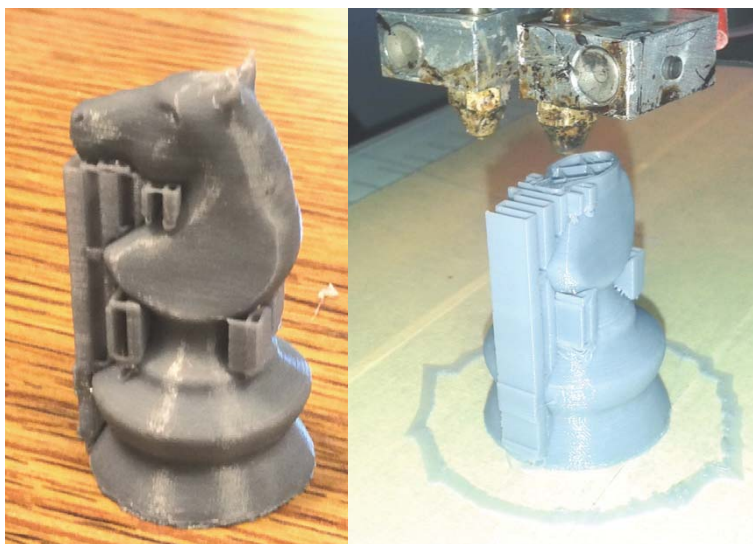
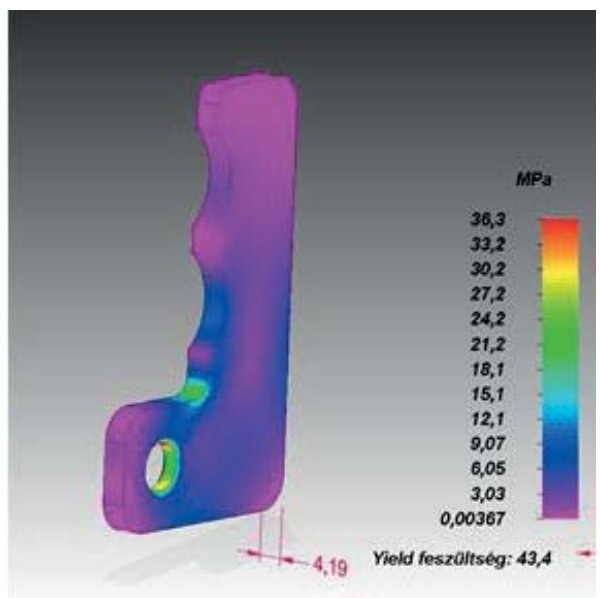
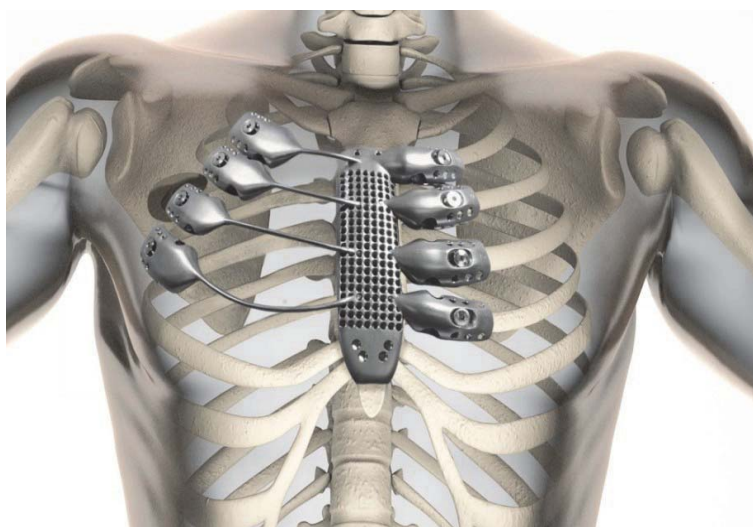
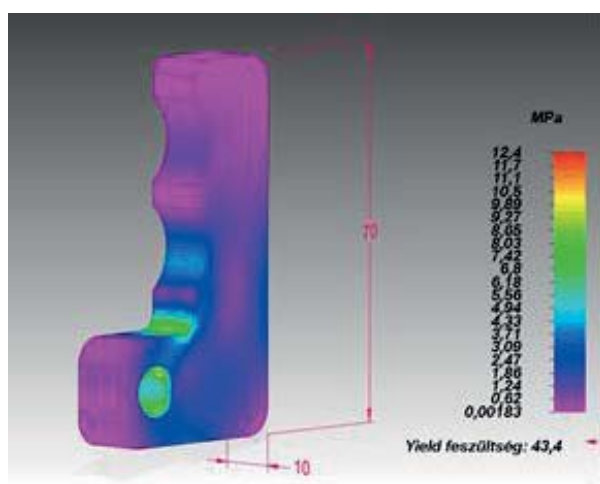


# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



# GTE-Autopro Techtogether diákverseny

## GTE-Autopro Techtogether diákverseny

Az autopro.hu és a GTE szervezésében, május 12-én a Techtogether GTE MACH-TECH versenyen 15 egyetemi csapat mérte össze tudását a gyártástechnológia és Ipar 4.0, digitalizáció kérdéseiben. A Hungexpo Zrt. támogatásával a verseny már harmadszor került megrendezésre.

A diákok nyolc egyetemről érkeztek a versenyre. A csapatok műszaki kvíz feladatokat oldottak meg, bemutatták prezentációk keretében a járműépítéseik során felhasznált Ipar 4.0 ismereteiket, és a kiállításhoz kötődve expo-caching kérdésekre kerestek válaszokat. A versenyen 10:00 órától előadásokat hallhattak az érdeklődők az Ipar 4.0, digitalizáció témakörben dr. Viharos Zsolt Jánostól, a SZTAKI tudományos főmunkatársától és Tóth Józseftől a Hepenix Kft. üzletfejlesztési igazgatójától. A verseny zsűrijét a korábbi éveknek megfelelően a Gépipari Tudományos Egyesület elnöksége adta.

### **MACH-TECH és IPAR NAPJAI Díjazott cégek (2017):**

#### **NAGYDÍJ:**

- í Atlanti-Szerszám Kft. – Szekcionált páternoszter rendszer
- í BALLUFF-ELEKTRONIKA KFT. - BNI0098 BNI IOF-329-P02-Z038 (Biztonsági I/O-modul)
- í Control System Kft. – LFV technológia
- í Smartus Zrt. – OKUMA Machine Status Monitor
- í TRUMPF Hungary Kft. – TruLaser 3060 fiber (L66) 2D-lézervágógép

#### **KÜLÖNDÍJ:**

- í FANUC Hungary Kft. - FANUC M-2000iA/1700L
- í Flexman Robotics Kft. – Koegzisztens ipari robot vezérlés: YRC-FSU
- í Prémium Szerszámgépszerviz Kft. – Datron neo nagysebességű marógép

#### **ELISMERŐ OKLEVÉL:**

- í FERRO-TOOL Zrt. – Fő-és mellékidő csökkentése a forgácsolásban, digitális gyártás az ipar 4.0 szellemében
- í Hahn & Kolb Kft. – StockMAT Lapka adagoló
- í Hahn & Kolb Kft. – SHG raktári automata
- í Klüber Austria GmbH - EfficiencyManager (digitális és mobil megoldás az Ipar 4.0. bevezetéshez)
- í Telkes Gép Kft. – Használt gép és berendezés kereskedelem

# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

#### elnök

Vesza József

#### főszerkesztő

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

#### főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

### KEDVES OLVASÓ!

Amikor kézbe veszi ezt a lapszámot, a MACH-TECH kiállítás alkalmából, akkor arra számíthat, hogy a kiállítás néhány fontos érdekességéről kap információt, valamint betekinthez a gépészeti szellemi kultúra konferencia néhány témakörébe, amelyek a gépészet területének olyan új részleteit (CAD-CAM tervezés, 3D nyomtatás) mutatták be, amelyek a hagyományos módszerektől, illetve területekről új ablakokat nyitnak a mai kihívások felé.

Az idei MACH-TECH ipari seregszemle teltházzal a szokásosnál nagyobb területen fogadta látogatóit, úgy, hogy egy helyen, egy időben mutatta be az ipar szinte összes ágazatát, annak érdekében, hogy a kiállítók és a látogatók első kézből kapjanak információt a szakma trendjeiről és a résztvevők kihasználhassák az iparágak közötti szinergiát, a jövő fejlesztési érdekében.

Külön öröm, hogy az egyetemi hallgatók részére szervezett GTE-Autopro Techtogether versenyre is a szokásosnál nagyobb létszámú csapat jelentkezett be, ami a kiállítás iránti érdeklődés egy új arculatú megközelítésével keltette fel a fiatalabb korosztály figyelmét.

Ebben az évben kiemelt téma a kiállításon az IPAR 4.0, napjaink kulcsfontosságú technológiai irányzata, amely témakörében a kiállítóknál látható újdonságokon kívül szakmai konferencia is segíti a tudásszint homogenizálást és korszerűsítést, a fő irányokban elindult fejlesztéseket és a cégeknél elért eredményeket.

A HUNGEXPO ebben az évben is meghirdette a nagydíjak pályázatát, amelyre a korábbiaknál több színvonalas pályázat érkezett be. Azon cégek nyújtottak be pályázatokat, akik valamilyen újdonsággal, innovációs tartalommal rendelkező terméket, szolgáltatást, eljárást, technológiát tudnak kínálni a szakmaterületükön.

A beérkezett dokumentumokat egy szakértőkből álló zsűri bírálta el.

A különböző kategóriák nyerteseinek díjai a kiállítás megnyitóján kerültek átadásra.

Ezúton is gratulálunk a díjazottaknak!

*Prof. Takács János*  
a GTE elnöke

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.  
Telefon/fax: 06-46/379-530, 06-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu  
Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1027 Budapest, Fő u. 68. Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.  
Telefon: 06-1/202-0656, fax: 06-1/202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gte.mtesz.hu  
A GÉP folyóirat internetcíme: <http://www.gepujsag.hu>  
Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.  
Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta 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. Borbás L.; Ficzer P.:

**KÉRDŐJELEK AZ ADDITÍV  
GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁKBAN  
(MARADÓ FESZÜLTSEGEK  
POLIMEREK NYOMTATÁSAKOR) ..... 5**

*A nyomtatott termékek sok ismert tulajdonsága mellett viszonylag kevés ismerettel rendelkezünk a maradó feszültségekről, amelyek feltehetően jelentős befolyással vannak a termékek viselkedésére. Jelen cikk az FDM technológiával gyártott polimerek maradó feszültségeinek kísérleti vizsgálatával foglalkozik.*

2. Körtélyesi G.; Erdősné Sélley Cs.:

**A VIRTUÁLIS TERMÉKTERVEZÉS  
OKTATÁSA ..... 11**

*Bemutatásra kerül a BME Gép- és Terméktervezés Tanszékén kialakított Virtuális Tervezőlaboratóriumban folytatott oktatási tevékenység. Az oktatási egység támogatja a modern mérnöki tervezés szinte minden folyamatát az optikai 3D-s szkenneléstől kezdve a 3D nyomtatásig.*

3. Takács J.; Bán K.:

**TESTRESZABOTT HUMÁN  
IMPLANTÁTUMOK ÉS ORVOSI  
KÉSZÜLÉKEK ADAPTÍV GYÁRTÁSA ..... 16**

*A gépészeti szakmakultúra változására jelentős hatással van a gyorsprototípus gyártás elterjedése. Sok más iparágon kívül az egészségügyben is jelentős a fejlődés, mivel a korszerű képalkotó diagnosztikai eljárások adatállománya segítségével egyénre szabott implantátumok és készülékek állíthatók elő.*

4. Vass S.; Németh H.:

**DIESEL PORLASZTÓ FÚVÓKÁK GEOMETRIAI  
KIALAKÍTÁSÁNAK HATÁSA AZ ÁRAMLÁSRA,  
ÖSSZEHASONLÍTÁS NUMERIKUS SZIMULÁCIÓK  
SEGÍTSÉGÉVEL ..... 23**

*A cikk egy számítógépes 3D áramlástanai analízist (CFD) mutat be, amelynek célja három különböző fúvóka kialakítás összehasonlító vizsgálata volt az injektor belső áramlási jellemzői és a külső sugárkép alakja alapján. A fúvóka variánsok teljesítményének összevetése alapján a harmadik változat bizonyult a legjobbnak.*

5. Ficzer P.:

**A GÉPTERVEZÉS SORÁN HASZNÁLT MÉRETEK  
ÚJ LEHETŐSÉGEI ..... 34**

*Az utóbbi idők terméktervezési gyakorlatában a mérethálózatok szerepe jelentősen megváltozott. A méretek változóként is megadhatók, így lehetőség nyílik terméksorozatok tervezésére. A 3D méretek felhasználhatók numerikus szimuláción alapuló optimalizáláshoz is.*

# KÉRDŐJELEK AZ ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁKBAN (MARADÓ FESZÜLTSÉGEK POLIMEREK NYOMTATÁSÁKOR)

## QUESTIONS OF ADDITIVE PRODUCTION TECHNOLOGIES (RESIDUAL STRESSES OF 3D PRINTED POLYMERS)

*Borbás Lajos Ph.D., Főiskolai Tanár EDUTUS Műszaki Intézet*

*Ficzere Péter Ph.D., egyetemi adjunktus BME Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék*

**ÖSSZEFOGLALÁS.** A gyártástechnológia rohamos fejlődése eredményeként megvalósított termékek anyagtulajdonságai, határállapotú jellemzői, ciklikus terhelések hatására bekövetkező viselkedése mára azt mondhatjuk, sok tekintetben ismert. Tudjuk, a nyomtatott termékek anyagjellemzői nyomtatási irányfüggőek, az a tény is ismert, hogy az előállított termék viselkedése ortotróp anyagtörvényekkel jellemezhető [1], [2]. Ahhoz, hogy numerikus analízis segítségével a szerkezetek viselkedését előre le tudjuk írni, az anyagjellemzők kísérleti eljárásokkal történő meghatározásra van szükségünk [3]. A számos ismert jellemző mellett azonban még vannak kérdőjelek, amelyek a szerkezetek időbeni viselkedésére jelentős befolyással vannak. Ezek közé tartozik a nyomtatott anyagok, szerkezetek maradó feszültségeinek kérdése, amelyek ismerete elengedhetetlen a szerkezet viselkedésének pontos megértéséhez. Jelen dolgozat a polimerek „C technológiával gyártott elemeinek maradó feszültségeinek alakulásába nyújt betekintést.

**ABSTRACT.** The additive production technology, commonly called 3D printing, ensures the production of individually tailored products. The material properties (directional, orthotropic material properties) the boundary states and the behavior of products coming from cyclic loads today may be regarded as more or less known. To understand the behavior of the polymer materials and structures printed with heat-generation the investigation of the residual stresses generated by production technology is indispensable. In our paper we focused to the Fused Deposition Modelling (FDM) technology of polymers to reveal the residual stresses generated from one of the heat-induction manufacturing technologies.

### 1. BEVEZETÉS

Alkatrészek, szerelt szerkezeti egységek gyártásában a felépítéses - jelenleg a köznyelvben additív gyártástechnológiaként (vagy 3D nyomtatásként) – gyártási eljárások megteremtették környezetünk egyénre szabott kialakítását, az élet minden területén [4],[5], [6]. Ezen eljárások a réteges felépítésen alapulnak, amelynek során az alapanyag valamely hő bevezetéses eljárás alkalmazásával (függvényében annak anyagjellemzőire) halmazállapot változást követően felveszi a tervezett alkatrész alakját. Mindeközben két alkalommal is (a felhevítés majd a visszahűlés fázisában) térfogatváltozáson esik át, ennek következtében nagy felszínre, térfogatelemekre vonatkoztatva viszkózus állapotból szilárd halmazállapotba jutva egyenlőtlen hűlést szenved, amely maradó deformációk, így maradó feszültségek kialakulását eredményezi [7]. Jelen dolgozatunk a polimerek egy lehetséges gyártástechnológiájának eljárását, az FDM technológiát vizsgálja maradó feszültségek feszültségvizsgálat átvilágító technikájának alkalmazásával.

#### *1.1. Az „Olvasztott, egymásra épülő formázás” (Fused Deposition Modelling, FDM)*

Polimer termékek additív gyártástechnológiai eljárásai közül az utóbbi években (lejárt szabadalom) az egyik leggyakrabban használt eljárás a FDM technológia. Az eljárással extrudált polimer alapanyagból hevítőfejen (hőbevezetés) és a hozzá csatlakozó fűvőkán keresztül átjuttatva réteges lerakással készítjük el termékeinket. Az eljárás során lehetőségünk van a rétegvastagság, valamint a gyártás egyes beállítási paramétereinek, úgymint lerakási sebesség, felhevítési hőmérséklet, valamint a lerakó felület hőmérsékletének szabályzására [8]. Jelen dolgozatban a „Polylactic Acid” (PLA, Politejsav) alapanyagokat vizsgáltuk. Gyártás során az alapanyagot 220°C-os

hőmérsékletre hevítjük, ahol az megfolyik. Az anyag megfelelő helyre történt lerakását követően hűteni kell, így biztosítható a megfelelő feltétel az anyag kikeményedéséhez (polimerizáció befejeződése). Egy adott réteg annak lerakásakor még magasabb hőmérsékletű, mint környezete, valamint az a réteg, amelyre rányomtatjuk. Az éppen lerakott réteg lineáris mérete - a hőtágulás következtében - nagyobb, mint a teljesen kihűlt, szobahőmérsékletű darabé. Ez a tény a réteg hülésekor annak zsugorodását okozza, A zsugorodás mértéke számítható, a tervezett alkatrész megvalósításakor figyelembe vehető. A tárgy építésének kezdetén az első (alsó) rétegek a tárgyasztalra (platform) kerülnek. Ahhoz, hogy azon stabilan megálljon a nyomtatott tárgy a tárgyasztalhoz kell tapadnia, ahol melegen, kiterjedt méretében rögzül az asztalhoz. Hülése során így zsugorodásában gátolva éri el környezete hőmérsékletét, amely jelenség az anyagban meghatározott mértékű feszültséget indukál. Ennek oka a gyártás során a viszkoelasztikus állapotból történő egyenlőtlen hülés [9]. Meghatározására roncsolásos, valamint roncsolás-mentes eljárásokat alkalmazhatunk, melyek sorában az optikai feszültségvizsgálat alkalmasan megválasztott eljárása is figyelembe vehető. A tárgyasztalon levő anyag, annak folyamatos hőmérséklet csökkenése okán a benne kialakult feszültség hatására tapadása megszűnik, elválik a tárgyasztaltól (warping), felhajlik. Ez a jelenség – azon túlmenően, hogy rontja a tárgy alak- és mérethűségét, további kérdéseket vet fel az alkatrész terhelhetőségi határállapotaival,- így felhasználhatóságával kapcsolatban is.

### *1.2. Optikai feszültségvizsgálat alkalmazása 3D nyomtatott termék jellemzőinek ellenőrzésekor*

Az optikai feszültségvizsgálat eljárása során az optikailag átlátszó (alapértelmezésben homogén, izotrop [10]) anyagot polarizációs szűrők között vizsgálva a terhelés hatására kialakuló alakváltozások interferencia kép formájában (rendszámkok és iránycsávok, melyek alkalmasak a deformációs mező mértékének, valamint a deformációs állapot irányainak meghatározására) megjeleníthetővé válnak. Az alkalmazott fényforrástól függően (monokromatikus vagy kevert fényforrás) az észlelt interferencia kép színes, vagy szürkeárnyalatos képként vizsgálható. A deformációs mezőkből a vizsgált anyag

jellemzőinek ismeretében annak feszültségi állapota meghatározható. A vizsgálati technika alapanyagai a technika fejlődésével rohamosan bővülnek, így napjainkban 3D nyomtatással is lehetőségünk nyílik feszültségoptikai vizsgálatokra alkalmas anyag előállítására [11], [12], [13]. Esetünkben a nyomtatást követően elkészített próbatest gyártása során keletkezett feszültségei, a maradó feszültségek is meghatározhatók. Amennyiben a késztermékben gyártási feszültségek keletkeznek, terheletlen állapotban is megjelennek a rendszámkok (színsávok), amelyek az anyagban lévő kezdeti deformációra, így a feszültségekre utalnak. A kialakuló színsávbrák elemzésével meghatározható az anyagban lévő feszültségek nagysága és jellege (húzó vagy nyomó). Így a különböző elrendezésben és különböző nyomtatási paraméterekkel történő gyártással készült darabokon terheletlen állapotban végzett vizsgálatokkal azok gyártási, maradó feszültségei kimutathatók. A kapott eredmények elemzésével a megfelelő gyártási paraméterek, elrendezések, technológiák meghatározhatóak annak érdekében, hogy a gyártás során keletkező feszültségeket csökkenteni tudjuk.

## 2. MÓDSZER

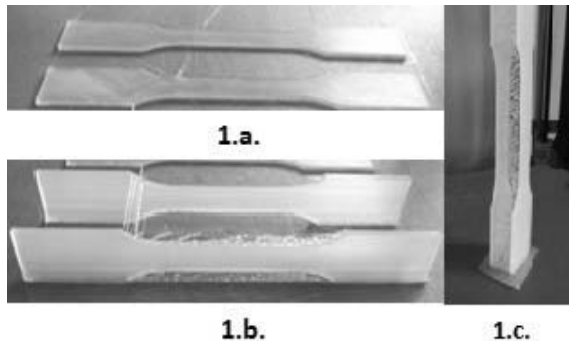
### *2.1 FDM technológiával gyártott termékek anyagjellemzői*

A rétegről rétegre való építési gyártástechnológiából adódóan és az irodalomkutatásból azt feltételezhetjük, hogy a nyomtatott anyag nem izotrop. Ebben az esetben az anyagjellemzők a különböző irányokban eltérőek, azaz irányfüggőek. Ezért a különböző irányokban és különböző helyzetekben gyártottuk le a szabványos szakítóvizsgálatok során használt rövid szakító próbatesteket ( $l=130$ ,  $l_0=40$ ,  $b=20$ ,  $h=2$  mm, MSZ EN ISO 527-3).

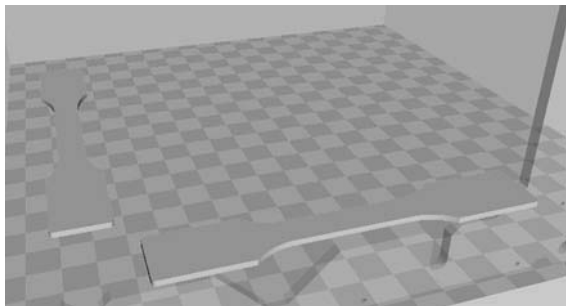
### *2.2. Próbatestek anyagjellemzők meghatározására*

Vizsgálataink során alapvetően az anyagjellemzők tekintetében a nyomtatási irányfüggőségre, valamint a nyomtatott próbatestek feszültségmentes állapotára voltunk kíváncsiak. Fenti összefüggések tisztázása érdekében ugyanazon próbatestet síkjában fektetve, arra állítva, majd függőlegesen állítva is kinyomtattuk (1. ábra). Vizsgáltuk továbbá a

síkon belüli nyomtatás irányfüggőségét is annak érdekében (2. ábra), hogy a tervezők számára egyértelmű adatokat szolgáltatassunk a helyes anyagtörvény (anyagmodell) megválasztása érdekében.



