely lehetővé teszi az érdeklődők igényeinek kielégítését alapszinten, olyan információk megosztását tűztük ki célul, amelyek segítik, támogatják a témában történő eligazodást, rendszerbe foglalják azt a sok ismeretanyagot, amely rendelkezésre áll.

További céljaink között szerepelt többek között alapvető ismeretek nyújtása a hallgatóknak az Ipar 4.0 elméleti, módszertani, gyakorlati ismereteiből, megtanítani a hallgatókat az I4.0 lehetőségeinek és megoldásainak alkalmazására.

A tárgy követelményeinek teljesítésével a hallgató olyan ismeretek és készségek birtokába jut, amelyek segítségével képes az ipari trendek, változások és újonnan megnyíló lehetőségek felismerésére, a megszerzett ismeretek birtokában a hallgató későbbi munkája során képes lesz gyorsan, hatékonyan alkalmazni a digitalizáció, automatizálás, az eszközök hálózatba kapcsolása, a kiber-fizikai rendszerek, a fizikai és a virtuális valóság összekapcsolása, a digitális iker és a felhő alapú számítástechnika eszközeit a gyártás, karbantartás, minőségbiztosítás, gyártórendszer-tervezés és gyártásautomatizálás területén.

## 3. A TANTÁRGY

A tantárgy megnevezése: Az Ipar 4.0 alapjai, felvehető gépészmérnök, illetve mechatronikai mérnök alapszakokon, Először a 2018/19 akadémiai év őszi félévében indult. Új tantárgyról lévén szó, 20 főben határoztuk meg a maximális létszámot. Örvendetes volt, hogy azonnali túljelentkezéssel álltunk szemben, viszont tapasztalatok híján nem kockáztattunk a magasabb létszámmal.

Az első három előadás témái között szerepelt egy bevezető modul, amely célja megismertetni a hallgatókat az I4.0 alapfogalmaival, az I4.0 fő céljaival, jelentőségével. A hallgatók információkat kaptak az egyes ipari forradalmak folyamatairól, jellemzőiről, a fő kiváltó okokról és a folyamatos átalakulás jelentőségéről. Ismertetésre kerültek azok a kulcstechnológiák, amelyek segítségével az I4.0 el tudja látni a kívánt és tervezett feladatokat.

Ismertettünk egy SWOT analízis eredményeit, amelyek segítségével a hallgatók el tudták helyezni az I4.0 jellemző értékeit a megfelelő összefüggések hierarchiájában. Ismertetésre kerültek az I4.0 bevezetésének lépései, amelyeket végre kell hajtani a sikeres implementáció érdekében.

Az ipar digitalizálásának folyamata, az integrált digitális adatmodell, a kiterjesztett valóság, a virtuális valóság, az additív gyártás, a hibrid gyártástechnológiák, a kollaboratív robotok alkalmazásának lehetőségei – ezek a témakörök, fogalmak voltak a második előadás témakörei. Bemutattuk az intelligens gyárak felépítésének különböző modelljeit, a horizontális és vertikális integráció alapelveit.

A harmadik előadás témája a kiber-fizikai rendszerek definíciója, alkotóelemeinek, valamint működésének bemutatása, leírása volt. Ismertettük a beágyazott rendszerek definícióját, a különböző rendeltetésű digitális ikrek kialakításának és felhasználásának módját, előnyeit, hátrányait és lehetőségeit, valamint korlátait.

## 4. AZ OKTATÁS FOLYAMATA

Az további előadásokat úgy alakítottuk és szerveztük, hogy meghívott előadókat kapcsoljunk be az oktatás folyamatába.

A vendégelőadókon kívül beiktattunk néhány céglátogatást is, a VARINEX cég esetében az additív technológiákat tekintettük meg, a FANUC cégnél a robottechnológiát tanulmányoztuk, egy kollaboratív robot

bemutatása is szerepelt a programunkban. A Bosch-Rexroth vállalatnál egy automata gyár modelljét volt alkalmunk megismerni, és információkat kaptunk a cég által forgalmazott I4.0 oktatására alkalmas intelligens gyár funkcionális modelljéről is.

Az előadók között voltak neves elméleti szakemberek, valamint a témában aktívan dolgozó gyakorlati szakemberek is. Példaként említeném Dr. Haidegger Géza urat, a SZTAKI tudományos főmunkatársát – az intelligens gyártórendszerek témakörében, Zakariás Boldizsár urat, az FFTECH munkatársát – az intelligens gyártóeszközök, fröccsöntés témakörében, Péntek György urat, a HAAS cég képviseletében – az intelligens gyártóeszközök témakörében, Molnár Zsolt urat, a GRAPHIT cégtől – a kiterjesztett valóság és szimuláció témakörében, Bognár Béla urat, a TE Connectivity cégtől – a Big Data, adatgyűjtés, rendszerezés és feldolgozás témaköréből.

A hallgatók az előadásokon és gyárlátogatásokon való részvétel mellett egy személyre szabott projektfeladatot is megoldottak. Minden hallgató feldolgozott egy általa választott témakört, 10 dia terjedelemben és az utolsó órán bemutatta a csoportnak egy kiselőadás keretében. Az előadás tartalmi és formai értékelését egy internetes szavazással oldottuk meg, a hallgatók pontozták az elhangzottakat, így állítva fel a végső sorrendet és kialakítva a tantárgyból megszerezhető évközi jegyet is.

A tantárgy lezárásaként egy kérdőíves felmérést is indítottunk, ennek feldolgozása jelen pillanatban folyik, az eredményeket később hozzuk nyilvánosságra.

A hallgatók által feldolgozott témakörök:

- Az okosotthonok
- Big Data
- Önvezető autók
- IoT – a dolgok internete
- Az I4.0 energiafelhasználása
- Digitális iker
- AGV önvezető targoncák
- A mesterséges intelligencia
- Intelligens rendszerek az agráriumban
- Kollaboratív robotok
- Hibrid járművek
- Additív technológiák
- Gépi tanulás az orvosi diagnosztikában

## 5. AZ IPAR 4.0 AZ MSC KÉPZÉSBEN

Az MSc képzésben az Ipar 4.0 koncepcióval kapcsolatos ismeretek a Korszerű gyártástechnológia című tantárgyban jelenik meg. A tárgy a mechatronika MSc és mérnök-tanár MA képzés utolsó félévében szerepel. A két szakon azonos tematikával kerül meghirdetésre a tárgy levelező tagozaton, amely alapvetően projekt alapú oktatásként történik. Mivel a hallgatóknak különböző alapidiplomájuk van, nagyon különböző munkahelyeken és munkakörökben dolgoznak, így sokféle szempontból dolgozható fel az Ipar 4.0 téma. A tárgy ebben a formában a 2017/18. 1. félévtől működik.

Az első előadás alkalmával az Ipar 4.0 története, háttere, az alkalmazott kulcs technikák, rendszer elemek kerülnek ismertetésre. A félév további részében önálló kutató, fejlesztő munkával dolgozzák fel az ismereteket a hallgatók, mely eredményét az utolsó alkalommal prezentáció és egy rövid tanulmány formájában osztanak meg a kurzus többi hallgatójával.

Az önálló munka célja, hogy a hallgatók találják meg a kapcsolatot a napi munkájuk, a munkahelyükön zajló tevékenység és az Ipar 4.0 között, ismertség a már jelenleg fellelhető technikákat, illetve készítsenek előzetes tervet, hatástanulmányt, hogy mely technikákat, mely területeken lehet bevezetni. Mivel utolsó féléves tárgyról van szó, külön szempont, hogy a tanulmány kapcsolódjon a diploma tervezési témájukhoz, így egy új szemponttal, fejlesztési iránnyal egészíthetik azt ki.

A mérnök-tanár képzésen résztvevők feladata más jellegű is lehet, mivel többségük a középfokú közoktatásban dolgozik. Itt a feladat része, hogy az általuk oktatott területen hogyan mutatható be az Ipar 4.0 a tanulóknak, milyen példakkal szemléltethető ennek hatása, megvalósítása.

A 2017/18. tanévben a következő tanulmányok születtek:

Mechatronikai mérnök MSc:

- 3D nyomtatók összehasonlítása
- OPC UA kommunikációs technológia
- Személygépjárművek nevezetes tengelyközepeinek meghatározása kollaboratív robotok és kiterjesztett valóság segítségével.
- Gázfogadó állomás távfelügyelete.
- Okos város – intelligens városi rendszerek

Mérnök tanár MSc:

- I4.0 mintagyárak összehasonlítása
- Ipar 4.0 és a duális képzés
- Pneumatika labor fejlesztése
- Prediktív diagnózis és okos karbantartási rendszerek az autóiiparban
- A Magyar Suzuki Zrt szervízhálózat képzésének fejlesztése e-learning segítségével

2018/19 1

Mérnök tanár MSc:

- CAD modellezés és 3D nyomtatás az oktatásban
- Ipar 4.0 CNC megmunkálóközpontok esetén
- Ipar 4.0 a gyógyszergyártás területén
- Fröccsöntött termék gyártásának folyamat-felügyelete
- Mobil robotok alkalmazása
- Anyagáramlás hatékonyságának növelése
- RFID rendszer a raktárkezelésben

A feladat megoldása során a hallgatók új nézőpontból vizsgálták meg diplomatervük témáját, illetve a munkahelyükön zajló folyamatokat, így jobban elhelyezték saját tevékenységüket az Ipar 4.0 térben.

Jobban megismerték kollégáik munkáját, laborokban, szaktantermekben folyó munkát.

Mérnök tanár hallgatók új ismereteket építettek be az oktatási tevékenységükbe (volt, aki elvitte a tanulóit I4.0 fórumra, mintagyárba).

A tárggyal kapcsolatban a hallgatók kedvező visszajelzést adtak, a beszámolókat aktívan követték, sok kérdést tettek fel egymásnak, így jó hangulatú szakmai beszélgetés lett a féléves beszámoló.

## 6. ÖSSZEGZÉS

Megállapíthatjuk, hogy az előző cikkünkben [9] vázolt feladatot, a célt, amit kitűztünk magunk elé sikerült elérnünk. Erősen korlátozott erőforrásokkal, viszont a jó cél érdekében nagyon aktívan közreműködő elméleti és gyakorlati szakemberekkel dolgoztunk, akik

tisztában voltak feladatunk jelentőségével. Nélkülük nem sikerült volna teljesíteni vállalatunkat. Az eddigi visszajelzések alapján meghirdettük a következő, tavaszi félévben is ezt a tárgyunkat, az érdeklődés továbbra is meghaladja lehetőségeinket – ez pozitív visszajelzés részünkre, biztatás, hogy jó úton járunk és folytatnunk kell, illetve fejlesztenünk kell oktatási tevékenységünket az Ipar 4.0 témakörében.

Az előző cikkünkben vázolt megoldás - a vállalati szféra bevonása a képzésbe – sikeresnek bizonyult. Sikerült új ipari partnereket bevonni, amelyek saját szakemberképzési programjaik mellett örömmel segítenek nekünk, fel tudják gyorsítani a felkészítés ütemét. A jövőben szövetségben az erre nyitott vállalatokkal közös platformokon valószínűleg el tudunk indítani képzéseket, amelyekre a későbbiekben biztonsággal támaszkodhatunk.

## 7. IRODALOM

- [1] Ipar 4.0 – Seacon Europe Kft; <http://www.industry4.hu/hu/ipar4>
- [2] AutoPro; <https://autopro.hu/trend/>
- [3] Ipar 4.0 Nemzeti Technológiai Platform honlapja; <https://www.i40platform.hu/>
- [4] Festo Didactic honlapja; <http://www.festo-didactic.com>
- [5] Bosch-Rexroth honlapja; <https://www.boschrexroth.com/hu/hu/felno-ttkepzes/ipar-4-0-oktatas/>
- [6] SmartFactory honlapja; <http://smartfactory.de/en/>
- [7] CNC honlapja; <http://www.cnc.hu/digitalization/>
- [8] A Techmonitor honlapja; <http://www.techmonitor.hu/>
- [9] Czifra, Gy.: Az Ipar 4.0 és az egyetemi oktatás kölcsönhatása, GÉP folyóirat, 2018/1, Gépipari Tudományos Egyesület, 1147 Budapest, ISSN 0016-8572

# A BIOTECHNOLÓGIA ELŐRETÖRÉSE AZ EURÓPAI GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA JÖVŐKÉPÉBEN

## THE EVOLUTION OF BIOTECHNOLOGIES IN THE VISION OF THE UPCOMING EUROPEAN MANUFACTURING

*Dr. Haidegger Géza*  
[haidegger@sztaki.hu](mailto:haidegger@sztaki.hu)

### ÖSSZEFOGLALÁS.

Az európai gyártás víziójával, kutatási stratégiájával, valamint megvalósítási folyamatával megalakulása óta foglalkozik a ManuFuture Európai Technológiai Platform. Beszámolóinkban rávilágítunk a jelenlegi munkaterületre: az európai gyártási jövőkép megvitatására, és a legfontosabb kutatási területek meghatározására. Egyre fontosabbá válik a biológiai folyamatok és ismeretek áthatása a gyártási technológiák területére. Az európai iparban jelentős értéknövelő szerepe lehet a biológiai területekkel kialakuló új gyártástechnológiáknak már a közeljövőben is.

### ABSTRACT.

The European ManuFuture Technology Platform has been caring for the preparation of Europe-wide harmonized documents, as Vision, then Strategic Research Agenda-SRA, finally Roadmap on the topic of manufacturing in Europe. In this paper we summarize the presently most active groups and topics, and we demonstrate the very strongly (re) emerging uptake of the BIO-field, that plans to generate high value-adding to the European manufacturing industry.

### 1. BEVEZETÉS

Az Európai Bizottság kötelezettséget érez a technológiai fejlődés előmozdítására, felgyorsítására, ezért a költségvetési forrásokból jelentős összegeket tervez kutatásra, fejlesztésre, innovációra és azok ipari bevezetésére fordítani. A Bizottság a szakmai területekről harmonizált, valamennyi érintett résztvevő által véleményezett munkaanyagokra támaszkodik. A Technológiai Platformok képezik ezeket a szakmai csoportokat, és erősen elvárt, hogy ezekben valamennyi EU tagország képviseltesse szakmai álláspontját, igényeit, elvárásait, valamint működtesse a tagországokon belüli nemzeti platformokkal a hatékony információáramlást, a jobbnál jobb gondolatok mielőbbi megvalósulását [1], [2].

Jelen cikkünkben összefoglaljuk a 15 éves múlttal büszkélkedő ManuFuture ETP jelenlegi struktúráját, a társplatformokkal való

kapcsolatát, illetve azokat a szubplatformokat, amelyek összessége lehetővé teszi, hogy a ManuFuture ETP elkészíthessen egy EUROPEAN MANUFACTURING VISION2030 munkaanyagot. A vízió széleskörű elfogadása megalapozza a kívánatos kutatási tématerületek feltérképezését, és majdan lehetőséget ad a következő időszakra tervezhető kutatási Keretprogramra, a WORKPLAN-re.

A gyártástechnológia témakörében külön rámutatunk a biológiai, élettani kapcsolatok jövőbeni fontosságára, az ipari méretű értéktermelő gyártás súlyának várható növekedésére. Az MTA SZTAKI-ban eddig 2 sikeresen lezárult K+F+I projektben szereztünk tapasztalatokat, amelyekben az élővilágban zajló termelési-gyártási folyamatok digitalizációjával, ipar-méretű automatizálásával értünk el eredményeket:

- a MANUCYTE EU-s konzorcium tagjaként öntanuló, moduláris gyártórendszer platformot dolgoztunk ki specifikus sejtek rugalmas, szabályozott tenyésztéséhez [3], [4];
- az AGRODAT konzorciumban precíziós mezőgazdasági témával döntéstámogató rendszert dolgoztunk ki 70 szántóföldi növénytermesztő számára, 5000 hektárnyi termőterület adatainak BigData és felhő-technológias feldolgozásával [5], [6].

A ManuFuture High Level Group (HLG) munkacsoportbeli tagságunk, valamint a stuttgarti IPA Fraunhofer kutatóközpont munkatársaival való együttműködésünk révén a cikkben szereplő ábraanyagok jelentős részére – köszönettel- megkaptuk a közlési lehetőséget.

### 2. A MANUFUTURE ETP

Az EU-ban számos olyan területen fogtak össze kutatók, fejlesztők, kereskedők, alkalmazók és más csoportok, akik harmonizált, közös szakmai véleményt kívántak az EU döntéshozó szervezeteinek tudomására hozni. Ezeket átlátható, korrekt, szakmailag szinte megkérdőjelezhetetlen véleményt alkotó

csoporthoz ismerik el. Noha lobbizási tevékenységgel jellemezhetik őket, nem privát, hanem ösztönzői célokért fejtik ki sokszor teljesen honorálatlan, társadalmi tevékenységüket.

Az EU Bizottsága a H2020 program jóváhagyásakor 40 területen sikeresen beindult Technológia Platformot ismert el [7]. A ManuFuture ETP kivívta azt az elismerést és felelősséget, hogy a Bizottság elsődlegesen a ManuFuture ETP gondolatai és elképzelései alapján allokálja a rendelkezésre álló erőforrásokat Európa gazdasági, tudásalapú fejlődéséhez, ipari korszerűsítéséhez.

A ManuFuture legutóbbi évtértékelőjében büszkén ismertette - részben saját sikerként is - az alábbi EU-s adatokat [8]:

- Európa ipara egyre fontosabb;
- a gyártás központi szerepet kap az iparban, hiszen a gyártás garantálja a prosperálást, jólétet, az innovációt és teremt munkahelyeket;
- Európa gyártási tevékenységével 30 millió közvetlen munkahelyet, és
- 60 millió közvetett, többnyire KKV munkahelyet tart fenn;
- valamint a teljes EU exportjának 80%-át állítja elő.

A ManuFuture ETP több munkacsoportban tevékenykedik. Az Industrial Support Group és a HLG is évente legalább kétszer ülésezik. A jogi keretet az EFFRA szövetség (European Factories of the Future Association) biztosítja, ez a szervezet jogi partnerként tud dolgozni a Bizottsággal.

A ManuFuture ETP nyitottsága és szervezetsége abban is megtestesül, hogy szorosan együttműködik más ETP-ekkel, valamint, hogy téma-specifikus területeken az un. szubplatformokban folyó munkákat szisztematikusan integrálja.

Az 1. és 2. táblázatban bemutatjuk a jelenleg releváns társ- és szubplatformokat, hiszen ezek összességét érdemes vizsgálni [9].

### 2.1. ManuFuture Vision 2030

A ManuFuture ETP bizottságai a fennállásuk 10. évét követően értékelték a platform eredményeit és lehetséges jövőképét. Az aktív tagok kialakították harmonizált álláspontjukat, hogy a 2020-as évvel lezáruló HORIZON-2020 után tovább folytatják a VISION, SRA majd ROADMAP készítését, de nem hanyagolják el

a folyamatban zajló K+F+I projektek értékelését és tapasztalatainak közkinccsételését.

1. táblázat. A ManuFuture ETP társ-platformjai

Tématerület	Platform nevek
Bioeconomy Biogazdaság	ETIP.ETPGAH, FABRE TP, Food for Life, Forest-based, Plants, TP Organics
Energy Energetika	Biofuels, EU PV TP, TP Ocean, RHC, SmartGrids, SNETP, ETIPWIND, ZEP
ENVIR Környezet	WSS TP
ICT IKT	ARTEMIS, ENIAC, EPoSS ETP-HPC, EuROBOTICS (AIABLS), NEM, NESSI, NETWORLD2020, PHOTONICS21
Production – Processes Gyártás, term.folyamatok	ECTP, ESTEP, EuMAT, FTC, ManuFuture, Nanomedicine, SMR, SusChem.
Transport, közlekedés	ACARE, ALICE ERRAC, ERTRAC, WATERBORN
CROSS- thematic TPs	NanoFutures, mIndustrial Safety, CONXEPT

2. táblázat. A ManuFuture ETP legjelentősebb szubplatformjai [9]

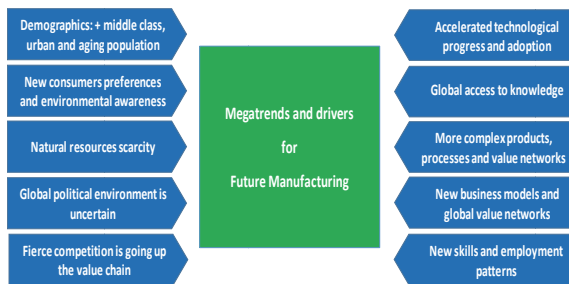
Additive Manufacturing- AM	3D-s nyomtatás
Agriculture Engineering and Technologies –AET	Agrár technológiák
Joining	Kötés-technológiák
Zero Defect Manufacturing	Selejtmentes gyártás
Micro-Nano Manufacturing – MINAM	Mikro- és nanotechnológiák
Tools	Szerszámok
Shoe-manufacturing	Cipőgyártás

2018 őszére elkészült a VISION2030 munkaanyag un. „konzultációs” verziója, amelyet az ETP az EU Bizottsága és Parlamentje elé kíván terjeszteni. Az anyag bizottsági vitája és elfogadása a 2019-es választások utánra marad.

A VISION 2030 munkaanyagról a magyar szakmai közösségnek a GTE MANUFACTURING2018 konferencián adtunk ízelítőt Kecskeméten [10].