1. ábra. Nyomtatási irányok az anyagjellemzők meghatározására. 1.a. Fektetett elrendezés, 1.b. állított elrendezés, 1.c. függőlegesen álló elrendezés



2. ábra. Nyomtatott próbatestek síkon belüli irányfüggés meghatározására

Elkészült próbaestjeinket a vizsgálgépben polarizációs szűrők közt vizsgáltuk alaphelyzetben kereszttezett polarizátor állásban (egész rendszámok meghatározása). A folyamatról készített felvételek elemzéséből úgy a kezdeti, valamint a tönkremenetelt követő feszültségállapot meghatározhatóvá vált.

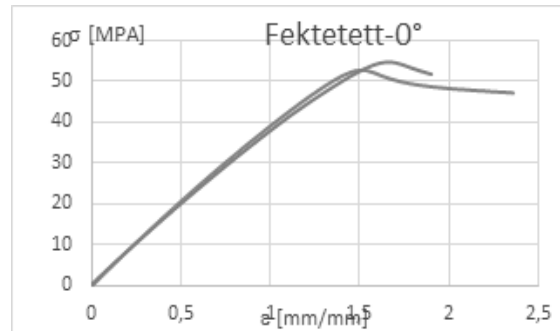
### 3. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A következőkben az egyes nyomtatási irányokhoz tartozó jellemző szakítóvizsgálati eredményeket, valamint a terhelési folyamat során rögzített optikai feszültségvizsgálati felvételeket mutatjuk be.

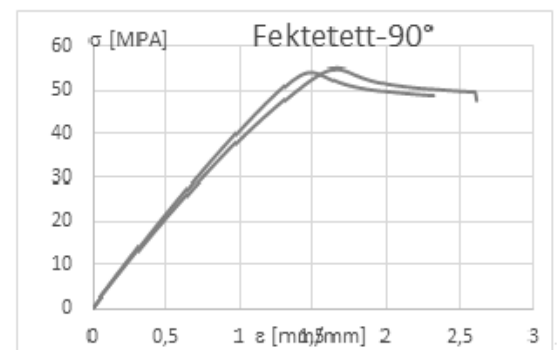
#### 3.1. Fektetett helyzetű nyomtatás

A 3 ábrán egy fektetett helyzetű nyomtatás szakító diagramját láthatjuk a síkban egymásra merőleges nyomtatási irányokban készült diagramok bemutatásával, míg a 4. ábrán ugyanezen nyomtatási irányban készített feszültségoptikai felvételeket találunk. A 4. ábra tüzetes vizsgálatából láthatjuk, hogy a

kezdeti állapot közel feszültségmentes, valamint a tönkrement (elszakadt) próbatest is feszültségmentesnek tekinthető. Az adott síkban 90°-ban nyomtatott elrendezés gyakorlatilag azonos eredményeket szolgáltatott, így azok külön bemutatásától eltekintünk.

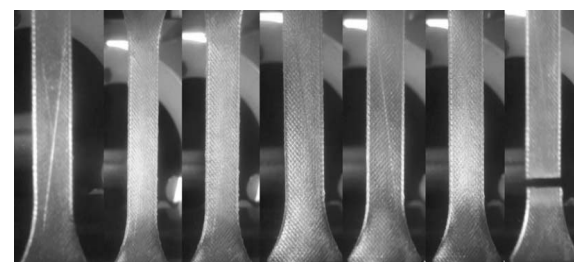


3.a.



3.b.

3. ábra. Fektetet elrendezésben nyomtatott próbatestek szakítóvizsgálati eredményei. 3.a. ábra 0° nyomtatási irány, 3.b. ábra 90° nyomtatási irány

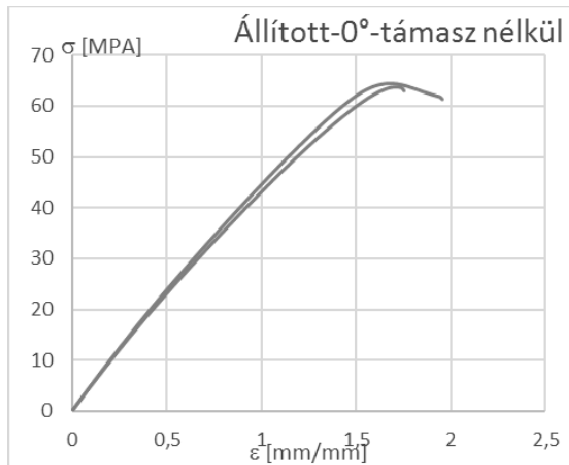


4. ábra Fektetett elrendezésben (0°) gyártott próbatesteken végzett szakítóvizsgálatok során polarizációs szűrők között készített egész rendszámú képsorozat

#### 3.2. Állított helyzetű nyomtatás

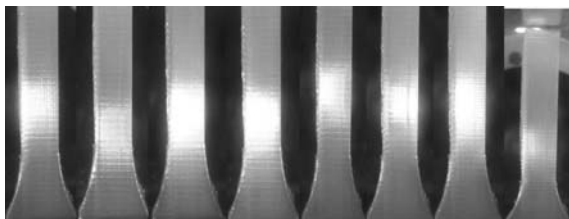
Ebben az elrendezésben próbaestjeinket támasztékkal, valamint a nélküli kivitelben is elkészítettük. Természetesen a korábban bemutatottak alapján itt is vizsgáltuk a síkon belüli izotropia kérdését az egymásra merőleges nyomtatási irányok eredményeinek feldolgozásával. Hasonlóan a fektetett kivitelnél

tapasztalhoz itt sem találtunk síkon belül irányfüggő viselkedésre utaló eredményeket. A nagyobb terhelhetőséget a támasz nélküli kivitelek mutatták, így jelen dolgozatunkban ezeket az eredményeket mutatjuk be (5. ábra).



5. ábra Állított elrendezésben nyomtatott próbatetek szakítóvizsgálati eredményei

A polarizációs optikai felvételeket a 6. ábra mutatja.

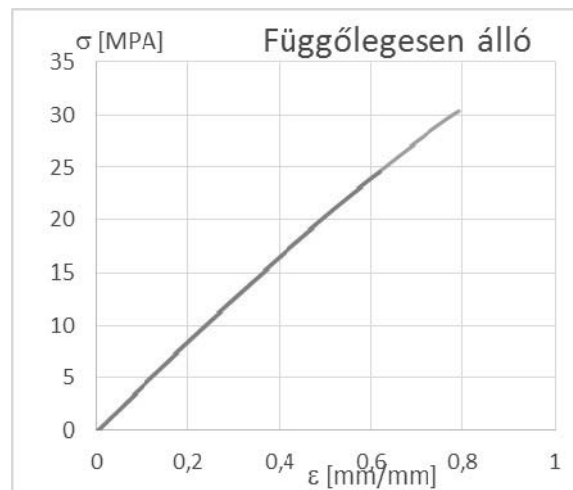


6. ábra Állított elrendezésben támasz nélküli gyártott próbatesteken végzett szakítóvizsgálatok során polarizációs szűrők között készített egész rendszámú képsorozat

A felvételek tanulmányozásakor megállapítható, hogy a vizsgálat megkezdésekor annak kezdeti, külső teher nélküli állapotában a próbatest nem feszültségmentes. A vizsgálat kezdeti szakaszában a próbatest polarizációs optikai képe alapján annak feszültségmentes állapota hozzávetőleg 400 N körüli terhelési értéknél alakul ki.

### 3.3. Függőlegesen álló elrendezés

A függőlegesen álló helyzetben nyomtatott próbatesteken végzett szakítóvizsgálatok eredményei a 7. ábrán láthatók.



7. ábra Függőlegesen álló helyzetben nyomtatott próbatest szakító diagramja

A függőlegesen állítva nyomtatott próbatestek terhelhetősége mintegy 50%-a a fektetve, ill. az állítva nyomtatottakénak.

### 3.4. FDM technológiával gyártott próbatetek szilárdsági jellemzői

#### 3.4.1 Szakítóvizsgálatok összesített eredményei

Az 1. táblázat foglalja magában a különböző irányban gyártott próbatestjeink vizsgálati eredményeit. A táblázat eredményei jól mutatják, hogy a nyomtatási irány jelentős hatással van mind a terhelhetőségre, mind pedig a rugalmassági moduluszra.

1. táblázat. különböző irányban gyártott próbatestjeink vizsgálati eredményei

	Szakítószilárdság $R_m$ [MPa]	Young modulus $E$ [MPa]
Fekvő-0°	53,73±0,99	2885,76 ± 29,53
Állított-0°	63,98925±0,36	3405,125 ± 51,225
Függőlegesen álló	27,464±2,928	2891,227 ± 6,695

#### 3.4.2. Optikai feszültségvizsgálat

eredményeinek feszültségre történő átszámítása

A vizsgált próbatest geometriai adatai (vastagsága), valamint feszültségoptikai jellemzői (k vizsgálati anyag érzékenységi tényezője, amely tartalmazza a megvilágító fényforrás vonatkozó hullámhosszi adatait) alapján az észlelt rendszámok és a feszültségi állapot közti kapcsolat (null-balance kompenzáció alkalmazásával) az optikai feszültségvizsgálat alapegyenletének alkalmazásával az alábbi módon számítható:



$$\sigma = \sigma_1 = \frac{k \cdot E}{1 + \nu} = \frac{0,68 \cdot 10^{-3} \cdot 2,35 \cdot 10^4}{1 + 0,39} = 11,49 \text{ MPa} \quad (1)$$

ahol:  $k$  a próbatest érzékenységi tényezője,  
 $E$  a rugalmassági modulusa,  
 $\nu$  a Poisson tényezője  
 $\sigma$  a szélső szál észlelt feszültsége

Mindezekre figyelemmel a 400 N körüli terhelési érték (lásd 6. ábra) a próbatestben mintegy 15 MPa húzófeszültséget jelent.

#### 4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

- Vizsgálataink eredményeképpen megállapítható, hogy a korábbi feltételezésünknek megfelelően - más additív technológiákhoz hasonlóan - a PLA anyag esetében is eltérők az anyagjellemzők az építés irányában és arra merőlegesen.
- A statikus terhelési kapacitás meghatározására irányuló szakítóvizsgálatok eredményeit megvizsgálva látható, hogy sem az eredmények közti eltérések, sem jellegbeli különbségek nem utalnak eltérő anyagjellemzőkre a sík különböző irányában. Ez a tény másként fogalmazva azt jelenti, hogy a nyomtatott anyag adott síkon belül iránytól függetlenül azonos tulajdonságokkal rendelkezi, így itt izotropnak tekinthető.
- Ugyanakkor erre a síkra merőlegesen, az építési irányban, függőlegesen álló próbatest esetében jelentős eltéréseket láthatunk mind az anyagjellemzők értékeiben, mind pedig a terhelésviselés jellege tekintetében. Ezen próbatestek terhelhetősége (terhelési kapacitása) nagyságrendileg a fele, mint a fekvő elrendezésben nyomtatott próbatesteké.
- Mindezekből megállapítható tehát, hogy az FDM típusú, additív gyártástechnológiákkal készített, hőbevezetéssel gyártott alkatrészek anizotrop anyagmodellel modellezhetők. Jellemzésükre az anizotrópia egy speciális fajtája az orthotrop anyagmodell a legalkalmasabb. Ezen belül is, az ún. semi-orthotrop anyagmodellel közelíthetjük legjobban a valóságot. Ebben a megközelítésben síkban izotropnak tekintjük az anyagot adott anyagjellemzőkkel, ugyanakkor az arra merőleges irányban ettől eltérő anyagjellemzőket kell használnunk, amely

jellemzők függvényei a nyomtatási paramétereknek (nyomtatási vastagság, sebesség, hőmérsékletek).

#### 5. IRODALOM

- [1] Ficzer P, Borbás L, Material law for numerical analysis of rapid prototype products, In: Francesca Cosmi, Francesco Iacoviello (szerk.), 9th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics (YSESM 2010). Konferencia helye, ideje: Trieste, Olaszország, 2010.07.07-2010.07.09. Trieste: Università degli Studi di Trieste, 2010. pp. 9-12., (ISBN:978-88-95940-30-4)
- [2] Ficzer Péter, Borbás Lajos, Gyors-prototípus készítő eljárással gyártott termékek anyagtulajdonságainak meghatározása végeeselemes analízis számára, GÉP 60:(10-11) pp. 36-39. (2009)
- [3] Szűcs Nóra Alexandra; Szép Gergely; Szabó Ferenc; Kovács Norbert Krisztián, Korszerű gyártástechnológiák szerepe az egyszer használatos orvostechikai eszközök fejlesztésében, Polimerek, 2016, 2(8), pp 232-237, ISSN 2415-9492
- [4] Ficzer Péter, Borbás Lajos, Török Ádám, Usage of rapid prototyping in vehicle manufacturing, In: Stanislaw Borkowski, Dorota Klimecka-Tatar (szerk.), Toyotarity: Elements of the organization's mission. 225 p., Dnepropetrovsk: Yurii V Makovetsky, 2011. pp. 182-193., (ISBN:978-966-1507-70-7)
- [5] Ficzer P, Borbás L, Gyors prototípus anyagok orvosi alkalmazásának lehetőségei, kérdései, In: Borbás Lajos (szerk.), Korszerű anyagok és gyártástechnológiák alkalmazása a gyógyászatban. Konferencia helye, ideje: Tatabánya, Magyarország, 2014.05.30-2014.05.31. Tatabánya: Magyar Biomechanikai Társaság, 2014. p. 17., (ISBN:978-963-88981-2-8)
- [6] Horváth Ákos Márk, Ficzer Péter, Rapid prototyping in medical sciences, PRODUCTION ENGINEERING ARCHIVES / ARCHIWUM INŻYNIERII PRODUKCIJI 8:(3) pp. 28-31. (2015)

- [7] Ficzere P, Borbas L, Szebenyi G, Reduction possibility of residual stresses from additive manufacturing by the optical photostress method, In: Aulova Alexandra, Rogelj Ritonja Alenka, Emri Igor, 33rd Danubia Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics: Book of Abstracts. 205 p., Konferencia helye, ideje: Portoroz, Szlovénia, 2016.09.20-2016.09.23. Ljubljana: Slovene Society of Experimental Mechanics, 2016. pp. 92-93., (ISBN:978-961-94081-0-0)
- [8] Györi M, Ficzere P, Use of Sections in the Engineering Practice, PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 45: pp. AiP-4. (2017)
- [9] Masing: Handbuch Qualitätsmanagement Gebundene Ausgabe – 14. Mai 2007 von Tilo Pfeifer (Herausgeber), Robert Schmitt (Herausgeber), V. átdolgozott kiadás, Carl Hanser Verlag München, 2007.
- [10] Thamm, Ludvig, Huszát, Szántó: Szilárdáságtan kísérleti módszerei. Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
- [11] Ficzere P , Borbás L, New Application of 3D Printing Method for Photostress Investigation, MATERIALS TODAY: PROCEEDINGS 3:(4) pp. 969- 972. (2016), doi: 10.1016/j.
- [12] Ficzere Péter, Borbás Lajos, Lovas László: Feszültségoptikai vizsgálatok fejlesztési lehetőségei 3D nyomtatási technológia segítségével, GÉP LXVI:(5-6) pp. 43-46. (2015), ISSN 0016-8572
- [13] Peter FICZERE, Usage of 3D printing in photostress investigation, PRODUCTION ENGINEERING ARCHIVES / ARCHIWUM INŻYNIERII PRODUKCJI 7:(2) pp. 16-19. (2015)

# A VIRTUÁLIS TERMÉKTERVEZÉS OKTATÁSA

## EDUCATION OF VIRTUAL PRODUCT DESIGN

*Dr. Körtélyesi Gábor, PhD, Erdősné Sélley Csilla*

### ÖSSZEFOGLALÁS

Bemutatásra kerül a BME Gép- és Terméktervezés Tanszékén kialakított Virtuális Tervezőlaboratóriumban folytatott oktatási tevékenység. Az oktatási egység támogatja a modern mérnöki tervezés szinte minden folyamatát: az optikai 3D-s szkennelést, a mérnöki rekonstrukciót, a sztereoszkopikus 3D megjelenítési technikákat, a virtuális és kiterjesztett valóság alkalmazásait, és a fizikai termékmodellek elkészítését (3D nyomtatás).

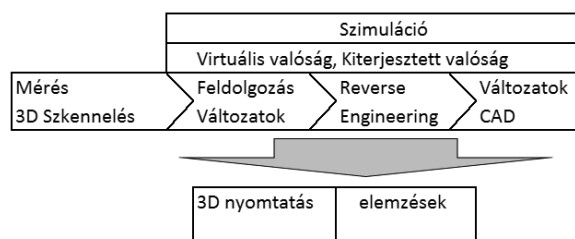
### ABSTRACT

Educational activity of the Virtual Design Laboratory at the Department of Machine and Product Design is introduced. The education unit supports almost all of the stage of the modern engineering design process: optical 3D scanning, engineering reconstruction, stereoscopic 3D display techniques in virtual and augmented reality application and fabricating physical product models with 3D printing.

### 1. BEVEZETÉS

A mérnökképzés során a tervezést támogató számítógépes eszközök alatt többnyire a parametrikus tervezőrendszereket, szimulációs szoftvereket értik. A tervezői munka sok esetben kezdődik ismert megoldás elemzésével, áttervezésével, amelyhez a mérnöki rekonstrukciós eszközök ismeretére van szükség. A tervezői munka kommunikációját, ellenőrzését támogatja a modellváltozatok elkészítése és sztereoszkopikus megjelenítése a virtuális térben (1. ábra), [1]. Végül a kiválasztott megoldást valós környezetben ellenőrizhetjük a fizikai prototípus additív elven működő gyártása után.

A labor tevékenységét néhány projekt bemutatásával illusztráljuk, a gép- és terméktervező mérnöki munka néhány jellemző területén a tervezésben, áttervezésben, látványtervek készítésében, termékötletek fizikai modellt kiváltó megjelenítésében, minőségellenőrzésében és a digitális gyártásra történő tervezői gondolkodásban.



1. ábra Tervezői ciklus a VT labor eszközeivel

### 2. MÉRNÖKI REKONSTRUKCIÓ

#### 2.1. 3D szkennelés

A valós testekről 3 dimenziós virtuális modellek létrehozásának első lépése, hogy a testről megfelelő felvételeket készítsünk. A virtuális modell eltérése a fizikai objektumtól azonban nem csupán az alkalmazott eszköztől függ, hanem az objektum geometriájától, a szkennelési eljárástól és az adatfeldolgozó algoritmusoktól is. Az oktatás során a diákok gyakorlati tapasztalatokat szereznek a különböző elven működő eszközökkel, megismerik az adatfeldolgozás általános lépéseit és mérlegelik az egyedi geometria pontos visszaadásához szükséges mérési elrendezés, pozíciók, beállítások, paraméterek, adatok és feldolgozó algoritmusok alkalmazását a mérés céljának megfelelően. A mérés célja lehet

- replika létrehozása additív gyártással;
- formai áttervezéshez, szerszám ill. csatlakozó alkatrészhez kiindulási referencia (2. ábra);
- gyártási pontosság vagy kopás ellenőrzése;
- ergonómia ellenőrzése;
- látványterv készítése, stb.

A mérés végrehajtható különböző pozícióban készült egyedi felvételek utólagos összefűzésével, vagy folyamatos, felvétel során egyesített adatállomány képzésével.



2. ábra Kontroller ergonomikus átalakítása  
(Szabó Bence, Tóth-Pajor Mátyás)

### 2.2 Eszközök, szkennelési eljárások

A laborban különböző méretű objektumok felvételére különböző működési elvű optikai eszközök állnak rendelkezésre.

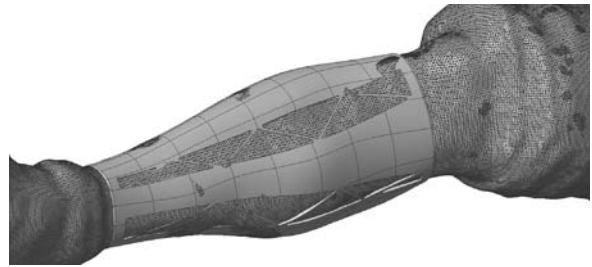
#### Kinect1, Kinect2

A Kinect szenzorok olcsón hozzáférhető eszközök, amellyel nagyobb tárgyak, ember (3. és 4. ábra), terek szkennelhetők be néhány perc alatt, hozzávetőlegesen (mm-cm pontossággal).

Infravörös pontmintázat illetve intenzitásmodulált fény segítségével azonosítják a mélységi adatokat, egyúttal egy színes kamera rögzíti a textúra információkat is. Egyszerűen kezelhető beolvasó szoftverekkel működtethetők, továbbá programozói felület teszi lehetővé az eszközök kreatív felhasználását.



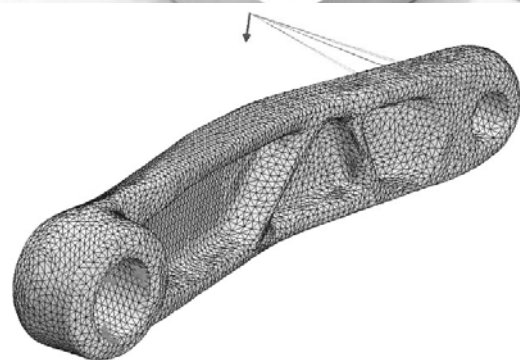
3. ábra Embermodell (Szobácsi Richárd,  
Madarász Benjámin)



4. ábra Művégtag tervezése (Henczi Tamás,  
Tarcsai Roland)

#### NextEngine lézerszkennер

A NextEngine szkennер és a szkennert kezelő szoftverek többnyalábos vörös (650 nm) vonallézeres és többkamerás beolvasási eljárása közel 0.1 mm pontosságú, nagy pontsűrűségű mélységi adatok és ezzel egyidejűleg közepes minőségű textúra felvételezését teszi lehetővé (5.ábra). A beolvasási folyamat lényegesen lassabb, itt egy objektum teljes beolvasásához 1-2 óra szükséges.



5. ábra Kerékpár alkatrész felvétele NextEngine  
lézerszkennерrel végeeselemes ellenőrzéshez  
(Olasz László Péter, Horgos Máté Balázs)

### David SLS-3

A strukturált fényrel történő szkennelés során egy projektorral ismert mintázatot vetítünk a tárgyra, amelyet egy kamera rögzít és továbbít a kiértékelő szoftver felé. Az eljárás meglehetősen gyors, ugyanakkor hasonló pontosságú, mint a NextEngine lézerszkennerek esetén.

#### Egyedi szkennerkonstrukciók a David szoftverrel

A David szkennelő szoftver sokféle projektorral és kamerával képes együtt dolgozni, ráadásul ezek helyzete szabadon változtatható, amely lehetővé teszi, hogy tanulmányozzuk a szkennerek konstrukciós elveit, a paraméterek hatását (6. ábra).



6. ábra Egyedi SLS elvű szkennelő eszköz a David szoftver, Acer K132 projektor és Logitech c920 webkamera alkalmazásával (Szalóczy Döme László)

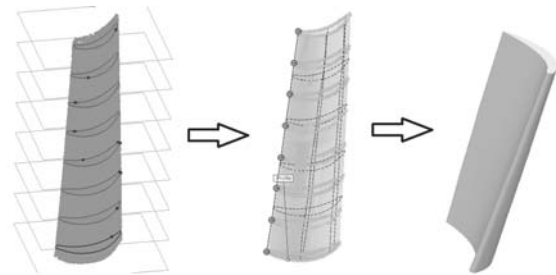
#### 2.2. Mérési adatok feldolgozása, mérnöki visszaféjtés

A mérési adatok feldolgozása során a különböző nézőpontból készült felvételeket pozicionálni kell. A pozicionálás történhet egyedileg vagy különböző elven működő algoritmusok segítségével. Az egymással fedésben levő felvételek szerencsés esetben kiadják a modell felületét; az esetlegesen takarásban levő felületekről további felvételeket kell készíteni és ezzel az adatállományt kiegészíteni. A szóródás következtében keletkezett és egyéb felesleges adatokat el kell távolítani, és a kisebb hiányokat befoltozni a környező felületrészek tulajdonságai alapján. A felvételek összefűzése során egyrészt, háromszög-háló jön létre (stl állomány). Az adatok további feldolgozásához (simítás, egyszerűsítés, hiányosságok és topológiai hibák megszüntetése) globális és lokális módosító eszközök állnak rendelkezésre. A szkennelési hibák javítása, illetve organikus formákkal

történő kiegészítés hálószerkesztő funkciókkal, programokkal lehetséges.

A zárt háló összehasonlítható más mérési eredménnyel vagy CAD modellel, sztereoszkópicusan megjeleníthető, de akár 3D nyomtatással ki is nyomtatható alkalmas méretarányban.

Amennyiben kiegészítést, változatokat szeretnénk készíteni a beszkennelt geometriához egy CAD szoftverben, vagy szimulációt szeretnénk végezni, a szkennelési eredményt testmodellé kell alakítani (7. ábra).



7. ábra Turbinalapát rekonstrukciója (Handler Balázs, Roboz Dávid)

### 3. VIRTUÁLIS ÉS KITERJESZTETT VALÓSÁG

#### 3.1 Sztereoszkópikus 3D megjelenítési technikák [2-4]

Az általunk oktatott különböző Mixed Reality mérnöki alkalmazások ismertetése előtt bemutatjuk a kiválasztásra került 3D megjelenítési módszereket. Miután az egyik alkalmazási terület a látványtervek, a textúrával rendelkező objektumok vizualizálása, ezért a különféle színszűrős elvre épülő anaglif technikákat mellőzzük. A költséghatékonyan elérhető 3D megjelenítési eljárások közül érdemesnek látjuk foglalkozni mind a passzív, mind az aktív megjelenítési módszerrel, hiszen ezek közül ma még nehéz eldönteni, hogy melyik lesz elterjedtebb a mérnöki alkalmazások területén. A passzív technológia olcsóbb: itt a megjelenítéshez egy passzív monitor vagy 3D TV-t (a laborban LG típusú monitorok és központi kijelzőként 3D TV) és elektronika nélküli polárszűrőt tartalmazó szemüveget használunk. Hátránya, hogy a FULL-HD (1920x1080) felbontás lefeleződik. A kicsit költségesebb aktív technológia már fejlettebb grafikus kártyát követel a számítógépben, 120 vagy 144 Hz-es frissítési frekvenciákra képes monitor és speciális aktív szemüveget (mi Nvidia Vision3D technológiát használunk). Így megoldható, hogy mindkét szembe teljes felbontású FULL-HD kép jusson.

### 3.2 Mérnöki alkalmazások 3D megjelenítési technikával

A mérnöki rekonstrukció első lépése során felvett mérési adatokat akár felvételenként, akár az egyesített stl modellként meg tudjuk jeleníteni sztereoszkópikus 3D módon (jelenleg erre a NextEngine lézerszkennerek ScanStudio HD és a MS Kinectet kezelő Kscan3D programok esetén van lehetőség passzív technológiával, a moreStereo3D rendszer közbeiktatásával). Így könnyebben értelmezhetőek a felvétel képei, jobban elemezhetőek a képek közötti átfedések és a szkennelés hibáira is könnyebb fényt deríteni.

Továbbá, a szkennervezélő szoftverek kimenete egy a teljes alkatrészt bemutató pontfelhő (xyz), vagy stl állomány, amelynek aktív technológiájú 3D vizualizációját Edrawings programmal hajtjuk végre. Ez az adatállomány képezi a bemeneti információt a görbe és felületillesztést végző Reverse Engineering szoftverek számára, amelyek közül mi a SolidWorks és a Catia CAE rendszerekbe épített szak-modulokat használjuk, valamint rendelkezünk a lézerszkennerekhez illesztett RapidWorks professzionális visszamodellező eszközzel is. Ezek közül a Catia alkalmas arra, hogy a teljes visszamodellezési folyamatot aktív 3D-s megjelenítéssel támogassa.

Látványtervek készítése pl. 3ds max, Rhinoceros programmal valósítható meg, amelyek szintén támogatják a sztereoszkópikus megjelenítést.

A szerkezet mérnöki szimulációjának eredményei is jobban vizualizálhatók sztereoszkópikus megjelenítés alkalmazásával. A SolidWorks Simulation moduljával készített végelelemes számítások eredményeit megfelelően kiexportálva (eprt, easm formátumban) az Edrawings programban jeleníthetjük meg azokat az aktív 3D technológia felhasználásával. Megjegyezzük továbbá, hogy miután az Edrawings szoftver alkalmassá tehető a moreStereo3D programon keresztül passzív 3D megjelenítés támogatására is, így lehetőség van nagyobb közösség számára is prezentálni a geometriát és a szimulációs eredményeket.

A mérnöki szimulációk mellett optimalizációs számításokat is támogathatunk sztereó megjelenítéssel. Ez különösen hasznos a topológiaoptimalizálás eredményeképp létrejött geometria vizualizálásakor, mert ez

hagyományos technológiákkal közvetlenül többnyire nem gyártható, így fontos, hogy egy mérnök jól értelmezze, és ennek alapján készítsen CAD modellt. A laborunkban ezt az Inspire programmal készített topológiaoptimalizációs eredmények vizualizálásával mutatjuk be (moreStereo3D alkalmazásával, passzív technológiával).

Amennyiben a feladat szabadfelületekkel határolt formamodellek 3D megjelenítése és áttervezése, akkor a gondosan befoltozott, előkészített stl állományt passzív 3D technológiát használva, a Leonar3D rendszer felhasználásával jelenítjük meg. Ekkor a „madár” nevű 6 szabadságfokú 3D beviteli eszköz felhasználásával valós időben, folyamatos 3D vizualizációs környezetben áttervezhetjük a tárgyat.



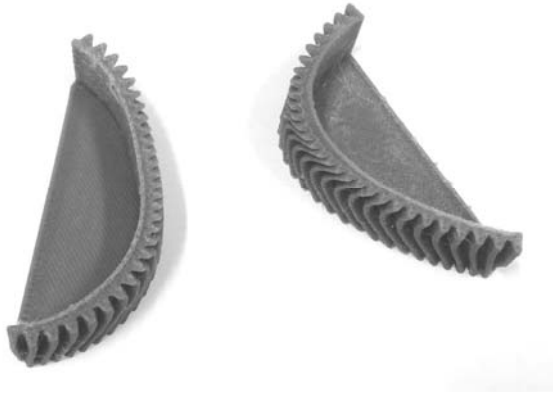
8. ábra Digitalizált vadászpilóta és valós modell virtuális térben (Bödecs Bálint, Káldi Tamás)

Az áttervezés eredményének dokumentálásához olyan kiterjesztett valóság képeket és videókat készítünk (8. ábra), amelyek megjelenítése már nem igényel semmilyen speciális hardvert, vagy szoftvereszközt. Az így újratervezett stl geometria azonnal alkalmas 3D nyomtatásra is, ha nemcsak megnézni szeretnénk 3D-ban, hanem megfogni is, funkcionális, illesztési stb. tesztek végrehajtására.

#### 4. ADDITÍV GYÁRTÁS

A rohamosan fejlődő additív technológiák ma már részei a tervezési folyamatnak, sőt egyre inkább a kis szériás gyártásnak is. Ezek alkalmazása, lehetőségeinek kiaknázása újfajta mérnöki gondolkodásmódot igényel, amelyek még az adott eszköz/anyag tekintetében is jelentősen különböznek [5]. A hallgatók megismerik az additív gyártási elveket, technológiákat, az alkalmazható anyagokat és alkalmazási területeket. A területen piacvezető

Varinex Zrt. rendszeresen előadással, gyárlátogatással mutatja meg az ipari trendeket, kihívásokat. A labor Leapfrog Xeed v2 típusú kétfejes, zárt nyomtatási terű FDM nyomtatóján a diákok kísérletezhetnek a technológia határaival vagy elkészíthetik prototípusaikat (10. ábra).



9. ábra Szoftverrel generált nemhengeres fogazat (Bendefy András)



10. ábra Törött sakkfigura áttervezése és prototípus készítése (Novák András, Sándor Dániel)

Az oktatás során megismerik azokat a szempontokat, amelyeknek a nyomtatandó geometria meg kell hogy feleljen; mérlegelik az elrendezés, a gyártási paraméterek (hőmérsékletek, sebességek, támasz, kitöltés, építési mód, rétegvastagság) hatását és megkereshetik az optimális gyártási folyamat beállításait.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A virtuális labor oktatói célú eszközeivel évente 60-80 géptervező és terméktervező mesterképzésben résztvevő hallgató ismeri meg és alkalmazza a termékfejlesztés legmodernebb módszereit és eszközeit gyakorlati problémamegoldást és eszközhasználatot

igénylő projektmunkákon keresztül. A labor támogatja továbbá a tanszék tudományos tevékenységét (9. ábra), valamint egyéb projekteket.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a Knorr-Bremse Vasúti Jármű Hungária Kft-nek a labor létrehozásához és szinten tartásához nyújtott anyagi támogatásért és Dr. Váradi Károlynak a közreműködésért. Köszönjük továbbá a hallgatóknak a kreatív munkát és hozzáállást, amivel a projekteket végrehajtották.

## 7. IRODALOM

- [1] Visualizing Design, *Mechanical Engineering, the magazine of ASME*, No.10/138, 2016 október
- [2] Zheng Liu, Hiroyuki Ukida, Pradeep Ramuhalli, Kurt Niel: Integrated Imaging and Vision Techniques for Industrial Inspection. Advances and Applications, Second edition Springer, 2015
- [3] Christian Wöhler 3D Computer Vision Efficient Methods and Applications Second Edition, Springer, 2013
- [4] Fekete, Róbert Tamás, Antal, Ákos, Tamás, Péter, Décei-Paróczy, Annamária: 3D megjelenítési technikák, Felelős szerkesztő: BME MOGI, ISBN 978-963-313-200-5, 2015
- [5] Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker: Additive Manufacturing Technologies; 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, Second Edition Springer, 2015

# TESTRESZABOTT HUMÁN IMPLANTÁTUMOK ÉS ORVOSI KÉSZÜLÉKEK ADAPTÍV GYÁRTÁSA

## ADAPTIVE MANUFACTURING OF CUSTOMIZED HUMAN IMPLANTS AND MEDICAL DEVICES

Dr. Takács János PhD; egyetemi tanár [janos.takacs@gjt.bme.hu](mailto:janos.takacs@gjt.bme.hu)

Bán Krisztián PhD; [krisztian.ban@gjt.bme.hu](mailto:krisztian.ban@gjt.bme.hu)

BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Gépjárműtechnológia Tanszék

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A gépészeti szakmakultúra változására jelentős hatást gyakorolt a gyorsprototípus gyártás (RP-Rapid Prototyping) elterjedése, amiről napjaink irodalmában 3D-s nyomtatásként beszélnek. Az elterjedést a terméktervezés és technológia tervezés folyamatának lerövidítésével, a párhuzamos tervezéssel, és a felépítő gyártás (AM-Additiv Manufacturing) anyagainak és technológiáinak fejlődésével, a testépítési sebesség növelésével, az előállítási költségek csökkentésével ösztönözték a fejlesztők. A technológiában 3D testmodellekből szeletelési eljárással stl file előállításán keresztül lesz legyártható a termék, gyakran fém, vagy polimer porokból lézersugaras eljárások segítségével. Az ipari termékeken kívül az egészségügyben is gyorsul a fejlődés, mert a korszerű képalkotó diagnosztikai eljárások adatállománya segítségével kialakíthatóak az egyénre szabott implantátumok vagy készülékek automatizált és minőségbiztosított előállítása.

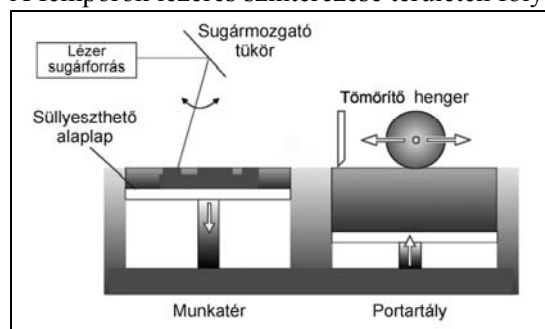
**ABSTRACT:** Spread of the rapid proto-typing (RP Rapid Prototyping) has an impact on the engineering profession culture according to today's literature about 3D printing. The development of product design and technology planning process time has been shortened by the parallel design. Development of materials, technologies and building speed, has reduced the production costs. As a consequence has developed the technology of Additive Manufacturing (AM). The technology of 3D solid models, create a "stl" file by slicing procedure. It is manufactured through a file on the production of the product, often with a metal or polymer powders using laser techniques. Moreover in the health care industry there are imaging data sets which will facilitate the development of diagnostic procedures. Using the above mentioned methods individual implants can be tailored according to request.

### 1. BEVEZETÉS

Az additív technológiák eljárásai (egyszerűsítve némileg pontatlanul 3D nyomtatásnak nevezik) az utóbbi években robbantak be a köztudatba, noha az ipar prototípusok vagy egyedi alkatrészek előállítására már évtizedekkel korábban bevezette. Költség- és idő-hatékonyságukkal, valamint a minőség javulásával magyarázható, hogy az iparban már a kis vagy közepes darabszámú alkatrészek gyártásánál is kifizetődő és a hagyományos gyártástechnológiáknál környezettudatosabb technológiáknak számítanak. Alkalmazásuk az implantátumok és egyedi segédeszközök, műtéti készülékek gyártásában kézenfekvő, hiszen a korszerű informatikai rendszereket felhasználva egyénre szabott megoldásokat nyújtanak. A következőkben a 2017-ben indított projekt tervezett feladatai kerülnek bemutatásra. Hazai vállalkozások már megjelentek ebben a szegmensben is, pl. egyedi fogászati segédeszközök gyártásával, de jelentős fejlesztési lehetőségek rejlenek még e területen. Fejleszthető az orvosi diagnosztikát végző intézmények és eszközeik, valamint a segédeszközt gyártó üzemek és berendezései közötti integráció, vagy olyan ma még hazánkban e területen hiányzó eljárás is, mint a fémporok korszerű lézersugaras szinterezése.

### 2. A LÉZERES SZINTEREZÉS

A fémporok lézeres szinterezése területén folytak



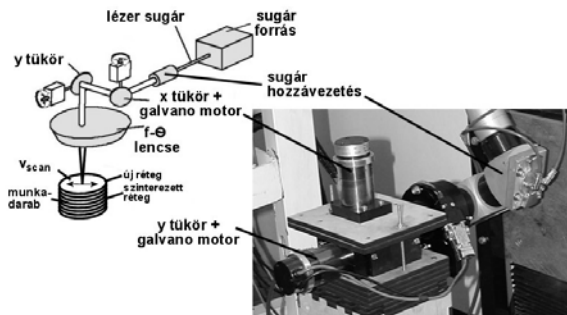


1. ábra: A lézeres szinterezés vázlata [1] BME Keszte R.

hazai megalapozó kutatások [BME] és egy ipari feladatokra alkalmas kötött paraméterezésű berendezéssel rendelkezik a SZIE Győrben.

A lézeres szinterelési technológiai eljárás vázlatát a fémpor terítést az 1. ábra mutatja be.

A korábbi kutatásokban a BME Járműgyártás és Javítás Tanszéken megépített kísérleti modell berendezés (2. ábra) adott lehetőséget a folyamatjellemzők jobb megismerésére.



2. ábra: Kísérleti lézer szinterező berendezés a lézersugár mozgásával [6] BME Herczeg.

A BME kutatásokban a technológiát befolyásoló jellemzők és paraméterek voltak a vizsgálatok fókuszában, feltárva a pásztázás átfedéseinek, sebességének, lézer teljesítményének, a por anyagának, szemcse átmérőinek hatását a szemcseszerkezetre, porozításra (3. ábra). A BME több szervezeti egységében számos megalapozó kutatás folyt, amelyekről az irodalomjegyzékben ([14].... [24]) található háttér információkat. A projekt eredményeként a Varinex Zrt. (hosszú idő óta a hazai RP technológia bevezetésének elterjesztésének legaktívabb szereplője) egy mintagyárként készül fel a feladatok megvalósítására hosszú távú együttműködésben a BME nyolc egységével.

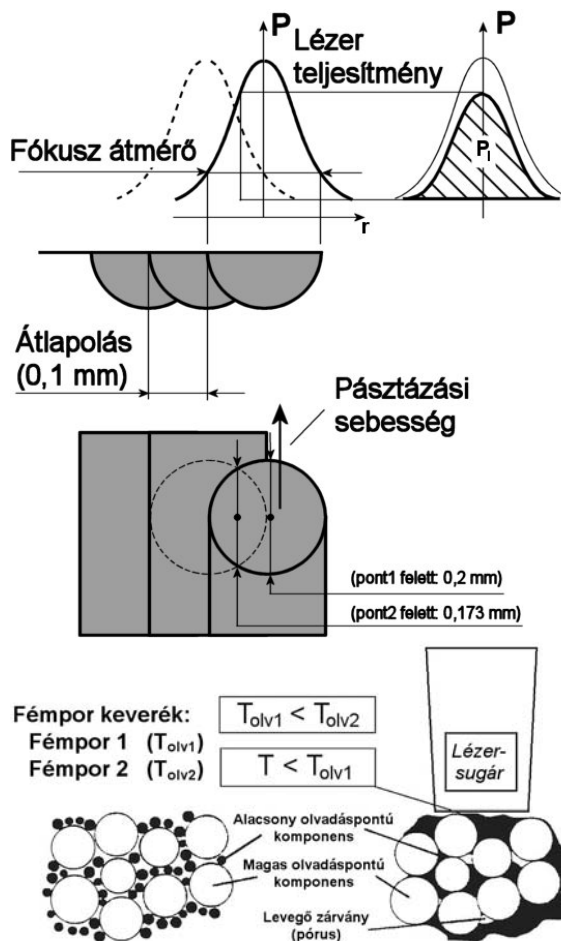
### 3. A PROJEKT ÁLTALÁNOS CÉLJA

Az életminőséget javító, egyénre szabott orvostechnikai eszközök új generációjának fejlesztése az additív gyártástechnológiai eljárások komplex rendszerének fejlesztésével (adatgyűjtés, -feldolgozás, modellezés, virtuális gyártás, végelem analízis, méréseken alapuló validálás, 3D nyomtatás). A projekt eredménye a humán gyógyászat terén egyénre szabott, egyedileg gyártott implantátumok, eszközök előállítása, amelyek mentesek az egyének eltérő sajátosságai okán a gyógyászatban folyamatosan alkalmazott kompromisszumos szükségmego-

dásoktól. A 4. ábrán a projekt folyamatábrája foglalja össze a tervezett tevékenységeket.

A lézeres additív technológiákra fókuszálva olyan kutató-fejlesztő, gyártó mintarendszert és (smart) üzemet tervezünk kialakítani orvostechnikai eszközök gyártására, amely az eddigi, zömmel egyedi kezdeményezésű, apróbb fejlesztéseket rendszer szinten törekszik integrálni, az ipari fejlesztés és egyetemi kooperáció kiépítésével és tartós fenntartásával.

A kutatás várható eredménye olyan technológiai folyamat és módszer (know-how) kidolgozása, amely alkalmas testreszabott orvosi implantátumok, ill. segédeszközök (műtéti készülékek) legyártására és minősítésére, az egyedi gyártás átfutási idejének csökkentésével, a magas szintű minőségi követelmények biztosításával, a modern informatikai lehetőségek felhasználásával, kapcsolódva az „ipar 4.0” feltételeinek kialakításához.



3. ábra: A lézeres szinterezés sugár pásztázási mechanizmusa és a hatásra a fémpor szinterződésére [6] BME Herczeg.

A kutatás célja versenyképes, hosszabb távon költség- és időkímélő minőségi gyártás

létrehozása, ill. a hazai hozzáadott érték növelése.

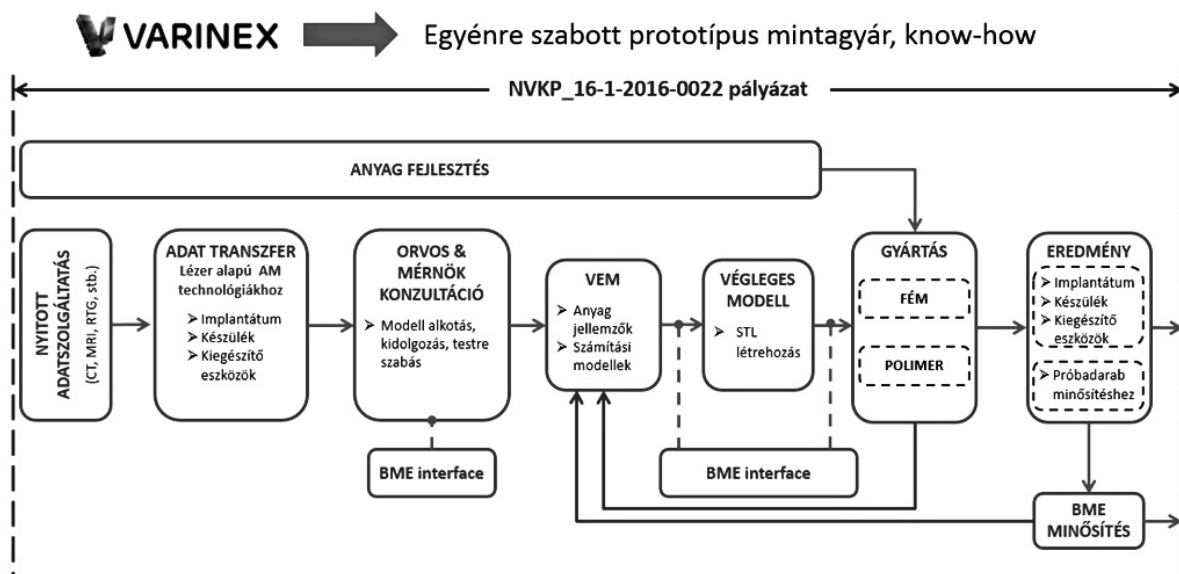
Megoldandó feladatok:

- komplett gyártási folyamat kidolgozása, kiépítése, az egyén orvos diagnosztikai felvételétől a kész, személyre szabott implantátumig, ill. segéd- készülékig;
- technológiai mintarendszer kialakítása a kutatáshoz, fejlesztéshez és a gyártáshoz, ezzel biztosítva a projekt futamideje utáni K+F folytatását,
- a minősítési protokollok kidolgozása, fém és polimer termékekre vonatkozóan: a termékekkel egy időben elkészülő vizsgálati mintákra alapozva.

-implantátum, ill. segédeszköz konstrukció (geometriai, szilárdsági, beépülési stb.) optimalása az anyagok és eljárások alapján.

Az additív technológiák (pl. a 3D nyomtatás) bevezetése az orvostechnikába lehetővé teszi személyre szabott, egyedi orvosi segédeszközök gyártását, amellyel az orvosi beavatkozás utáni minél jobb életminőség elérése válik jobban megvalósíthatóvá.