A vélt jövőkép kialakulását a globális folyamatok, azok trendjei, valamint a társadalmi, gazdasági és technológiai

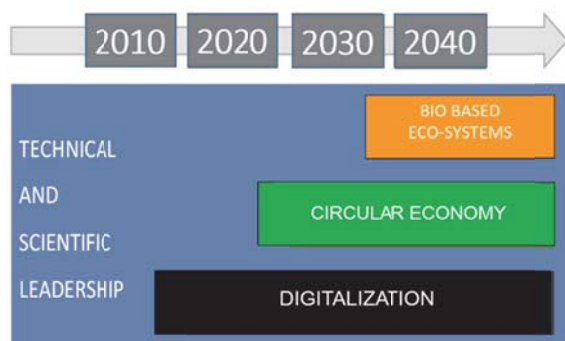
változások, hajtóerők formálják. Az 1. ábra ezek összefüggését szemlélteti.



1. ábra. Globális trendek és a gyártás iránti igények, elvárások ©ManuFuture

A digitális számítógépek megjelenése és elterjedése a harmadik ipari forradalom kezdetét jelentette, mivel az ipari folyamatok automatizálása növelte a termelékenységet, a hatékonyságot, és minőségi javulást eredményezett.

A digitális átállás a gazdaság valamennyi területén hasonló előnyöket rejt. Az IPAR 4.0-val jellemzett technológia megoldásokban a hálózatban, együttműködésben, folyamatos információcserében aktív tárgyak, berendezések és folyamatok egy negyedik ipari forradalom lehetőségét adják. Ez a széleskörű digitalizációs folyamat beindult, és elengedhetetlen szerepet játszik a vizionált közeli, közepes és távolabbi jövőkéünkben, a 2. ábra szerint.



2. ábra. A Víziónál várható megvalósulási időhorizont ©ManuFuture

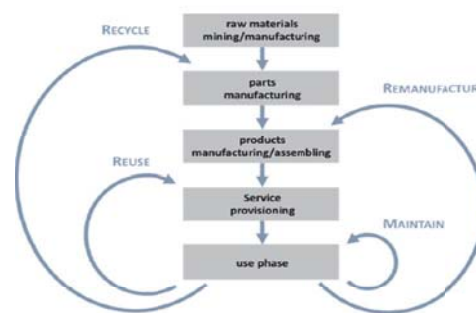
## 2.2. Kutatási és Innovációs prioritások

A 10 legfontosabb prioritásnak az alábbiakat jelölte meg a VISION munkaanyag:

- új üzleti logika és modellek,
- agilis gyártás tervezése és üzemeltetése,
- gyártási technológiák és eljárások,
- robotika és rugalmas automatizálás,

- vevői igény vezérelte gyártás,
- emberközpontú gyártás,
- körkörös gazdaság, erőforrás és energiahatékonyság,
- digitális átállás, mesterséges intelligencia és kiber biztonság,
- nanotechnológia és új anyagok,
- **termékek, eljárások és értékteremtés biológia-orientált transzformációja.**

A megjelölt területek között nagy lehet az átfedés, de látható, hogy az IPAR 4.0, azaz a gazdaság és azon belül a gyártás digitalizációs folyamata teremti meg a továbblépés lehetőségét. A munkaanyag részletesen kitér a munkaerő, az oktatás, a korlátok, a nehézségek, a kihívások és az innováció ökoszisztéma területeire is. A körkörös gazdasági modell iránti igényt a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra. A körkörös gazdaság energia és erőforrás hatékonyságot eredményez ©ManuFuture

## 3. BIO-TECHNOLÓGIÁK A GYÁRTÁSBAN

A biológiai területek a gyártástechnológia területén már az ókorban is megjelentek [11] pl. az egyiptomi kultúrában a búzatermesztés ipari méretűvé fejlesztésében, vagy a biológiai folyamatok hasznosításával a sör előállításánál.

A természet évszázadokon át szinte folyamatosan inspirálta az embereket, és számos sikert érhattünk el így az élővilág megfigyelésének eredményeképp. Híres példa erre daVinci repülő szerkezete, amelyet madarak szárnyának megfigyeléséből alkotott. Mostanra már nagyon szerteágazó sikerek mutatkoznak a biotechnológia, a neurotechnológiai protézis-gyártás, a sejt-és szervgyártás, a 3D-s sejtépítés, az intelligens gyógyszer, stb. kutatási területein.

A szerteágazó technológiai kapcsolatok mezején szükségessé vált a biológiai transzformáció definiálása, és ezt egy német állami projekt keretében (BIOTRAIN) [12], [13] egy kutatóközösség az alábbiak szerint javasolta:

A biológiai transzformáció az élő anyagok, struktúrák és eljárások növekvő felhasználása azokban a technológiákban, ahol fenntartható hozzáadott értéket képezünk. A biológiai folyamatok ismeretével a gyártási rendszerek szisztematikusan javuló optimalizálására érhetjük el.

Ennek a folyamatnak a kezdete a digitalizáció, a biológiai életfolyamatok mélyebb megértése, így azon folyamatok jobb technikai kihasználásával körkörös gazdasági folyamatokkal fenntartható hozzáadott értékű termelés/gyártás alakulhat ki.

### 3.1 A gyártás biológia transz-formációja

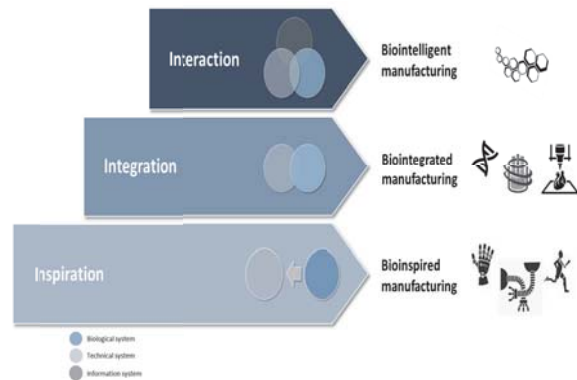
Három szintet különböztetünk meg:

Az INSPIRÁCIÓ szintjén a biológiai rendszer ismeretéből technikai rendszert építünk. Példa erre egy műkéz előállítás, robot-karok tervezése, stb.: Bio-inspirált gyártás.

...

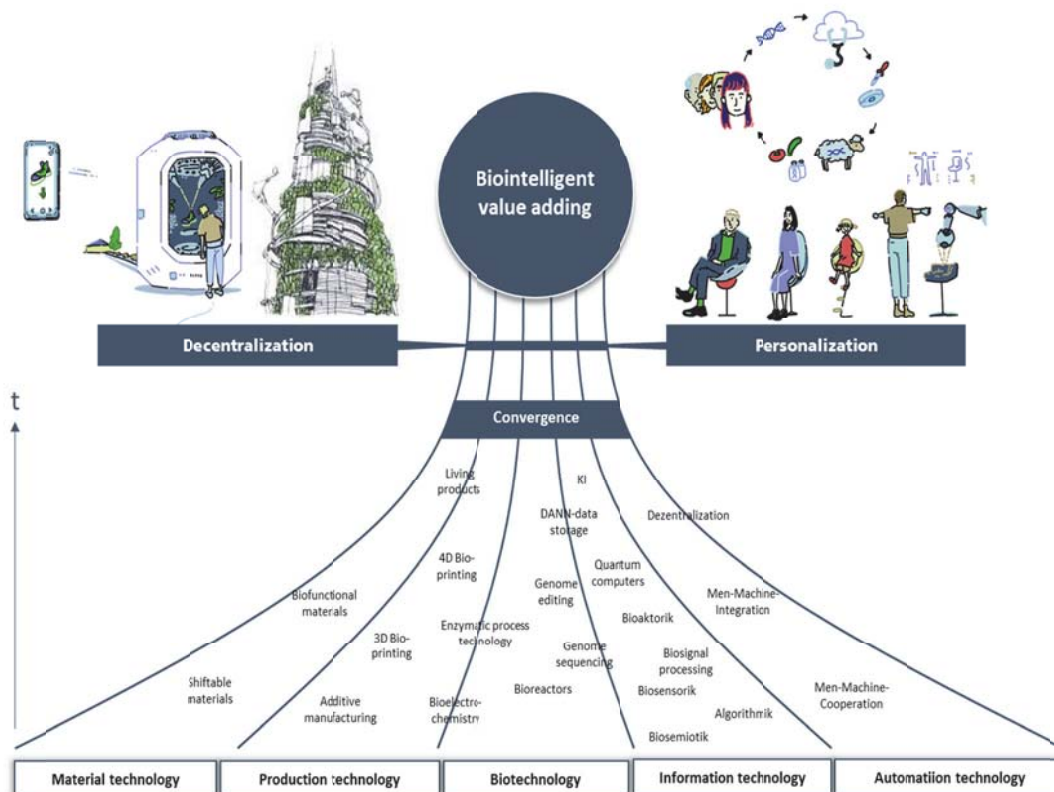
INTEGRÁCIÓ szintjéről akkor beszélünk, ha a biológiai folyamat integrálódik a technikai rendszerrel: Bio-integrált gyártás.

Az INTERAKCIÓ szintjén ötvöződik a biológiai rendszer a technikai és az információs rendszerrel: Bio-intelligens gyártás. 4. ábra.



4. ábra. A Bio-inspirált , a Bio-integrált és a Bio-intelligens gyártás szintjei ©IPA

A biológiai transzformáció az alábbi technológiák és technikák konvergenciájával hoz létre bio-intelligens hozzáadott értéket decentralizált vagy egyénre szabott megoldással: ld. 5. ábra.



5. ábra. Technológiák és technikák konvergenciája a biológiai transzformációban ©IPA















A jelenlegi, sok esetben globális, elosztott beszállítói gazdasági folyamat helyett a „just-in-time”, éppen a kellő időben, egyénre szabott gyártási folyamat lesz a kívánatos. Amíg a jelenlegi gyártási folyamatoknál jellemzően nagy a környezeti káros hatás, a bio-intelligens gyártással a növekvő termelési kapacitás mellett is jelentősen csökkenhet a környezet-károsító hatás.

### 3.2 A BIOTRAIN projekt

A BIOTRAIN projektben 6 Fraunhofer kutatóintézet munkatársai 12 hónap alatt 123 szakértői interjúval, 10 munkaértekezlettel, 200 résztvevővel teljesítették a projektet, amely 350 potenciális K+F projekttemát, 10 cselekvésterületet azonosított a 3. táblázat szerint, és 11 kutatási prioritást jelölt meg 2030-ra ld. 4. táblázat.

A IPA Fraunhofer intézet által felvázolt biogyártási technológiák körét mutatja a 6. ábra.

### Different aspects of the Biological Transformation

	Materials	Structures	Processes
<b>Substitution</b>	<b>Fuels and chemicals from wood-waste and straw</b> Isobutene production without fossil fuels  CBP	<b>Metallic foam</b> Highly porous lightweight material modeled after bones  IWU	<b>Bio-based plastics</b> plastics, additives and compounds with optimal recyclability  UMEICHT
<b>Adaption</b>	<b>Biomufacturing of silk proteins</b> Industrial scale silk protein production the lab  IAP	<b>Bio-inspired machines</b> Stress oriented structural design with carbon fibers inspired from trees  IWU	<b>Self healing materials</b> Transfer of the self-healing properties of plants to technical materials  EMU
<b>Abstraction</b>	<b>Programmable materials</b> Targeted adaptation of materials to environmental changes  LBF	<b>Artificial Neural Nets</b> Neuro-inspired algorithms with learning capabilities  IuK-Verband	<b>Swarm logistics</b> Transfer of swarm-intelligence to logistics systems  IML
<b>Fusion</b>	<b>Living cells on microchips</b> Toxicity-testing with living cells on physical transducers  EMPT	<b>Theranostic implants</b> Medical devices in symbiosis between technology and organism  IBMT et al.	<b>Brain Computer Interfacing</b> Communication between biology and technology  IAO

14  
© Fraunhofer

Fraunhofer

6. ábra. Biológiai transzformációk © IPA

3. táblázat. 10 cselekvési terv-javaslat  
© IPA

	New materials and fabrication schemes
	Biology-Technology-Interfaces
	Biohybrid, bioinspired manufacturing technologies
	Human-centred workplace arrangement
	Bioinspired, biobased data processing
	Bioinspired, biobased energy generation and storage
	Technological impact assessment
	New sustainable business models
	Social dialogue
	Effective knowledge transfer

4. táblázat. 11 kutatási prioritás-javaslat  
© IPA

R & D domains
Bio-inspired structures, Bio-sensors, Bio-actuators, Additive manufacturing of biobased materials, Enzymatic processes, Micro-bioreactors, Smart bio-manufacturing devices,   Bio-coating and Bio-inoculants, Bio-packaging, Ecology-based manufacturing,   Bio-refineries

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ipari digitalizáció révén egyre több adatot észlelhetünk, egyre több adat tárolására és feldolgozására van lehetőségünk, ezzel pedig az élővilág, élő környezetünk folyamatait is jobban megérthetjük, megismerhetjük. A biológiai folyamatok jobb ismeretével azok gyártási technológiái is hatékonyabbá tehetők, ugyanakkor a biológiai folyamatok kapcsolatos és integráltan is beépülhetnek az anyagok, értékek előállításai (gyártási) folyamataiba.

A német iparvezetés megismerve a német kutató-közösségek elszántságát és ígéretes kutatási terveit, országosan jelentős, nemzeti felkészülési projektben kidolgoztatta a BIO-IPARÁG kutatási irányvonalát. A gépipar területén meglévő magyar ipari beszállítói lehetőségeinket jó lenne folytatni a bio-ipari együttműködések, beszállítások mellett a közös kutatási-fejlesztési területeken is.

A CIRP, mint a Gyártástudomány nemzetközi Akadémiája szintén kiemelt formában, key-note előadásban ismertette vezető tudósok gondolatait a gyártás biológiai transzformálásáról [16].

#### 5. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatást az "Ipar 4.0 kutatási és innovációs kiválósági központ" című GINOP-2.3.2-15-2016-00002 projekt támogatása, valamint a „Kutatások az ipari digitalizáció által nyújtott potenciál minőségi kiaknázására” című ED\_18-2-2018-0006 támogatás tette lehetővé. Segítséget és ábraanyagot kaptunk a stuttgarti IPA Fraunhofer kutatóintézet munkatársaitól az EPIC, valamint a ManuFuture ETP-beli együttműködésünk kapcsán.

#### 6. IRODALOM

- [1] European Technology Platforms: <https://ec.europa.eu/research/innovation-union/index.cfm?pg=etp>
- [2] ManuFuture ETP; <http://www.manufuture.org/>
- [3] <https://www.sztaki.hu/projektek/manucyte>
- [4] [www.manucyte-project.eu](http://www.manucyte-project.eu)
- [5] [www.agrodat.hu](http://www.agrodat.hu)
- [6] <https://www.sztaki.hu/kormanyzat/hirek/nagy-sikert-aratott-az-intro40-eureka-projekt-zaroese-menye-sajtokozlemenye>
- [7] COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT STRATEGY FOR EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORMS: ETP 2020 SWD (2013) 272 final.

[https://www.ffg.at/sites/default/files/downloads/swd-2013-strategy-etp-2020\\_en.pdf](https://www.ffg.at/sites/default/files/downloads/swd-2013-strategy-etp-2020_en.pdf)

[8] H.Flegel; <http://manufuture2017.eu/wp-content/uploads/2017/10/pdf-Heinrich-Flegel.pdf>

[9] A, Arun Junai, Co-ordination of ManuFuture ETP with Sub-Platform and other related ETPs, 30th ManuFuture HLG Meeting, Graz, April 2016.

[10] Geza Haidegger: VISION2030 on Manufacturing by the HLG of the European ManuFuture Technology Platform, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 448 012062, GTE XXIII. International Conference on Manufacturing (Manufacturing 2018) Conference, Kecskemét, 7-8 June 2018.

[11] Marion Früchtel, Biological Transformation in Manufacturing, ManuFuture HLG, Meeting Milano 08.11.2018.

[12] Robert Mieke, BIOINTELLIGENT VALUE ADDING,; ManuFuture HLG Jubily Conference, Milan 2018. November 8 [www.Manufuture.org](http://www.Manufuture.org)

[13] Bauernhansl, T.; Brecher, C.; Drossel, W.-G.; Gumbsch, P.; ten Hompel, M.; Wolperdinger, M. (Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.) [Hrsg.]: Biointelligenz – Eine neue Perspektive für nachhaltige industrielle Wertschöpfung – Ergebnisse der Voruntersuchung zur Biologischen Transformation zur Biologischen Transformation der industriellen Wertschöpfung (BIOTRAIN). Aachen, Dortmund, Dresden, Freiburg, Stuttgart, 2019, Fraunhofer-Verlag. ISBN 978-3-8396-1433-4

[14] Mieke R, Bauernhansl R, Schwarz O, Traube A, Lorenzoni A, Waltersmann L, Full J, Horbelt J, Sauer A. The biological transformation of the manufacturing industry - Envisioning biointelligent value adding. Procedia CIRP 2018; 72:739-743.

[15] Mieke R, Full J, Sauer A. Biointelligenz im Produkt und in der Produktion. In: Rieg F: Handbuch Konstruktion. München: Hanser; 2018:621-634. ISBN: 978-3-446-45224-4

[16] Gerald Byrne, Dimitri Dimitrov, Laszlo Monostory, et al.: Biologicalisation: Biological transformation in manufacturing, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 21 (2018) 1-32. [www.elsevier.com/locate/cirp](http://www.elsevier.com/locate/cirp)

# KORRÓZIÓÁLLÓ DUPLEX ACÉLOK FORGÁCSOLHATÓSÁGI PROBLÉMÁI

## THE MACHINABILITY PROBLEMS OF DUPLEX STAINLESS STEELS

Horváth Richárd, PhD; Fábrián Enikő Réka, PhD; Nagy András István, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar  
Terek Pál, PhD, Újvidéki Egyetem, Műszaki Tudományi Kar

### ÖSSZEFOGLALÁS.

A korrózióálló duplex acélok elterjedése az utóbbi években jelentősen megnőtt (vegyipar, olajipar, orvostechikai felhasználás), újabb minőségek kerültek piacra. Kedvező tulajdonságait a ferrites/ausztenites szövetszerkezetének köszönheti. Az ilyen acélok készre munkálása nagyon gyakran történik forgácsoló technológiák alkalmazásával. A korrózióálló duplex acélok szövetszerkezetének ismertetésén keresztül ismertetjük a duplex acélok forgácsolásának nehézségeit. Napjainkban számos kutatás foglalkozik a duplex acélok forgácsolásával, mely kiterjed a forgácsképződés mechanizmusára, a megmunkálás szerszámra gyakorolt hatására, és a bevonatok teljesítőképességére, valamint a forgácsoló szerszámok éltartamára és a gyártott felületi érdesség jellemzésére. Duplex acéloknál forgácsolási vizsgálataink eredményei (forgács és lapkakopás elemzése) arra utalnak, hogy a lapkakopások részben a szuperduplex korrózióálló acélok összetételéből fakadó kiválások jelenlétére, részben ezen acéltípus előállítási, öntési jellegzetességeivel hozható kapcsolatba.

### ABSTRACT.

Duplex stainless steels (DSS) are widely used in the oil-, chemical- and medical industry due to favourable microstructure and chemical composition. Frequent industrial applications of such steels provides research and development for the economical cutting technologies and technology optimization. Numerous contemporary works are performed on the machinability of duplex steels: evaluation of cutting force components, measurements and evaluation of surface roughness, and development of roughness models, correlation of roughness and the cutting parameters. In this work the difficulties of machinability of duplex stainless steels were described by point of view of microstructure. The results of our cutting tests in the case of duplex steels (chip and worn coated tool analysis) suggest that the wear are partly related to the presence of precipitations resulting from the superduplex corrosion-resistant steels and partly

to the production and casting characteristics of this steel type.

### 1. DUPLEX ACÉLOK RÖVID TÖRTÉNETE ÉS ALKALMAZÁSA NAPJAINKBAN

A korrózióálló acél családokat a XX. század elején kezdték fejleszteni, hiszen a fejlődő vegyipar és gépipar számos helyen igényelte ezen acélok széles választékát. A korrózióálló acélcsalád tagjait szövetszerkezetük alapján megkülönböztetve: ausztenites-, ferrites-, ferrit-martenzites acélokról beszélhetünk [1].

A folyamatos minőségi javulást a kohászati technológiában nyert egyre nagyobb tapasztalat segítette. Igazán nagy előrelépést az 1968-as év hozta, amikor megjelent az ún. AOD (Argon-Oxogem Decarburization) technológia, mely a karbon tartalom megfelelően alacsony szintre való beállítását hozta meg gazdaságosan (0,02-0,03%). Erre amiatt volt szükség, mert az ellenálló képességekhez magas ötvöző tartalom szükséges, ez főként a króm (Cr), Nikkel (Ni), Molibdén (Mo). Viszont a magas karbon tartalom esetén az affinitási hajlamokból adódóan karbidkiválások keletkeztek, melyek a korróziós tulajdonságok (rezisztencia határ visszaugrás (1. ábra)), mechanikai tulajdonságok erős romlását okozta [2].