A hagyományos orvosi segédeszköz- és implantátumgyártásban a nem személyre szabott eszközök valamilyen méretválasztékban érhetőek el. Az additív technológiák előnye a testre szabott geometriai kialakításban jelentkezik, valamint az informatikai oldalról nagyfokú rugalmasság jellemzi. Ennek köszönhetően a



4. ábra: A tervezett projekt folyamatábrája

További részfeladatok:

- az orvosi bemeneti oldalról, megrendelői specifikációkra nyitott rendszer létrehozása;
- CT és/vagy MRI felvételek egyénre szabott sajátosságai alapján, technológiai szempontú konverzió meghatározása és ez alapján az adott implantátum megtervezése és optimalizálása;
- a lézertechnológia fejlesztési lehetőségének megteremtése, párhuzamosan a gyártási feltételrendszerrel (azonos technológiai feltételekkel dolgozó kutató berendezés);
- alapanyagok kiválasztása, fejlesztése vagy a választék körének bővítése, hazai előállítási lehetőségek vizsgálata;
- az additív technológia optimalizálása (technológia fejlesztés) fém és polimer termékhez; mintagyártás;
- vizsgálati minták meghatározása, elemzése (mechanikai, anyagszerkezeti tulajdonságok, biokompatibilitás stb.), a fejlesztési lehetőségek és alkalmazási területek folyamatos feltárása,

technológia feltételeinek megfelelő (pl. pontosság), de eltérő CT berendezések kimeneti adatai a gyártók informatikai rendszereivel illeszkedően átvehető, majd gyártásba vihető.

Olyan esetekben, ahol csak testre szabott megoldás választható, az additív technológiák előnye a csökkenő átfutási időben és a minőségi megoldás minél teljesebb megvalósításában rejlik. Például a hagyományos technológiákkal gyártott, de egyedi, testre szabott implantátumok több technológiai lépésen keresztül jutnak el a felhasználóhoz. Egy öntéssel gyártott implantátum esetében a mintavétel, a mintakészítés (amely készülhet additív technológiával is), a formázás, majd az öntés, és végül az utómunkálások lépésein halad át. Additív technológiákkal több lépés kihagyható, és ezek átfutási ideje megtakarítható. Az integrált rendszer előnye, hogy a minőségbiztosítás is a rendszerbe kapcsolható, hiszen a termékkel egy időben legyártott vizsgálati mintadarabokon a

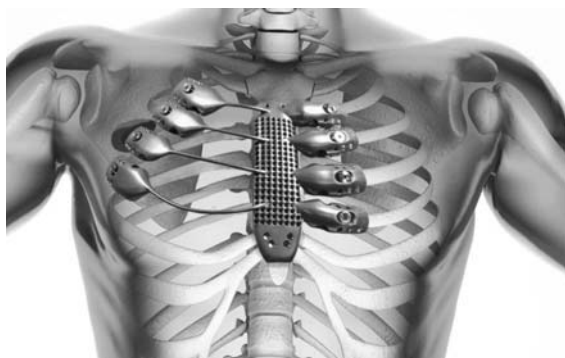
megfelelő vizsgálatok elvégezhetőek, a gyártói minőségazonossági bizonyítványok ez alapján kiadhatók, és a beültetésről vagy felhasználásról döntés születhet, mindezt a 4. ábra szemlélteti.

A kifejlesztett technológiai folyamat meghonosodása függ az orvosi diagnosztika műszerparkjának és informatikai rendszerének fejlődésétől. Ebben a jövőben további előrelépés várható.

A projekt egyik célja a kifejlesztett lézersugaras additív technológiákkal (kiemelten a fémpor szintereléssel) gyártott termékek alkalmazási területeinek feltárása. A nemzetközi fejlesztési trendek szintén ebben az irányban mutattak az utóbbi években eredményeket (5.; 6.; 7.; 8. ábra).



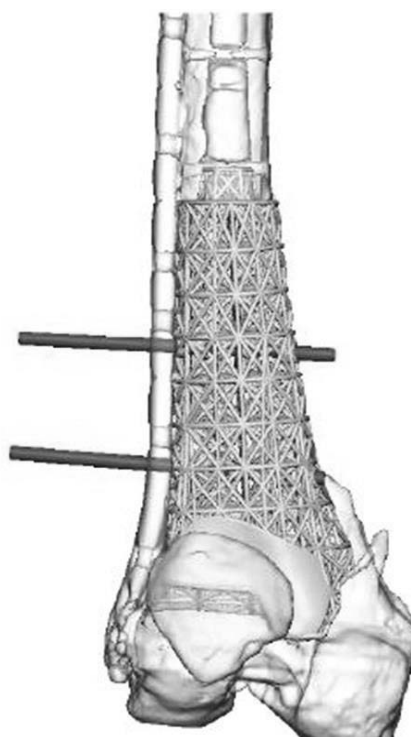
5. ábra: Koponyacsont pótlás szinterelt betéttel [9]



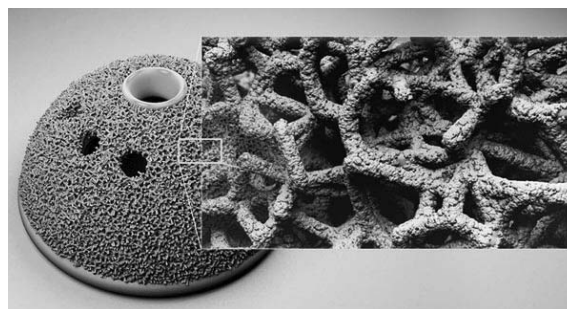
6. ábra: Összetett csontimplantátum csonttrögzítésekkel [10]

A projektben nagy hangsúllyal szerepel a technológiai folyamat és annak előnyeinek megismertetése az orvosi szakmával, kiemelve azokat a területeket, ahol az additív technológiák előnyösen alkalmazhatók. Az additív gyártástechnológiák – beleértve a 3D nyomtatás különféle eljárásait – általános alkalmazása a 2010-es években paradigmaváltást eredményezett az egyedi szerkezeti elemek,

valamint a komplex működő részegységek gyártása területén. Az alkalmazási területek tekintetében a 2015-ös adat alapján az orvostechnikai a maga 15,1%-os részesedésével a harmadik helyen áll. Azonban ha megnézzük, hogy 2006-ban ugyanez az adat 14,1% volt, akkor jól érzékelhető, hogy az elmúlt több mint tíz évben nagy változás nem volt megfigyelhető. Ennek több oka is van, egyrészt azok a berendezések, amelyek ilyen célra alkalmasak, igen magas árral és üzemeltetési költséggel rendelkeznek, a másik, hogy biokompatibilis alapanyagok korlátozottan érhetőek el additív technológiák szempontjából elterjednek mondható folyadékos (polimer) és szinterfém technológiákhoz.



7. ábra: 3D nyomtatott titánötvözet implantátum 4WEB fejlesztése [11]



8. ábra: A lézer szinterelt protézis felülete és szerkezete [25]

BIOKOMPATIBILIS ÖTVÖZETEK  
FEJLESZTÉSÉNEK FONTOSABB IRÁNYAI  
ADDITÍV TECHNOLÓGIÁKHOZ

Az ötvözetfejlesztések egyik ösztönzője olyan módszerek és alapanyagok keresése, amelyek a legjobban közelítik az emberi csont anyagának mechanikai tulajdonságait. Itt elsősorban a Young-modulus emberi csontéhoz közelítő értéke a kutatások célja, míg a folyáshatár, a szakító szilárdság és a szakadási nyúlás minél nagyobb értéke a kívánatos. Természetesen, a többi fontos szempont, mint a korrózió, ill. az ötvözet alkotóinak kioldódása, fertőzésveszély, kilökődés veszélye, kifáradással szembeni ellenállás, stb. továbbra is lényeges tényező egy újabb ötvözet vizsgálatakor. A rugalmassági modulusnak azért tulajdonítanak kulcsszerepet, mert ez az anyagtulajdonság határozza meg, hogy egy beültetett implantátum és a csont milyen arányban veszik fel a terheléseket. Ha az implantátum nagyobb modulussal rendelkezik, akkor tehermentesíti a környező befoglaló csontszövetet, amely hosszú távon (a Wolff-elvnek megfelelően) elgyengülhet (pl. egy csípőizületi implantátumnál a combcsont befogadó szakasza).

Az ötvözetfejlesztés céljaként négy mechanikai anyagtulajdonság célértékének elérése még nem jelenti azt, hogy az implantátum a legjobban „együttműködik” majd a csonttal. Fontos, hogy a csonthoz legközelebb álló valódi feszültség-nyúlás karakterisztikát adja vissza a pótlás is. Ez alatt értjük a pl. rugalmas tartomány linearitásának mértékét vagy azt, hogy mennyire jelenik meg a viszkoelasztikus viselkedés (hiszterézis a feszültség-nyúlás karakterisztikában), amely hatására a terhelési sebességtől függő feszültség és nyúlás értékek alakulnak ki. Az additív technológiák arra is lehetőséget adnak, hogy a tömbi szerkezetek helyett struktúrált (pl. cellás vagy rácsos) szerkezetet építsenek fel velük, ezzel közelítve a csont valós szerkezetét és sűrűségét. Ebben az esetben már nem csak az alapanyagra jellemző „tömbi” karakterisztika lesz jellemző, hanem a szerkezetből adódó karakterisztika is megjelenik

2. táblázat: SLM eljárással készült Ti-alapú ötvözetek mechanikai tulajdonságai [27, 28].

Ötvözet	Young-modulus (GPa)	Szakítószilárdság (MPa)	Folyáshatár (MPa)	Szakadási nyúlás (%)
TiTa <sub>15</sub> Zr <sub>1,5</sub>	92.18 ± 9.01	890.16 ± 50.6	869.05 ± 19.09	16.11 ± 1.19
TiTa <sub>15</sub> Zr <sub>5,5</sub>	71.62 ± 4.06	960.29 ± 32.04	925.19 ± 35.14	18.92 ± 1.96
TiTa <sub>15</sub> Zr <sub>10,5</sub>	42.93 ± 3.28	805.32 ± 19.25	768.61 ± 16.09	15.12 ± 0.86
TiTa <sub>15</sub> Zr <sub>15,5</sub>	72.19 ± 4.75	698.91 ± 19.06	663.39 ± 31.07	24.82 ± 2.14
Ti <sub>50</sub> Ta <sub>50</sub>	75.77 ± 4.04	924.64 ± 9.06	882.77 ± 19.60	11.72 ± 1.13
TiAl <sub>6</sub> V <sub>4</sub>	131.51 ± 16.40	1165.69 ± 107.25	1055.59 ± 63.63	6.10 ± 2.57

a feszültség-nyúlás karakterisztikában. A jelenlegi kutatások egyik hangsúlyos iránya az additív technológiák lettek, ezen belül is az SLM (Selective Laser Melting), azaz szelektív lézersugaras átolvasztás. A módszer egyik előnye, hogy egyénre szabott implantátumok gyárthatók vele, más részről pedig szabadabban gondolkodhatunk olyan ötvözetrendszerekben, amelyeket a hagyományos előállítási módszerek nem tesznek lehetővé. A kutatási eredmények bemutatására gyakran vesznek összehasonlítási alapként három leggyakrabban használt ötvözetet, amelyek az 316L jelű rozsdamentes acél (Cr: 17-19 t.%, Ni: 13-15 t.%, Mo: 2,25-3 t.%, Fe: fennmaradó rész), a CoCrMo ötvözet (Co: 63 t.%, Cr: 29.5 t.%, Mo: 5 t.%) és a TiAl<sub>6</sub>V<sub>4</sub> ötvözet. A Ti-alapú ötvözetekkel azért kerültek a kísérletek középpontjába, mert jól közelíthető velük az emberi csont feszültség-nyúlás karakterisztikája. Kimutatták, hogy az SLM technikával gyártott ötvözetek szilárdsági értékei közel vannak a hagyományos eljárással előállított, tömbi alapanyagok eredményeihez, egyetlen jellemző kivétellel (l. 1. táblázat). A szakadási nyúlás jelentősen kisebb, amely az SLM eljárással gyártott ötvözet ridegségére utal [26].

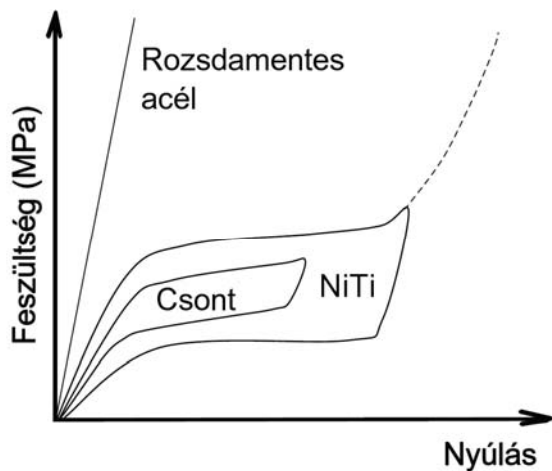
1. táblázat: SLM eljárással előállított TiAl<sub>6</sub>V<sub>4</sub> minták fontosabb mechanikai tulajdonságai hagyományosan gyártott alapanyaggal összehasonlítva [26].

	SLM TiAl <sub>6</sub> V <sub>4</sub>	Hőkezelt TiAl <sub>6</sub> V <sub>4</sub>
Sűrűség (kg/dm <sup>3</sup> )	4,42	4,43
Keménység (HV)	410 (mikro) 400 (makro)	350
Young-modulus (GPa)	94	110
Folyáshatár (MPa)	1125	920
Szakítószilárdság (MPa)	1250	1000
Szakadási nyúlás (%)	6	12

Az emberi csont rugalmassági modulusát jól közelítő ötvözetet sikerült előállítani TiTa<sub>15</sub>Zr<sub>x</sub> ötvözetrendszerben (ahol x t.%-ban értendő) [27]. A 43 GPa-os eredmény jól közelíti a csont 30-40 GPa közötti értékét (l. 2. táblázat). A

táblázatban feltüntették a jól ismert  $TiAl_6V_4$  és egy kísérleti  $Ti_{50}Ta_{50}$  ötvözet fontosabb mechanikai tulajdonságait is. A táblázatban szereplő mindegyik alapanyag SLM eljárással készült.

A legígéretesebb kutatások azon ötvözetek irányába haladnak, amelyeknél legjobban illeszkedik az ötvözet feszültség–nyúlás karakterisztikája a csont karakterisztikájához. Ebből a szempontból olyan ötvözeteket kell keresnünk, fejlesztenünk, amelyekben megjelenik a csont is jellemző szuperelasztikus és viszkoelasztikus viselkedés. Ígéretes ötvözetnek tartják a nemzetközi irodalomban az 50:50 at.% Ni-t és Ti-t tartalmazó kétkomponensű, alakemlékező ötvözetet [29]. A NiTi akár 8%-os rugalmas alakváltozással is rendelkezhet, ami a feszültség-alakváltozás görbében jelentkező platónak köszönhető (közel állandó feszültségű szakasz a nyúlás egy jelentős szakaszában). Ennél viszont fontosabb, hogy a karakterisztikája jól leköveti a csont karakterisztikáját, míg a rozsdamentes acéloké jelentősen különbözik attól, ahogy ez a 9. ábrán nyilvánvalóan látható.

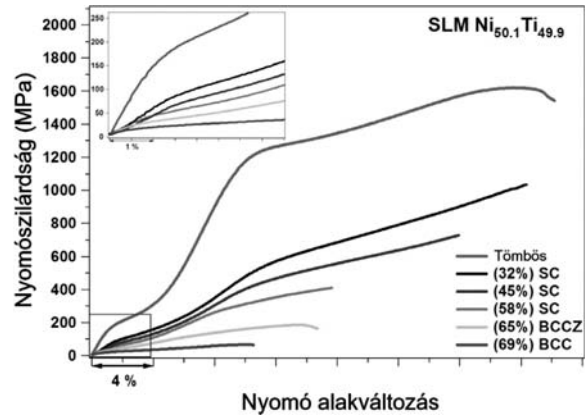


9. ábra: A rozsdamentes acél, a szuperelasztikus NiTi-ötvözet és a csont feszültség–nyúlás görbéi [29].

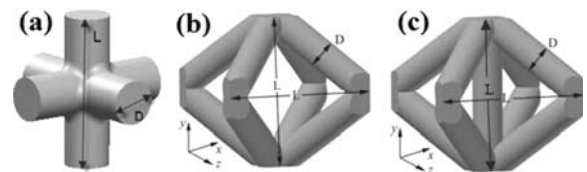
A viszkoelasztikus viselkedés jól látható mind a csont, mind a NiTi ötvözet jelentős hiszterézisében. A NiTi ötvözetnek ezen felül kiváló a kifáradással szembeni ellenállása nagy nyúlási értékeknél.

Az alapanyagok karakterisztikáját lehet módosítani, szabni az alapanyag tulajdonságok változtatásával (összetétel, mikroszerkezet), de az additív technológiák lehetőséget adnak arra, hogy makroszkópos (cella) szerkezet kialakításával is közelítsünk a természetes

szövetek karakterisztikájához. A 10. ábrán különböző cellaszerkezetű és porozitású  $Ni_{50.1}Ti_{49.9}$  SLM eljárással készült minták nyomóvizsgálatai eredménye látható. Az alapanyag tulajdonságok szemléltetésére elkészítettek tömbi, pórusmentes mintákat is SLM eljárással. A vizsgált cellaszerkezetek a 11. ábrán láthatók.



10. ábra: Különböző cellaszerkezetű és porozitású SLM minták nyomóvizsgálata [30].



11. ábra: SLM eljárással kialakított cella szerkezetek: (a): SC, (b): BCC, (c): BCCZ [30].

Az ábrán látható, hogy a szerkezet típusával és a porozitással széles tartományban módosítható a mechanikai karakterisztika. A 3. táblázatban számszerűsítve is szerepel, hogy pl. a Young-modulus jelentősen csökkenthető, szabható. Egyetlen hátrányként említhető, hogy a tönkremenetelig mérhető nyomó alakváltozás is jelentősen csökken.

3. táblázat: Különböző cellaszerkezetű és porozitású SLM minták fontosabb mechanikai tulajdonságai [30].

SLM $Ni_{50.1}Ti_{49.9}$	Young-modulus (GPa)	Max. nyomószilárdság (MPa)	Alakváltozás %
Tömbi	69.0	1619	30.2
SC-32	41.2	1035	28.3
SC-45	30.0	728	24
SC-58	20.5	410	15.6
BCC-Z	16.5	187	13.6

Az additív technológiák előnyei között legfőképp azt említik, hogy egyedi, egyénre szabott geometriájú orvosi segédeszközök és implantátumok gyárthatók belőle, de mint látható volt a fenti példákban, ennél több lehetőség rejlik a technológiában. Az alapanyag adta tulajdonságok módosítására, sőt egyénre szabására is lehetőséget ad, mint pl. a csont fontosabb mechanikai viselkedése, sűrűsége, stb. közelíthető meg igény szerint.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS:

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

A kidolgozók köszönik a támogatást.

#### 5. IRODALOM

[1] KESZTE R: Korszerű járműgyártás technológiák OMFB TEP tanulmány, Budapest, 2000;

[2] A. GEBHARD: Rapid Prototyping; Carl Hanser Verlag, München, 1996 p. 322

[3] TAKÁCS J., PAP G., KÁLÁZI Z., BÁN T.: A gyorsprototípus készítés lehetőségei; pp.: 103-105; Gépgyártástechnológia, XXXV. évf. 3-4. szám

[4] KRUTH, J. P.: Material Incess Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques. - CIRP Annals 40, 2 (1991) pp. 603-614.

[5] Takács J., Herczeg Sz.: A gyors prototípusgyártás története és fejlesztési eredményei a lézertechnológiák bázisán, Gépgyártás XLIV. évf. 2004. 2-3. szám, pp.:4-8, HU ISSN 0016-8580

[6] Sz. Herczeg, J. Takács: Influence of scanning speed on the mechanical and structural properties of laser sintered prototypes, Periodica Polytechnica Transport Engineering, Budapest. 2004 32/1-2, pp.: 83-90, HU ISSN 0303-7800

[7] Takács J. (szerk.): Keszte R., Herczeg Sz., Korszerű technológiák a felületei tulajdonságok alakításában, Gyors prototípus készítés fejezete, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2004, p.:346, ISBN 963 420 789 8

[8] Takács J., Herczeg Sz.: Gyors prototípus-készítés, Gép Műszaki Folyóirat LV. évf. 12. szám, 2004. december, pp.: 42-47, ISSN 0016-8572

[9] Metal 3D Printing Trends Explosive Growth of Metal Additive Manufacturing, by Philip Huerta Februári 1, 2016:

[10] Cancer Patient Receives Metal 3D printed Ribs in World First Surgery by CSIRO [www.csiro.au/en/News/News-releases/2015/Cancer-patient-receives-3D-printed-ribs-in-world-first-surgery](http://www.csiro.au/en/News/News-releases/2015/Cancer-patient-receives-3D-printed-ribs-in-world-first-surgery)

[11] Australian surfer to get back in the water after 3D printed titanium implant saves leg Nov 28, 2016 | By Benedict

[12] <https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/en/documents/Brochures/IWU-KB-Additive-Manufacturing.pdf>

[13] C. M. E. Avery et al.: „A finite element analysis of bone plates available for prophylactic internal fixation of the radial osteocutaneous donor site using the sheep tibia model”, Med. Eng. Phys., köt. 35, sz. 10, o. 1421–1430, okt. 2013.

[14] Borbás Lajos dr., Molnár János V, Nagy József dr., Wagner Ödön dr., Zsoldos László dr.: Új integrációs tartomány kialakítású kísérleti implantátumok beépülése a csontkörnyezetbe. Állatkísérletek, mikroszkópos és mechanikai vizsgálatok. Osteologiai Közlemények. Magyar Radiológusok Társasága Oszteologiai Szekciójának

Folyóirata. 2013 december, XXI. évfolyam, 3-4 szám. pp.: 72-77 ISSN 1217-0593

[15] Borbás L., Molnár J. Nagy J., Wagner Ö., Zsoldos L.: Új integrációs tartomány kialakítású kísérleti implantátumok beépülése a csontkörnyezetbe. Állatkísérletek, mikroszkópos és mechanikai vizsgálatok. Osteologiai Közlemények. Magyar Radiológusok Társasága Oszteologiai Szekciójának Folyóirata. 2013 december, XXI. évfolyam, 3-4 szám. pp.: 72...77; ISSN 1217-0593

[16] P. Bujtár et al.: „Internal or in-scan validation: a method to assess CBCT and MSCT gray scales using a human cadaver”, Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol., köt. 117, sz. 6, o. 768–779, jún. 2014.

[17] P. Bujtár, J. Simonovics, K. Váradi, G. K. B. Sándor, és C. M. E. Avery: „The biomechanical aspects of reconstruction for segmental defects of the mandible: A finite element study to assess the optimisation of plate and screw factors”, J. Cranio-Maxillofac. Surg., dec. 2013.

[18] T. Bodzay, G. Sztrinkai, T. Gál, J. Simonovics, és K. Váradi: „How bilateral iliolumbar fusion increases the stability of horizontal osteosynthesis in unstable pelvic ring injuries?”, Arch. Orthop. Trauma Surg., ápr. 2013.

[19] Tábi Tamás, Kovács Norbert Krisztián, Sajó István Endre, Czifágy Tibor, Hajba Sándor, Kovács József Gábor Comparison of thermal, mechanical and thermomechanical properties of poly(lactic acid) injection-molded into epoxy-based Rapid Prototyped (PolyJet) and conventional steel mold JOURNAL OF THERMAL ANALYSIS AND CALORIMETRY 123:(1) pp. 349-361. (2016)

[20] Ákos Oroszlány, Péter Nagy, József Gábor Kovács: Compressive Properties of Commercially Available PVC Foams Intended for Use as Mechanical Models for Human Cancellous Bone ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 12:(2) pp. 89-101. (2015)

[21] J G Kovacs, G Kortelyesi, N K Kovacs, A Suplicz: Evaluation of measured and calculated thermal parameters of a photopolymer INTERNATIONAL COMMUNICATIONS IN HEAT AND MASS TRANSFER 38: pp. 863-867. (2011)

[22] Kovács József Gábor, Nagy Péter, Oroszlány Ákos István, Pavlik Attila, Hidas Péter :Testing of prototype interference screw for ACL reconstruction in porcine femurs BIOMECHANICA HUNGARICA IV:(2) pp. 7-15. (2012)

[23] Á Oroszlány, J G Kovács: Gate type influence on thermal characteristics of injection molded biodegradable interference screws for ACL reconstruction INTERNATIONAL COMMUNICATIONS IN HEAT AND MASS TRANSFER 37: pp. 766-769. (2010)

[24] Á Oroszlány, P Nagy, J G Kovács: Injection molding of degradable interference screws into polymeric mold MATERIALS SCIENCE FORUM 659: pp. 73-77. (2010)

[25] Todd Halterman: 3D Bone Growth Software and Direct to Your Body Laser Sintered Parts Tweet October 16, 2013

[26] Vandenbroucke, B., Kruth J.-P.: Selective laser melting of biocompatible metals for rapid manufacturing of medical parts, Rapid Prototyping J., 13 (2007), pp. 196–203

[27] Yan, L. et al.: Improved mechanical properties of the new Ti-15Ta-xZr alloys fabricated by selective laser melting for biomedical application, Journal of Alloys and Compounds, 688 (2016) pp.: 156-162

[28] Sing, S.L., Yeong, W.Y., Wiria, F.E.: Selective laser melting of titanium alloy with 50 wt% tantalum: microstructure and mechanical properties, Journal of Alloys and Compounds, 660 (2016) 461e470.

[29] Morgan, N. B.: Medical shape memory alloy applications—the market and its products. Mater. Sci. Eng.: A 378 (2004), 16–23.

[30] Andani, M. T., Saedi, S., Turabi, A. S., Karamooz, M. R., Haberland, C., Karaca, H. E., Elahinia, M.: Mechanical and shape memory properties of porous Ni<sub>50</sub>Ti<sub>49</sub> alloys manufactured by selective laser melting, Journal of the mechanical behavior of biomedical materials 68 (2017) 224–231

# DIESEL PORLASZTÓ FÚVÓKÁK GEOMETRIAI KIALAKÍTÁSÁNAK HATÁSA AZ ÁRAMLÁSRA, ÖSSZEHASONLÍTÁS NUMERIKUS SZIMULÁCIÓK SEGÍTSÉGÉVEL

## THE EFFECT OF NOZZLE GEOMETRY ON FLUID FLOW, COMPARISON USING NUMERIC SIMULATIONS

Vass Sándor\*, Németh Huba\*\*

### ABSTRACT

*In the last few decades the exhaust emissions of road vehicles have been considerably reduced due to the more and more stringent emission standards and society expectations. New exhaust gas aftertreatment devices play a huge role in this process, but increasing emphasis is put on reducing raw engine-out emissions to decrease exhaust system costs and complexity. Diesel engine combustion is mainly characterised by the mixing processes of fuel and air, going further the mixing process and air entrainment is strongly influenced by the jet emerging from the nozzle hole, which depends on the geometry of the nozzle itself.*

*In this paper a computational 3D CFD study was carried out in order to investigate the influence of three different nozzle geometries on the injector internal flow properties and the external jet shape. First a mass production common rail nozzle geometry was measured and modelled and using it as a basis, a convergent conical and a hybrid nozzle was created. The hybrid nozzle consisted of two parts, the first part being a longer confusor section connected to a short diffusor. After the build-up of the computational meshes, static simulations were run with three different injection pressures and maximal needle opening height. Analysing and comparing the performance of the geometries the third nozzle shows good results compared to the conventional shapes.*

befecskendező rendszerek elterjedése, ahol a befecskendezési nyomás és időpont már tetszőlegesen változtatható volt a motor üzemállapotának megfelelően [1]. Ezekkel együtt megjelentek a különböző kipufogógáz utánkezelő rendszerek is, mint például a részecskeszűrők vagy részecskecsapdák (Diesel Particulate Filter, DPF) és a szelektív katalitikus redukción alapuló katalizátorok (Selective Catalytic Reduction, SCR), melyek jelentősen csökkentik a feljebb említett károsanyagok kipufogócső végén mérhető kibocsátását. Annak ellenére, hogy ezen utóbbi eszközök a jövőben is elkerülhetetlennek tűnnek, nagyon fontos a motor nyers emissziójának csökkentése, hogy az utánkezelő rendszerek méretét, költségét és komplexitását kézben lehessen tartani.

Mint már említésre került, a Diesel motorok égéstermékeiben leginkább a NO<sub>x</sub> és a részecske összetevők dominálnak a károsanyagok közül. Sajnálatos módon a jelenleg rendelkezésre álló technológiákkal, ha az egyik komponenst csökkentjük, akkor a másik növekszik – és fordítva. Tehát az optimális üzemállapotban mindenképpen egyfajta kompromisszum fog érvényesülni, ahol egyik komponens sem minimális, de összegükre nézve a legkisebb a fajlagos kibocsátás. Emiatt olyan technológiákra is egyre nagyobb szükség van, amelyekkel egyszerre mindkét komponens mennyiségét redukálni lehetne - vagy legalább az egyik csökkenthető, míg a másik nem növekszik.

Diesel motoroknál az egyik legfontosabb folyamat, amely az égés lefutását befolyásolja, az a tüzelőanyag és a levegő keveredése, mely a károsanyagok keletkezésére is jelentős hatással van. Ismert tény, hogy a reakciókinetikai folyamatok lezajlásához szükséges idő nagyságrendekkel kisebb, mint ami a keveredéshez szükséges [2], emiatt az égés jelentős részében a tüzelőanyag-levegő keveredése kontrollálja a folyamat sebességét. A keveredés leginkább a befecskendezési nyomástól, a befecskendező fúvókáinak geometriai kialakításától és a fúvókák számától függ [3-4]. Emiatt intenzív kutatási munkák folynak különböző fúvóka geometriák megalkotására és vizsgálatára, amelyek

### 1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben a jogszabályi és a társadalmi nyomások hatására az újonnan üzembe helyezett járműmotorok károsanyag kibocsátása a töredékére csökkent, köszönhetően a hatalmas fejlesztési erőfeszítéseknek a járműgyártók és beszállítói részéről. Különösen jelentős korszerűsítésen mentek végig a Diesel-járműmotorok, melyeknél nagy kihívást okozott a nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>) és a kibocsátott részecskék mértékének csökkentése. Jelentős lépés volt ilyen téren a közös nyomócsöves (Common Rail, CR)

\* ügyvivő szakértő, BME EJJT Járműipari Tudásközpont

\*\* Egyetemi docens, BME, Gépjárműtechnológia Tanszék

elősegítenék a tüzelőanyag és levegő gyorsabb és jobb hatásfokú keveredését, ezáltal az égfolyamat javulását, végeredményben pedig a tüzelőanyag fogyasztás és a károsanyag kibocsátás csökkenését [5-6]. Részben ilyen céllal készült az alább bemutatásra kerülő áramlástan (Computational Fluid Dynamics, CFD) szimuláció is.

Az alábbi munkában három különböző fűvóka geometria kerül összehasonlításra állandósult állapotban, maximális tüemelés és különböző befecskendezési nyomások mellett. Azért, hogy a vizsgálat minél átfogóbb legyen, a lehető legtöbb irányból össze kell vetni a fűvókák teljesítményét: fontosak az áramlási viszonyok magában a fűvókában is, de legalább ugyanakkora súllyal szerepel a keletkező sugárkép és a tüzelőanyag elporladásának módja is.

## 2. A SZIMULÁCIÓK CÉLJA

Mivel kísérletileg nehézkes meghatározni a befecskendező fűvókákban lezajló folyamatokat, a numerikus szimuláció kézenfekvőnek tűnik, hogy mélyebben megismerhessük ezeket a jelenségeket [7]. A kis átmérőjű fűvóka furaton nagy nyomással – esetenként 1400-2000bar-ral – jut keresztül a tüzelőanyag, melynek következménye erőteljes örvénylés, kavitáció, illetve a fűvóka furat kijáratánál a tüzelőanyag sugár cseppekre szakadása. Ha csak egy befecskendezést szeretnénk megfigyelni, akkor a helyzet még jobban bonyolódik, hiszen az csak 1-2ms ideig tart és az ilyen gyors folyamatok kísérleti megfigyelése általában akadályokba ütközik.

Egy sikeres égés szimuláció lefuttatásához elengedhetetlen a befecskendezési tömegáram és a fűvóka kimenetén lévő áramlási állapotok ismerete, hiszen a keveredés, párolgás, gyulladás, égés és károsanyag képződés folyamatai mind ezektől függenek [8]. Annak érdekében, hogy a geometriai részletek hatása kimutatható legyen a befecskendezés tranzienis folyamatai során, egy több dimenziós, háromfázisú (folyadék és gőz illetve gáz) áramlástan modellre van szükség a pontos információk kinyeréséhez és későbbi felhasználásához.

A geometriai háló, a szimulációs modell és annak számítása az AVL Fire programjával történt [9]. Áramlástan szimulációk mellett a program alkalmas égés szimulációk futtatására is, természetesen mozgó hálóval. A programcsoport motorfolyamatok szimulációjára lett optimalizálva.

Az alább részletezett szimulációk célja három különböző fűvóka geometria összehasonlítása mind a tüzelőanyag sugár alakja, mind pedig a fűvókában lezajló folyamatok szempontjából, különböző befecskendezési nyomások mellett. A három geometriából kettő fajta elterjedten van jelen a ma sorozatgyártásban lévő Common Rail (CR) porlasztók piacán, a harmadik pedig egy új kialakítás. A

geometriák alakja a következő fejezetben részletesen ismertetésre kerül.

## 3. A VIZSGÁLT FŰVÓKA GEOMETRIÁK

Az alábbi szimulációkban három geometria vizsgálata fog részletezésre kerülni, ezek közül az első egy létező befecskendező fűvókája (Bosch CR1N1). Ez a lehető legegyszerűbb felépítést mutatja, kialakítása hengeres és a beáramlási keresztmetszetenél a lekerekítési sugár kicsi (1/a. ábra). Ezt a felépítést ma már egyre ritkábban használják, alakjából kifolyólag nagymértékben hajlamos kavitációra. Mivel a fűvókába beáramló tüzelőanyag nagy iránytörést szenved belépéskor, a beáramlási keresztmetszet felső íve mentén a tüzelőanyag sebessége az átlagos érték többszörösére nőhet. A nagy sebesség és az irányváltoztatás miatt örvénylés és nyomásesés keletkezik, amely gőzbuborékok képződését idézi elő, melyek csak a kilépő keresztmetszet közelében omlanak össze [10]. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy ezek a fűvókák szinte minden munkapontban kavitálnak, ami gátolja a stabil tüzelőanyag fáklya létrejöttét. Mi több, ahogy a kavitáció létrejön, az effektív áramlási keresztmetszet lecsökken és drasztikusan csökken a kontrakciós tényező. Ezután már hiába emelik a befecskendezési nyomást, a befecskendezett tüzelőanyag tömegárama nem nő a várható mértékben. Az egyetlen pozitívuma ennek a jelenségnek, hogy az áramlási sebesség a lecsökkent kontrakciós tényező miatt jelentősen nő, ami kedvez a porlasztásnak és az elpárolgásnak. Ennél a befecskendezőnél annak érdekében, hogy az emissziót tovább csökkentsék, a fűvókátú kúpja a fűvóka furatra záródik rá, így nincs a klasszikus értelemben vett zsákfurat – ezt az irodalomban VCO (Valve Covered Orifice) fűvókának nevezik. Ez azért szükséges, hogy a befecskendező zárása után a zsákfuratból ne tudjon még plusz tüzelőanyag az égéstérbe „csöpögni”, növelve ezzel a szénhidrogén és füst emissziót. Egy fontos hátrány azonban adódik ezzel a fűvókátípussal kapcsolatban, mégpedig az, hogy nagyon érzékeny a fűvókátú excentricitására [11]. Azon az oldalon, ahol a tű közelebb kerül a fűvóka testhez, a fáklya penetrációs hossza jelentősen csökken, aszimmetrikus befecskendezési képhez vezetve.

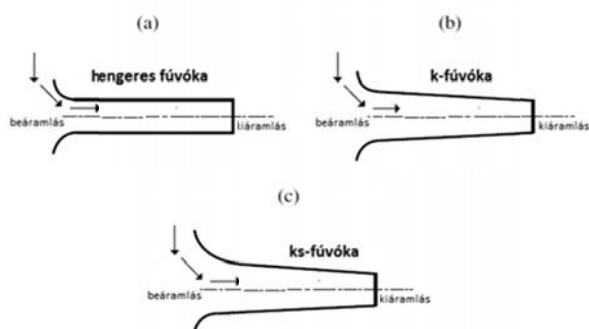
A közelmúltban a kutatók nagy erőfeszítéseket tettek annak érdekében, hogy a fent részletezett kavitációs jelenséget megszüntessék, vagy legalább elfogadható szintre csökkentsék. Ehhez két geometriai méretet kellett megváltoztatni, nevezetesen a belépési keresztmetszet lekerekítési sugarát, valamint a belépési keresztmetszet átmérőjét. Azzal, hogy nagyobbra munkálták a belépési átmérőt, a fűvókát konfúzorossá tették, amely nagyban hozzájárult az áramlás stabilizálásához a furatban, miközben a beáramlási iránytörést csökkentette. Ezeket a szakirodalomban ún.



k-fűvókáknak (a német konisch szóból) hívják (1/b. ábra).

A lekerekítési sugarat egy speciális eljárással, hidroköszörüléssel (hydro-grinding, HG) tudták megnövelni. Ez az eljárás a fűvókák hitelesítésénél használt olaj abrazív anyaggal való keverését jelenti - ezt a keveréket juttatják keresztül a fűvókán, hogy minden legyártott befecskendező névleges tömegárama a gyári tolerancián belül legyen. Az abrazív anyag a furat beáramlási oldalán az éles ívet roncsolja, növelve ezzel a lekerekítési sugarat méretét. Azt a fűvókát, ahol konfúzoros furat mellett a HG eljárást is használják ks-fűvókának nevezik (a német konisch strömungsoptimiert szavakból) és egy ilyen típus képezi a második szimulációs geometriát (1/c. ábra). A ks-fűvókák áramlása rendezettebb, kavitáció nem jellemző a működési tartományban, vagy csak nagyon kis mértékben. Hátrányuk viszont, hogy a konfúzoros felépítés miatt a tüzelőanyag sugarat jobban összpontosítják, amely így nagyobb sebességgel és ebből kifolyólag nagyobb behatolási mélységgel is rendelkezni fog. Ez lassítja a párolgást és a keveredést, továbbá az égéstér falak nedvesítéséhez vezet.

A fent felsorolt fűvókátípusokat mutatja az 1. ábra. Az ábrán jól megfigyelhető, hogy beáramláskor sokkal élesebb szögben kell befordulnia a tüzelőanyag oszlopnak a hengeres, HG eljárás nélkül gyártott fűvókánál.



1. ábra Diesel befecskendezők különböző fűvókátípusai

A fűvókák kúposágát a befecskendezőknél nem a géptervezésben szokásos módon szokták jelölni, hanem az ún. k-faktorral. A be- és kimeneti átmérőkből a következőképpen határozható meg a k-faktor:

$$k = \frac{D_i [\mu\text{m}] - D_o [\mu\text{m}]}{10} \quad (1)$$

ahol  $D_i$  a beáramlási,  $D_o$  a kiáramlási keresztmetszet átmérője,  $k$  pedig a k-faktor. Ez azt jelenti, hogy minél nagyobb a k-faktor, annál nagyobb a különbség a be és kiáramlási átmérők között, tehát annál nagyobb kúpszögű a fűvóka furat azonos hossz mellett. Az irodalomban jellemzően 0-2 közötti k-faktorú fűvókák

szerepelnek, tehát a be és kimeneti átmérők közötti különbség 0-20 $\mu\text{m}$ . Ha hozzá tesszük, hogy a járműmotoroknál használt befecskendezők furatátmérője kb. 130-180 $\mu\text{m}$ , akkor már látható, hogy ezek a fűvókák csak nagyon enyhén kúposak [5, 16-17]. A hengeres és ks-fűvóka geometriák mellett egy harmadik fűvóka is vizsgálva lett. Ez a fajta fűvóka nem található meg a szakirodalomban, ezért érdemesnek tűnt megfigyelni a viselkedését az első kettővel azonos körülmények között. Ahogy említésre került, a ks-fűvókák esetében a tüzelőanyag sugár kúpszöge sokkal kisebb tartományokban mozog, mint a hengeres fűvókáknál, emiatt a porlasztási sugárkép sokkal elnyúltabb, a behatolási mélysége a sugárnak jelentősen megnő. Ez káros hatással van a keveredésre, bár azt érdemes megemlíteni, hogy a nagyobb kiáramlási sebesség miatt a tüzelőanyag és a levegő közötti interakció sokkal erősebb a sugár palástfelülete mentén. Tehát a sebességkülönbség miatt sokkal több tüzelőanyag szakad le a sugár palástjáról és ez kedvez a levegő bekeveredésének, de nem ellensúlyozza a kisebb kúpszög hatását.

Ahhoz, hogy a sugár kúpszögét növelhessük – és így nagyobb területre, homogénebb formában juttassuk el a tüzelőanyagot – diffúzoros fűvóka kialakítás szükséges. A hengeres és ks-fűvókák fent említett előnyeinek ötvözésére a harmadik fűvóka hosszának első 2/3 részében konfúzoros kialakítású és nagy lekerekítési sugárral rendelkezik, a külső 1/3 részben pedig enyhén nő az átmérő. Ezzel elméletileg elérhető az, hogy a kavitáció csak nagyon kis mértékben jöjjön létre a fűvókában, de emellett a kiáramlási sebesség csökkenthető és a sugár kúpszöge növelhető. A harmadik vizsgált geometria tehát először konfúzoros, majd a végén diffúzoros kialakítású, emiatt a ks-fűvóka nevéből ksd-fűvóka névvel lesz jelölve (2. ábra).

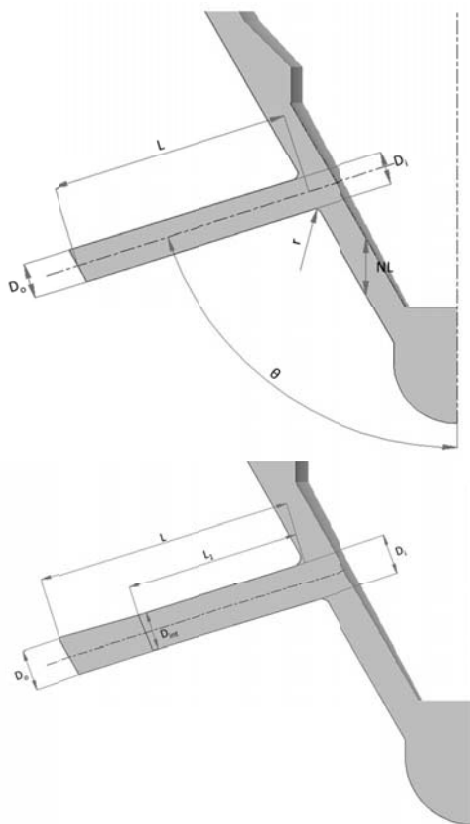
A három vizsgált fűvóka geometriai méreteit az 1. táblázat tartalmazza. A méretek leírásánál fontos a már többször említett ki és beáramlási átmérő, a fűvóka furat hossza, a lekerekítési sugarat és végül, de nem utolsó sorban a furat tengelyének szöge a porlasztó tengelyéhez képest. A porlasztók leírásánál fontos a maximális tüemelés is, - és mivel az alábbiakban stacioner állapotokban vizsgáljuk a fűvókákat – ezeknél a geometriáknál ez lesz a fűvóka tú távolsága a testtől a szimulációk során. A geometria jelölések jelentését a 2. ábrán lehet figyelemmel kísérni.

1. táblázat A fűvókák főbb méretei

	$D_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{int}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_o$ [ $\mu\text{m}$ ]	L [mm]	$L_1$ [mm]	r [ $\mu\text{m}$ ]	$\theta$ [ $^\circ$ ]	NL [ $\mu\text{m}$ ]
henger es fűvóka	152	-	152	1	-	20	72,5	250
ks- fűvóka	165	-	152	1	-	40	72,5	250
ksd- fűvóka	165	152	165	1	0.66	40	72,5	250

#### 4. A SZIMULÁCIÓS HÁLÓK FELÉPÍTÉSE

A szimulációs háló előkészítése a geometria modellezésével kezdődik, tehát egy 3D CAD programban el kell készíteni a vizsgálni kívánt testet. Ehhez a befecskendező belső geometriájának ismerete szükséges, ez alapján lehet meghatározni az áramlási tér alakját. Ez történhet roncsolásmentes módon, például szilikon formavétellel [14], vagy roncsolásos úton: a fűvóka test elmetésével. Jelen geometriánál roncsolásos úton kerültek meghatározásra a belső méretek [15]. Ehhez a test elvágásakor különösen ügyelni kell a helyes befogásra, hogy a vágás pontosan az egyik fűvóka síkjában, a test hossz tengelyében történjen. Ezután a metszeti síkról nagy felbontású képek készítésével meghatározhatóak a szükséges méretek.



2. ábra A fűvókák méreteinek jelölése

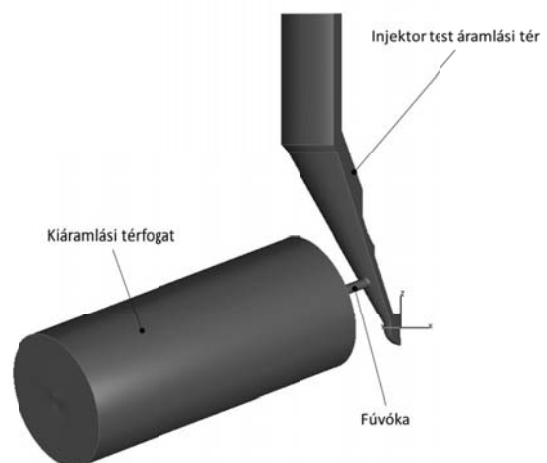
$L$  – fűvóka furat hossza;  $D_i$  – bemeneti furatátmérő;  $D_o$  – kimeneti furatátmérő;  $r$  – lekerekítési sugár;  $\theta$  – fűvóka furat szöge;  $NL$  – tüemelés magassága;  $L_1$  – konfúzor hossza;  $D_{int}$  – legkisebb átmérő

A lekerekítési sugár roncsolásos úton történő meghatározásában bizonytalanságot okoz a vágás és a felületi utómunkálatok hatása, de a szakirodalomban található méretekkel összevetve [6,14-17] tovább pontosítható.