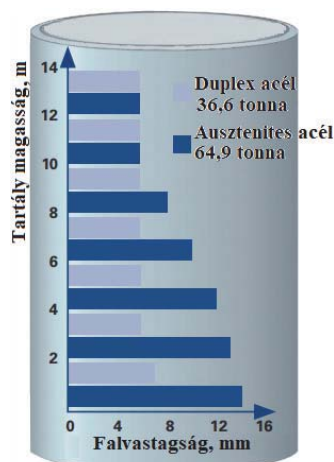
1. ábra. Rezisztencia határok [2 alapján]

Az első duplex rozsdamentes acélokat Svédországban 1930-ban gyártották. A magas króm és nikkel tartalmú acélnál ausztenites-ferrites szerkezet jött létre [3]. A későbbi kutatások nyomán a szuper duplex és hyper duplex korrózióálló acélok is megjelentek, melyek még nagyobb ellenállóságot mutattak a korrózióval szemben, az úgynevezett  $PRE_N$  értéket (pitting index) [4]:

$$PRE_N = Cr(\%) + 3,3 \cdot Mo(\%) + 16 \cdot N(\%) \quad (1)$$

jelentősen megnövelve. A sovány (lean) és sima duplex acélok 25-38-as  $PRE_N$  értékkel, a szuper duplex acélok 40 feletti  $PRE_N$  értékkel, a hyper duplexek 48 feletti  $PRE_N$  értékkel rendelkeznek. (Bár  $PRE_N$  index nem ad abszolút értéket a korrózióállóságról, és nem alkalmazható minden körülmény között, de korrekt összehasonlíthatóságot nyújt a korrózióval szembeni várható ellenállásról. [3]).

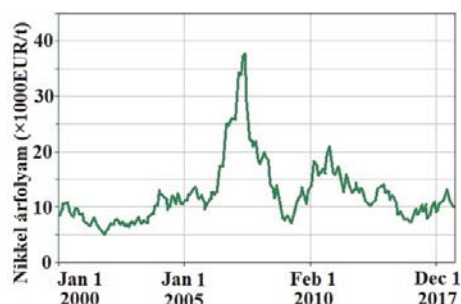
A duplex acélok nagyobb mértékű alkalmazhatóságát tovább erősíti, hogy 2-3-szoros szilárdsági tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a tisztán ausztenites szövetszerkezetűek. Ezen tulajdonságot a kétalkotós szövetüknek köszönhetik, mely ötvözi a ferrites szerkezet és az ausztenites szerkezet tulajdonságait. A ferritnek köszönhetően jobb ellenállást tanúsítanak a pittinggel és a réskorrózióval szemben és az ausztenit jó alakíthatóságot, hegeszthetőséget, szívósságot és ellenállást biztosít a hidrogénes elridedéssel szemben. A mai gazdaságossági szemlélet és az energiatakarékosság tovább szilárdítja a duplex acélok alkalmazását az iparban. Az energiatakarékosság az ilyen acélok felhasználásánál abból ered, hogy pl.: a nagyobb szilárdságú duplex acélból sokkal vékonyabb falvastagságot kíván meg egy nagy vegyi hatást szenvedő tartályfal (2. ábra).



2. ábra. A falvastagság és a tömeg lehetséges csökkentése duplex acél használatával [5]

Példaként említhetők még a szivattyú-lapátok, melyeknél kisebb lesz a mozgatott tömeg. Másik kiemelkedő példa a hajózási felhasználás, amikor szállító és tanker hajókat készítenek duplex ötvözetből, itt is érvényesül a súlycsökkentés, jó ütmunka az alacsonyabb hőmérsékleteken is, és a sós közegeknek való

ellenállás [5]. A duplex acélok növekvő felhasználási arányát gazdasági változás is nagyban befolyásolta (3. ábra). Az kétezres évek elején, a piacon 2-3-szoros (nikkel árfolyam növekedés) volt tapasztalható, mely a nikkellel való takarékosagra sarkallta a gyártókat. A duplex korrózióálló acélok jóval kevesebb nikkelt igényelnek a hasonló ellenálló képességű ausztenites csoporthoz képest.



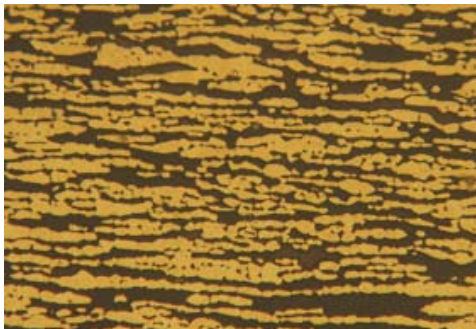
3. ábra. Nikkel árfolyam változása [6 alapján]

A duplex acélokból készült szerkezetek megfelelő és tartós működéséhez forgácsoló megmunkálásra van szükség. Jelenleg a forgácsoló technológia biztosítja azt a megfelelő illesztési pontosságot, felületi minőséget mely az összeszerelendő, működő alkatrészekhez szükséges. A magas forgácsolási költségek miatt törekedni kell a minél gazdaságosabb megmunkálásra. Fontos a duplex acélok forgácsolásának kutatása, mely kiterjed az előállítható felületi érdességre, a szerszám éltre gyakorolt hatására, erőtani viszonyokra és a forgácsolásban lejátszódó folyamatokra. A mai megmunkálási stratégiák és környezettudatos megmunkálás a hűtőfolyadékok alkalmazását is visszaszorítja, mely által további szerszámterhelés keletkezik. Fontos, a forgácsoláskori hőmérséklet is, mert a duplex acéloknak korlátozott a felhasználhatósági hőmérséklet tartományuk. A magas hőmérsékletek anyagszerkezeti változásokat váltanak ki, meggyorsítva a diffúziós folyamatokat, melyek kiválásokat eredményeznek, ezáltal a szerszám igénybevétele, kopása is növekszik. Szuperduplex acéloknál különösen problémát okozhatnak a 450°C körüli hőmérsékleten relatív rövid idő alatt létrejövő kiválások [1, 4].

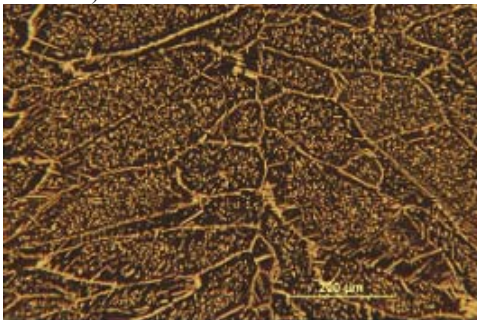
## 2. DUPLEX ACÉLOK ANYAGSZERKEZETI JELLEMZŐI

A korrózióálló duplex acélok, kettős szövet szerkezettel rendelkeznek, ausztenit és ferrit (4. ábra) és az eredő tulajdonságot az arányuk adja. Beraha'l reagenssel maratva a metallográfia csiszolatként előkészített mintákat a ferrit az

ausztenittől jól elkülöníthető. Maratás után a ferrit sötét az ausztenit világos marad.



a) lemez alakban szállított



b) öntött szerkezet hőkezelés nélkül. Marószerszer Beraha'1 reagens

4. ábra. Duplex acél szövete képe

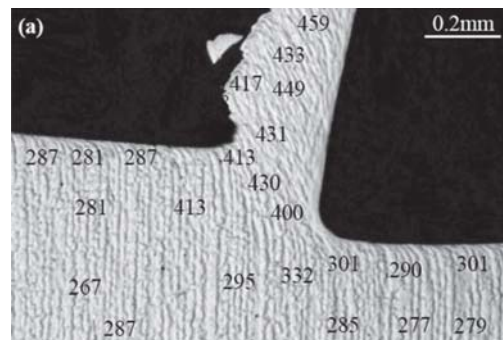
A standard duplex acélok 50-50% ferrit-ausztenit összetételűek, de a különböző típusú duplexek ausztenit-ferrit aránya ettől eltérő lehet. Az ausztenit biztosítja a jó alakíthatóságot, a szívósságot, a jó hegeszthetőséget, a hidrogén elridegesséssel szembeni ellenállást, míg a ferrit a megfelelő korrózióállóságot főleg a klorid ionok által indukált pittinggel, réskorrózióval és feszültségi korrózióval szemben.

### 3. DUPLEX ACÉLOK FORGÁCSOLHATÓSÁGA ÉS ANNAK PROBLÉMÁI

#### 3.1. A forgácsképződés mechanizmusa

A duplex acélok forgácsolása nehézkes. Az egyik elsődleges probléma a nagy felkeményedési hajlamuk. J. Nomani és társai [8] két duplex acél (SAF 2205 standard duplex és SAF 2507 szuperduplex) forgácsolhatósági vizsgálatát végezte el. Az elsődleges alakváltozási zónában mindenhol felkeményedést tapasztaltak, mindkét duplex ötvözetnél. Vizsgálataik alapján a felkeményedés függ a forgácsoló sebességtől (alakítási sebesség), valamint az eltérő ötvözettségtől (Hasonló eredményre jutottak G.M. Krolczyk és társai [10] is.) A 2507 típusú szuperduplex acél nagyobb érzékenységet mutat a sebesség növekedésével a felkeményedésre a nagyobb ötvözet tartalom (Ni, Mo és Cr) jelen-

léte miatt. A forgácstöben J. Nomani és társai [8] a megfigyelési alapján az ausztenit és a ferrit mezők is torzultak, az alakváltozás irányának megfelelően.



5. ábra. Knoop mikrokeménység mérések eredményei (SAF 2205,  $v_c = 94$  m/min) [8]

#### 3.2. A duplex acélok forgácsoló szerszámra gyakorolt hatása

A duplex acélok forgácsolása nagyon igénybe veszi az alkalmazott forgácsoló szerszámokat. A ferrit biztosította pittinggel szembeni jó ellenállás a forgácsolás során negatívan utközik ki. A nagy forgácsoló erőszükséglet pedig a viszonylag magas szakítószilárdságból és a felkeményedési hajlamból adódik.

A jellemző szerszám kopásformák az adhéziós [7] és intenzív abrazív kopások [8, 10]. A. Diniz és társai [9] azt figyelték meg, hogy a szerszám bevonat lekopása után (a szerszám kopott területein) megnövekedett a diffúziós kopás, sőt nagyobb forgácsoló sebességeknél is (a nagyobb forgácsolási hőmérséklet hatására) erőteljesebb a diffúziós kopási jelenség. Az erős kopási jelenségeknek köszönhetően kismértékű forgácsoló sebesség növekedés nagy szerszáméltartam csökkenéssel jár. A szerszám éltartama rendkívül érzékeny a forgácsoló sebesség változásra [9,10]. A. Diniz és társai [9] továbbá számos hűtő-kenő-öblítő módszert vizsgáltak a kísérleteik során a száraz forgácsolás mellett (árasztásos forgácsolás, tiszta növényi olaj, minimál kenés) a szerszámkopásra való hatásuk miatt. A vizsgált forgácsolási körülmények közül csak a tiszta olajjal való kenés csökkentette érdemben a szerszámkopást.

A duplex acélok forgácsolásakor számos esetben megfigyelhető az élrátét képződés jelensége, mely nagyban rontja a forgácsolás körülményeit [8, 10]. Megállapították, hogy a kialakuló élrátét csak az  $\alpha$ -ferritből, az anyag lágyabb fázisából áll. A keményebb fázisú  $\gamma$ -

ausztenit valószínűleg „tovább áramlik” a kialakulás helyétől, a torlóponttól [8].

### 3.3. Duplex korrózióálló acélok szerszám éltartammal kapcsolatos tapasztalatai

J. de Paiva Jr és társai [7] háromféle bevonattípus viselkedését vizsgálták UNS S32750 típusú superduplex forgácsolásokor ( $TiCN+Al_2O_3$ , TiCN, nano-kristályos AlTiN). Forgácsolás közben szintetikus olaj alapú hűtő közeget alkalmaztak. Éltartam szempontjából az AlTiN bevonatot találták kiemelkedőnek. Ez annak tulajdonítható, hogy jó tribológiai tulajdonságokkal rendelkező alumínium-oxid film réteg alakul ki az AlTiN bevonaton, mely csökkenti a súrlódást és megkönnyíti a forgács leválását a szerszám homlokfelületén.

A hűtőközegek használatának vizsgálata duplex acélok esetén napjaink egyik fő kutatási területe. G.M. Krolczyk és társai [10] kutatásai során száraz forgácsolási körülmények között alkalmazott CVD befonatos keményfém szerszám lényegesen jobban teljesített, mint hűtőközeg alkalmazása során. Ez talán annak köszönhető, hogy száraz forgácsolásnál magasabb hőmérsékleten kilágyult a forgácsolt munkadarab felülete és ez megkönnyítette a forgácsképződést, illetve a szárazforgácsoláskor erősen fellépő élrátét okozhatta.

### 3.4 Duplex korrózióálló acélok forgácsolt felületi érdességével kapcsolatos tapasztalatok

Természetesen a forgácsolt felületek minősége is fontos szempont. Ezért a forgácsolt felületek érdessége is fontos kutatási téma. Számos kutatás foglalkozik ezzel a témakörrel. D. Selvaraj és társai [11] Taguchi módszerrel optimalizálták a felületi érdességet kétféle duplex acélon (ASTM A 955 5A, és 4A) száraz forgácsolási körülmények között. Szintén a felületi érdességet vizsgálták duplex (UNS S3220) acélnál M. Policena és társai [12] marási technológiánál száraz körülmények között. Vizsgálatukban ún. Box-Behnken kísérlettervet alkalmaztak. Az esztergált felület morfológiáját elemezték G.M. Krolczyk és társai [13] duplex acélnál PSD analízissel száraz és minimálkenéssel történő forgácsolás után.

## 3. KÍSÉRLETBEN HASZNÁLT ANYAGOK ÉS ESZKÖZÖK

### 3.1 Kísérletben használt duplex korrózióálló acél

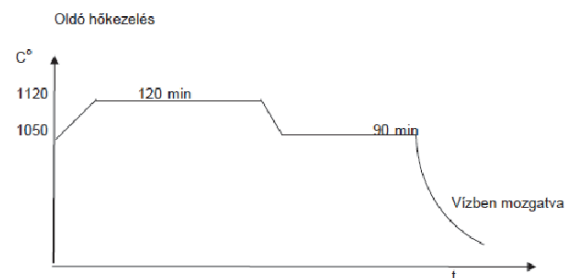
A kísérletben használt duplex acél 1.4517 (GX2CrNiMoCuN25-6-3-3) kémiai összetételét

az 1. táblázat tartalmazza. Szakitószilárdsága,  $R_m = 650-850$  MPa, egyezményes folyáshatára,  $R_{p0,2} = 480$  Mpa. Ezt az acél típusnak kiemelendő tulajdonsága még, hogy jó a kavitációs erózióval szembeni tűrése. Ezért számos iparvállalat (szivattyúgyártó) alkalmazza szivattyúház vagy járókerék alapanyagként.

1. táblázat. A kísérletben használt duplex acél kémiai összetétele, %

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	N	Cu
max. 0,03	max. 1	max. 1,5	5-7	max. 0,035	max. 0,025	24,5-26,5	2,5-3,5	0,12-0,22	2,75-3,5

A vizsgálandó duplex acél szerkezetét (6. ábra) oldó izzító hőkezeléssel érik el, majd gyors hűtést alkalmaznak, hogy megtartsák „befagyasszák” a kialakult kétfázisú szövetet. Ezt a hőkezelést általánosan 1050-1150°C hőmérséklet tartományban végzik, erre hevítik fel az öntés után kialakult ferrites szövetet. A hűtést nagysebességgel végzik, a befagyasztáshoz és a kiválások elkerüléséhez.



6. ábra. Vizsgált duplex acél hőkezelése

### 3.2 Kísérletben használt forgácsoló szerszám és vizsgálati eszközök

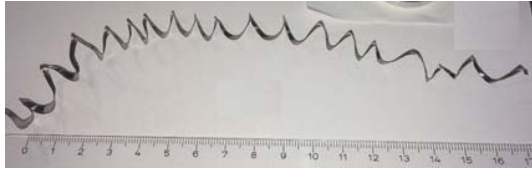
Az esztergálási kísérletet WNMG-FM 080408 befonatos lapkával végeztük. A forgácsolási paraméterek: forgácsoló sebesség,  $v_c = 100$  m/min; előtolás,  $f=0,15$  mm; fogásmélység,  $a_p=0,5$  mm.

A vizsgálatba vont elemző eszközök: Panasonic DMC-G7 fényképezőgép+ 28mm-es objektív, Nikon sztereómikroszkóp, Jeol JSM 5310 típusú pásztázó elektronmikroszkóp.

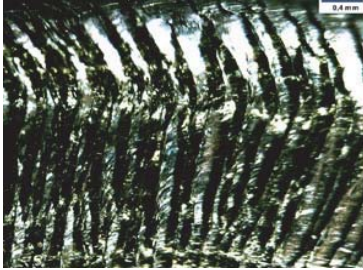
## 4. DUPLEX ACÉL FORGÁCSOLÁSÁNAK KEZDETI EREDMÉNYEI

### 4.1 Forgács vizsgálata

A vizsgált forgácson megfigyelhető az ausztenites korrózióálló acélokra jellemző folyó, tagolt forgács típus (7. ábra).



a) Folyóforgács



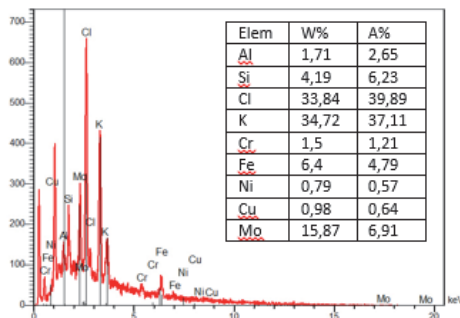
b) Forgácstagoltság

7. ábra. Duplex acél esztergálásának forgácsa

A szemcsehatárookra beült szennyeződések (8.a ábra) további elemzések (8.b ábra), a réz és jelentős mennyiségű molibdén mellett klór és kálium maradványokat is találtunk, melyek a hűtőfolyadékából származhatnak.



a) Forgács szemcsehatárnál beékelődő kiválás + szennyeződés (SEM felvétel)



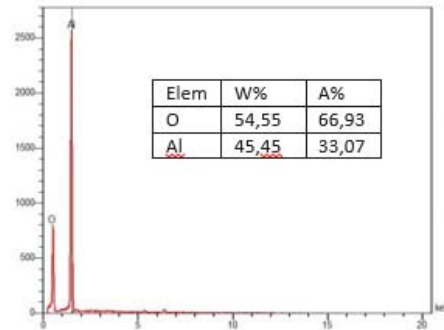
b) Kiálló anyagréz rész anyagösszetétel vizsgálata  
8. ábra. Forgács vizsgálata

A forgács szerszám homloklapjával érintkező felének további elemzése, hogy a szemcsehatárok között üreget találtunk (9.a ábra), mely feltételezhetően egy mikro zsugorodási üreg, melybe  $\text{Al}_2\text{O}_3$  szemcse ült be (9.b ábra). Ez egy kemény vegyületfázis, mely abráziós koptató hatást fejt ki a szerszámra. Az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  szemcse az alkatrész öntött jellegéből fakadóan kerülhetett az anyagba. A duplex acél-

lok igen kis széntartalmúak, a dezoxidáláshoz a szilícium mellett szükség van az alumíniumra is. A vizsgálatok szerint az alumínium oxid nem került a salakba teljes mértékig a gyártás során, hanem az öntött szerkezetnek megfelelően a szemcsehatárokon is megjelent.

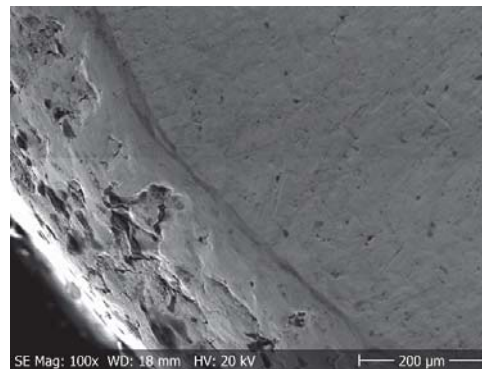


a) Szemcsehatár üregbe ékelődött  $\text{Al}_2\text{O}_3$  szemcse (SEM felvétel)



b) Szemcse határmenti üregbe beült szennyeződések anyagösszetételének vizsgálata  
9. ábra. Forgács szemcsehatármenti üregben lévő szennyeződés

A forgács szerszám homloklapjával érintkező felületén (másodlagos alakváltozási zóna) számos kiálló anyagréz látható (10. ábra), melyek élesek és karcoló hatást gyakorolnak a szerszámra amennyiben alumínium oxidok, illetve réztartalmú  $\epsilon$ -fázis.



10. ábra. Forgács SEM képe mely a szerszám homloklapfelületével érintkezett (másodlagos alakváltozási zónából)

#### 4.2 A forgácsoló lapka kopásainak kezdeti elemzése

A forgácsoláshoz alkalmazott lapkákat nagyon igénybe vette a megmunkálás. A lapkákon nagy hátkopás és élkopás figyelhető meg (11. ábra). Az intenzív kopások az anyagba ékelődött kemény oxidszemcséknek és az anyag szívós viselkedésének következménye.



11. ábra. Forgácsoló lapka kopása

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben röviden áttekintettük a duplex acélokat és azok felhasználási fontosságát napjainkban. Bemutattuk a duplex acélok forgácsolhatósági problémáit. A szakirodalom és az esztergálási kísérleteinkből az alábbi következtetések vonhatóak le:

- A superduplex acél forgácsolása közben igen nagyarányú az abrúziós kopás.
- Az abrúziós kopást a forgácsban lévő kemény kiválások okozzák. Ezt bizonyítottuk a forgács szemcsehatár üregbe ékelődött elektronmikroszkópos képeivel és anyagösszetétel vizsgálataival.
- A lapka kopás előzetes vizsgálatai bizonyították a szakirodalomban tapasztaltakat, a kopás intenzív és nagyon érzékeny a forgácsolási körülményekre.

További kutatási célokban megfogalmazható a kiválasztott superduplex acél típus forgácsolhatóságának átfogó vizsgálata. Erőtani viszonyok feltérképezése, forgácsolt felület elemzése, valamint a forgács és a lapkakopás, esetlegesen létrejövő élrátét átfogó anyagtudományi vizsgálata.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Magyarmet Finomöntőde Kft.-nek a forgácsolási kísérletre öntött és hőkezelt munkadarabok gyártásáért.



Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-I-OE-37 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának, valamint az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 számú projekt támogatásával készült.

#### 6. IRODALOM

- [1] Bődök, K. (1997). Az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére. *Corweld, Budapest*.
- [2] Antal, K., Réger, M., Tóth, L. (1995). Szerkezeti anyagok I., BDMF, *Budapest*.
- [3] Alvarez-Armas, I. (2008). Duplex stainless steels: brief history and some recent alloys. *Recent Patents on Mechanical Engineering, 1(1)*, 51-57.
- [4] Gunn, R. (Ed.). (1997). *Duplex stainless steels: microstructure, properties and applications*. Woodhead Publishing.
- [5] Duplex stainless steel for storage tanks Brochure (<https://otk-sitecore-prod-v2-cdn.azureedge.net/-/media/files/products/forta/duplex-for-storage-tanks-brochure.pdf>)
- [6] <http://www.infomine.com>
- [7] de Paiva, J. M., Torres, R. D., Amorim, F. L., Covelli, D., Tauhiduzzaman, M., Veldhuis, S., ... & Fox-Rabinovich, G. (2017). Frictional and wear performance of hard coatings during machining of superduplex stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 92(1-4)*, 423-432.
- [8] Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T., & Littlefair, G. (2015). Chip formation mechanism and machinability of wrought duplex stainless steel alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 80(5-8)*, 1127-1135.
- [9] Diniz, A. E., Machado, Á. R., & Corrêa, J. G. (2016). Tool wear mechanisms in the machining of steels and stainless steels. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 87(9-12)*, 3157-3168.
- [10] Krolczyk, G. M., Nieslony, P., & Legutko, S. (2015). Determination of tool life and research wear during duplex stainless steel turning. *Archives of Civil and Mechanical Engineering, 15(2)*, 347-354.
- [11] Selvaraj, D. P., Chandramohan, P., & Mohanraj, M. (2014). Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method. *Measurement, 49*, 205-215.
- [12] Policena, M. R., Devitte, C., Fronza, G., Garcia, R. F., & Souza, A. J. (2018). Surface roughness analysis in finishing end-milling of duplex stainless steel UNS S32205. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1-9*.
- [13] Krolczyk, G. M., Maruda, R. W., Nieslony, P., & Wieczorowski, M. (2016). Surface morphology analysis of duplex stainless steel (DSS) in clean production using the power spectral density. *Measurement, 94*, 464-470.



# FÜGGVAS INTUITÍV ÉS SZÁMÍTÓGÉPPEL SEGÍTETT TOPOLÓGIAI OPTIMÁLÁSA ÉS VÉGESELEMES ANALÍZISE

## MANUALLY AND COMPUTER AIDED TOPOLOGY OPTIMIZATION AND FINITE ELEMENT ANALYSIS OF SUSPENSION CLIP

*Jónás Szabolcs, Krizsna Szabolcs, Dr. Felhős Dávid – Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek  
Hungária Kft.*

### ÖSSZEFOGLALÁS.

Az alábbi tanulmány egy hagyományos vasúti fékegység felfüggesztő elemének, a függvasnak az optimalizációs folyamatát taglalja. A vizsgált és optimalizált függvas a legújabb fejlesztésű konvencionális fékegységeket a forgóvázhoz rögzítő eleme. A célunk az volt, hogy egy tömegcsökkentett és egyben szilárdságilag is megfelelő, 3D fém nyomtatással gyártható alkatrészt fejlesszünk.

### ABSTRACT.

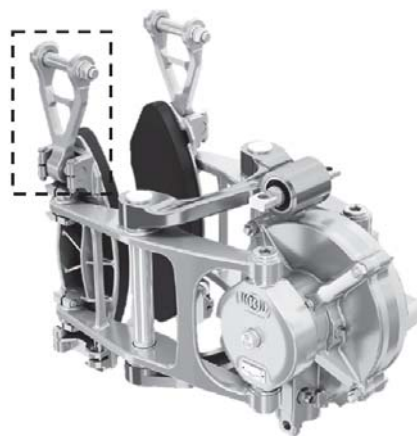
In this study the topology optimization process of a conventional brake caliper unit's suspension clip is presented. The presented part is the suspension clip of our latest conventional brake caliper unit design which connects the brake unit to the bogie. The aim of the present study is to develop a weight reduced, 3D-printable suspension clip with appropriate fatigue strength.

### 1. BEVEZETÉS

A piaci verseny a műszaki fejlesztések hajtóerőjeként kényszeríti a korszerű módszerek adoptálását a hétköznapi mérnöki gyakorlatban. A versenyelőny megtartásához vagy megszerzéséhez olyan újítások szükségesek, amik a termékek gyakorlati hasznát növelik és amiből a vásárlóknak kiszámítható haszná származik. A lehetséges újításokról nehéz előre megjósolni, hogy a kereslet visszaigazolja-e majd a hozzájuk fűzött reményeket. Más megvilágításban azt is állíthatjuk, hogy a fejlesztések anyagilag kockázatosak. Ennek a kockázatnak a csökkentése érdekében érdemes olyan fejlesztéseket végrehajtani, amiről biztosan előre lehet jelezni, a felhasználónál jelentkező előnyöket. Jól kiszámítható előnnyel jár például a termékek tömegcsökkentése ezért az iparban jelenleg nagy hangsúlyt kapnak a topológia-optimalizációs projektek. Az alábbi tanulmány is egy öntöttvas alkatrész tömegoptimalizációs folyamatának módszereit vizsgálja fel.

A feladat célkitűzése egy új, tömegcsökkentett hagyományos fékegység

kifejlesztése volt. Az alábbiakban az 1. ábrán, a tömegcsökkentett fékegység szaggatott vonallal keretezett alkatrészének, a függvasnak az eredményeit mutatjuk be. A feladatot két irányból közelítettük meg. Ezek közül az egyik, a hagyományosnak tekinthető mérnöki, intuitív optimalizációs folyamat, míg a másik a számítógéppel segített optimalizálás.

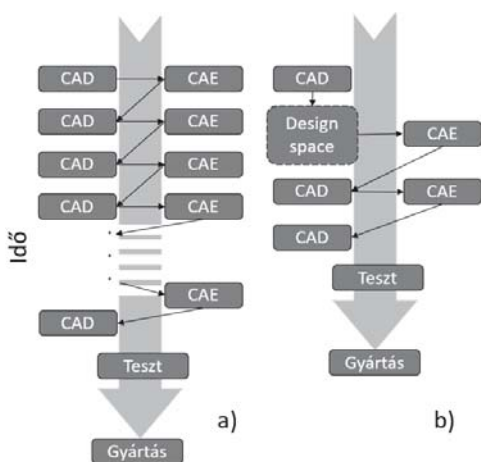


*1. ábra Tömegcsökkentett konvencionális  
fékegység (függvas szaggatott vonallal  
keretezve)*

A 2. ábrán látható a két módszer a) hagyományosnak vagy intuitívnak nevezett folyamat és b) a számítógéppel segített optimalizációs folyamat. A két módszer között alapvető különbségeket lehet megemlíteni. A hagyományos megközelítés esetében a fejlesztésre fordítandó idő mennyisége nagyobb, míg a számítógéppel segített optimalizációs folyamat esetében a szükséges szoftverek száma jelentősen többet ráfordítást igényel. A hagyományos módszer esetén a konstrukciót több ízben át kell tervezni, majd ellenőrizni szilárdságilag, míg a számítógéppel segített eljárás során 2-3 iterációs lépés után elérhetjük a kívánt topológiát. A 2. ábra b) részletén megjelenik az ún. „design space”, amely a leginkább időigényes része a folyamatnak [1]. A „design space” azt a térrészt jelenti, ahol az alkatrész ütközések nélkül

elhelyezkedhet a beépítési környezetben bármilyen üzemi állapotban.

Meg kell azonban jegyezni, hogy ez utóbbi esetben a szoftverek többletköltsége csak egyszer jelenik meg, a továbbiakban a fejlesztési költségek szignifikáns csökkentését fogja eredményezni a ráfordítandó munkaórák számának csökkenése. A számítógéppel segített topológiák gyárthatóságát rendszerint felül kell vizsgálni, de a 3D fémnyomtatás nyújtotta lehetőségek ezt az utómunkát jelentősen lerövidíthetik [2].



2. ábra Hagyományos és számítógéppel segített termékfejlesztés

Az eddigi tapasztalatok alapján 5-ször gyorsabb a számítógéppel segített optimalálás, de ez az érték erősen függ a feladat bonyolultságától és nagyságától.

## 2. ALKALMAZOTT ESZKÖZÖK

A CAD modellezéshez a PTC/Creo 4 szoftvercsomagot használtuk. A számításokhoz használt végeelem modell az ANSYS Workbench 18.2 rendszerben [4] épült fel. Az Inspire [3] nevű szoftverrel végeztük a topológia optimalálását, amely az Altair OptiStruct megoldóját használja. A számítások kiértékelését az Iridescent 4D nevű saját fejlesztésű szoftver segíti. A szoftver az FKM 2012 [5] alapján számolja a biztonsági tényezőket.

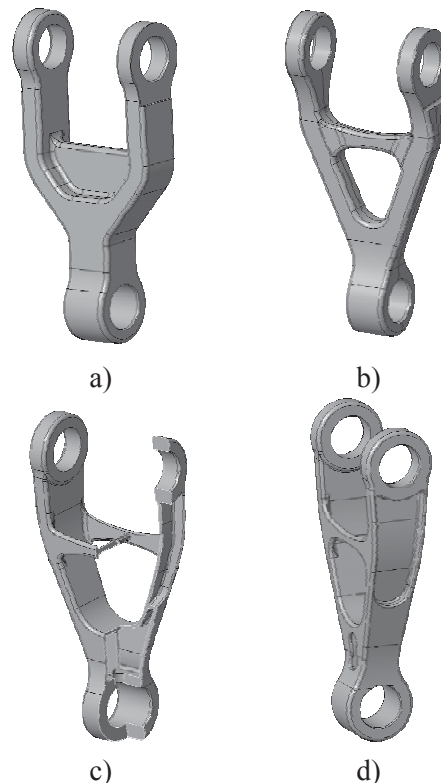
## 3. MÓDSZEREK

### 3.1. Intuitív optimalálási eljárás

Az optimalálási feladat meghatározó lépése a célfüggvények meghatározása, ami esetünkben a tömeg minimalizálása volt az üzemi szilárdsági és a merevségi korlátok betartása

mellett, a gyárthatóság figyelembevételével. A fejlesztési folyamat során több tíz variáns született, amelyek közül itt csak azokat mutatjuk be, amik teljesítették az összes peremfeltételt.

A fejlesztési folyamat során elvetettük azokat a variánsokat is, amik például felületkezelési problémát jelenthettek volna, vagy amelyek vasúti üzemi körülmények között sérülékenynek ítéltünk meg.

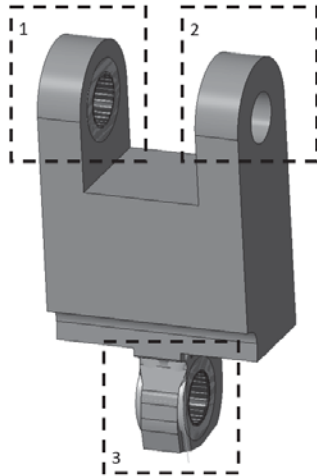


3. ábra Hagyományos úton történő fejlesztési eredmények

A 3.a) ábra a függvas eredeti, kiinduló topológiáját. A 3.b) ábra a hagyományos intuitív optimalálási folyamat végeredményét mutatja be, ami az 1. ábrán is látható az összeállítási modellben. A 3.c) és 3.d) jelű topológiák szintén intuitív optimalizálási folyamat eredményei, de ezek öntészeti eljárással nem, vagy csak nehezen lennének gyárthatóak, inkább additív gyártási technológiákkal állíthatók elő, mivel üregesek és bonyolult kialakítással rendelkeznek. A hagyományos tervezési folyamat sajátágaként látható, hogy az egyes topológiák egymásra épülnek. Ezzel szemben a számítógéppel segített optimalálás során újszerű geometriák is felmerülnek, mint lehetséges megoldások.

### 3.2. Számítógéppel segített optimalizációs eljárás

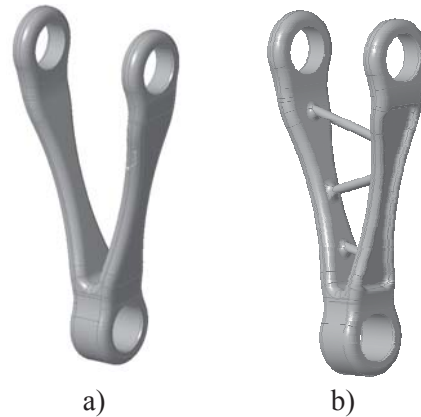
A számítógéppel segített optimalizálás megkezdése előtt meg kell határozni az ún. „design space”-t, ami jelen esetben a 4. ábrán látható. Ez az a térfogat, amelyből az optimalizást végző szoftver a célfüggvényeknek, korlátoknak megfelelően távolítja el az anyagot. Ezt a térfogatot úgy célszerű kialakítani, hogy a beépülés helyének maximális mértékét figyelembe vesszük, a lehető legtöbb helyet hagyva az algoritmusnak.



4. ábra Topológiai optimalizálás kiinduló térfogata (design space)

Az optimalizást végző szoftveren belül definiálni szükséges az anyagot, a peremfeltételeket, korlátokat és azt a célfüggvényt, amelynek szélsőértékét el szeretnénk érni. Ez esetben a célfüggvény a tömeg minimalizálása volt. Az optimalizást végző rendszerben korlátozott lehetőségek állnak rendelkezésre számos tekintetben, például kontaktok definiálására, ezért egyszerűsítéseket végeztünk a modellen. Ez azt jelenti, hogy a fékezéskor várhatóan fellépő erőket a csapágyak helyén definiáltuk, mint csapágyerő az alsó furatban (4. ábra 3-mal jelölt furata), míg a megfogásokat a felső két csapágyfuratban értelmeztük (4. ábrán az 1 és 2 jelű furatok).

Az optimalizálás eredményeként kapott topológia egy pontfelhő, ami még alkalmatlan a végeselemes modellezéshez. A FEM modell elkészítése előtt a geometria finomításra van szükség, amit célszerűen egy CAD rendszerben végeztünk el. A számítógépes optimalizáció pontfelhő eredményének mérnöki leképezése látható a következő 5a)-ábrán. Az 5b) ábra az 5a)-ábrán bemutatott megoldás szilárdsági elemzése alapján mérnöki intuíció segítségével egy további lépésben továbbfejlesztett változata.



5. ábra Számítógéppel segített topológiai optimalizálás eredményei

Az 5b) ábrán bemutatott változatban a kialakított merevítő elemek lehetővé tették további anyag eltávolítását is. Ennek a véglegesnek tekinthető megoldásnak az időigénye, az utólagos intuitív lépés beiktatásával is kevesebb volt, mint a teljes egészében intuitív úton fejlesztett geometriáké (lásd 3.1.-es fejezet).

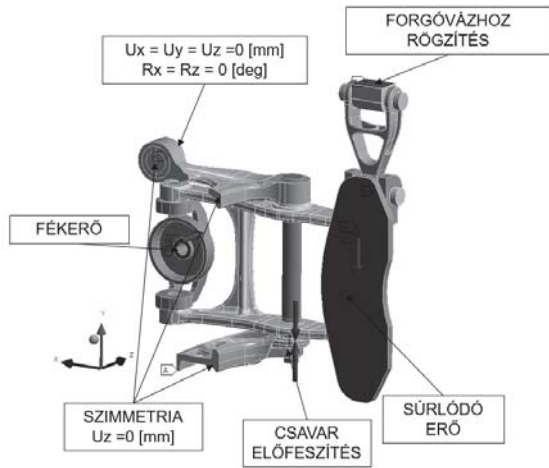
## 4. VÉGESELEMES MODELLEK

A kifejlesztett topológiák minősítéséhez 3D-s végeselemes számításokat végeztünk. A végeselem modellek csak a függvas geometriai kialakításának tekintetében tértek el egymástól, annak érdekében, hogy a vizsgált függvasak eredményei összehasonlíthatóak maradjanak. Ennek a tanulmánynak a keretein belül részletesen csak a számítógéppel optimalizált topológiák végeselemes modelljét és számítási eredményeit ismertetjük. Az intuitív módon tervezett függvas geometriák számításai is az ebben a fejezetben bemutatott szimulációs modellel lettek elvégezve.

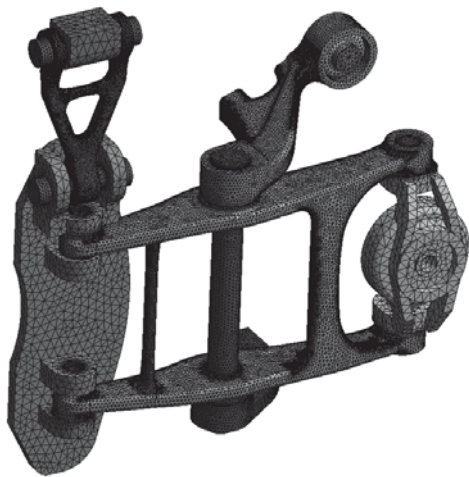
### 4.1. A modell felépítése

A különféle függvas variánsokat egy megfelelően kondicionált modellbe importálva vizsgáltuk. A 6. ábrán a végeselemes modell peremfeltételei láthatóak. A modell az egység tulajdonságainak köszönhetően szimmetrikus. A modell hozzávetőlegesen 1,5 millió darab másodfokú elemet tartalmaz. A vizsgálat tárgyát jelentő függvas anyagát tekintve EN-GJS-600-10 [6], a felhasznált rugalmassági jellemzők  $E=170$  GPa és  $\nu=0,275$ . A konvencionális egységek sajátja, hogy az alkatrészek csatlakozó felületei között a tűrésekből jelentős hézagok adódnak (néhány tized mm), amiket szükséges figyelembe venni a szimuláció során. Ez a nemlineáris kontaktok

miatt mindig komoly számítási igényt eredményez. A CPU idő esetenként több tíz óra is lehet. A feltételezett üzemi fékerő esetét tekintve a számítási idő ~8 óra. A 7. ábrán a végeelem háló látható.



6. ábra A végeelem modell peremfeltételei a geometriai egyszerűsítést követően



7. ábra Végeelemes háló

#### 4.2. Torziós-merevségi vizsgálatok

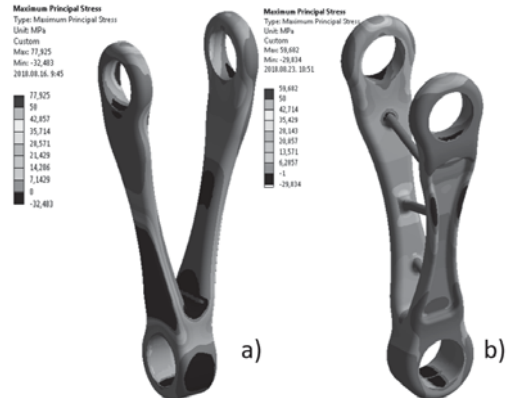
A tömegcsökkentés hatással van a darab merevségére is. Az optimált geometriák esetén nincs ismeretünk az elcsavarodással szembeni ellenállásra, így azt szükségszerűen megvizsgáltuk.

A csavarással szembeni ellenállást egytest modelleket használva ellenőriztük. A 4. ábrán bemutatott 3. jelű furatban nyomatékkal terheltük a függvasat. A nyomaték hatására bekövetkező elcsavarodást a perselyek tengelyvonalai által bezárt szögek méretével számszerűsítettük, és hasonítottuk a belső szabványos értékhez (lásd később a 9. ábrát).

## 5. EREDMÉNYEK

### 5.1. Számítógéppel optimált függvas geometriák végeelemes számítási eredményei

A számítógéppel optimalizált függvas-topológiának és annak az intuitív módon továbbfejlesztett változatának első főfeszültség-amplitúdóit mutatja a 8. a) és b) ábra.



8. ábra A számítógéppel optimált geometriák feszültségeloszlási képe

Az eredményekből az látszik, hogy szárból történt anyageltávolítás és a szárok közötti rudak hatása szignifikánsan átrendezi a feszültségeloszlást. Az intuitív módon továbbfejlesztett topológia esetén 20 MPa-lal csökkent a maximális feszültség-amplitúdó értéke.

### 5.2. Üzemi szilárdsági számítások

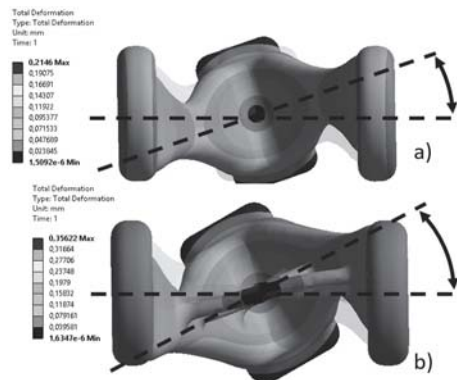
A végeelemes számításokat követően minden topológiát ellenőriztünk a kifáradási szilárdság tekintetében. A kiértékelés gömbrafitos öntöttvas anyagminőség feltételezése mellett lett elvégezve az FKM útmutatás alapján. A biztonsági tényezők a bemutatott topológiák esetén kifáradás szempontjából megfelelőnek bizonyultak.