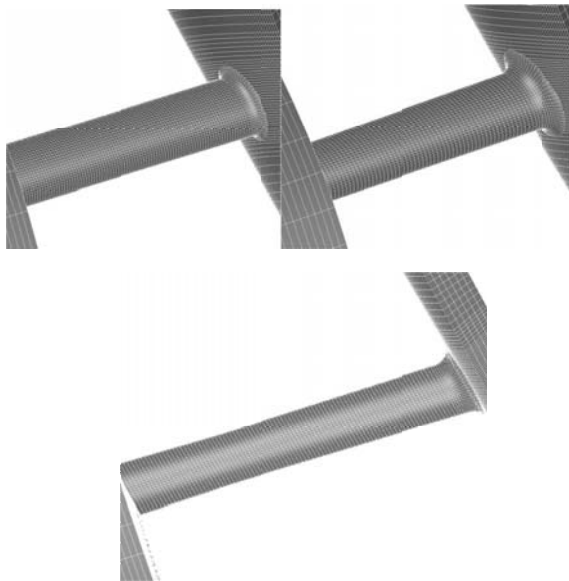
A 3D geometria alapján már létre lehet hozni a szimulációs hálót. A speciális igények miatt nem a program valamelyik beépített hálózó modulja lett használva, hanem lépésről lépésre egyenként lett felépítve a különböző hálódarabok egymáshoz illesztésével, manuálisan. Nem szükséges a teljes porlasztó csúcstól modellezni mind a nyolc fűvókával, hiszen ezekben a szimulációkban nem a geometriai pontatlanságok vagy tú excentricitás hatásai vannak vizsgálat alá helyezve. Az eredmények szempontjából kielégítő csak egy fűvóka furat hálójának létrehozása a porlasztó áramlási terének  $45^\circ$ -os szeletével, hiszen a befecskendező 8db fűvóka furata szimmetrikus kiosztásban helyezkedik el a porlasztó csúcson. Ahhoz, hogy a fűvókák tüzelőanyag sugárra gyakorolt hatásából is le tudjunk vonni következtetéseket, szükség van egy kiáramlási térfogatra is. Ez a hengeres háló jelképezi a környezetet, amelybe a befecskendezés történik és segít a minél realisabb peremfeltételek megadásában is. Az égéstér geometriai modellezése itt szükségtelen, hiszen a falak a fűvókától távol helyezkednek el, a nagy kiáramlási térfogat pedig csak a szimulációs elemszámot növelné, pontosabb adatokkal nem szolgálna. A tüzelőanyag fáklya alakjának vizsgálatát egy külön spray-szimulációval lenne célszerű elvégezni.

A hálózási folyamat eredményeként sikerült a Bosch CRIN1 porlasztó fűvókáját létrehozni, ez képviseli jelen szimulációk között a hengeres fűvóka variánst. A ks- és a ksd-fűvókák hálója analóg módon lett létrehozva. A fűvóka test és a kiáramlási térfogat hálója ugyanaz mindhárom esetben, csak a fűvókák alakja különbözik a fent leírtaknak megfelelően.

A hálók három fő részből állnak, ezek sorrendben a porlasztó test és a fűvóka áramlási terei, valamint a kiáramlási térfogat, amelyben a tüzelőanyag sugár fűvókához közeli területét lehet megfigyelni. A szimulációs háló felépítését a 3. ábrán lehet megfigyelni, a fűvókák környezetében a háló alakját a 4. ábra mutatja. Ez utóbbin érdemes megfigyelni a lekerekítési sugarak és a fűvóka furat alakjának változását.



3. ábra A szimulációs háló felépítése



4. ábra Háló a fúvókák közelében, sorrendben: hengeres, ks- és ksd-fúvóka

Mindhárom háló hexa-elemekből épül fel, a megfelelő felbontás érdekében az elemszám a következőképpen alakul:

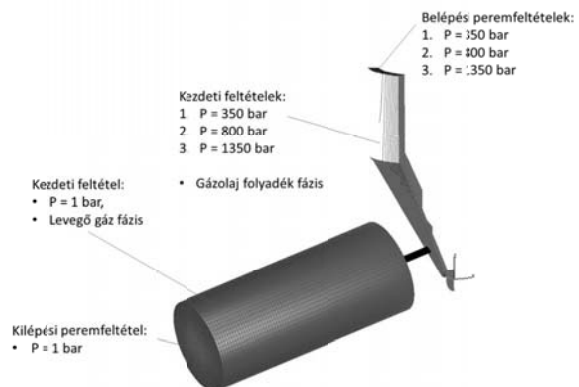
- hengeres fúvóka szimulációs hálója: 606536 cella
- ks-fúvóka szimulációs hálója: 583338 cella
- ksd-fúvóka szimulációs hálója: 578812 cella

Az 5% körüli elemszám eltérés főként a fúvóka furatok geometriai különbözőségéből adódik. A kiáramlási térfogat hossza 5mm minden esetben, ez már elengedő ahhoz, hogy a tüzelőanyag sugár kezdeti alakját meg lehessen vizsgálni.

## 5. A KEZDETI- ÉS PEREM FELTÉTELEK

Mivel ezekben a szimulációban a legnagyobb tüemelés melletti állandósult állapotok megfigyelése volt a kitűzött cél, ezért mozgó háló definiálására nincs szükség. A ki és beáramlási felületek, a szimmetria felületek, valamint a falfelületek meghatározása után a kezdeti feltételek megadása következik. A szimulációkban a gázolaj a porlasztó áramlási terének felső vízszintes felületéről érkezik – ahogy a valóságban is ez a forrás. A gázolaj folyadék, gőz és a levegő gáz fázisok a kiáramlási térfogat külső felületein hagyhatják el a számítási teret. Ebből már látszik, hogy három fázis szükséges a szimulációban, ezek sorrendben a gázolaj folyadék, gázolaj gőz és a levegő gáz fázisai. Kezdeti feltételnek a porlasztó áramlási terében és a fúvóka furatban mindenütt gázolaj folyadék, a kiáramlási térfogatban pedig levegő volt megadva. Mivel a porlasztó körszimmetrikus, az áramlási tér két oldalsó függőleges felületére szimmetria peremfeltétel volt megadva, az összes eddig nem említett felület falként

volt definiálva. Ezek mellett meg kell még határozni a számszerű peremfeltételeket. A szimulációk három, az első generációs CR porlasztókra jellemző befecskendezési nyomással lettek futtatva. Ezek közül egy az alapjáratú tartományra (350bar), egy a részterhelésre (800bar) és egy pedig teljes terhelésre (1350bar) jellemző. A környezeti nyomást 1bar jelképezi. A hengerben jellemzően több tízszerese jön létre ennek az értéknek, de korábbi mozgó hálós modellek erre a nyomáskülönbségre lettek validálva [15]. A peremfeltételeket az 5. ábra mutatja. A három szimulációs hálóval a három nyomáskülönbség összesen kilenc futtatást jelent, ezek kerülnek elemzésre az alábbiakban.



5. ábra Szimulációs háló a kezdeti és peremfeltételekkel

Természetesen a fent felsorolt perem- és kezdeti feltételek korántsem tartalmazzák az összes beállított paramétert, de összes beállított paraméter felsorolása és leírásának leírása meghaladja jelen tanulmány kereteit.

A megoldó algoritmusban a számítási modellek közül a k-ε turbulencia modell került kiválasztásra megbízhatósága és könnyű konfigurálhatósága miatt, továbbá aktiválásra került az Euler-féle többfázisú algoritmus [15] három fázis definiálásával, lineáris kavitációs modellel.

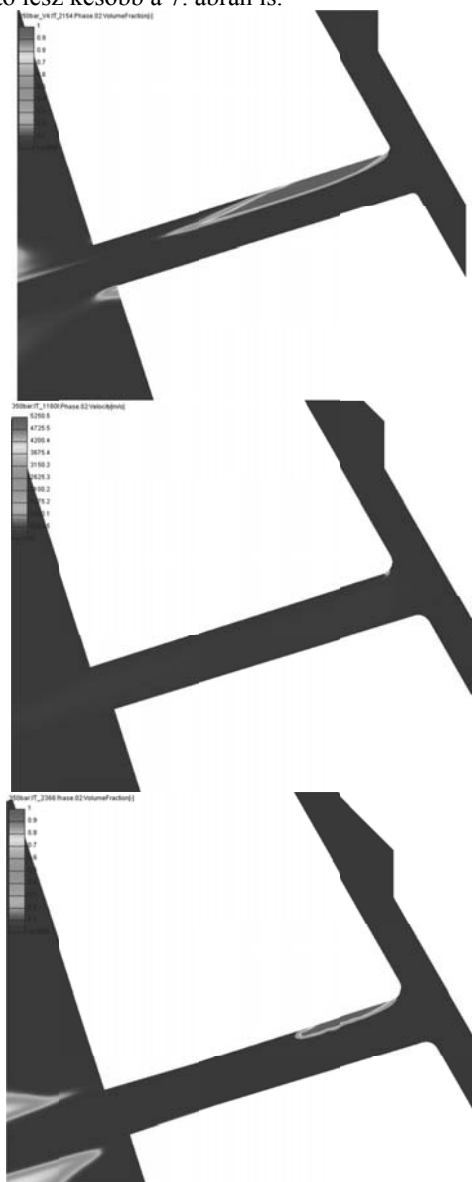
Természetesen mindhárom geometriára ugyanazok a beállítások vonatkoznak. Az eddig leírt beállítások után el lehet indítani a megoldó algoritmust.

## 6. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

Az elvégzett áramlási szimulációból sok adat kinyerhető, illetve sok folyamatból lehet következtetéseket levonni. A kiértékelési lehetőségek sokszínűsége miatt e munka keretében csak a legfontosabbak kerülnek kiemelésre.

Először érdemes megvizsgálni a gázolaj gőzfázis viselkedését. A 6. ábra 350 bar nyomáson mutatja a három vizsgált geometria gőzfázis diagramjait. Nagyon jól látható a fúvókafuratokban kialakuló kavitáció, melyet a gázolaj gőzfázis megjelenése mutat. A kis lekerekítési sugár, valamint a hengeres furat miatt az

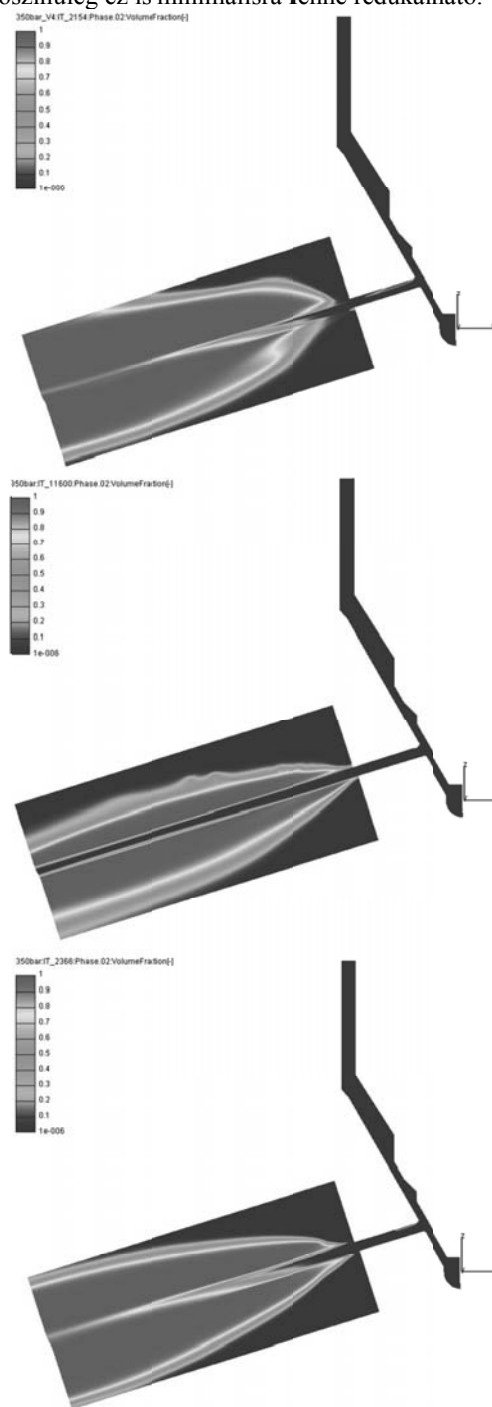
első geometriában majdnem a furat teljes hosszában létrejön ez a jelenség. Ez láthatóan hatással van a kiáramlási keresztmetszetenél a cseppbomlásra is, hiszen a gőzbuborékok még a kiáramlási térbe is kiérnek, ez látható lesz később a 7. ábrán is.



6. ábra Gázolaj gőzfázis a fúvókák környezetében, sorrendben: hengeres, ks- és ksd-fúvóka

350 bar befecskendezési nyomás az alapjáratú tartományra jellemző a motorüzemben, tehát a legkisebb befecskendezési nyomások közé tartozik CR porlasztóknál. A hengeres fúvókában kialakuló kavitáció pedig csak erőteljesebb lesz a nyomásviszony növekedésével az áramlási sebességek növekedése miatt. 350 bar-on a ks-fúvókában alig látható gázolajgőz a furatban, gyakorlatilag nem alakul ki kavitáció. A fent részletezett hatása a lekerekítési sugárnak, illetve a furat kúposágnak tehát itt is igazolásra került, ez később látható hatással lesz a tüzelőanyag sugárra is. A ksd-fúvókában az előbbivel ellentétben megjelenik

gőzbuborék, de mérete csak töredéke a hengeres fúvókánál láthatóknak. Mint látható, a gőzbuborékok képződése csak lokálisan van jelen, azokat az áramló folyadék nem szállítja tovább a kiáramlási keresztmetszet felé. A geometria optimalizálásával – más k-faktor, más konfúzor illetve diffúzor hossz – valószínűleg ez is minimálisra lenne redukálható.



7. ábra Gázolaj gőzfázis, sorrendben: hengeres, ks- és ksd-fúvóka

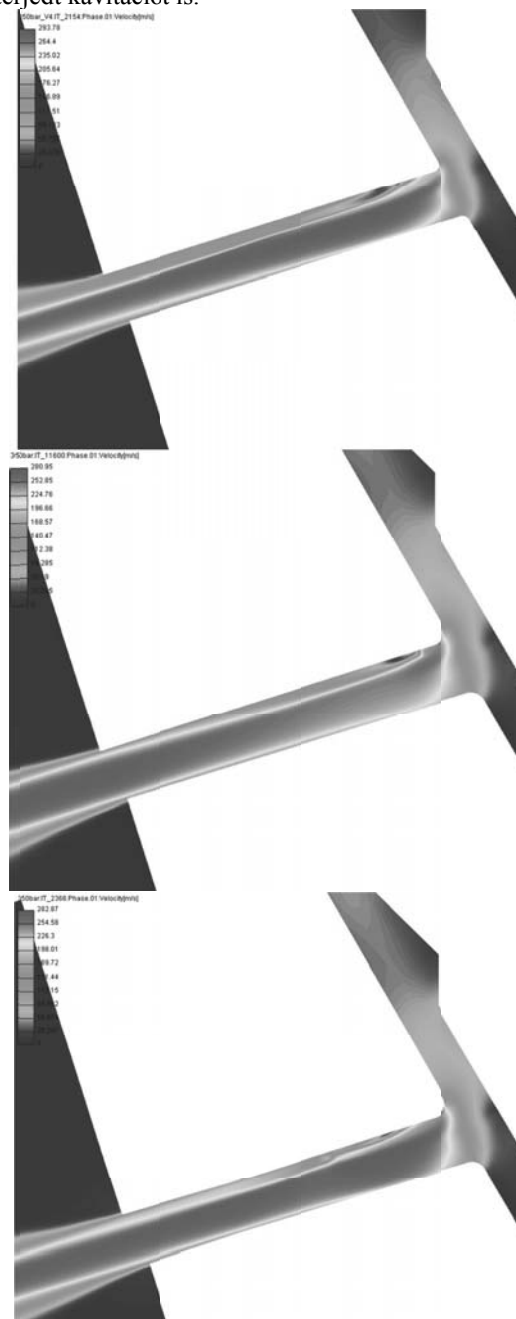
A 8. ábra a gázolaj folyadék fázis sebességét mutatja a fűvókák környezetében 350 bar befecskendezési nyomásnál. Fontos tehát kiemelni az ábrák megismerése előtt, hogy ott ahol az ábrák kis áramlási sebességet mutatnak nem feltétlenül igaz ez, csak a folyadék fázis nincs éppen jelen az adott pontban.

A hengeres fűvóka esetében látható, hogy a folyadékáramlás a furat alsó felében összpontosul és a sebesség eloszlása a keresztmetszetben erősen inhomogén. Itt a legnagyobb az áramlási sebesség, ami főként a kis lekerekítési sugár miatt jön létre. A nagy áramlási sebesség a keresztmetszet alsó részén pedig az eróziós hatás növekedését is maga után vonja, az ilyen fűvókák gyorsabban elhasználódnak a k- és ks-fűvókákhoz viszonyítva. A sebesség inhomogenitása okozza a sugár aszimmetriáját, de mivel nagy a nyíróerő az egyes folyadékrétegek között – a cseppbomlás is felgyorsul kilépéskor. Ez azt jelenti, hogy a fűvókából való kilépés után az egymáson elcsúszó folyadékrétegek a belső erők hatására szétesnek, a sugár gyorsan felbomlik. Ezzel ellentétben a ks-fűvóka áramlási sebességei rendezett képet mutatnak, kilépéskor már majdnem teljesen lamináris az áramlás – amennyire a magas kialakuló Reynolds-számok ezt engedik. A belépési örvényben részt vevő zóna mérete sokkal kisebb a hengereshez képest, a folyadék áramlási sebessége a konfúzoros kialakítás miatt fokozatosan nő a kilépési keresztmetszet felé és jól látható a falak hatása is. Az áramláskor kialakuló határreteg miatt a falak közvetlen közelében mindig nulla az áramlás sebessége és ez annál nagyobb hatást gyakorol a fűvókában az áramlásra minél kisebb annak az átmérője. A ksd-fűvóka képe hasonló a ks-fűvókáéhoz, szintén rendezett áramlást mutat a kilépésnél, emiatt szimmetrikus a tüzelőanyag sugár a kiáramlási térben. Kilépéskor a keresztmetszetben az átlagsebesség azonban jóval kisebb mint a ks-fűvóka esetében, ez csökkenti a penetrációs mélységét a sugárnak.

A három fűvókát összehasonlítva a maximális áramlási sebességek gyakorlatilag ugyanakkorák, különbség csak a fellépés helyében van. A hengeres fűvóka esetében a legnagyobb sebesség a beáramlási keresztmetszethez közel jön létre és nagyon sokáig fennmarad a kavitáció hatására leszűkülő áramlási keresztmetszet miatt. A konfúzoros kialakítás okán a ks-fűvókánál a kilépési keresztmetszetben a legnagyobb a sebesség, a ksd esetében pedig ez a legkisebb keresztmetszet környékén látható.

A 9. ábra a relatív nyomást mutatja a különböző fűvóka geometriák esetében 350 bar nyomásnál. Mindhárom geometria esetében elmondható, hogy a nyomás drasztikusan esik a furat belépési keresztmetszeténél. Ez azt jelenti, hogy a furatokban gyakorlatilag végig a környezetihez hasonló nyomás uralkodik, a porlasztó test áramlási terében pedig a befecskendezési nyomás. Ez természetes, hiszen a furat keresztmetszete nagyságrendekkel kisebb, mint a tű és a fűvóka test között lévő gyűrűfelület. Különösen drasztikus a nyomásesés a hengeres fűvóka belépő

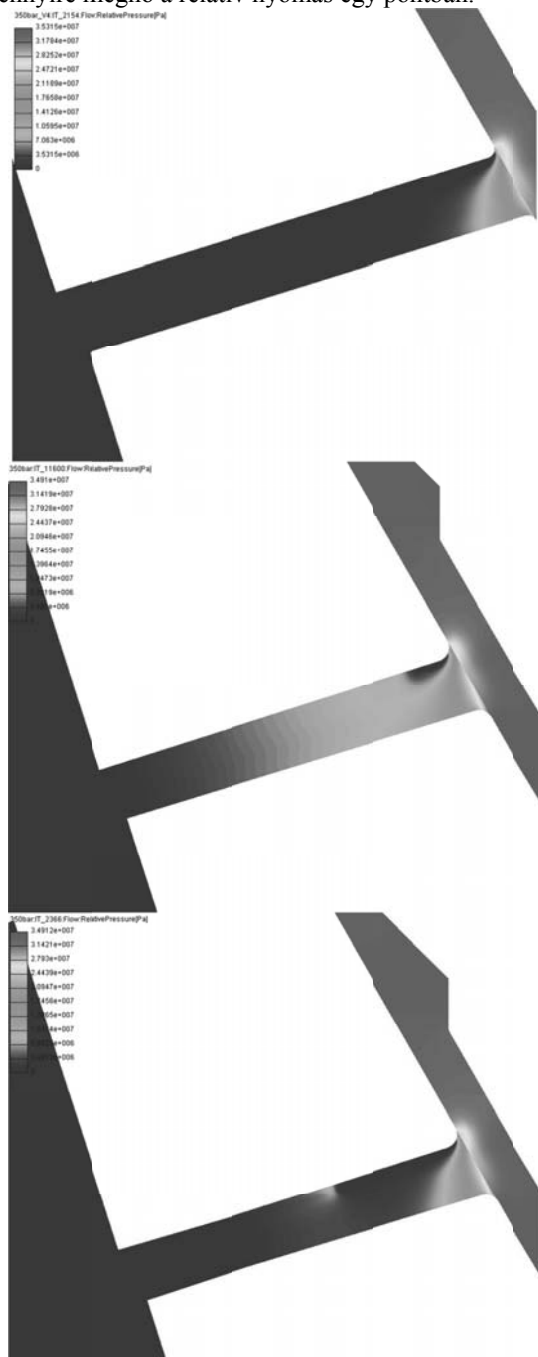
keresztmetszetének felső területén, nyilván ez okozza a kiterjedt kavitációt is.



8. ábra Gázolaj folyadékfázis sebességek a fűvóka környezetében, sorrendben: hengeres, ks- és ksd-fűvóka

A konfúzoros ks-fűvóka esetén a nyomásesés sokkal fokozatosabban jön létre a hossz tengely mentén, emiatt nagyobb lesz a nyomás a beáramlási keresztmetszet közelében is. Nagyobb nyomáson a kavitáció már nem jön létre és ha mégis, akkor is hamarabb összeomlanak a gőzbuborékok, ezáltal pedig a gőzfázis kiterjedése csökken. Ez az a jelenség, amely stabilizálja a fűvókán belüli áramlást és ezzel a tüzelőanyag sugarat is. A ksd

geometria esetében is észrevehető ez a hatás, az első szakasz konfúzoros kialakítása az, amely segít lecsökkenteni a gőzfázis nagyságát. Ennek ellenére a fűvóka nem mutat olyan homogén képet, mint a ks, de a konfúzoros rész meghosszabbításával valószínűleg ez a probléma is orvosolható lenne. Megfigyelhető még ezen kívül, hogy a gőzbuborékok összeomlásának helyén mennyire megnő a relatív nyomás egy pontban.



9. ábra Relatív nyomás a fűvóka környezetében, sorrendben: hengeres, ks- és ksd-fűvóka

A Turbulens Kinetikus Energia (TKE) az egyik jellemző az áramlás elemzésére – ezt szemlélteti a 10.