### 5.3. Tömegcsökkenés

A referenciának tekintett kiindulási függvas geometria több, mint 30 éve működő variáns, amelynek tömege 1364 g. Az optimalizálás során a célfüggvény a tömeg minimalizálása volt. A számítógép segítségével optimált darab (5.a ábra) tömege 860 g lett. Ehhez képest a megerősített számítógéppel optimált függvas (5.b ábra) tömege 760 g, ami jelentős csökkenést jelent, ha figyelembe vesszük, hogy ebben a variánsban a kialakuló feszültségek amplitúdója is csökkent.

#### 5.4. A torziós-merevségi vizsgálatok eredményei

A számítások eredményeiből az derült ki, hogy az intuitív módszerrel továbbfejlesztett geometria (5.b ábra) csavarással szembeni ellenállása kedvezőtlenebb irányba változott a merevítés nélkülihez (5.a ábra) képest, lásd rendre a 9.b) és 9.a) ábrát. Azonban az elfordulás szögének növekedése még mindig az előre meghatározott és elfogadott mérték alatt van.



9. ábra Az elcsavarodás mértéke a számítógéppel optimált geometriák esetén (40X-es nagyítás)

#### 5.5. Az intuitív módon optimalizált topológiák eredményei

A korlátozott terjedelem miatt, itt csak a számítógéppel segített topológia optimalizálás eredményeit közöltük, azonban az intuitív úton létrehozott variánsok számításai is azonos elvek mentén lettek elvégezve.

Az intuitív úton tervezett függvasak esetén is alacsonyabb szinten maradt az elcsavarodás mértéke, mint a meghatározott maximális érték. A feszültségekről pedig elmondható, hogy a megengedhető maximum alatt vannak, tehát kifáradás szempontjából is megfelelőek. Az optimalizált geometriák tömege is jelentős mértékben csökkent a kiindulási geometriához hasonlítva. A 3.b) ábrán látható topológia esetében a tömegcsökkenés mértéke több mint 25% az eredetihez képest (3.a) ábra).

#### 6. ÖSSZEGZÉS

A tanulmányunkban röviden áttekintettük azt fejlesztési projektünket, amely során egy hagyományos fékegység alakoptimalizálását végeztük el, egyszersmind hatékonyság szempontjából teszteltük az intuitív és a számítógéppel segített optimalizációs módszereket.

Az intuitívan optimált geometriák közül egyedül a 3.c)-ábrán bemutatott variáns nem felelt meg a támasztott követelményeknek, mivel egy technológiai kialakítás miatt létrejött feszültséggyűjtő hely környezetében magas feszültségek ébredtek. A számított biztonsági tényező nagyobbra adódott, mint a szükséges minimális, azonban a fokozott biztonsági követelmények miatt egy további optimalizációs lépésben a 3.d)-ábrán bemutatott geometriára történő átervezés tűnt mérnöki szempontból a legésszerűbb megoldásnak.

A számítógéppel segített topológiai optimalizálás során egyrészt tapasztalatokat gyűjtöttünk az esetleges későbbi feladatok gyorsabb és hatékonyabb megoldásához, másrészt sikeresen létrehoztunk egy új variánst, amely mind szilárdságilag, mind pedig az additív gyártási technológiák térnyerésének köszönhető új követelményeknek is megfelel. A fejlesztés során alkalmazott optimalizációs eljárások eredményességét látva valószínűsíthető a számítógéppel segített optimalizálási technikák napi rutinba történő beépítése.

Az intuitív és számítógéppel segített topológia optimalizáló módszerek ötvözése egy hatékonyabb, gyorsabb tervezést tehet lehetővé, amely a hozzáadott érték további növeléséhez vezethet, ezzel hathatósan támogatva a céget a piaci versenyhelyzetben.

#### 7. IRODALOM

- [1] V. Kulkarni, A. Jadhav, P. Basker, Finite Element Analysis and Topology Optimization of Lower Arm of Double Wishbone Suspension using RADIOSS and Optistruct, (2012) IJSR
- [2] G. Kazakis, I. Kanellopoulos, S. Sotiropoulos, N. D. Lagaros, Topology optimization aided structural design: Interpretation, computational aspects and 3D printing, (2017) Heliyon
- [3] SolidThinking Inspire 2016.2 User's manual
- [4] ANSYS Release 18.2 – Documentation for ANSYS Mechanical APDL
- [5] Rennert R., Kullig E., Esderts A., Siegele D.: FKM Guideline, 6<sup>th</sup> Edition, 2012
- [6] DIN EN 1563:2012-03

# VILLAMOS HAJTÁSOK OKTATÁSI ÉS KUTATÁSI BÁZIS KIALAKÍTÁSA A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN

## SETTING UP AN ELECTRIC DRIVES LABORATORY FOR EDUCATION AND RESEARCH IN UNIVERSITY OF GYŐR

*Dr. Marcsa Dániel, Ph.D., Bán Péter*

### ÖSSZEFOGLALÁS.

A Széchenyi Egyetemen zajló fejlesztések egyik fókuszpontja az elektromos és hibrid hajtásrendszerekhez kapcsolódó oktatási és kutatási infrastruktúra modernizálása. Az előadás két fő részből tevődik össze, ami az Energotest Kft. által elkészített 11 fékpad megvalósításával és bemutatásával kezdődik, majd ezt követően az eszközök alkalmazására térünk ki.

### ABSTRACT.

One of the focal points of developments at University of Győr is the modernization of education and research infrastructure related to electric and hybrid drive systems. Our presentation consists of two main parts, the implementation and the demonstration of usage of the 11 test beds produced by Energotest Kft.

### 1. VILLAMOS GÉPEK ÉS VILLAMOS HAJTÁSOK OKTATÁSI KIHÍVÁSAI

Az elektromos és hibrid járművekkel ismételtelen előtérbe került a villamos gépek és hajtások terület. Ennek megfelelően nagy jelentőséget nyertek az ezekkel a területekkel foglalkozó tantárgyak az oktatásban is. Győrben a Széchenyi István Egyetemen ezt az új ipari igényt csak tovább fokozták az Audi Hungária Zrt. elektromos járművekkel kapcsolatos törekvései.

A villamos gépek és hajtások oktatásánál jelentkezett igények alapján az Egyetem lehetőségei a gyakorlat szempontjából elavultnak bizonyultak, mert az egyenáramú gépre és a szinuszos gerjesztésű AC gépekre koncentrált. Így megkerülhetetlen volt egy nagyszabású beruházás, amely megfelelő laboratóriumi körülményeket és eszközöket biztosít a jövő mérnökképzésében.

A beszerzésnél azonban fontos volt a megváltozott hallgatói igényeket is figyelembe venni. Például a villamos gépek elméletének bevezetésével kapcsolatos tananyag nem változott az utóbbi évtizedekben, ezért a hallgatók számára a villamos gépek tárgy régimódinak és unalmasnak tűnhet [1]. Ezért olyan eszközökre volt szükség, amely kellően izgalmas és kézzelfogható a mai hallgató

számára, és emellett a gyakorlaton keresztül lehet megközelíteni az elméletet. Az oktatáshoz tartozik a szakdolgozat és diplomamunka készítése, emiatt nem jöhetett szóba a cégek által kínált ilyen irányú oktatási eszközök vásárlása, mert ezek jellemzően nem adnak kellő rugalmasságot a kísérletezésre, új módszerek kidolgozására [1] [2].

A fő cél az oktatás, de a jövőbeli kutatásokhoz is megfelelő alapot kell biztosítani az új eszközöknek. Valamint ipari munkák elvégzésre is alkalmasnak kell lennie a specifikált teljesítmény- és fordulatszám tartományban.

A fentiek alapján a beszerzésben szereplő eszközöknek a következő elvárásokat kellett teljesítenie:

- alkalmas legyen a releváns villamos gépek vizsgálatára, összehasonlítására;
- elősegítse a korszerű szabályozott villamos hajtások nyújtotta lehetőségek, előnyök megértését;
- lehetőséget biztosítson különböző villamos géptípusok üzemtanának elsajátítására;
- legyen lehetőség az iparban alkalmazott szabályozási módszerek adaptálására;
- látványos és könnyen érthető paraméter megjelenítés, könnyen feldolgozható formátumban elérhető és exportálható mérési eredmények;
- a mérőeszköz biztonságos legyen és megfeleljen a korszerű energiagazdálkodásnak.

A kitűzött célok megvalósításában az Energotest Kft. volt a partnerünk, amelynek eredményeképpen 10db 10kW-os és 1db 50kW-os fékpad készült az Egyetem számára.

A következőkben ezen fékpadok megvalósításának, konstrukciós kérdéseinek bemutatása következik, majd az elkészült berendezésekre épülő Villamos hajtások laboratórium bemutatása és a beszerzett eszközök hasznosítása.

## 2. A VIZSGÁLÓ BERENDEZÉSEK KIALAKÍTÁSA

A vizsgáló padok három kategóriába sorolhatók.

### 2.1 Túlterhelhető berendezések

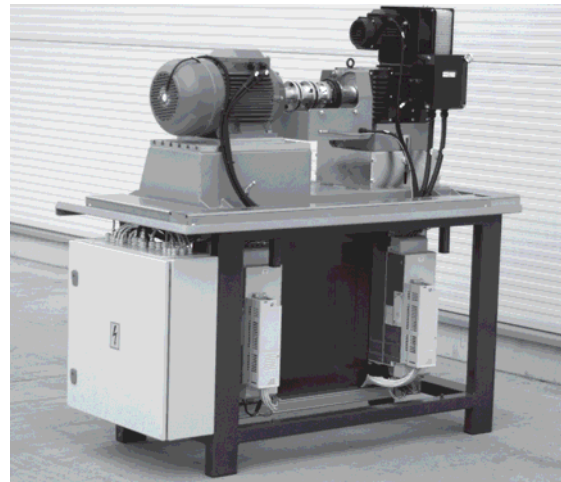
Kettő túlterhelhető berendezést terveztünk 10kW névleges teljesítménnyel, fő jellemzőjük, hogy az oktatási feladatokon kívül alkalmasak akár több száz órás K+F célú mérésekre is. A géppárok tulajdonságai alkalmassá teszik a padokat időleges túlterhelésre is, akár az IEC 60034-1 sz. szabványa szerinti S10 üzemi tényezőig. A terhelő gépek alkalmasak hálózati visszatáplálásra és a vizsgált gépek DC buszon történő visszatáplálására is, így a teljes vezérlő kör hatáskora is vizsgálható.

### 2.2 Oktatási célú padok

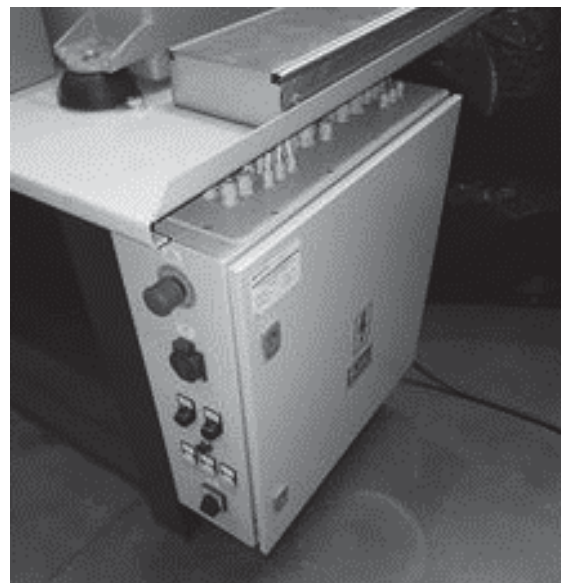
Az oktatási célú gépcsoportoknál a tervezést elsődlegesen a vizsgált gépek  $M-n$  karakterisztikájának felvétele, a hálózati áram és feszültség viszonyok, valamint az üzemtani viszonyok vizsgálata szabta meg elsődlegesen. A vizsgáló gépek jelleggörbéje a vizsgált gépek minden munkapontjában kellően stabil terhelést biztosít, megszaladás nem fordulhat elő. A 2.1 és 2.2 alfejezet alatt bemutatott padok stabil acél vázra épültek, ahogy az 1. ábrán szereplő megvalósított példa esetében látható.

Az erősáramú vezérlő szekrények, a frekvenciaváltós hajtások és a CAN-busz rendszerű mérésadatgyűjtő-vezérlő elektronika az asztal munkasíkjá alatt helyezkednek el (lásd. 2. ábra).

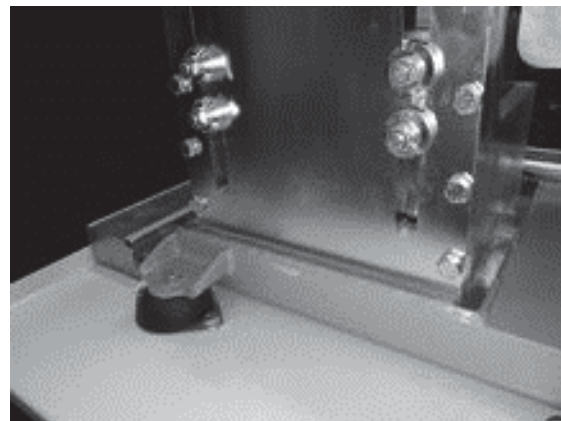
Valamennyi eszköz háromirányú állíthatósággal rendelkezik, azért, hogy a terhelőgép és a vizsgált gép tengelye úgy legyen összekapcsolható, hogy a kétcuklós lemezes tengelykapcsolónak lehetőleg minél kevesebb tengelyhibát kelljen kiküszöbölnie. A villamos gépek felfogatására szolgáló szekrényes tartóállvány lengéstanulag el van szigetelve a tartókerettől, hogy az oktató terem padozatára minél kisebb rezgések kerülhessenek. A 3. ábra a háromirányú állíthatóság megvalósítását és a rezgések elnyelését szolgáló rezgéscsillapító elemeket mutatja.



1. ábra. A szinkron reluktancia motorral felszerelt oktatási célú fékpad.

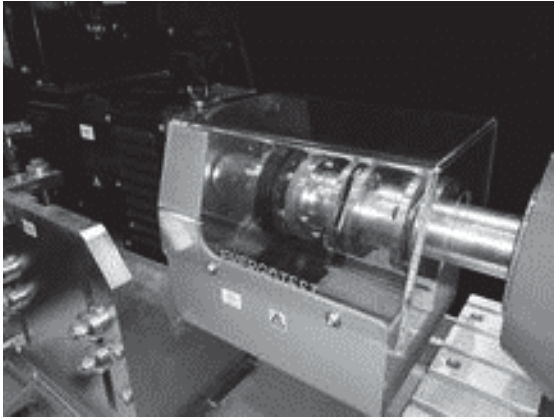


2. ábra. A fékpadok erősáramú vezérlőszekrénye.

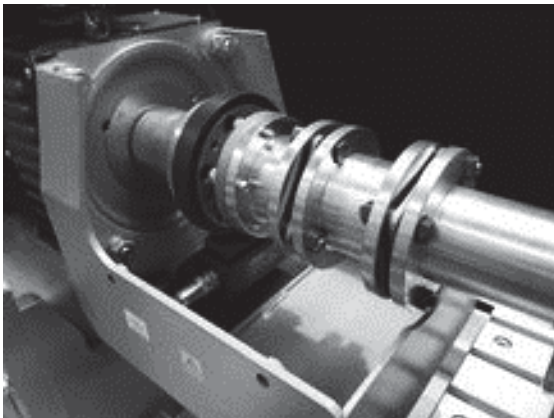


3. ábra. A háromirányú állíthatóság és a rezgéscsillapító.

A mérést végző hallgatói és oktatói személyzet védelme érdekében a forgó alkatrészek egy erős és átlátszó műanyag burkolat alatt helyezkednek el (lásd 4. ábra), amely meggátolja, hogy a forgó alkatrészekhez véletlenül hozzáérjenek, ugyanakkor a forgási állapot szemmel is látható.



4. ábra. A forgó részek érintés elleni védelmét szolgáló műanyag burkolat.



5. ábra. A tengelykapcsoló és a beépített nyomatékmérő tárcsa.

A vizsgáló és vizsgált gépet olyan tengelykapcsolóval kötöttük össze (lásd 5. ábra), amely jóval nagyobb kitérőtengelyűséget és párhuzamossági hibát is el tud viselni, mint amekkorával a kialakított vezető elemek összevezetik a vizsgáló és vizsgált gépek tengelyeit. Az egytengelyű beállítás és a nagy szabadságfokú tengelykapcsoló azért fontos, mert a beépített nagy pontosságú forgó nyomatékmérő tárcsák annál pontosabban mérnek, minél kevesebb axiális és radiális parazitaerő terheli őket mérés közben.

A vizsgáló gép minden padon ABB gyártmányú, IP23 védettségű, radiális léghűtésű

aszinkron szervomotor, amelyeknek a hűtő ventilátorát külön vezéreljük, tehát a berendezések álló helyzetben is alkalmasak a teljes nyomatékuk hosszú idejű leadására. A mért és szabályozott paramétereket minden padon két HMI (Human Machine Interface) jeleníti meg, külön a vizsgáló gépre és külön a vizsgált gépre, ahogy a 6. ábra mutatja.

A mérést végző személy a HMI-ken keresztül tudja a villamos gépeket a kívánt üzemállapotra hozni és az itt kijelzett értékeket tudja a mérési jegyzőkönyvbe felvenni.



6. ábra. A vizsgáló és a vizsgált géphez tartozó HMI-k.



7. ábra. A fékpadok indítását engedélyező kulcsos kapcsoló.

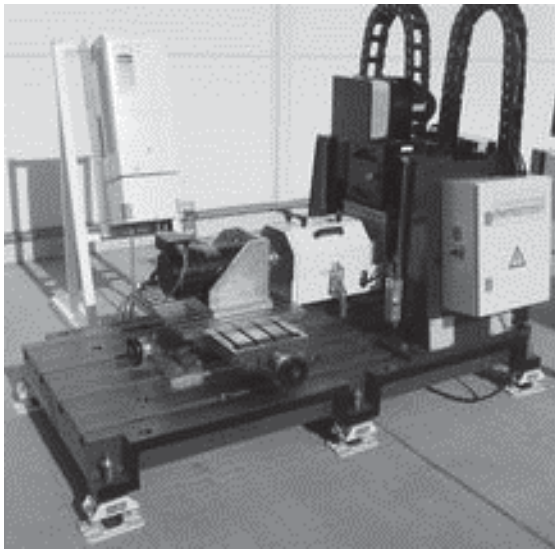
A hallgatói biztonság érdekében minden vezérlő egység kulcsos kapcsolót is tartalmaz (lásd 7. ábra), amely lehetővé teszi, hogy az oktató csak akkor adjon engedélyt a mérés



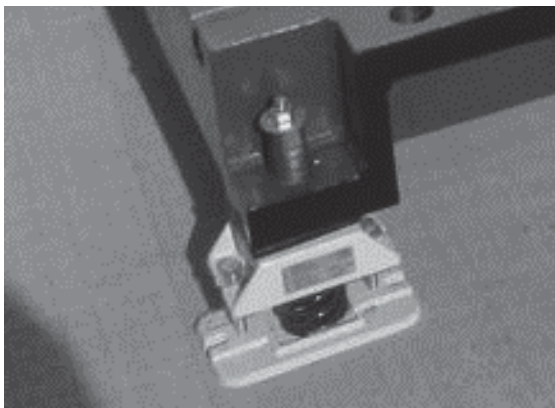
indítására, ha minden beállítást ellenőrzött és a testi épséget semmi nem veszélyezteti.

### 2.3 K+F célú, 55 kW-os vizsgálópad

Ez a berendezés a hagyományos hibrid hajtású személygépkocsik villamos gépeinek nagyságrendjébe eső teljesítménykategóriára készült, a vizsgáló villamos gép 55kW teljesítményű. A vizsgáló gép egy előtét tengellyel van hozzákötve a vizsgált forgógéphez és az előtét tengely áttételének változtatásával mód nyílik a különböző karakterisztikájú villamos gépek vizsgálatára is, 5-55kW teljesítményig és 0-10.000rpm vizsgált fordulatszámig. A gép egy rögzítő hornyokkal ellátott acél öntvény gépalapon került elhelyezésre. Ezt a fékpadot mutatja a 8. ábra.



8. ábra. Az 55 kW vizsgálópad.



9. ábra. Az 55 kW-os vizsgálópad rezgéscsillapítása.

A gépalapot 3Hz sajátlengési frekvenciára méretezett rugóelemek tartják, meggátolva

hogy a berendezés magas frekvenciájú zajokat tudjon átadni az épület tartószerkezeteinek. Az egyik rezgéscsillapításra szolgáló rugóelem látható a 9. ábrán.