ábra 350 bar nyomás esetében a gázolaj folyadék fázisban. A TKE definíció szerint az átlagos kinetikus energia egységnyi tömegre vetítve az örvénylő áramlások esetében. Ez azt jelenti, hogy minél magasabb ez a szám, annál nagyobb a folyadék fajlagos kinetikus energiája, emiatt leginkább a nagy nyomásváltozások közelében szokott megnőni az értéke. Magas tüemelések esetében – mint látható volt – a nyomásesés a belépési keresztmetszet környezetében koncentrálódik. Emiatt ezekben a zónákban lesz a legnagyobb a TKE értéke a porlasztón belül, de érdekes módon mindhárom esetben a sugárban éri el a maximum értékét. Ennek oka, hogy a sugár folyadék része és a levegő találkozásánál a nagy sebességkülönbség miatt erőteljes nyíróerő keletkezik, amely fokozatosan leválasztja a sugár külső felületét. Emiatt gyorsulnak a cseppbomlási folyamatok, a folyadék pedig hirtelen lelassul. Ezekből kifolyólag az ilyen területeken erőteljes örvénylés jellemző. A különbség a három sugárnál már első ránézésre látszik (10. ábra). Az első geometriánál a sugár alsó felületénél jelenik meg a nagy TKE-val rendelkező terület, mert az aszimmetrikus sugáralak miatt itt a legnagyobb a sebességkülönbség a folyadék és a gáz fázis között. A ks-fűvóka esetében valamivel nagyobb és szimmetrikus a terület, míg a ksd-fűvókánál ez egész nagy arányban jelen van. Ez azt mutatja, hogy a párolgás és keveredés szempontjából a ksd-fűvóka szolgáltatja a legjobb eredményt.

Ha kvantitatívan szeretnénk jellemezni a porlasztó geometriáját a működési tartományban, akkor az egyik legfontosabb mérőszám az átfolyó tömegáram. Ezt mutatja különböző befecskendezési nyomások esetében a 11. ábra. Látható, hogy mindhárom fűvóka esetében a tömegáram növekedésének mértéke csökkenő tendenciát mutat a nyomás növekedésével, hiszen az a nyomáskülönbség gyökétől függ:

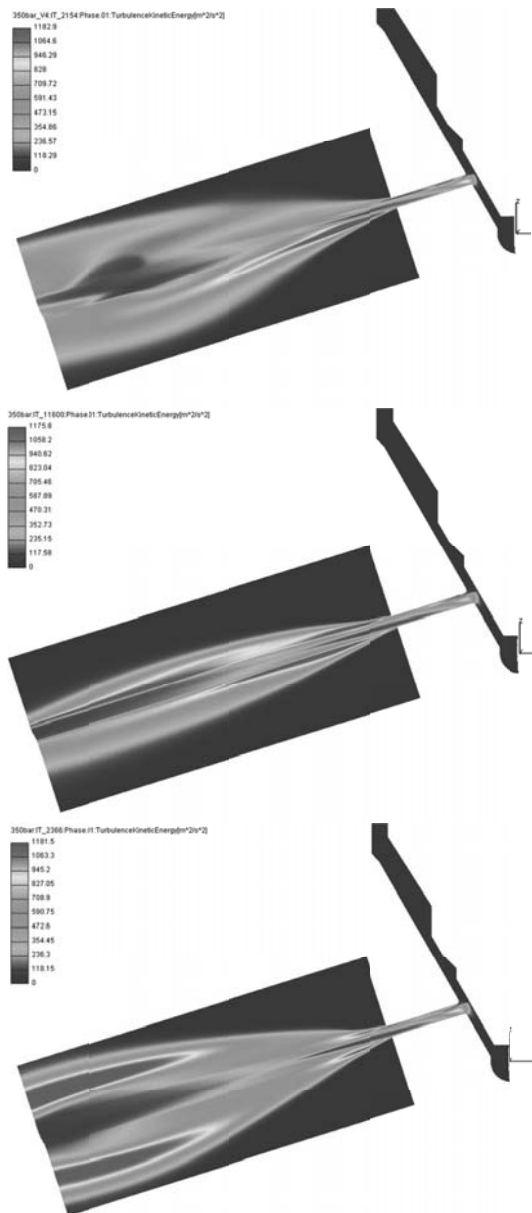
$$\dot{m} = C_d A \sqrt{2\rho(p_i - p_o)} \quad (2)$$

Ahol  $\dot{m}$  a tömegáram,  $C_d$  a kontrakciós tényező,  $A$  az áramlási keresztmetszet felülete,  $\rho$  az áramló folyadék sűrűsége,  $p_i$  a bemeneti,  $p_o$  pedig a kiáramlási keresztmetszetenél a nyomás.

Ha az egyes geometriákat szeretnénk összehasonlítani, akkor egyértelműen láthatóak a különbségek a 11. ábrán. A hengeres fűvóka által szolgáltatott tömegáram minden nyomáson messze alulmúlja a másik kettőt. Ennek egyszerű oka van, mégpedig az, hogy a kavitáció miatt lecsökkent keresztmetszeten áramlik a folyadék. A lecsökkent áramlási keresztmetszet kisebb kontrakciós tényezőt jelent és minél nagyobb a nyomáskülönbség annál inkább érvényesül ez a hatás. A ks- és ksd-fűvókák nagyon hasonlóan viselkednek, de az utóbbi egy kicsit mindig nagyobb értékeket mutat.

Minél nagyobb a tüzelőanyag sugár küpszőge, annál nagyobb területre és annál homogénebb módon képes eljutni a tüzelőanyag. Minél homogénebb a

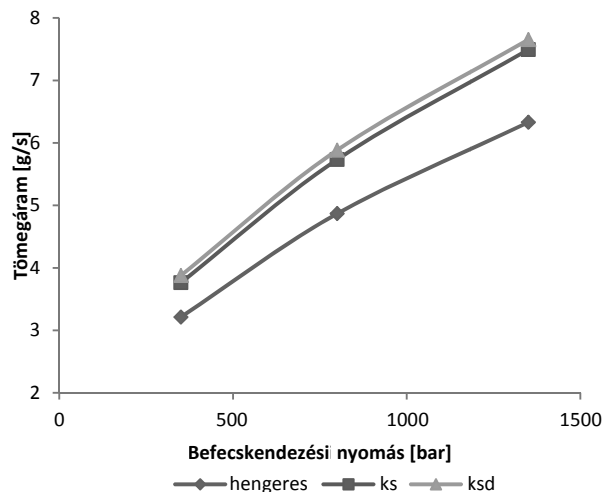
tüzelőanyag-levegő keverék az égéskor, annál kevesebb részecske képződik a lokális oxigénhiány miatt. Emellett természetesen a magasabb égési hőmérséklet miatt a NO<sub>x</sub> kibocsátás is növekedhet, mivel a két fő károsanyag a bevezetőben már ismertetett módon viselkedik egymással szemben. Mindenesetre a mai fejlesztési irányvonal a Diesel motoroknál a minél homogénebb keverék felé tolódik el, a NO<sub>x</sub> kibocsátást pedig egyre nagyobb kipufogógáz visszavezetési aránnyal próbálják kezelni.



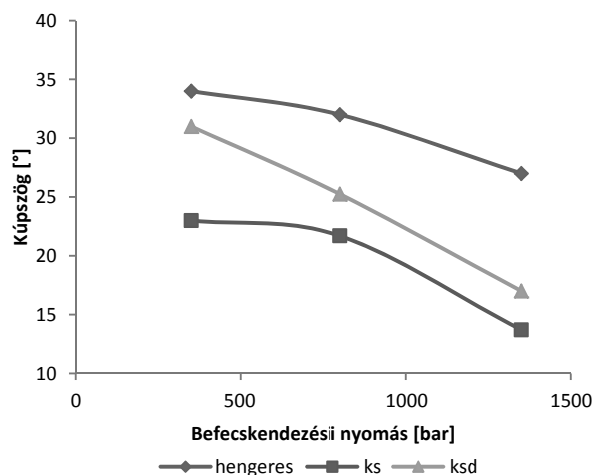
10. ábra Turbulens Kinetikus Energia (TKE), sorrendben: hengeres, ks- és ksd-fűvóka

A sugár kúpszögének változását mutatja a 12. ábra a befecskendezési nyomás függvényében. Mint látható, a kúpszög a nyomás növekedésével csökken, mivel a nagyobb kiáramlási sebesség miatt nagyobb lesz a

kinetikus energiája a sugárnak. Ha egymáshoz hasonlítjuk a különböző geometriákat, akkor viszont egész nagy különbségeket láthatunk. Meg kell azonban jegyezni, hogy a kúpszögek a sugár kialakulásának első 5mm-e alapján kerültek lemérésre, egész pontosan a kilépési keresztmetszettől 3mm-re lévő sugár keresztmetszet két szélső és a kilépési keresztmetszet középpontja által meghatározott szög szerepel a diagramon az egységes elbírálás érdekében. Ez csak hozzávetőleges értékeket adhat, mindenesetre összehasonlítási alapként megfelelnek.



11. ábra A fűvókákon átfolyó tüzelőanyag tömegáram



12. ábra A tüzelőanyag sugár kúpszöge

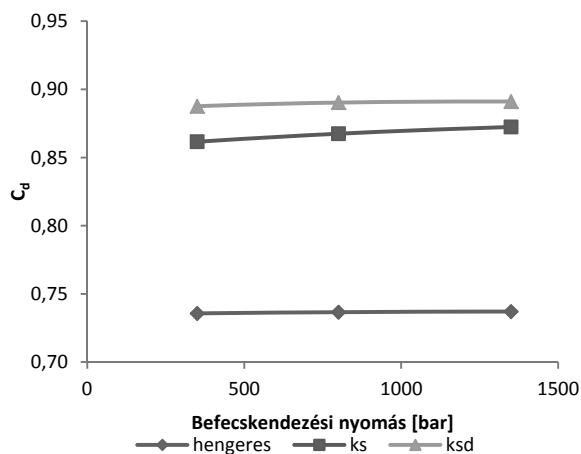
Ezek alapján a hengeres fűvóka biztosítja a legszélesebb kúpszöveget minden nyomásszinten, ezt követi a ksd- és ks fűvóka sorrendben. Itt szükséges azt is megjegyezni, hogy a hengeres fűvóka előnyét nagyrészt annak köszönheti, hogy a kiáramlási keresztmetszet utáni rövid szakaszon jelentősen kiszélesedik a sugár keresztmetszete. Tehát ha például a sugarak palástjának

szögét értékelnénk, akkor a fenti sorrend felborulna és a ksd-fűvóka képviselné a legnagyobb szögű kialakítást.

Ha (2) egyenletet átrendezzük, kiszámítható a szimulációban megállapított tömegáram alapján a kontrakciós tényező:

$$C_d = \frac{\dot{m}}{A\sqrt{2\rho(p_i - p_o)}} \quad (3)$$

Ennek értékét mutatja a 13. ábra a befecskendezési nyomások függvényében. Az értékeket fenntartásokkal kell kezelni, mert a képletben szereplő sűrűség nem tükrözi pontosan a valós értékeket. A szimuláció egyik legnagyobb egyszerűsítése ugyanis az volt, hogy a folyadékot összenyomhatatlannak feltételeztük. Ez nyilván torzítja a végeredményt, de összehasonlításra szintén alkalmas. Mint látható, a tényezők kevésbé változnak a nyomás függvényében. A kavitáció létrejöttével ugyanis a kontrakciós tényező közel állandó, vagy inkább csökkenő értéket vesz fel a nyomás növekedésekor. Egymáshoz hasonlítva itt szintén a ksd-fűvóka mutatja a legmagasabb értéket, míg a hengeres fűvóka messze elmarad a másik kettő mögött.



13. ábra A kontrakciós tényező változása

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Diesel befecskendező fűvóka geometriájának lemérése után felépítésre került az áramlási tér szimulációs hálója egy kiáramlási térfogattal a tüzelőanyag sugár vizsgálatára. A porlasztó hengeres fűvóka furattal rendelkezett, ennek mintájára egy konfúzoros kúpos és egy konfúzor-diffúzor keresztmetszetű fűvóka geometria is létrehozásra került. Konfúzoros, nagy lekerekítési sugárral rendelkező ks-fűvókákat egyre elterjedtebb arányban használnak sorozatgyártású porlasztókban, diffúzoros kiáramlási keresztmetszettel rendelkezőket azonban a szerzők ismeretei szerint eddig nem vizsgáltak a szakirodalomban.

A három szimulációs háló három jellemző befecskendezési nyomás alatt, maximális tüemelésnél és

statikus állapotban került összehasonlításra, hogy a fűvóka geometriák okozta hatásokat össze lehessen vetni.

A kilenc szimuláció lefutása után látható volt a hengeres fűvókában létrejövő erőteljes kavitáció már a legkisebb befecskendezési nyomásnál is, ezzel ellentétben a ks-fűvókánál nem volt számottevő gőzbuborék képződés. A ksd-fűvóka beáramlási keresztmetszeténél megjelent egy kisebb területen ez a jelenség, de a hengeres fűvókához képest sokkal jobban teljesítetett. A geometria optimalizálásával ez valószínűleg tovább csökkenthető. Tovább vizsgálva a gázolaj gőzfázis viselkedését a kiáramlási térben, látható volt a geometriák sugárra gyakorolt hatása. A tüzelőanyag rétegek közötti nagy sebességkülönbség okozta nyíróerő hatására a hengeres fűvókánál a tüzelőanyag oszlop a kiáramlás után nagyon hamar felbomlott a levegő nagymértékű bekeveredését segítve, de aszimmetrikus sugáralakot okozva. A konfúzoros fűvóka a várakozásoknak megfelelően nagyon kis tüzelőanyag kúpszögöt hozott létre, ahol a tüzelőanyag-levegő keveredés alacsony hatásfokot mutatott. Ezekkel szemben a ksd-fűvóka széles kúpszögű és homogén sugarat hozott létre, gyorsítva ezzel a keveredést.

A fűvókák keresztmetszete mentén kialakuló sebesség kontúrok megmagyarázták a fent leírt hatásokat. A hengeres fűvókánál a belépési keresztmetszetenél jelentkező nagy iránytörés okozta a sebesség növekedését és a kialakuló kavitációt, a kavitáció miatt pedig lecsökkent az effektív áramlási keresztmetszet. A lecsökkent áramlási keresztmetszet miatt a furat alsó részén tovább növekedett az áramlási sebesség, amely nem tudott homogenizálódni a kilépési keresztmetszetig. Ez okozta az aszimmetrikus sugárképet is. A ks-fűvókában az áramlási sebességek fokozatosan nőttek a kiáramlási keresztmetszetig, a sugár fókuszálásával pedig nagyon sokáig a kilépés után is együtt maradt a nagy sebességű folyadék anélkül, hogy számottevő cseppbomlás létrejött volna. A ksd-fűvóka diffúzoros vége segített a kiáramlási sebesség csökkentésében, a konfúzoros belépési szegmens pedig az áramlás örvénymentes vezetését érte el. A kettő együtt eredményezte a homogén, nagy kúpszögű sugarat.

A nyomáskontúrok láthatóvá tették azt, hogy a ks-fűvókában miért nem alakul ki kavitáció. A szűkülő keresztmetszet miatt a beáramlási keresztmetszetenél sokkal nagyobbak bizonyult a nyomás a másik kettőnél és ez fokozatosan csökkent környezetire a kilépésnél. Nagyobb nyomáson pedig nem jött létre kavitáció a kritikus területen, ellentétben a többivel.

A tömegáramokat összehasonlítva, minden munkapontban a ksd-fűvóka furatán tudott átáramlani a legtöbb tüzelőanyag, ennek oka a másik kettőnél nagyobb kontrakciós tényezőben volt megtalálható. A ks-fűvóka nem sokkal maradt el tőle, a hengeres viszont kb. 25%-al kisebb tömegáramra volt képes azonos nyomáskülönbségek mellett.



A sugarak kúpszögéről a viszonylag rövid vizsgálható hossz miatt nem lehetett pontos értékeket megállapítani, a rendelkezésre álló adatok szerint a hengeres fúvóka szolgáltatja a legszélesebb kúpszöveget minden pontban, de ezt nagyobb bizonyossággal csak egy tüzelőanyag sugár szimuláció segítségével lehetne megítélni.

A szimulációk alapján tehát úgy tűnik, hogy ígéretes lehetőségek rejlenek az újonnan létrehozott geometriában, érdemes a szimulációkat tovább folytatni, hiszen a fúvóka geometria legyártása sem ütközne akadályokba, legfeljebb a költsége lenne magasabb. A jövőben a szerzők transziens szimulációk létrehozását tervezik, hogy ne csak statikus munkapontok álljanak rendelkezésre az összehasonlításához, továbbá a szimulációk továbbfejlesztését nemlineáris kavitációs modellel, összenyomható folyadék definiálásával és külön tüzelőanyag sugár szimulációval Lagrange-féle többfázisú megoldó segítségével.

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk köszönetünket kifejezni az AVL List GMBH-nak, hogy rendelkezésünkre bocsátotta AVL AST programcsomagot, segítségük nélkül a 3D szimulációk nem készültek volna el ilyen formában. Kutatásaink eredményeihez nagyban hozzájárult az AVL Fire program használata.

## 9. IRODALOM

- [1] FLAIG U., POLACH W., ZIEGLER G.: Common Rail System (CR-System) for passenger car DI Diesel engines; experiences with applications for series production projects. SAE Paper 1999-01-0191; 1999.
- [2] HEYWOOD J.B.: Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill Publishing; 1988, ISBN 007028637X.
- [3] HIROYASU H., ARAI M.: Structures of fuel spray in Diesel engines. SAE Paper 900475, 1990.
- [4] SIEBERS D.I.: Scaling liquid-phase fuel penetration in Diesel sprays based on mixing limited vaporization SAE Paper 1999-01-0528, 1999.
- [5] MOLINA S., SALVADOR F.J., CARRERES M., JARAMILLO D.: A computational investigation on the influence of the use of elliptical orifice on the inner nozzle flow and cavitation development in diesel injector nozzles. Energy Conversion and Management 79 (2014) 114-127, 2014.
- [6] BRUSIANI F., FALFARI S., PELLONI P.: Influence of the Diesel injector hole geometry on the flow conditions emerging from the nozzle. Energy Periodica 45 (2014) 749-758, 2014.
- [7] AVL FIRE Application Example: Injection Nozzle: Diesel Injector. Edition 02/2013, 2013.
- [8] WARNATZ J., MAAS U., DIBBLE R. W.: Combustion. Springer Berlin Heidelberg New York, 2006, ISBN-13 978-3-540-25992-3.
- [9] AVL FIRE Product Description, AVL FIRE Main program. 2013.
- [10] PAYRI F., PAYRI R., SALVADOR F. J., MARTÍNEZ-LÓPEZ J.: A contribution to the understanding of cavitation effects in Diesel injector nozzles through a combined experimental and computational investigation. Computers & Fluids 58 (2012) 88–101, 2012.
- [11] ZHIXIA H., WENJUN Z., QIAN W., ZHAOCHEN J., ZHUANG S.: Effect of nozzle geometrical and dynamic factors on cavitating and turbulent flow in a diesel multi-hole injector nozzle. International Journal of Thermal Sciences 70 (2013) 132-143, 2013.
- [12] PAYRI R, SALVADOR F J, GIMENO J, DE LA MORENA J.: Effects of nozzle geometry on direct injection diesel engine combustion process. Applied Thermal Engineering 29 (2009) 2051–2060, 2009.
- [13] BENAJES J, MOLINA S, GONZÁLEZ C, DONDE R.: The role of nozzle convergence in diesel combustion. Fuel 87 (2008) 1849–1858, 2008.
- [14] MACIAN V., BERMÚDEZ V., PAYRI R., GIMENO J.: New technique for determination of internal geometry of a Diesel nozzle with the use of silicone methodology. Experimental Techniques, Volume 27, Issue 2, 39–43, March 2003.
- [15] VASS S., NÉMETH H.: CFD modelling of a Common Rail injector nozzle, flow and spray characteristics, validation using high speed CCD camera. VSDIA 2014, 2014.
- [16] SALVADOR F. J., MARTÍNEZ-LÓPEZ J., ROMERO J.-V., ROSELLÓ M.-D.: Computational study of the cavitation phenomenon and its interaction with the turbulence developed in diesel injector nozzles by Large Eddy Simulation (LES). Mathematical and Computer Modelling 57 (2013) 1656-1662, 2013.
- [17] SALVADOR F.J., MARTÍNEZ-LÓPEZ J., CABALLER M., DE ALFONSO C.: Study of the influence of the needle lift on the internal flow and cavitation phenomenon in diesel injector nozzles by CFD using RANS methods

# A GÉPTERVEZÉS SORÁN HASZNÁLT MÉRETEK ÚJ LEHETŐSÉGEI

## NEW OPPORTUNITIES OF DIMENSIONS IN MACHINE DESIGN PROCESS

Dr. Ficzere Péter\*

### ABSTRACT

*With the appearance of 3D sizes a possibility appeared to accelerate and simplify the process of product design. The sizes have a role not only in reconstructing the part but in creating its geometry as well. The further advantage of them is that more concrete values can be given for a size so at creating product series there is no need to save separately all versions. Sizes can be given even as a logical function so in case of modification one single size the further sizes will change automatically.*

### 1. BEVEZETÉS

A géptervezés során az alakadáskor a modellt méretekkel látjuk el. Korábban a méretek csak a vetületek elkészülte után kerültek a rajzra. Manapság viszont a méreteknek a szerepe megnőtt [1]. Ezáltal a géptervezés menete is sok esetben más gondolkodásmódot igényel. A méretek több területen is fel tudjuk használni, méretsorozatoknál, alakoptimalásnál stb. [2], [3]. Ezen új lehetőségek alkalmazásával a tervezés menetét lényegesen felgyorsíthatjuk, megkönnyíthetjük.

További jelentős mértékben növelhető egy cég rugalmassága és hatékonysága, ha a papíralapú rajzdokumentációról áttérnek a digitális adattárolásra. Ez a lépés a környezetvédelem és a költséghatékonyság szempontjából is hasznos lehet [4].

### 2. MÉRETARÁNY

#### 2.1. Méretarány 2D-ben

Egy adott alkatrész geometriai meghatározásához pontos méretekre, egyértelmű mérethálózatra van szükségünk. A méretmegadás korábban csak a kigondolt méretek leírására szolgált, ami egységes jelölésrendszerrel valósítható meg. A 2D-s ábrázolásmód esetén a vetületek méreteit adjuk meg úgy, hogy méretvonalat csak valódi nagyságban látszó objektumra (vonal, hossz, vagy átmérő) adunk meg. Az ábrázoláshoz használt lapok mérete véges, valamint a

rajzeszközökkel elérhető felbontás is korlátozott. Ezért a nagy darabok esetén kicsinyíteni, míg az apró alkatrészeknél nagyítani kell, hogy a rajzokon minden megfelelően és egyértelműen látszódjék. A kicsinyítés-nagyítás mértékét a méretarány adja meg. A méretarány a tárgy műszaki rajzon megjelenített teljes méretének és a valós tárgy ugyanazon méretének arányát fejezi ki. Megválasztása minden esetben mérlegelés tárgya; cél az adott tárgy kellő pontossággal és részletgazdagsággal való ábrázolása annak érdekében, hogy a rajzot olvasó szakember könnyen tudja azt értelmezni és kezelni. Abban az esetben, amikor a tárgy, ill. a rajzlap (vagy egyéb papír, hordozó) mérete lehetővé teszi, valóságghű, azaz 1:1-es méretarányt alkalmazunk. Amikor ez nem lehetséges, olyan mértékű nagyítást vagy kicsinyítést alkalmazunk, hogy a tárgy minden méretét egyértelműen és áttekinthetően fel lehessen tüntetni. Olyan esetekben, amikor a tárgy egy kisebb részlete megkívánja, készíthető róla külön kiemelt részletraajz is, a főrajztól eltérő méretarányban. Ilyenkor ennek méretarányát a részletraajz felett külön meg kell adni, míg a főrajz méretarányát mindig a feliratmezőben adjuk meg.

Az alkalmazható / javasolt méretarányokat szabvány rögzíti (MSZ ISO 5455), melyek a következők:

- Valóságghű: 1:1
- Kicsinyítés: 1:2, 1:5, 1:10, 1:20, 1:50, 1:100, 1:200, 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000
- Nagyítás: 2:1, 5:1, 10:1, 20:1, 50:1.