A vizsgáló gép ABB gyártmányú aszinkron szervomotor, fordulatszámától független vezérlésű radiális hűtéssel, amely lehetővé teszi, hogy a vizsgáló gép bármely fordulatszámra korlátlan ideig üzemeltethető. A vizsgált berendezés a kétirányban állítható felfogó gépasztallal és a magasságában állítható vizsgáló gép mozgatásával helyezhető egy tengelybe és lemezes, kétsuklós tengelykapcsoló segítségével köthető össze. Természetesen ennél a padnál is forgó nyomatókmérő tárcsát használunk, amely 0,05% pontosságú nyomatókmérést tesz lehetővé akár percenként 10.000 fordulat mellett.



10. ábra. A 60kW-os számítógépről állítható DC tápegység.

A vizsgálópad tartalmaz egy olyan számítógépről vezérelhető egyenáramú tápegységet, amelynek feszültsége 0-1000V, áramerőssége pedig 0-300A tartományban állítható a mérésvezérlő számítógépről, 60kW teljesítménykorláttal. A 10. ábra a tápegységet mutatja. A tápegység különlegessége, hogy

olyan egyenletes jelet tud biztosítani, amely alkalmassá teszi akkumulátor szimulálására. A próbapad ezzel képes gépjármű hajtások tesztelésére a saját vezérlő elektronikájukkal együtt. A tápegység master - slave kapcsolással összegezni tudja a négy moduljának a kapacitását egy közös kiadó ponton.

A próbapad mérésadatgyűjtő rendszere és vezérlése CAN-Bus rendszerű, ez speciális előnyöket jelenthet a járművezérlő elektronikával való kommunikációs igény esetén. A pad számítástechnikája rack rendszerű ipari számítógép, Energopower szoftverrel, amely az Energotest Kft. saját fejlesztése. Ezt mutatja a 11. ábra.

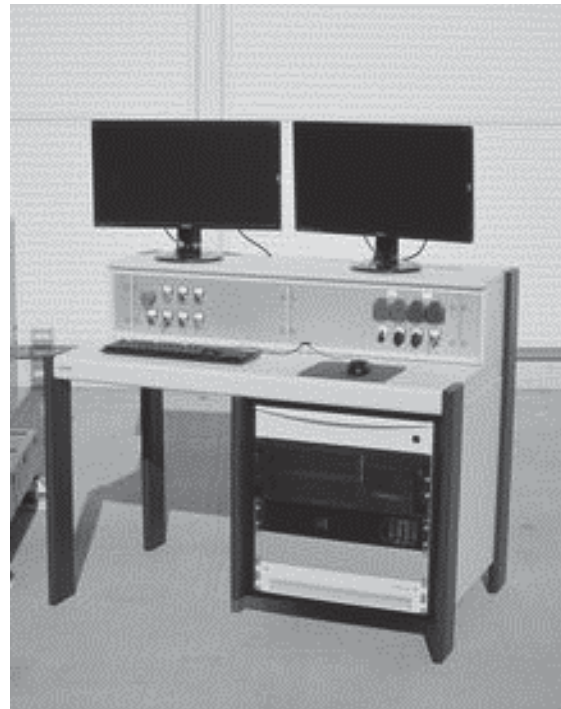
Minden adat tárolásra kerül, amely a mérőrendszerben keletkezik, vagy amelyet külön csatornán beviszünk a rendszerbe, és a szoftverhez rendelhető egy „fekete doboz” jellegű szoftvermodul is, amely úgy regisztrálja a mért és betáplált adatokat, hogy akkor is visszakereshetők, ha egy esetleges műszaki probléma (áramszünet) miatt a teljes rendszer leállna.

### 3. VILLAMOS HAJTÁSOK LABORATÓRIUM

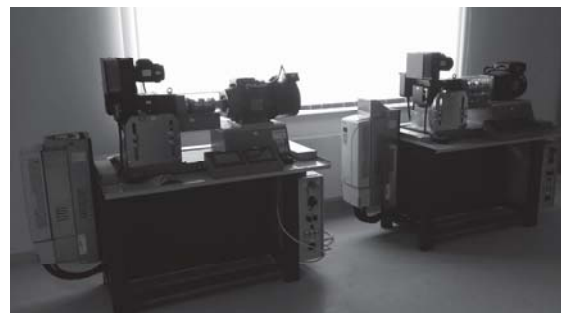
Ahogy a cikk címe is mutatja, az eszközök vásárlásának célja egy bázis létrehozása, amely megfelelően kiszolgálja a gyakorlatorientált oktatást és a kutatásban is megfelelő eszközként szolgál. Ez a bázis a Villamos hajtások laboratórium, amely 190m<sup>2</sup>-en kerül kialakításra. Az 55kW-os fékpád biztonsági okokból a laboratóriumon belül egy külön helyiségben került elhelyezésre.

A laboratóriumban végzett munka jól beépíthető az Egyetemen lévő villamos- és járműmérnöki alap- (B.Sc.) és mesterképzés (M.Sc.) témához kapcsolódó tantárgyaiba. Emellett a laboratóriumra kulcsszerep hárul az Elektromos járműhajtás szakmérnöki továbbképzési szak esetében is.

Kutatás szempontjából a legnagyobb lehetőség az 55 kW-os fékpádban van, mert emellett, hogy alkalmas a hibrid járművek villamos gépeinek vizsgálatára, paramétereinek szempontjából teljesen megfelel a kerékgymotorok vizsgálatára is, amely egy nagyon ígéretes irány az elektromos járművek hajtásánál [3]. A kutatásnál még fontos megemlíteni a doktori (Ph.D.) képzést, amelynél felmerülő villamos gépekkel kapcsolatos mérésekhez, például prototípus



11. ábra. Az 55kW-os vizsgálópádroz tartozó irányítópult.



12. ábra. A Villamos hajtások laboratóriumában elhelyezett két túlterhelhető fékpád.



13. ábra. Az elkészült 10kW-os próbapadok.

vizsgálatára is jól alkalmazható a két 10kW-os túlterhelhető (lásd 12. ábra) és az 55kW-os vizsgálópád.

Az előző fejezetben bemutatott 10kW-os vizsgálópádok mindegyikéhez tartozik egy-egy vizsgált gép is. A vizsgált gépek úgy lettek

kiválasztva, hogy azok minél jobban lefedjék a korszerű villamos hajtásokban elterjedten alkalmazott villamos gépeket, de a klasszikusnak számító gépek is megtalálhatóak legyenek a laboratóriumban. A két túlterhelhető (1, 2) és a nyolc oktatási célú fékpadhoz (3-10) a következő vizsgált gépek tartoznak:

1. Kalickás forgórészű aszinkron gép;
2. Aszinkron szervomotor;
3. Tekercselt forgórészű aszinkron gép;
4. Szinkron reluktancia motor;
5. Szinkron reluktancia motor IE4;
6. Hengeres forgórészű szinkron gép;
7. Kiálló pólusú szinkron gép;
8. Állandó mágneses szinkron gép;
9. Külső gerjesztésű egyenáramú gép;
10. Egyenáramú állandó mágneses szervomotor.

A 13. ábrán az oktatási célú fékpadok láthatóak a különböző vizsgált gépekkel.

A bemutatott fékpadok kutatás szempontjából a vizsgált gép mechanikai paramétereinek mérésére alkalmasak, ezért további eszközökre is szükség volt, amelyek a villamos paraméterek mérésére szolgálnak [4]. A további beszerzett mérőeszközök

- függvénygenerátor;
- teljesítmény analízator;
- digitális oszcilloszkóp;
- függvénygenerátor.

Mind az oktatásnál, mind a kutatás esetében bizonyos mérések elvégzéséhez egyen- és váltakozó feszültségű megtáplálásra is szükség van [4], ezért

- egy- és háromfázisú állítható transzformátor;
- egyenfeszültségű vezérelhető tápegység

is szerepelt az eszközlistában. A korszerű mérésadatgyűjtéshez és a mért adatok feldolgozásához számítógépek (asztali és hordozható) és a laboratóriumban elvégzendő

szerelési munkákhoz (vizsgált gép cseréje, szétszedése) szerszámos készletek is beszerzésre kerültek.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálópadok és mérőeszközök oktatásba és kutatásba történő integrációja még folyamatban van, azonban az eddigi tapasztalatok alapján – több szakdolgozat, diplomamunka és egy kutatási projekt – az eszközfejlesztésnél és a laboratóriumi korszerűsítésnél kitűzött célokat sikerült elérni az Energotest Kft. által szállított eszközök révén. Valamint a laboratóriumnak és az eszközöknek köszönhetően a Széchenyi István Egyetemen formálódik egy kutatócsoport, amely a villamos gépekhez és a hajtásokhoz kapcsolódó kutatások mellett az ipar méréstechnikai igényeit is kielégítené a vizsgálópadoknak köszönhetően.

## 6. IRODALOM

[1] Balog S.R., Sorchini Z., Kimball J.W., Chapman P.L., Krein P.T.: Modern Laboratory-Based Education for Power Electronics and Electric Machines. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No. 2, pp. 538-547, 2005.

[2] Dal M.: Teaching Electric Drives Control Course: Incorporation of Active Learning Into the Classroom. IEEE Transactions on Education, Vol. 56, No. 4, pp. 459-469, 2013.

[3] Liu C., Chau K.T., Jiang J.Z.: A Permanent-magnet Hybrid In-wheel Motor Drive for Electric Vehicles. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, September 3-5, 2008, Harbin, China.

[4] Farkas A., Peresztegi S., Bába J.: Villamos gépek vizsgálata. Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Budapest, 2017.

# ÚJ KORSZAK A NEUTRONOS ANYAGVIZSGÁLAT TERÜLETÉN AZ IPARBAN: KOMPAKT NEUTRONFORRÁSOK, AKÁR A HELYSZÍNEN

## NEW PARADIGM IN NEUTRON BEAM STUDIES IN THE INDUSTRY: COMPACT NEUTRON SOURCES, EVEN ON SITE

*Mezei Ferenc, az MTA rendes tagja  
ferenc.mezei@esss.se*

**ÖSSZEFOGLALÁS.** Neutron nyalábokkal való átvilágítás és megfigyelés eddig is lényeges szerepet játszott ipari alkalmazásokban, de a neutronforrások költségei, helyileg korlátolt hozzáférhetősége miatt ez főleg elkerülhetetlen esetekben került csak rutin felhasználásra. A neutronvizsgálati módszerek fejlődése révén ma az előállított neutronok 1000-10000-szer nagyobb hatásfokkal használhatók fel vizsgálatokban, mint a szokásos neutronforrásoknál akár csak 20 évvel ezelőtt. Így az alacsony költségű, intenzitású és helyigényű, ún. kompakt neutronforrások a neutronos anyagvizsgálatot ma sokkal hozzáférhetőbbé teszik ipari és egyetemi környezetben.

**ABSTRACT.** Radiography and other observations with the use of neutron beams have already played an important role in industrial applications. However, due to the costs and limited accessibility of neutron sources, these applications only became routine practice where their use was considered unavoidable. By the development of neutron instrumental methods the available neutrons can now be put to use with an efficiency some 1000-10000 times superior to that commonly achieved just 20 years ago. Thus the so called compact neutron sources with low costs, intensity and foot print now make neutron beam studies much more accessible in industrial and university environment.

### 1. BEVEZETÉS

Neutron átvilágításra alapuló minőségvizsgálat hasznosságát és képességeit sok alkalmazásban kimutatták, de csak néhány helyen lett nélkülözhetetlen, nem véletlenül éppen a repüléssel kapcsolatban. Minden forgalomban levő jet repülőgép motor turbina lapátjaiban az olajhűtés hibátlanságát neutron átvilágítás segítségével bizonyítani kell ahhoz, hogy a motorral felszerelt repülőgép egyáltalán startengedélyt kaphasson. Mivel a repülőgép üzemeltetők számára nem voltak az állami szervek által működtetett neutronforrások elegendő beszámíthatók, saját berendezésekre

tettek szert, amikről a nagyközönség semmit nem tud. Egy másik hasonló terület a vadászrepülőgépek katapultjai működőképességének rendszeres ellenőrzése. Az USA légierő rutinszerűen túl megy ezen, egész repülőgépeket világítanak át neutronokkal egy erre specializált air force bázison.

Ezekben az esetekben a neutronoknak azt a röntgen sugárzástól eltérő sajátosságát használják ki, hogy bizonyos folyadékokban, pl. vízben jobban elnyelődnek, mint az iparban használatos fémekben. Egy másik felhasználási terület ennek egy vetületére alapul: a neutronok behatolóképesége fémekben sokkal nagyobb, mint a szokásos energiájú röntgen sugaraké, amelyek kedvező költségen előállíthatók. Így fémalkatrészek, pl. helikopter rotorok, vasúti kerekek, motortengelyek, hegesztések, stb belsejében kialakuló veszélyes feszültségek vizsgálatára is a neutronnyalábok egyedülálló lehetőségeket nyújtanak. Ennek felhasználása eddig is szignifikáns volt, legalábbis balesetek okainak utólagos felderítésénél.

Egy teljesen eltérő és gyorsan fejlődő terület a számítógép áramkörök kozmikus sugárzás hatására fellépő tévedéseinek kutatása, hatásuk csökkentése („software error”, vagy „single event upset” nevek színe alatt).

### 2. KOMPAKT NEUTRONFORRÁSOK

A Föld tömegének több mint felét neutronok adják, viszont szabad neutronokat csak jelentős energia bevetésével lehet az atommagokból kinyerni. Ennek a legegyszerűbb módja nagyenergiás (elemi) részecskékkel való besugárzás, pl. fotonokkal, protonokkal, magreakciók termékeivel. A legkisebb hely- és költségigényt a 2 MeV-nál nagyobb energiára felgyorsított protonok jelentik. Egy ehhez szükséges gyorsító kb. 3 m hosszúnál és 1 milliárd Ft körüli költségnél kezdődik. Ez mind a méretben, mind az árban kb. 300-szor kisebb egy csúcskategóriájú neutronforrás protongyorsító-jánál. Természetesen, a teljesítményben még ennél is sokkal nagyobb különbség van e két véglet között, mégpedig több milliószoros. Viszont összehasonlítva egy

közepes méretű, pár évtizede épült vagy felújított kutató-reaktorral, a skála alján lévő, a legkorszerűbb konfigurációnak megfelelő kompakt neutron-forrás a vizsgálatok típusától függően kb. 2 – 50 %-os adatgyűjtési sebességet tud biztosítani kb. 5%-os üzemeltetési költségek mellett. A gyakorlatban az ipari jellegű vizsgálatok kutatóreaktorok felhasználásában nem érik el a 10 %-os részarányt és egy ilyen reaktor mai beruházási költségei meghaladják 150-200 milliárd Ft-ot. Ma már a gyorsítóra épülő neutronforrások jelentik a gazdaságosabb megoldást minden teljesítményszinten.

Tehát a kompakt neutronforrások az anyagvizsgálatok számára az eddigieknél nagyságrenddel kisebb költséggel tudnak rendelkezésre bocsájtani neutronnyalábokat sok olyan vizsgálathoz, amihez eddig sokkal nagyobb és drágább berendezések kellettek. Emellett helyigényük kicsi és a biztonsági előírások gyakorlati követelményei nem haladják meg a röntgen sugarak orvosi alkalmazásánál megszokottakat. Így ezek akár egyetemeken, akár ipari intézményekben is elhelyezhetők.

### 3. ALKALMAZÁSI TERÜLETEK

Európában ma a legtöbb fejlesztés arra irányul, hogy kompakt neutronforrásokkal hogyan lehetne teljesen kiváltani a kiöregedő, leállásra kiszemelt kutatóreaktorokat. Ehhez nagyobb, 30 – 100 MeV proton energiájú gyorsítókra van szükség, és 30 – 60 milliárd Ft költségű berendezésekre gondolnak, amelyek továbbra is nagy kutatási infrastruktúrák világába tartoznak, sok gyakorlati szempontból is.

Ettől eltérő irányban Európában csak Martonvásáron folyik kompakt neutronforrás fejlesztés, aminek célja a mindennapi alkalmazások számára hozzáférhető berendezés létrehozása. Ebben az irányban eddig Japán jár az élen. A modernebb hazai fejlesztésnek az is célja, hogy a gazdaságos kompakt neutronforrások hatékonyabb, optimalizált, új generációjának prototípusát hozza létre. Ez, mint innovatív, világviszonylatban versenyképes új termék, a hazai neutron műszerexportot is kiterjesztheti. A fejlesztés a Mirrotron Kft, a MTA Energia Kutatóközpont és a Varius Kft által alkotott konzorcium, strukturális alapokból jelentősen támogatott vállalkozása.

Befejezésül néhány példa ennek az épülő neutronforrásnak martonvásári helyszínén tervezett, pár év alatt kiépíthető alkalmazásaira. Ezek jelentős részénél fontos szerepet játszik a

neutronbesugárzás nagyfokú roncsolásmentesége. A felsorolt alkalmazások – egy kivételével – jól ismertek és megalapozottak nagyobb neutronforrásoknál, az új korszakot a költségek nagyfokú csökkentése és a hozzáférhetőség minőségi jellegű javítása jelenti a felhasználók szempontjából.

*Neutronradiográfia* és tomográfia, például a bevezetésben említett típusú alkalmazásokra: folyadékok, szerves anyagok követésére fém-tárgyakon belül (alkatrészek, régészeti leletek, működő gépek,...).

*Minőségvizsgálat* neutronműszerek és műszeralkatrészek gyártásánál

*Feszültségvizsgálat* fémalkatrészek belsejében, pl. gyártási folyamatok vagy elhasználódás vizsgálatára. Ebben és a következő alkalmazásban egy új, speciálisan fókuszált mérési technika bevezetése fontos lesz.

*Fázisállapotok, textúra* vizsgálata tárgyak belsejében.

A fent említett új alkalmazási terület – amelynél a kompakt források megjelenése új, kedvezőbb feltételeket teremtett – azzal kapcsolatos, hogy a kompakt neutronforrások alkalmasabbaknak bizonyultak a szokásos alkalmazásokban használt,  $< 1$  eV neutron energiánál nagyobb energiájú neutron-nyalábok előállítására. Egy a ma Japánban sikeresnek tekintett és terjedő *rákkezelési eljárás* nagyobb neutronforrásoknál azért sem tudott gyökeret verni, mert a kívánatos kb. 20 – 100 keV energiájú neutronokat nem lehetett kielégítően elválasztani a nagyenergiájúaktól ( $> 1 - 2$  MeV). Ez utóbbiak pedig igen jelentős sugárterhelést jelentenek az egészséges sejtek számára is. Kompakt forrásoknál azonban lehet a paramétereket speciálisan úgy beállítani, hogy nagyenergiájú neutronok alig keletkezzenek. Japánban eddig 10 kompakt neutronforrás épült vagy épül rákkezelés céljára, bár az eljárást (BNCT = Boron Neutron Capture Therapy) világszerte nem tekintik klinikai kísérletek által elégségesen bizonyítottnak. Martonvásáron lehetőség fog nyílni ilyen klinikai kísérletekre, először az Európai térségben.

Japánban a kompakt neutronforrások fejlesztésének egyik fő célja jelenleg a teherautóra szerelhető, nagyon kompakt változat. Ez lehetőséget fog adni használtban lévő hídszerkezetek átvilágításos vizsgálatára a helyszínen. Ennek igénye az 1995-ös kobe-i földrengés során fellépő, a várakozásokat messze meghaladó károsodások kapcsán merült fel.

# A VISZKÓZUS TORZIÓS LENGÉSCSILLAPÍTÓK TERMIKUS VIZSGÁLATA HŐMÉRSÉKLET-CSÖKKENTÉS CÉLJÁBÓL

## A HEAT TRANSFER ANALYSIS OF VISCOUS TORSIONAL DAMPERS FOR TEMPERATURE REDUCTION

Venczel Márk, doktorandusz  
Dr. Veress Árpád, egyetemi docens

### ÖSSZEFOGLALÁS

A torziós lengéscsillapítók biztonságkritikus alkatrésznek minősülnek a gépjárműiparban. Szilikon olajjal működő viszkózus változatuk hatásosan csillapítja a motorok főtengelyén fellépő torziós lengéseket bármely frekvencia tartományon. A csillapítás során elnyelt energia hő formájában disszipálódik, ami károsan befolyásolja a szilikonolaj élettartamát. A jelen munka egy lengéscsillapító csatolt áramlástanai és termikus szimulációját mutatja be az eredmények részletes magyarázatával különös tekintettel hűtés hatékonyságának javítására.

### ABSTRACT

Torsional vibration dampers are considered to be one of the most important vehicle structures from the operation and safety point of view. One type of them, called viscous, filled with silicone oil can effectively eliminate the torsional vibrations on the crankshaft in every frequency range. The dissipated energy generates heat and the elevated temperature can negatively influence the lifetime of the oil. Current work introduces a coupled fluid dynamic and heat transfer simulation of a visco-damper. The numerical results are discussed in detail with especial care for the cooling efficiency.