#### 2.2. Méretarány 3D-ben, skálázhatóság

A térfogat-modellező szoftverek térnyerésével a méretezési alapelvek is jelentős mértékben változtak. Míg a 2D-s rajzolás során csak ábrázoláshoz használtuk a méretek, a *solid* modellek esetében szerepük jelentős mértékben nőtt. Ez annak is köszönhető, hogy ezek a 3D CAD modellek az alapjai a gyártásnak, a különféle szimulációknak, stb.[5].

A testmodellek esetében egyik nagy előny a skálázhatóság. Ez azt jelenti, hogy a mai szoftverekkel könnyen megtehetjük, hogy egy adott mértékben kicsinyítjük, nagyítjuk a teljes geometriát, így az arányok megmaradnak.

\* egyetemi adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék

### 2.2.1. Skálázhatóság gyárthatósági szempontok miatt

Ennek jelentős szerepe lehet, amikor pl. egy prototípust akarunk készíteni, amivel az arányokat jobban tudjuk érzékelteni. Ehhez ma már nem kell drága szerszámokat tervezni, az additív gyártástechnológiák valamelyikével egyszerűen, gyorsan és költségkímélő módon le tudjuk gyártani a tervezett darabot. Sok esetben itt nincs szükség 1:1-es méretarányra, ezért kicsinyíthetünk-nagyíthatunk az arányok jobb érzékeltesének érdekében. Fontos szempont ilyen esetekben, hogy a tervezett modell a gép munkaterében elférjen. Ennek megfelelően ezt az átskálázást pl. a 3D nyomtató szoftverével is meg tudjuk tenni.

### 2.2.2. Szimulációs szempontok szerinti skálázás

Gyakran használjuk az átskálázást szimulációk esetében is. Pl. egy szerkezet működési analízise során az összes alkatrészt arányosan kicsinyítve ütközés és szerelhetőségi vizsgálatokat is végezhetünk. Fontos szempont továbbá, hogy valamilyen arányú kicsinyített modellen valós, szélcsatornában végzett áramlástanai vizsgálatokat végezhetünk a CFD szoftverek eredményének validálása céljából.

### 2.2.3. Skeleton modellek estén történő skálázás

A skálázhatóságnak egyre jelentősebb szerepe van az egyedi implantátumok tervezésében is, mikor pl. csigolya *skeleton* (váz) modelljét használva a méreteket arányosan növelve szinte tetszőleges méretű csigolya implantátum gyártható [6].

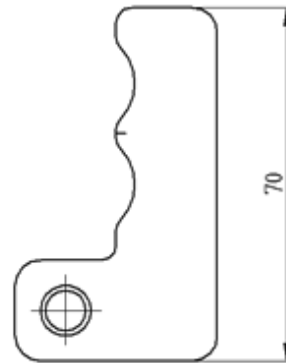
## 3. MÉRETEK

A méretekkel kapcsolatos új lehetőségeket az 1. ábrán látható feszítőkar segítségével fogjuk bemutatni.



1. ábra A vizsgált alkatrész

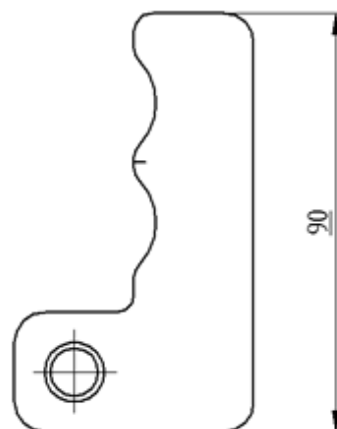
Ennek a feszítőkarnak a magassága, szára alapértelmezetten 70 mm, valamint a száron két ujjnak megfelelő ergonómiai kialakítás látható (2. ábra).



2. ábra Feszítőkar alapértelmezett kialakítása

### 3.1. 2D rajzok méretváltásai

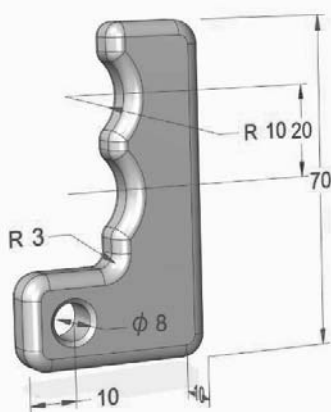
Gyakori eset a géptervezési gyakorlatban, hogy egy alkatrész több méretválasztékban is készül. Ilyen esetekben csak néhány méret változik, a többi marad az eredeti értéken (beépíthetőség, moduláris rendszerek). Ilyenkor - hagyományosan a 2D rajzdokumentációk esetén - nagy munka lenne a teljes rajzot mérethálójával együtt újra elkészíteni. Ezért a rajzi szabványok megengedik, hogy a rendezett vetületek, metszetek módosítása nélkül csak jelöljük a módosításokat. Ilyen módosított méretre mutat példát a 3. ábra. Ebben az esetben a 70 mm-es szárhosszt 90 mm-re növeltük. Ennek a módosításnak a szabványos jelölésmódja pedig, hogy az eredeti ábrára az új méretet írjuk, de aláhúzzuk, hogy egyértelmű legyen, az nem valós méret. Egyszerűsége mellett nagy hátránya ennek a módszernek, hogy így az ábra aránytalan és részben méret-helytelen lesz.



3. ábra Feszítőkar szárának módosított mérete

### 3.2. 3D modellezés során használt méretek

Amikor egy alkatrészt megtervezünk egy CAD rendszerben, akkor a modell tartalmazni fogja az összes, gyártáshoz szükséges információt. Ezeket további egyéni jellemzőkkel egészíthetjük ki, amelyek nem feltétlenül a topológiához tartoznak, hanem a beazonosítást, a megkülönböztetést segítik. A modern CAD szoftverekben az utóbbi években már lehetőség van egy termék gyártási információinak a modellre történő felhelyezésére is (PMI, Product Manufacturing Information). Ezek adott esetben a vázlatkészítés során megadott méretekből egyszerűen átvehetők. Szinkrontechnológia alkalmazása esetén a geometria létrehozásakor megadott méretek a 4. ábrán látható módon, automatikusan PMI méretekként jönnek létre.



4. ábra PMI adatok a 3D CAD modellen

Annak ellenére, hogy ezáltal a 3D CAD modell a PMI adatokkal kiegészítve minden információt tartalmaz a legtöbb esetben 2D-s rajz dokumentáció készítése is elvárás. Ennek elkészítése is egyszerűsödött, hiszen a PMI méretek felhasználásával a hagyományos műhelyrajz készítés ideje is lerövidül.

Amennyiben a gyártás során is szeretnénk kiküszöbölni a felesleges papírhasználatot, akkor biztosítani kell, hogy minden információ elérhető legyen ott is, ahol nincs a CAD szoftver a számítógépekre telepítve. Ezt ma már 3D PDF formátum segítségével megtehetjük. Ilyen formátumba a PMI adatokat is menthetjük, ezzel biztosítva, hogy minden az adott helyen szükséges adathoz hozzá lehessen férni, úgy, hogy az eredeti modell nem sérül, azon véletlenszerű módosítás nem történik. Ez a megoldás megfelelő lehet a tervezési fázisban zsúrizásra és korrektúrázásra is, mert a 3D-s PDF-be visszamenthetőek a módosítási javaslatok [4].

A 3D CAD modellek esetében a méretek szerepe sok esetben lényegesen nagyobb, mint a megfelelő alakleíráshoz szükséges információ tartalom. Itt már a modell végleges kialakításában is jelentős szerephez

jutnak a méretek. Ezeken a modelleken alkalmazott méretek szolgálnak pl. egy alakoptimalás kiindulási pontjának, stb..

#### 3.2.1. Rögzített méretek

A testmodellek létrehozása során már az első lépésnél is méretek adunk meg. Itt többféle megadási lehetőség közül választhatunk. Lehetőség van adott esetben a méretek rögzítetté tételére. Ez azt jelenti, hogy más méret változása a rögzített méretet nem változtathatja meg. A méretek ilyen jellegű rögzítése olyan esetekben hasznosak, ha vannak konstrukciós szempontból fontos, számított méretek, amiktől nem térhetünk el. Így ez a méret függetlenül a többi mérettől fix marad.

#### 3.2.2. Változó méretek

Terméksorozatok esetén gyakori, hogy csak bizonyos méretek módosulnak (pl. csavarszár hossza). Ilyen esetekre ma már létezik olyan megoldás, hogy nem kell az összes verziót modellezni és menteni. Elég csak az adott méretet változóként kezelni, ahol konkrét értékeket adhatunk meg, amit az adott változó pl. szárhossz felvehet. Itt a teljes méretválasztékot definiálhatjuk. Amikor valamelyikre szükségünk van elég csak váltani és a geometria rögtön módosul a kiválasztott méretnek megfelelően (5. ábra).



5. ábra Feszítőkar különböző szárhosszakkal

#### 3.2.3. Méretek megadása logikai függvényekkel

A legújabb modellező szoftverekben további rendkívül kifinomult lehetőségek állnak rendelkezésre. Terméksorozatok esetén gyakran fordul elő olyan eset, amikor a méretek döntő része nem módosul, csak néhány méret változik. A méretválaszték lehetőségéről már említést tettünk. Léteznek azonban olyan esetek is, amikor egy méret változása, további méretek, paraméterek megváltozását vonja maga után. Ilyen esetre mutat példát az alábbi, 6. ábrán látható feszítőkar esete is. Itt alapesetben a feszítőkar magassági mérete  $H=70$  mm. Ebben az esetben ergonomiai szempontból

két ujjnak van hely, így annak megfelelően két ujjnak való hely lett kialakítva, ahogy az a 2. ábrán is látható. Nagyobb erőszükséglet esetén a korábbiakban ismertetett módon választhatunk nagyobb erőkart is (5. ábra). Ebben az esetben viszont jól látható módon a szár hossznövekedésének ( $H=90$  mm) következtében egy harmadik ujj helyének kialakítására is nyílik lehetőség. Tovább növelve a szárhosszt,  $H=110$  mm esetén akár 4 ujj helyének is megfelelő ergonómiai kialakítás is megvalósítható. Amennyiben a modellezés során az ujjhelyeket mintakészítés paranccsal készítettük, úgy van rá lehetőség, hogy a minta darabszámát a hossz függvényében adjuk meg. Ezt feltételes méretmegadásnak nevezzük. Ilyenkor valamilyen logikai függvénnyel definiálhatjuk pl. a darabszám és a hossz kapcsolatát. Egy ilyen esetet láthatunk a következőkben. Alapesetben tehát  $H=70$  mm a szárhossz, amihez két ujjnak való kivágás készült. Ha  $H=90$  mm, akkor a kivágások száma legyen három, míg  $H=110$  mm esetén a kivágások száma legyen 4. Ezt egyszerűen függvényként megadhatjuk a változótáblában. Ezután, amikor változtatjuk (kiválasztjuk valamelyik másik konkrét értéket) a szárhosszt, akkor automatikusan a megadott feltételeknek megfelelően változik a minta (kivágások) darabszáma is (6. ábra).

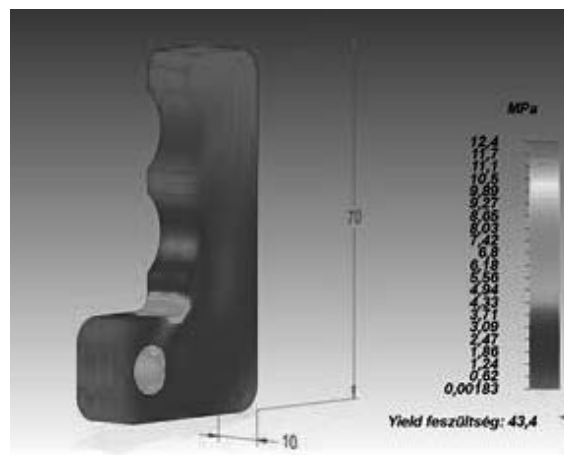


6. ábra Szárhossz függvényében változik a kivágások száma

#### 3.2.4. Méretek felhasználása alakoptimaláshoz

A 3D modellezés során használt méretek egy további lehetősége, hogy azokat fel tudjuk használni valamely geometria alakoptimalása során. Ezt ma már célszerű elvégezni, hiszen ennek segítségével jelentős mennyiségű anyagot és adott esetben tömeget tudunk csökkenteni. [7], [8] A tömegcsökkentés járművek esetén jelentős szereppel bír, hiszen ennek köszönhetően javulnak a járműdinamikai paraméterek [9], csökken a fogyasztás, aminek következtében pedig csökken a károsanyagkibocsátás is [10], [11]. Az alakoptimalást használhatjuk ezen túl orvosi implantátumok esetében is, amikor is a cél egy ismert terhelésre adott deformáció

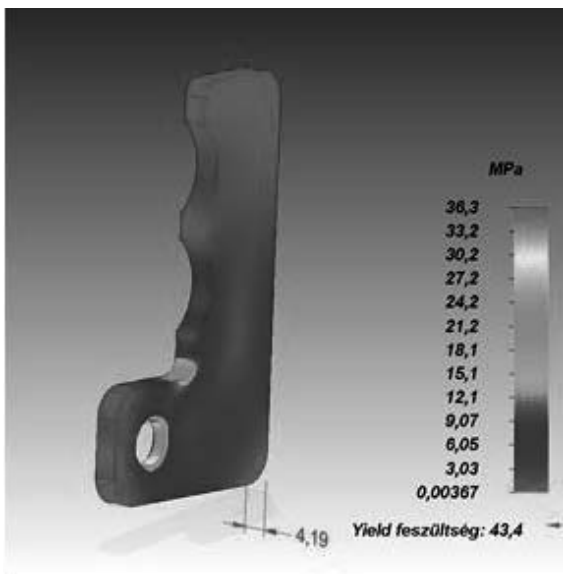
elérése úgy, hogy közben az alakot engedem változtatni ismert anyagi jellemzők mellett. Az eddig vizsgált alkatrészen (1. ábra) definiálva a várható igénybevétel és a beépítési környezet alapján adódó kényszereket megvizsgáltuk, hogy a feszítőkar elviseli-e majd a rá ható terheléseket. ABS műanyagot feltételezve alapanyagként (folyáshatára 43.4 Mpa) meghatároztuk az alkatrész eredeti tömegét (168,5 g). Ehhez egy végeselemes analízist kellett végeznünk, aminek eredménye látható a 7. ábrán.



7. ábra Numerikus szimuláció eredménye

A 7. ábrán is jól látható módon a maximális feszültség értéke az adott terhelés hatására 12,4 Mpa, ami lényegesen kisebb, mint az anyag folyáshatára. Konstrukciós és ergonómiai szempontból is vannak olyan részei az alkatrészeknek, melyek méretein nem változtathatunk. Viszont bizonyos méretek, pl. a vastagsági méret változtatható bizonyos határok között. Ennek megfelelően az eredeti alkatrészen 10 mm-es vastagságot adtuk meg tervezési változóként. Tervezési határként a maximális egyenértékű feszültséget (von Mises) kicsivel a folyáshatár alatt, 40 Mpa értékben definiáltuk. Tervezési célként pedig a tömeg csökkentését adtuk meg. Ilyen esetben az általunk választott méretet (kiinduló érték: 10 mm) iteratív lépésekkel addig változtatjuk, amíg a tervezési határokat át nem lépve elérjük a tervezési célt. Természetesen mind konstrukció, mind pedig gyártástechnológiai szempontból nem lehet adott vastagságnál kisebb értéket megengedni. Jelen esetben ezt az alsó határértéket 3 mm-ben állapítottuk meg. Ezen feltételek mellett elvégezve az optimalizálást a 8. ábrán látható eredményre jutottunk. Az ábráról leolvasható, hogy az eredeti 10 mm-es vastagsági értéket 4.19 mm-re sikerült lecsökkenteni. A méretváltoztatás következtében a maximális feszültség értéke ugyan megnőtt, de még így is az előírt határérték alatt maradt. A méretcsökkentésből adódó tömegcsökkentés mértéke több, mint 58%.

A 7. és 8. ábra színesben a borítón látható.



8. ábra Alakoptimalás utáni feszültségállapot

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredményeket összefoglalva megállapítható, hogy a 3D modellek megjelenésével jelentős mértékben változtak a műszaki dokumentáció bizonyos területei.

Míg a 2D rajzok esetében a méretarányok kizárólag ábrázolás-technikai szerepe volt, addig a 3D modellek megjelenésével már lehetőség van pl. a prototípusok eltérő méretarányban történő gyártására, így jelentős költségmegtakarítás elérésére.

A mérőhálózatok szerepe is jelentős mértékben megváltozott, azon belül a méretek is kiemelt szerephez jutottak. Korábban csak az elkészült rajzdokumentáció méretezéséhez használtuk a méretszámokat. A 3D méretek viszont már a geometria kialakításában is szerepet vállalnak. A méreteket változóként is megadhatjuk, így termék sorozatokat egyszerűbben és gyorsabban tervezhetünk. További fontos lehetőség, hogy a méretekhez logikai függvényeket is rendelhetünk, így egy komolyabb átalakítást akár egy méret átírásával (méretválasztékból történő kiválasztásával) is elvégezhetünk. Ez azt jelenti, hogy egy méret módosításával a logikai függvények szerint egy sor másik méret automatikusan módosulni fog. Ennek pl. orvosi implantátumok fejlesztésénél, csontok modellezésénél is jelentős szerepe lehet, hiszen a csontok általában nem írhatók le testprimitívek, egzakt geometriai felületek segítségével. További előnye a 3D méreteknek, hogy azokat felhasználhatjuk egy numerikus szimulációkon alapuló optimalizáláshoz is.

Megállapítható további előnyként a digitális, papírnélküli adatkezelés, a rugalmasság növekedése, ebből adódóan módosítások esetén a gyorsabb reakció, a környezetvédelem, a biztonságosabb adatvédelem, valamint a költségcsökkenés [4].

#### 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] Györi M, Ficzer P; Increasing Role of Sections Caused by 3D Modelling, PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 44:(3) pp. 164-171. (2016)
- [2] Ficzer P, Török Á; Gépjárműalkatrészek biztonságkritikus optimalása, A JÖVŐ JÁRMŰVE: 8:(3-4) pp. 66-70. (2013)
- [3] Györi M, Ficzer P; Use of Sections in the Engineering Practice, PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 45:(1) pp. 21-24. (2017)
- [4] Szűcs I., Huszár A., Solid Edge: papír nélküli adatkezelés; Információmegosztás digitálisan, PLM Hírmondó 2017/1 (2017),
- [5] Ficzer P, Györi M; A mérőhálózatok átalakulása a 3D CAD modellek megjelenésével, GÉP LXVII:(4) pp. 5-8. (2016)
- [6] Piros A, Schronk E, Szenczi G; Nyaki porckorongpótló protézis családtervezése skeleton modellezés segítségével, GÉP 67:(7-8) pp. 55-60. (2016)
- [7] Erdősné Sélly Cs., Körtélyesi G.; Machine Design Methodology with Topology and Shape Optimization, IESB 2011 - International Engineering Symposium, 2011. Paper Machine Design. 18 p. (ISBN:978-615-5018-15-2)
- [8] Erdősné Sélly Cs; Using the topology optimization tool in the optimal machine design, Proceedings of the Seventh Conference on Mechanical Engineering. 926 p. (ISBN:978-963-313-007-0)
- [9] Székely P, Ficzer P; The Examination of Dynamic Effects of Shape Optimized Vehicle Components PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 45:(2) pp. 90-93. (2017)
- [10] Török Á.; COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN THE THEORIES OF ROAD TRANSPORT SAFETY AND EMISSION, TRANSPORT (VILNIUS) 32:(2) pp. 192-197. (2017)
- [11] Török Á., M. Maghrou Zefreh, THEORETICAL ESTIMATION OF TRAFFIC SPEED FROM FUEL CONSUMPTION DATA: A CASE STUDY FOR ISFAHAN, IRAN, TRANSPORTATION and COMMUNICATION. 232 p. Riga: Transport and Telecommunication Institute, 2015. pp. 53-57. (ISBN:978-9984-818-79-5)

# JEGYZET

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....





# CONTENTS

1. Borbás L.; Ficzere P.:

**QUESTIONS OF ADDITIVE PRODUCTION TECHNOLOGIES (RESIDUAL STRESSES OF 3D PRINTED POLYMERS) ..... 5**

*However many characteristics of printed polymers are well known, only little information is available about their residual stresses, which can significantly influence the behaviour of printed products. This paper deals with the experimental investigation of residual stresses in polymers made by FDM technology.*

2. Körtélyesi G.; Erdősné Sélley Cs.:

**EDUCATION OF VIRTUAL PRODUCT DESIGN ..... 11**

*Educational activity of the Virtual Design Laboratory at the Department of Machine and Product Design of Budapest University of Technology and Economics is introduced. The education unit supports almost all of the stage of the modern engineering design process from the optical 3D scanning to the 3D printing.*

3. Takács J.; Bán K.:

**ADAPTIVE MANUFACTURING OF CUSTOMIZED HUMAN IMPLANTS AND MEDICAL DEVICES ..... 16**

*Spread of the rapid prototyping takes an effect on the change in engineering profession culture. Besides many industrial sectors development in health care industry is considerable, because application the data sets of modern imaging technologies individual human implants and medical devices can be tailored according to the request.*

4. Vass S.; Németh H.:

**THE EFFECT OF NOZZLE GEOMETRY ON FLUID FLOW, COMPARISON USING NUMERIC SIMULATIONS ..... 23**

*This paper shows a computational 3D CFD study carried out in order to investigate the influence of three different nozzle geometries on the injector internal flow properties and the external jet shape. Analysing and comparing the performance of the geometric variants the third nozzle shows the best results.*

5. Ficzere P.:

**NEW OPPORTUNITIES OF DIMENSIONS IN MACHINE DESIGN PROCESS ..... 34**

*In the last few years the role of sizes considerably changed in the product design practice. Dimensions can be given as a logical function, which makes the design of product series possible. The 3D sizes can also be applied for optimisation based on numerical simulations.*

# GÉP

## INFORMATIVE JOURNAL

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

Dr. Döbröczöni Ádám

**President of Editorial Board**

Vesza József

**General Editor**

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**Deputy**

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercesy Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

**DEAR READER,**

Taking this issue your hands on the occasion of MACH-TECH exhibition you can get information about some important points of interest of the exhibition, as well as you gain access to some topics of the conference on mechanical engineering, presenting new areas of mechanical engineering such as CAD-CAM design, 3D printing, which open new windows from the traditional methods and fields to present-day challenges.

Industrial muster MACH-TECH of 2017 received visitors on larger area as usual with full house exhibiting almost all sectors of industry. The main goal was that exhibitors and visitors get information about the trends of their profession and participants can utilize the synergy among industrial sectors when they plan the future development.

It is specially pleasure that more number of teams entered for the competition of GTE-Autopro Techtgether as usual, that called the attention of younger age-group with a new approach towards interest in the exhibition.

This year stress topic of the exhibition was the INDUSTRY 4.0, key technological direction of present days. In their subjects over the shown novelties of exhibitors professional conference helped the knowledge homogenisation, the modernisation, developments started in the main directions and the results achieved in enterprises.

This year HUNGEXPO also announced the competition for great prizes, for which more high standard applications were put in. Competitor enterprises can offer products, services, procedures and technologies having innovation content in their professional fields.

The put in documents were judged by a jury of experts.

Prizes for winners of different categories were given on the exhibition.

On this occasion we congratulate the winners!

*Prof. János Takács*  
*President of GTE (SSME)*

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, 1027 Budapest, Fő 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