## 1. BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROK CSILLAPÍTÁSI PROBLÉMÁJA

### 1.1. A főtengely káros lengései

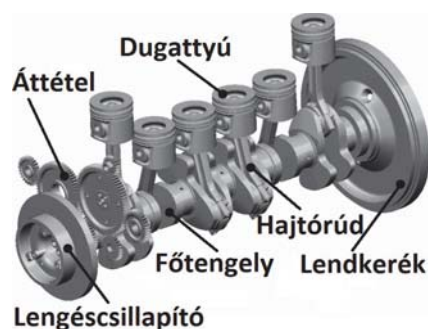
Napjaink belső égésű motorjaival szemben támasztott tömegcsökkentési és kedvezőbb helykihasználási előírásoknak való megfelelés a motor méreteinek minimalizálásával, az üzemi fordulatszám mérséklésével, valamint az ébredő nyomatékok és terhelések növekedésével valósul meg. Ennek eredményeként a motor szerkezete bonyolulttá, igénybevételei pedig összetetté válnak. [1]

A nagy teljesítményigényt kiszolgáló belső égésű dugattyús motorok főtengelyén a hengerekben ébredő, periodikusan változó gázerők és a forgó, mozgó motorkomponensek tömegéből származó tehetetlenségi erők káros

torziós lengésekhez vezethetnek, míg a forgási egyenlőtlenlégek a szíjhajtáson keresztül átadódhatnak a hajtott elemekre és ezek a motoralkatrészek többletterhelését okozhatják. Amennyiben a keletkező lengések frekvenciái a főtengely sajátfrekvenciáinak tartományába esnek, akkor annak fáradásos törését idézhetik elő. [2]

### 1.2. Torziós lengéscsillapítók

Az imént vázolt problémák elkerülésére, a lengések amplitúdójának és a gerjesztett zajok mértékének csökkentésére, valamint a motor élettartamának növelésére úgynevezett torziós lengéscsillapító építhető a motor főtengelyének szabad végére (lásd 1. ábra), vagy a lendkerékbe integrálva.



1. ábra. Csillapító a főtengely szabad végén [3]

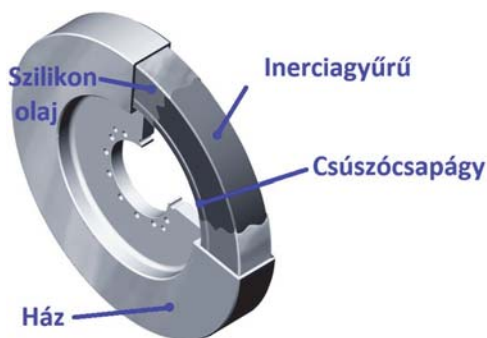
Több típusa is létezik, úgymint súrlódó, gumírozott, rugós és viszkózus, de mindegyik típus közös jellemzője, hogy a főtengely torziós lengéseinek mozgási energiája egy rugalmas vagy degradálódó elem közvetítésével nyelődik el majd alakul deformációvá és hővé. [2]

Ezek a lengéscsillapítók az egész világon elterjedtek. Általános célú alkalmazásukat tekintve elsősorban nagyteljesítményű dugattyús motorokban katonai, közlekedési, építészeti, mezőgazdasági és bányászati területen használják őket. Járműiparban a sportautók, teherautók és hajók esetében a viszkózus változata kezd egyre nagyobb teret hódítani egyszerűségének és kis karbantartási igényének köszönhetően. [4]

## 2. VISZKÓZUS TORZIÓS LENGÉSCSILLA- PÍTŐ

### 2.1. Felépítés és működés

Torziós lengéscsillapítók közül a viszkózus változat az egyik legegyszerűbb felépítésű, mely egy zárt térből (ház) és a benne szabadon mozgó, műanyag csapággal megvezetett inerciagyűrűből áll (2. ábra). A ház és az inerciagyűrű közötti vékony rést szilikon olaj tölti ki. [5]



2. ábra. Viszkózus lengéscsillapító elemei [6]

A csillapító hatás létrejöttének folyamata a következő. A tengely zavartalan forgása esetén, mikor nincsenek torziós lengések, együtt forog a gyűrű a házzal hozzá képesti relatív elmozdulás, megcsúszás nélkül. Amennyiben már kis amplitúdójú torziós lengés is kialakul, relatív mozgásba kezd a ház a gyűrűhöz képest és az olajban jelentős tangenciális irányú nyírófeszültség alakul ki. A nyírófeszültségek (vagy más néven csúsztatófeszültségek) összege a teljes súrlódó felületen a ház és a gyűrű között csillapító hatást eredményez. [5]

A szilikon olaj nem-newtoni folyadék, a relatív sebességkülönbség nagysága a ház és az inerciagyűrű között befolyást gyakorol a szilikon olaj viszkozitására és így annak csillapító hatására is. [5]

### 2.2. Üzemi viszonyok és hűtés

Fontos szerepet játszik az üzem során disszipált teljesítmény okozta hőmérséklet-növekedés, mely hatást gyakorol a szilikon olaj viszkozitására. Használat közben az állandó, magas hőmérséklet miatt a molekulaláncok felszakadhatnak és csökken az olaj viszkozitása, ezzel együtt a csillapító hatása és élettartama is. [7]

A keletkező hő elvezetése és az olaj hőmérsékletének szabályozott értéken tartása érdekében hűtőbordákat szerelhetnek a

lengéscsillapító egyik vagy mindkét oldalára, egy vagy két soros kivitelben. Hűtőborda megfelelő elhelyezkedése és geometriája kulcsfontosságú a hőátadási folyamatok elősegítéséhez és így a hűtés eredményességének fokozásához. [8]

Üzemi körülmények között, valós csillapítókon végzett mérések során leginkább a szerkezet szabad felületein, úgymint inerciagyűrű két oldalán, valamint a ház külső és belső oldalán van elfogadható lehetőség hőmérséklet adatok gyűjtésére. A szerkezetben lejátszódó hőátadási folyamatok jobb megismerése, valamint a hűtőbordák megfelelő elhelyezése érdekében mérnöki számításokra és numerikus közelítő eszközök alkalmazására van szükség. Ennek köszönhetően a termék tervezési és fejlesztési fázisában költség, idő és kapacitás takarítható meg, mialatt egyre biztonságosabb és megbízhatóbb termékek gyártása válik lehetővé.

## 3. NUMERIKUS ÁRAMLÁSTANI ÉS TER- MIKUS SZIMULÁCIÓ

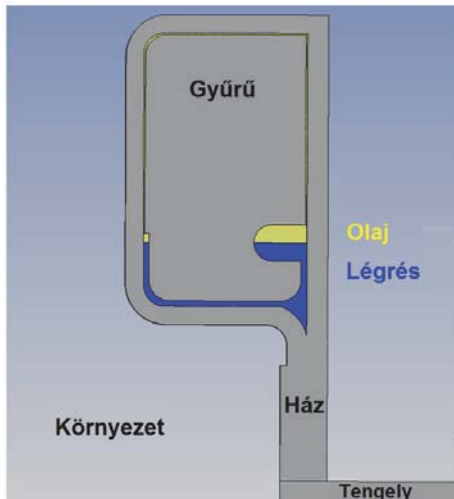
### 3.1. A használt numerikus eszköz bemutatása

Számos szoftver készült a numerikus áramlástani és termikus feladatok megoldására, melyek közül vezető szerepet tölt be az Ansys Workbench környezetben működő, véges térfogat diszkrétizációs technikát alkalmazó CFX szoftver. [9]

Ez egy nagyteljesítményű, általános célú mérnöki program, melyet magas szintű fizikai modell-választékának köszönhetően, több mint 20 éve használnak széleskörű áramlási és termikus problémák megoldására. A vizsgált folyamatok leírása térben elosztott paraméterű számításokkal történik és az alkalmazott egyenletek a kontinuum mechanika közelítési elvén alapulnak. Az alapegyenletek - melyek kifejezik a tömeg, energia és impulzus megmaradását - turbulencia modellel-egyenletekkel kombinálva alkalmassá válnak áramlások matematikai modellezésére. [9]

### 3.2. Geometria és numerikus háló

A vizsgálat tárgyát egy fejlesztési fázisban lévő viszkózus torziós lengéscsillapító képezi, melynek részletes CAD modelljéből elkészíthető a csatolt áramlástani és termikus szimuláció egyszerűsített modellje (lásd 3. ábra). Forgásszimmetrikus geometriáról van szó, melyet tengelyre ültetve motor környezetében kell vizsgálni.



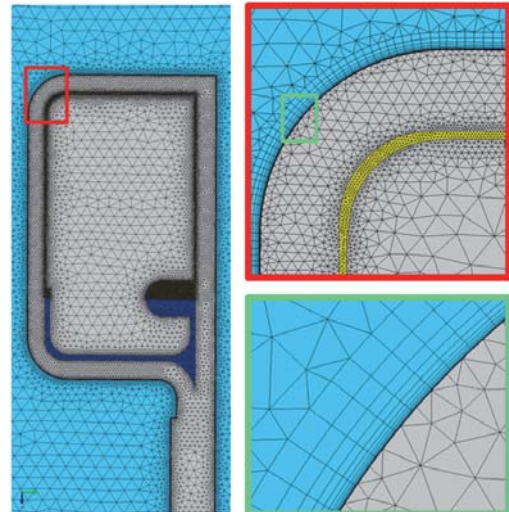
3. ábra. A vizsgált modell elemei

Elegendő a lengéscsillapító, tengely és a motor megépített modelljének csak egy szeletét használni a numerikus számításához. Az Ansys Design Modeler almoduljában lehetőség adódik az áramlási terek kialakítására, a tengely és a motor modelljének elkészítésére, valamint a későbbi peremfeltételek definiálásához szükséges felületek kijelölésére.

A csúszócsapágyak eltávolításra kerültek a modellből és levegővel lettek helyettesítve annak érdekében, hogy a modell ne váljon túl bonyolulttá, továbbá egyszerűbb programbeállításokra és kevesebb számítási időre legyen szükség,

További egyszerűsítést jelent a peremfeltételek definiálásakor a ház és a záró fedél összeolvasztása, mivel azonos anyagból készülnek. Ez természetesen egy közelítést jelent, hiszen a hegesztésen kívül sűrűdéses kapcsolatban állnak egymással az alkatrészek, amely termikus szempontból kontaktellenállással rendelkezik. A motor test kikerült a modellből és csak a környezeti levegőben hagyott „lenyomata” mint fal került felhasználásra a szimuláció során, hogy csökkenjen az elemszám és a számítási idő.

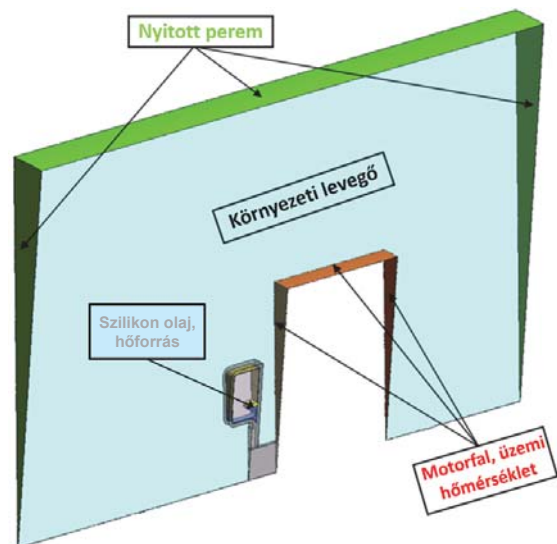
Az elkészült numerikus hálót, melynek elemszáma megközelíti a 11 milliót, a peremekre definiált, 15 alrétegre osztott határréteggel együtt a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra. Numerikus háló

### 3.3. Peremfeltételek és anyagtulajdonságok

A vizsgálat alapvető célja a szerkezet belsejében és a szilikon olajban kialakuló hőmérséklet-eloszlás feltérképezése az olaj áramlási jellemzőinek mellőzésével. Ebből kifolyólag a szilikon olaj és a csapágyakat helyettesítő levegő (légrés) szilárd tartományként került modellezésre, mivel elhanyagolhatónak tekinthető a konvekció hatása. Ennek eredményeként a hőt kizárólag vezetéssel továbbíthatják.



5. ábra. Peremfeltételek

A csillapításból származó hőterhelés egy, csak az olaj nyírózó tartományára definiált, állandó hőforrás segítségével került figyelembe vételre (lásd 5. ábra). Az egymással érintkező elemek között felületi interfészek, míg a motor felületeire egy állandó üzemi hőmérséklet került definiálásra (lásd 5. ábra). A

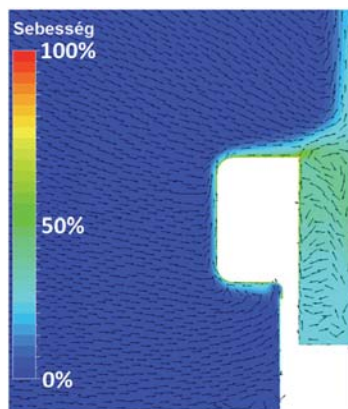


forgómozgást végző elemek önmagukkal forgás-periodikus párba lettek állítva. Tengely, ház és inerciagyűrű esetében acél, környezeti levegő és légrés esetében levegő, míg az olaj esetében szilikon olaj anyagtulajdonságok (sűrűség, fajhő és hővezetési tényező) lettek definiálva.

### 3.4. Numerikus számítás eredményei

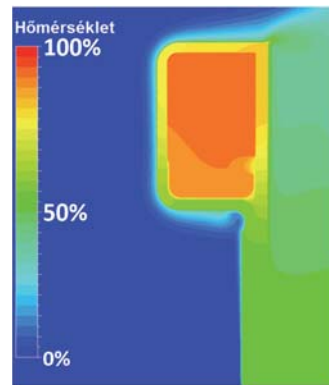
A ház-szegmens tangenciális középsíkjában monitor pontok kerültek felvételre a sugár függvényében, melyek segítségével a numerikus számítás futása közben nyomon követhetők az egyes pontok hőmérsékletének, továbbá a felületátlagolt hőmérsékletek konvergenciája. A számítás konvergencia eredményeinek bemutatása alább olvasható.

A 6. ábra a lengéscsillapító körüli sebességmezőt szemlélteti a vektorok irányával és a sebességértékek nagyságával színezve. **Szembetűnő a motor és a ház közötti részbe szorult levegőtömeg örvénylő áramlása megemelkedett sebességértékekkel.** Ezen a helyen a kavargó levegőtömeg nem képes elszállítani a csillapító szerkezettől átvett hőt.



6. ábra. Sebességmező a csillapító körül

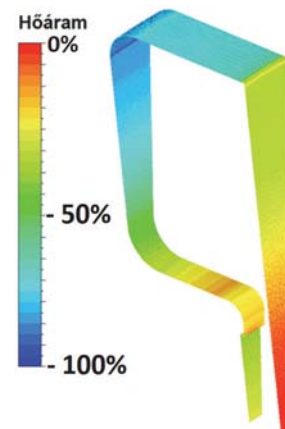
A vizsgált modellszegmensben kialakult hőmérséklet-eloszlás a 7. ábrán látható. Könnyen behatárolható az üzem közben keletkező hő fő forrása valamint a **ház és a motor közötti turbulens levegőtömeg környezetinél 48,5 %-kal magasabb hőmérséklettartománya, ami miatt ezen a helyen a lengéscsillapító ház hűtése nem kielégítő.** A ház konvekció útján történő hűtésének intenzitása arányosan változik a sugárral. A leghidegebb helyen (a tengely környezetében) 38,8 %-kal, míg legmelegebb helyen (a nem lekerekített sarok) 7,8 %-kal tér el az inerciagyűrű hőmérsékletétől.



7. ábra. Hőmérséklet-eloszlás a csillapítóban

A ház külső felületén történő hőleadás mértékét szemlélteti az 8. ábra.

A **hőáram jól láthatóan a ház motortól távoli szabad oldalán a legnagyobb és a tengely-közeli tartományban, ahol a kavargó levegőtömeg akadályozza a hűtést, gyakorlatilag zérus.** A negatív értékek arra utalnak, hogy a ház a környezetének leadja az olajtól kapott hőmennyiséget.



8. ábra. Hőáram a ház külső felületén

## 4. KONKLÚZIÓ

A torziós lengéscsillapítók biztonságkritikus alkatrésznek minősülnek a járműiparban. Szilikon olajjal működő viszkózus változatuk hatásosan csillapítja a főtengely torziós lengéseit bármely frekvencia tartományon.

A termék tervezési és fejlesztési fázisában fejlett numerikus eszközök hívhatók segítségül költség-, idő- és kapacitás-csökkentése céljából.

A jelen munka keretében egy fejlesztés alatt álló viszkózus torziós lengéscsillapító egyszerűsített, csatolt áramlástani és termikus vizsgálatára került sor, melynek eredményeiből következtetni lehet a szerkezet konvekció útján

történő hűtési sajátosságaira. A numerikus áramlástani eredmények arra engedtek következtetni, a szerkezet hűtésének eredményessége a forgási sugárral arányosan változik, **a hőátadás mértéke a ház forgástengelytől mért legtávolabbi pontjában, a szabad áramlásban a legkedvezőbb. Ezen oldalra helyezett hűtőbordák alkalmazásával a hűtés eredményessége tovább fokozható.** A csillapító és a motor közötti résben kialakuló turbulens levegőtömeg nem képes eredményes hűtést biztosítani, ezért erre az oldalra nem célszerű hűtőbordát helyezni.

További numerikus áramlástani vizsgálatok elvégzése szükséges abból a célból, hogy hogyan befolyásolják a különböző ház-inerciagyűrű résméreték az olaj üzemi hőmérsékletét, valamint milyen a legkedvezőbb hűtést eredményező hűtőborða geometriai alakja. A numerikus módszerek eredményeinek validációját követően, a számítások segítségével meghatározott hőmérséklet adatok viszkozitás-csökkenésen alapuló degradáció és élettartam számítási módszerek kidolgozásához használhatók fel, amelyeket a termék tervezési folyamatába integrálhatók.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az eredmények közzétételéhez anyagi hozzájárulást nyújtott a BME Tudományos Diákköri Bizottságának TDK pályázata és a Magyar Autóműszaki Felsőoktatásért alapítvány (MAF).

## 6. IRODALOM

[1] J. Pflęhaar, B. Lohmann, The Electrical Dual Mass Flywheel - an Efficient Active Damping System, The International Federation of Automatic Control, 2013, Vol 46, Issue 21, 483-488, url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016384178> (2018.12.28.)

[2] W. Homik: Diagnostics, Maintenance and Regeneration of Torsional Vibration Dampers for Crankshafts of Ship Diesel Engines, Polish

Maritime Research, 2010, Vol 17, 62-68, url: [http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BWM4-0028-0077/c/diagnostics01\\_2010\\_09.pdf](http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BWM4-0028-0077/c/diagnostics01_2010_09.pdf) (2018.12.28.)

[3] A. S. Mendes, P. S. Meirelles, D. E. Zampieri: Experimental Validation of a Methodology for Torsional Vibration Analysis in Internal Combustion Engines, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2008, Vol 222, Part K: Journal of Multi-body Dynamics, url: [https://www.researchgate.net/publication/242215679\\_Experimental\\_Validation\\_of\\_a\\_Methodology\\_for\\_Torsional\\_Vibration\\_Analysis\\_in\\_Internal\\_Combustion\\_Engines](https://www.researchgate.net/publication/242215679_Experimental_Validation_of_a_Methodology_for_Torsional_Vibration_Analysis_in_Internal_Combustion_Engines) (2018.12.28.)

[4] <https://www.vibratechtvd.com/oem/crankshaft-dampers/> (2018.12.28.)

[5] P. Érsek: Numerische Untersuchung der Auffüllung eines Torsiondämpfers mit Silikonöl, Knorr-Bremse R&D Center Budapest, Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest, Lehrstuhl für Hydrodynamische Systeme, Diplomarbeit, Budapest, 2008

[6] <http://fi.frebecker-ara.com/engin/diesel-crankshaft-vibration-damper.html> (2018.12.28.)

[7] G. Camino [et al.]: Thermal Polydimethylsiloxane Degradation Part 2. The Degradation Mechanism, Polymer, Vol. 43 No. 2002, pp 2011-2015, 2001, url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386101007856> (2018.12.28.)

[8] Geislinger: Vdamp Product Catalog, 2018, url: [https://www.geislinger.com/cms\\_images/products/Vdamp\\_1.5.pdf](https://www.geislinger.com/cms_images/products/Vdamp_1.5.pdf) (2018.12.28.)

[9] ANSYS, Inc., ANSYS CFX-Solver Theory Guide, Release 13, ANSYS, Inc. Southpointe, 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, USA, 2010, <http://www.ansys.com>

# ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁVAL ELŐÁLLÍTOTT NAGYRUGALMASSÁGÚ ANYAGOK TERHELHETŐSÉGI VIZSGÁLATA

## INVESTIGATION OF FLEXIBLE MATERIALS PRODUCED BY ADDITIVE TECHNOLOGY

Dr. Ficzer Péter\*, Dr. Kovács Norbert Krisztián\*\*, Dr. Szabó Gábor\*\*, Dr. Borbás Lajos\*\*\*

### ABSTRACT

*The flexible materials are used in many areas of mechanical engineering. Frequent applications are sealing or damping. At the same time, it can be used as an attenuation in conjunction with medical implants. Before installation, it has to be sized, which requires knowledge of the material characteristics. In this paper we investigated a material called SoftPLA.*

### 1. BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológiák fejlődésével párhuzamosan újabb és újabb alapanyagok jelennek meg. Ezek felhasználása egy adott területen viszont csak akkor lehetséges, ha megfelelő információval rendelkezünk az anyagtulajdonságokról, anyagjellemzőkről. Az additív technológiák által használt anyagok közül a napi gyakorlatban elterjedten többnyire a merev, vagy merevnek tekinthető anyagokat használjuk. Ugyanakkor a gépészetben sok esetben szükséges rugalmas anyagok használata. Elvileg ezen a területen lehet létjogosultsága a SoftPLA fantázia nevű anyagnak. Egy új, additív technológiával előállított darab esetében feltétlenül szükséges a gyártástechnológiai paramétereknek az anyagjellemzőkre gyakorolt hatásának vizsgálata. Különösen fontos ez egy olyan nagyrugalmasságú anyagnál, ahol adott esetben jelentős mértékű tervezett nyúlásokkal kell számolni.

Ilyen nagy rugalmasságú anyagok alkalmazhatók akár tömítésként egy szerelésben, vagy akár csillapításként is orvosi implantátumok mellett. Ugyanakkor egy ilyen anyag esetében már bizonyos geometriák kialakítása is nehézkes lehet az anyag rugalmas tulajdonságainak köszönhetően [1].

Az alkatrészek méretezéséhez az anyagtulajdonságok meghatározása az additív technológiák esetében létfontosságú, hiszen sok esetben a mérnöki

gyakorlatban használt izotrop anyagtörvény helyett az ún. orthotrop anyagtörvényt kell alkalmazzuk [2].

### 2. MÓDSZER

A nagy rugalmasságú anyagok gyártása FDM technológia esetében sok nehézséget okozhat. Már az adagolásnál gondot okozhat a megnyúló szál, ami nehezíti az egyenletes adagolást [1]. A nyomtatások során ezeken felül azt is megállapítottuk, hogy a dob és az anyag egymáson való mozgása során nagyban növeli a súrlódást.



1. ábra A dobra csévélt anyag, valamint a fellépő súrlódásnak a helyei

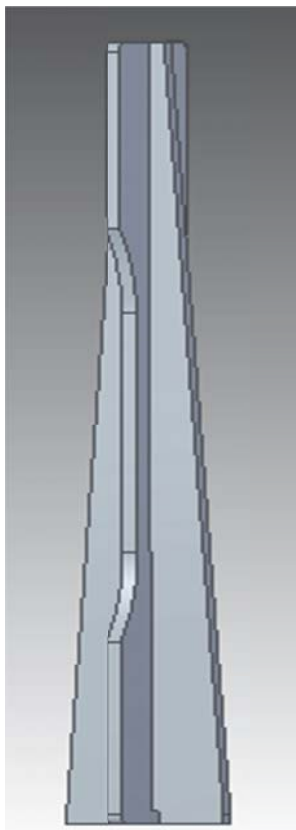
Ez a súrlódás képes volt megátolni, hogy a behúzó rendszer képes legyen megfelelő mennyiségű anyagot továbbítani. A huzal, amit alkalmazunk igen rugalmas, ezért képes megnyúlni, így csökken a huzal átmérője, ami szintén csökkenti az optimális anyagmennyiséget, valamint az átmérő csökkenés miatt, a fogaskerék és a csapágy között ismételtelen hézag keletkezett. Ennek elkerülése érdekében az anyagot lecsévéltük a dobról és a szükséges huzalhosszt kiszámítva csak az adott mennyiséget tesszük a nyomtatóhoz. Ez azért volt szükséges mivel a dobra felcsévélt anyag bontatlan állapotban 700 gramm tömegű, ami a súrlódások szuperonálódása miatt igen jelentősé vált.

\* adjunktus, BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék

\*\*adjunktus, BME Polimertechnika Tanszék

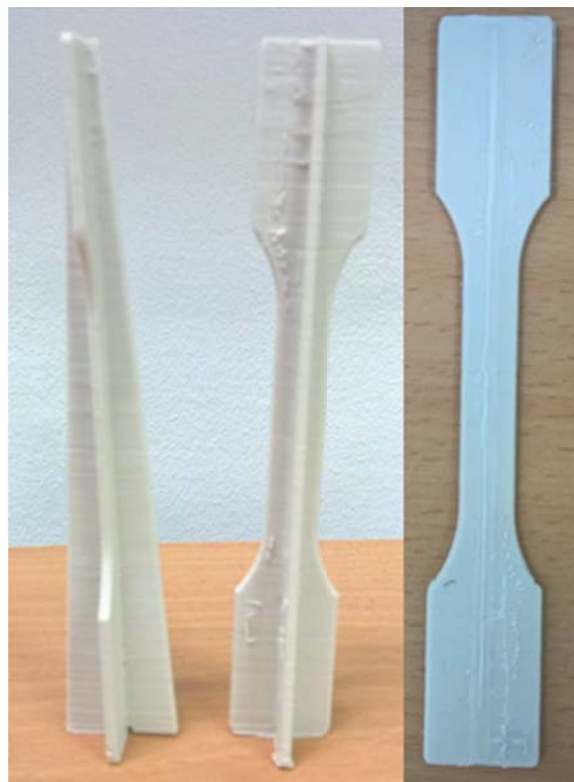
\*\*\*egyetemi tanár, BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék

A szálvezető alkalmazásával és a szükséges anyagmennyiség lecsévével, valamint a megfelelő nyomtatási sebesség megválasztásával már megfelelő minőségben lehet nyomtatni. További nehézség, hogy bizonyos esetekben, pl. vékony és magas falak esetén a már lerakott részeknek nincs megfelelő merevségük, így amikor a következő réteget ráépítenék az elhajlik [3]. A függőlegesen álló szakítópróbatetek jellemzően ilyen alkatrésznek számítanak. Ezen akadály kiküszöbölésére már a 3D modellezés során létrehoztuk a támasztóbordákat, melyek megfelelő merevséget biztosítanak az adott geometria problémamentes legyártásához.



2. ábra Szakítópróbatetest merevítő bordákkal együtt modellezve függőlegesen álló helyzetben történő nyomtatáshoz.

Az így megtervezett CAD modellből kiindulva már megfelelő stabilitású és megfelelő merevségű lett a modell, amit le is gyártottunk. Természetesen a merevítőbordákat a legyártás után a próbatetekről el kellett távolítani. A 3. ábrán látható az álló helyzetben nyomtatott próbatest támasztékkal, majd a támaszték levágása után. A képen az összeolvadás rétegei is megfigyelhetők. A próbatetek legyártása után elvégeztük a szakítókérdéseket. Az x és y irányban fekvő pozícióban nyomtatott próbatetek eredményei már ismertek voltak korábbi méréseinkből [1].



3. ábra Az állított (z-irányú) pozíciójú próbatest támasztékkal, majd a támaszték levágása után

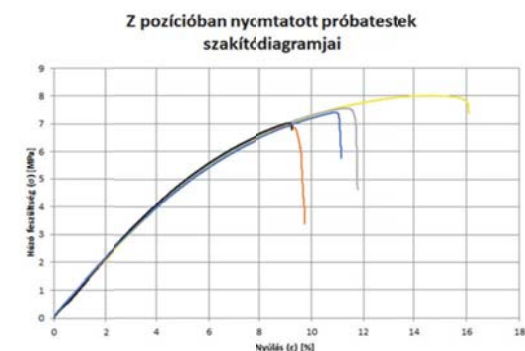
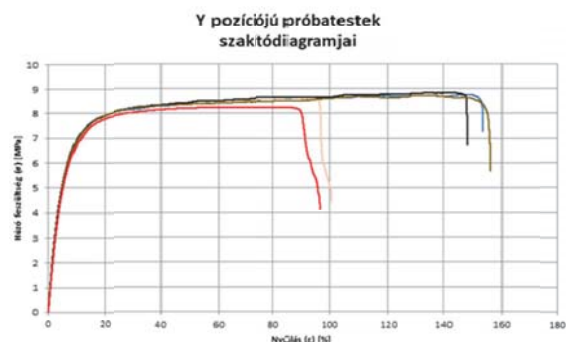
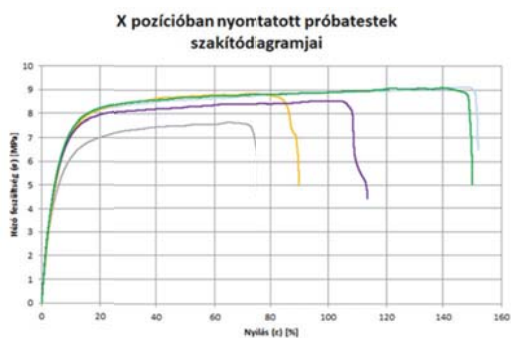
### 3. EREDMÉNYEK

A szakítóvizsgálatok eredményeit mutatja az 1. táblázat.

1. táblázat Mérési adatok

	E [MPa]	Rm [MPa]	$\epsilon_{szak}$ [%]
x átlag értékek	180±5,5	8,62±1	114,5±41
y átlag értékek	156±31	8,62±0,38	129,26±38,3
z átlag értékek	113±3,2	7,38±0,63	11,16±3,84

A vizsgálat során felvett szakítódigramok láthatók a 4. ábrán.

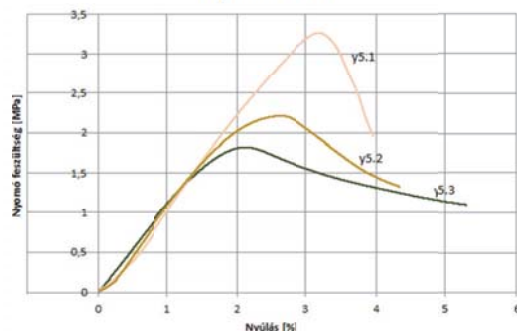


4. ábra Szakítóvizsgálatok eredményei különböző irányban nyomtatott próbatetek esetén

Mivel az anyag rugalmas jellegéből fakadóan a várható igénybevétele nyomás lesz, ezért a nyomó rugalmassági modulus, valamint a nyomószilárdságot is kimértük az adott anyag esetében [1]. A nyomó próbatetek rugalmassági modulusának átlag értéke 112,14 MPa. Ebben az esetben az eredmények igen nagy eltéréseket mutatnak mind negatív, mind pozitív irányban. Az átlag értéktől való eltérés  $\pm 17,84$  MPa.

A próbatetek a vizsgálat során visszanyerték eredeti alakjukat, így lehetőségünk adódott újra terhelni a nyomó próbatestet. Ezt az y pozíciónál nyomtatott próbatest esetében tettük meg. A mérés során felvett nyomódigramokat láthatjuk az 5. ábrán. A mérési eredmények kiértékelve és összegezve számszerűen láthatók a 2. táblázatban.

y pozícióban nyomtatott próbatest újratehelése



5. ábra Y pozícióban nyomtatott próbatetek nyomás hatására kialakult diagramjai a rugalmassági modulus meghatározásához, visszaterhelés után

Az 5. ábrán jól megfigyelhető az újra terhelések következtében hogyan változik a terhelhetőség (nyomószilárdság) mértéke.

2. táblázat A rugalmassági modulus változása visszaterhelések hatására

	E [MPa]
y5.1	127,8716
y5.2	113,8355
y5.3	110,3946

#### 4. KIÉRTÉKELÉS

A z irányban nyomtatott próbatetek esetében a szakítóvizsgálat eredményei jelentősen eltérnek az x és y pozícióhoz képest. Itt nem mutatkozik jelentős kontrakció. A próbatetek egyenletesen, a réteg építése mentén szakadnak el (6. ábra), szemben az x és y irányokkal (7. ábra).



6. ábra Állított pozícióban nyomtatott próbatest, mely egyenletesen, a réteg mentén elszakadt, jelentős kontrakció nélkül



7. ábra Fekvő pozícióban nyomtatott próbatest, szakadása

A z irányban nyomtatott próbatestnél, ahol ez elszakadt, csak egy jól határolt réteg látható (6. ábra). Ez jól bizonyítja azt a tényt, hogy az anyag még elviselte volna az egytengelyű húzóerőt, de a próbatest a felépítése miatt nem bírta a további feszültséget és elszakadt. Ez a rétegről rétegre való építés következménye.

A nyomó rugalmassági modulusok értékei jóval elmaradnak a húzó rugalmassági modulushoz képest. A 2. táblázat adataiból jól látható, hogy újra terhelés hatására a rugalmassági modulus értéke csökken. Ez ismételten utal a rugalmas, képlékeny anyagjellemzőkre, mivel minimális felkeményedés jelent meg a próbatesten, ami a nyomó rugalmassági modulus csökkenését eredményezte. Húzás során a polimerláncban a molekulák orientálódnak a terhelés irányában, mely legyőzve a Van der Waals féle erőket, nyúlnak, majd egyik szegmens beugrik a másik helyébe, és így tovább terhelhetők. Nyomás esetén mindez nem tud lezajlani. Itt belép a kompresszibilitási tényező mely rugalmas anyagok esetében összenyomhatatlannak, vagyis inkompresszibilisnek tekinthető. Ezáltal nem lehet szegmens-ugrás, csak tönkremenetel.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálat során bebizonyosodott, hogy a nyomtatási paraméterek nem megfelelőisége igen jelentős tényező az anyagi jellemzők tekintetében.

A próbatestek rugalmas, képlékeny anyagokként viselkedtek.

Az anyag szakítószilárdságát, szakadási nyúlás értékeit, húzó- és nyomó rugalmasságát és szilárdságát meghatároztam.

Fontos megjegyezni, hogy az anyag pl. tömitésként történő felhasználása előtt még számos valós beépítési körülmények közt végzett vizsgálatra van szükség [4], [5], [6].

Szintén további vizsgálatokat igényel az anyag, ha pl. implantátumhoz csillapításként kívánjuk használni [7].

## 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] KIS K., FICZERE P., KOVÁCS N. K., SZEBÉNYI G., BORBÁS L, *Additív gyártástechnológiával előállítható rugalmas műanyagok vizsgálata*, GÉP LXIX. évfolyam : 4 pp. 49-53., (2018)
- [2] FICZERE P., BORBÁS L., FALK GY., SZEBÉNYI G., *Experimental determination of material model of machine parts produced by Selective laser sintering (SLS) technology*, Materials Today: Proceedings 5(13): pp 26489-26494, DOI: 10.1016/j.matpr.2018.08.104 (2018)
- [3] GYŐRI M., FICZERE P., *Use of Sections in the Engineering Practice*, PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 45 : 1 pp. 21-24. , 4 p. (2017)
- [4] BORBÁS L, FICZERE P., *Kérdőjelek az additív gyártástechnológiákban (maradó feszültségek polimerek nyomtatásakor)*, GÉP LXVIII : 2 pp. 5-10. (2017)
- [5] BORBÁS L., FICZERE P., FALK GY., *Additív gyártástechnológiák: lehetőségek és kérdőjelek [Additive production technologies: possibilities and questions]*, ACTA PERIODICA EDUTUS 11 pp. 30-44. , 15 p. (2016)
- [6] P. FICZERE, L. BORBÁS, A. TOROK, *Validation of Numerically Simulated Rapid-prototype Model by Photoelastic Coating*, ACTA MECHANICA SLOVACA 18 : 1 pp. 14-24. , 11 p. (2014)
- [7] FICZERE P. ; BORBÁS L., FALK, GY., *Additív gyártástechnológiák alkalmazhatósági vizsgálata testreszabott orvosi implantátumok méretezéséhez*, BIOMECHANICA HUNGARICA 11 : 2 pp. 69-75., 7 p. (2018)







# CONTENTS

1. Bakosné Diószegi Mónika:  
**IMPLEMENTING PRACTICAL ENGINEER TRAINING IN MECHANICS EDUCATION** ..... 5  
*Industry expects high quality knowledge and the practical use of this knowledge from newly graduated engineers. University education must meet these expectations and it must adapt to the behavioural culture of current students.*
2. Dr. Czifra György, Dr. Mikó Balázs:  
**OUR ACTIVITY FOR ENSURING UNIVERSITY EDUCATION IN THE FIELD OF INDUSTRY 4.0** ..... 9  
*Authors present what has been achieved in the field of education, what methods have been used to provide the basic questions, problems and opportunities of Industry 4.0 to their students. They share the results of an opinion poll, a feedback from students on the extent to which they have met their expectations.*
3. Dr. Haidegger Géza:  
**THE EVOLUTION OF BIOTECHNOLOGIES IN THE VISION OF THE UPCOMING EUROPEAN MANUFACTURING** ..... 13  
*The European ManuFuture Technology Platform deals with the vision, research strategy and realisation process of the European manufacturing. Author presents the most important research fields. The upcoming evolution of biotechnology can generate an outstanding value-enlargement in the European manufacturing.*
4. Horváth Richárd, Fábrián Enikő Réka, Nagy András István, Terek Pál:  
**THE MACHINABILITY PROBLEMS OF DUPLEX STAINLESS STEELS** ..... 19  
*Numerous contemporary works deal with machining and machinability characteristics of duplex stainless steels. The results of performed tests in the case of duplex steels suggest that the wear are partly related to the presence of precipitations of the superduplex corrosion-resistant steels and partly to the production and casting characteristics of this steel type.*
5. Jónás Szabolcs, Krizsma Szabolcs, Dr. Felhős Dávid:  
**MANUALLY AND COMPUTER AIEDED TOPOLOGY OPTIMIZATION AND FINITE ELEMENT ANALYS OF SUSPENSION CLIP** ..... 25  
*In this study the topology optimization process of a part of the conventional brake caliper unit (namely suspension clip) is presented. The aim of authors was to develop a weight reduced, 3D printable suspension clip with appropriate fatigue strength.*
6. Dr. Marcsa Dániel, Bán Péter:  
**SETTING UP AN ELECTRIC DRIVES LABORATORY FOR EDUCATION AND RESEARCH IN UNIVERSITY OF GYŐR** ..... 30  
*One of the focal points of developments at University of Győr is the modernization of education and research infrastructure related to electric and hybrid drive systems. Paper consists of two main parts, the implementation and the demonstration of usage of the 11 test beds produced by Energotest Kft.*
7. Mezei Ferenc:  
**NEW PARADIGM IN NEUTRON BEAM STUDIES IN THE INDUSTRY: COMPACT NEUTRON SOURCES, EVEN ON SITE** ..... 36  
*By the development of neutron instrumental methods the available neutrons can now be put to use with an efficiency some 1000 to 10000 times superior to that commonly achieved just 20 years ago. Tests can be performed by new compact neutron sources even on site.*
8. Venczel Márk, Dr. Veress Árpád:  
**A HEAT TRANSFER ANALYSIS OF VISCOUS TORSIONAL DAMPERS FOR TEMPERATURE REDUCTION** ..... 38  
*Torsional vibration dampers are considered to be one of the most important vehicle structures from the operation and safety point of view. Current work introduces a coupled fluid dynamic and heat transfer simulation of a viscodamper. The numerical results are discussed in detail with special care for the cooling efficiency.*
9. Dr. Ficzer Péter, Dr. Kovács Norbert Krisztián, Dr. Szabéni Gábor, Dr. Borbás Lajos:  
**INVESTIGATION OF FLEXIBLE MATERIALS PRODUCED BY ADDITIVE TECHNOLOGY** ..... 43  
*The flexible materials are used in many areas of mechanical engineering. Frequent applications are sealing and damping. Before installation, it has to be sized, which requires knowledge of material characteristics. In this paper a material called SoftPLA was investigated.*

# GÉP

## INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of  
Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám

**President of Editorial Board**

Vesza József

**General Editor**

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**Deputy**

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

**DEAR READER,**

On the last day of January 2019 the Construction Section of Scientific Society for Mechanical Engineering (GTE) organized the 4<sup>th</sup> Mechanical Engineering Professional Conference on TechnCulture.

The conference series have been started in 2015 took more and more interest in every year. There were three plenary lectures and 33 section lectures in three sections. Beside the 66 registered participants 5 exhibitors also supported the high level of the conference.

Mechanical Engineering TechnCulture includes all the methods, procedures and techniques used by participants in the mechanical innovation process.

The first lecture in the plenary session presented the new era of the material testing, applying the compact neutron sources. The second lecture showed the education of Industry 4.0 in the course of machine design. The third lecture was the introduction to the first section about the use of ergonomics.

Section lectures were divided into 3 sections and 5 topics:

- First section: *Ergonomics*. Ergonomics was presented in 9 lectures. Lectures showed the simulation of future products, future of work and the man and manufacturing process. Lectures were presented by research workers of Vivelab ERGO Kft. By technical reason there were two additional lectures in this section, namely Haidegger Géza: The evolution of biotechnologies in the vision of the upcoming European manufacturing and Hegedűs József: What everybody should know about value engineering.
- Second A section: *Value engineering and education*. The first lecture dealt with the value engineering. Other lectures were held in the topic of Industry 4.0 and the education.
- Second B section: *Railway braking systems*. Lectures were presented by research workers of Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek Kft. It was shown great interest in the topic of development of braking systems.
- Third A section: *Modern technologies in mechanical engineering*. By technical reason one lecture of *Section of additive manufacturing* was transferred to this section.
- Third B section: *Additive manufacturing*. One of the fast developing fields of the additive manufacturing is the development of medical implants. Six lectures were presented in this topic, several of them were reviewed the student works of Budapest University of Technology and Economics. One lecture was held in the topic of CT testing of the products made by additive manufacturing.

Based on the success of our conference we plan to organize the 5<sup>th</sup> Mechanical Engineering Professional Conference on TechnCulture in 2020.

*István Weszely*

*The secretary of the Conference*

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Postal address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Web: www.gte.mtesz.hu

Web: http://www.gepujsag.hu \* Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Igaz Jenő, Managing Director

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

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: www.posta.hu WEBSHOP

(https://eshop.posta.hu/storefront/), via e-mail: hirlapelofizetes@posta.hu, by phone: 06-1-767-8262, or mail to: MP Zrt. 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered from overseas and to overseas at Magyar Posta Zrt. Visit: www.posta.hu WEBSHOP (https://eshop.posta.hu/storefront/), mail to: 1900 Budapest, 06-1-767-8262, or hirlapelofizetes@posta.hu

Domestic subscription prices are: HUF 1,260 a single copy and HUF 2,520 a double copy.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**The published articles have been reviewed.**

The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary



