

# 3D NYOMTATÁS A JÁRMŰIPARBAN

**Dr. Tisza Miklós<sup>1a</sup>, Dr. Kovács Péter Zoltán<sup>2a</sup>, Tóth Dénes<sup>3a</sup>**

<sup>1</sup> egyetemi tanár, intézeti tanszékvezető

<sup>2</sup> Egyetemi adjunktus

<sup>3</sup>MSc Gépészmérnök hallgató, tanszéki demonstrátor,

<sup>a</sup>Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

## ABSZTRAKT

Kutatásunk témáját az ömledék-felrakó eljárás, illetve az ilyen módon készített próbatestek vizsgálata adta. Polilaktid (PLA) próbatesteket készítettünk különböző nyomtatási paraméterekkel, majd ezeket a próbatesteket szakítóvizsgálatnak vetettük alá. A kapott adatokat egy gyakorlati példán, egy veteránautó alkatrészén elemeztük.

## I. BEVEZETÉS

Az FDM (Fused Deposition Modelling) eljárással, nagy szabadsággal, adhatunk egyszerűen alakot terveinknek. Az eljárás nagy előnye, hogy különleges és drága szerszámok nélkül, egy kompakt méretű berendezéssel készíthetjük el modelljeinket.

Ahhoz, hogy a várt eredményt kapjuk, ismernünk kell a nyomtatás, és így a végtermék minőségét is befolyásoló paramétereket. Kutatásunk során azt vizsgáltuk, hogy egy adott anyagminőségű filament (a nyomtatás során használt műanyag huzal) feldolgozása során felmerülő beállítási lehetőségek milyen kombinációjával tudjuk a szakítóvizsgálat szempontjából legkedvezőbb eredményt elérni. A vizsgált FDM eljárással egy ritka és nehezen beszerezhető alkatrészt is elkészítettünk egy veteránautóhoz, ezzel is alátámasztva az eljárás létjogosultságát.

AZ előadásban bemutatjuk röviden áttekintjük a rapid prototyping technológiákat, kiemelten a vizsgált FDM eljárást, majd a vizsgált PLA anyagminőségű polimer tulajdonságait, valamint magukat a vizsgálati paramétereket és eredményeket.

## II. ÖMLEDÉKFELRAKÓ ELJÁRÁS (FDM)

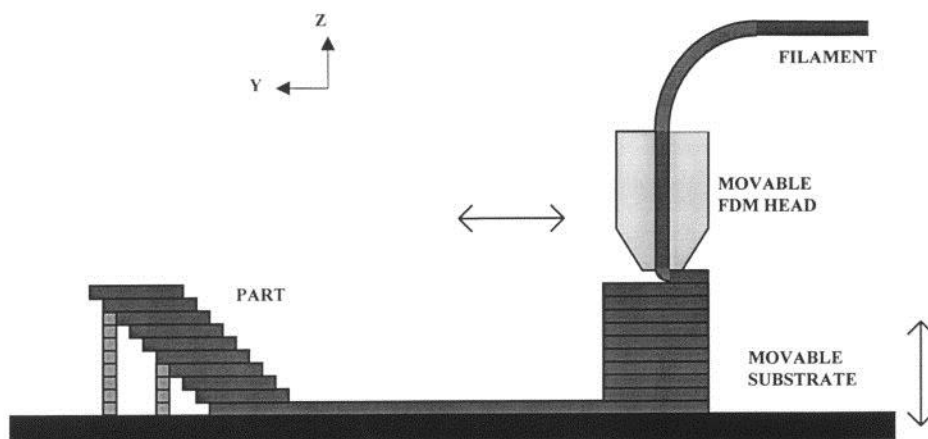
Kutatásunk témáját meghatározó eljárás az FDM. Az 1. ábrán látható, ahogy a mozgatható fej egy kisméretű ( $d=0.4$  mm) extrúder, amelybe az alapanyag műanyag szálát egy szilikonszöveten keresztül egy bordástengely továbbítja. Az alapanyag olvadáspontját minimálisan meghaladó hőmérsékletre hevíti a fej, így a rendkívül vékony rétegvastagságnak köszönhetően akár 0.1s alatt megszilárdul az anyag a munkaszalton, vagy a korábbi felrakott rétegeken.

Miután a fej elvégezte egy réteg „nyomtatását”, a következő réteget az asztal, vagy berendezéstől függően a nyomtatófej Z irányban való elmozdításával tudja folytatni.

Előnyei között megemlítendő, hogy jelenleg ár-érték arányban kiemelkedő a többi eljáráshoz képest. A berendezések ára 100.000 Ft-os nagyságrendtől indul, így igen széles körben terjed. A kompakt méretű asztali berendezések is 200\*200\*150 mm munkatérfoggal rendelkeznek. A rétegvastagság akár 20 µm is lehet, míg a nyomtatási sebesség elérheti a 400 mm/s-t.

Ezzel az eljárással jellemzően alacsony olvadáspontú polimereket használnak: az akrilnitril-butadién-sztirol és polilaktid különböző változatait. Kaphatók orvosi célra kialakított (medical abs (MABS)), valamint fluoreszkáló, elasztikus PLA, illetve különböző fémporral elegyített alapanyagok is.

Az FDM eljárás az egyik legolcsóbb és legpraktikusabb rapid prototyping technológia, amellyel használható késztermék készíthető. Töretlen népszerűségét is e tulajdonságainak köszönheti, hiszen ma már nem csak prototípust várnak a felhasználók a berendezéseiktől. Ahogyan a többi eljárás esetén is igaz, ezek a gépek olyan univerzális eszközei a mindennapoknak, amik kis darabszámú, egyedi darabok gyártását úgy teszik lehetővé, hogy azok elkészítéséhez nincsen szükség költséges szerszámok elkészítésére. [1]

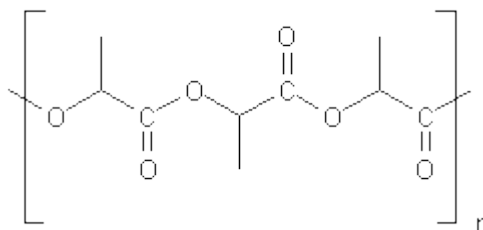


1. ábra

Az FDM eljárás elvi vázlata [1]

### III. A VIZSGÁLT POLIMER, A POLILAKTID (PLA)

A polilaktid egy biológiailag lebomló, hőre lágyuló poliészter, amelyet megújuló forrásokból készítenek (pl.: kukoricakeményítő, cukornád, vagy a tápióka gyökeréből). Két fő monomerje van: a tejsav, valamint a ciklusos diészter, a laktid.



2. ábra

A vizsgált polimer, a polilaktid szerkezeti képlete [2]

Olvadáspontja 150-160 °C, nyomtatási hőmérséklete 190-260°C-ra választható. Számos változata között megtaláljuk a rugalmas (PLA FLEX), víztiszta, félig fényáteresztő kopolimerjeit is.

A PLA extrudálással, fröccsöntéssel, kalanderezéssel, öntéssel is feldolgozható. Testbarát felhasználhatósága miatt alkalmazzák felszívódó orvosi implantátumok, csavarok, készítésére is. Ezt az anyagot a szervezet – mérettől függően – 0.5-2 év közötti intervallumban tud lebontani. Előnye, hogy fokozatosan bomlik le, így fokozatosan adja át a terhelést a gyógyuló szövetnek (pl.: csont). Használják csomagolóanyagként, eldobható műanyag tárgyak elkészítéséhez. Újrahasznosítható, monomerjeire termikus depolimerizációval, vagy hidrolízissel bontható le. [2][3]

#### IV. SZAKÍTÓVIZSGÁLAT

A szakítóvizsgálatot az Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet Anyagvizsgáló Laboratóriumában található MTS vizsgálóberendezéssel végeztük el. A különböző technológiai paraméterekkel elkészített próbatesteken (ISO 3167 1A) előkészítés és a méretek ellenőrzése után végeztük el a vizsgálatokat. A vizsgálatokat  $v = 0.5$  mm/s keresztfej sebességgel végeztük. A mérési eredményeket a készülék rögzítette, a továbbiakban ezeket diagram formájában, a számított értékeket táblázatosan ismertetjük. A táblázatban szereplő jelek magyarázata:

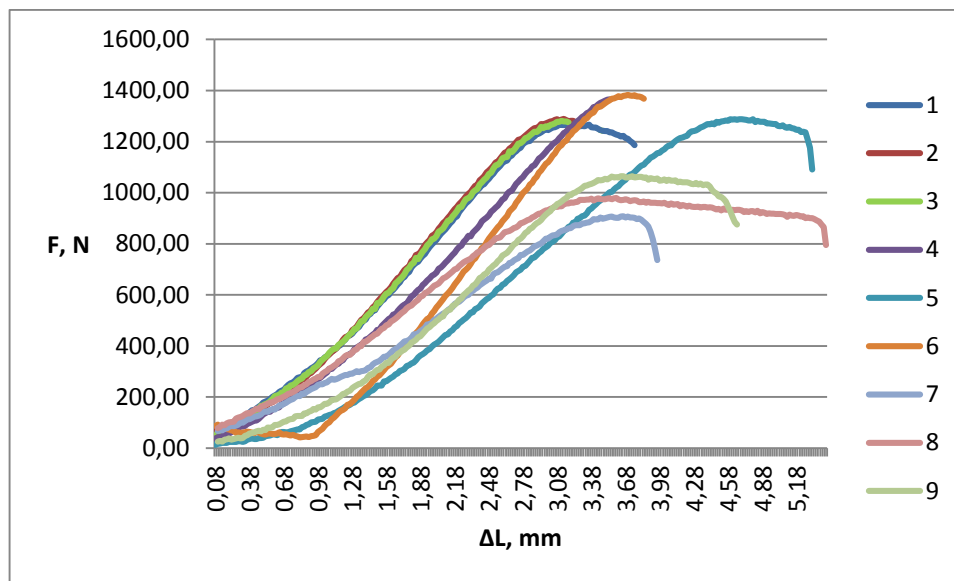
1.  $F_M$ : legnagyobb erő [N]
2.  $\sigma_M$ : húzószilárdság [MPa], a maximális erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa
3.  $L_0$ : a próbatest vonatkoztatási hossza [mm], az 1A próbatest esetén ez 50mm
4.  $\Delta L_M$ : nyúlás [mm], a legnagyobb erő fellépéséig bekövetkező nyúlás
5.  $\Delta L_B$ : nyúlás [mm], a törésig bekövetkezett nyúlás
6.  $\varepsilon_M$ : nyúlás a legnagyobb erőnél [%]:  $\varepsilon_M = \frac{\Delta L_M}{L_0} * 100$
7.  $\varepsilon_B$ : nyúlás törésnél [%]:  $\varepsilon_B = \frac{\Delta L_B}{L_0} * 100$ .

#### V. AZ EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

A vizsgálatok összehasonlításához az 1-3. próbatesteket használtuk etalonként: itt a vizsgált paraméterek rögzített értékeivel nyomtattuk ki őket. A vizsgált paraméterek, a rögzített értékekkel feltüntetve:

- Rétegvastagság ( $s = 100 \mu\text{m}$ )
- Kitöltöttség (100%)
- Nyomtatási sebesség ( $v = 100 \text{ mm/s}$ )
- Hőmérséklet ( $T_{fej} = 210^\circ\text{C}$ )
- Próbatest felépítési iránya (*fekvő orientáció*)

### ***A nyomtatási sebesség változtatásának hatása***

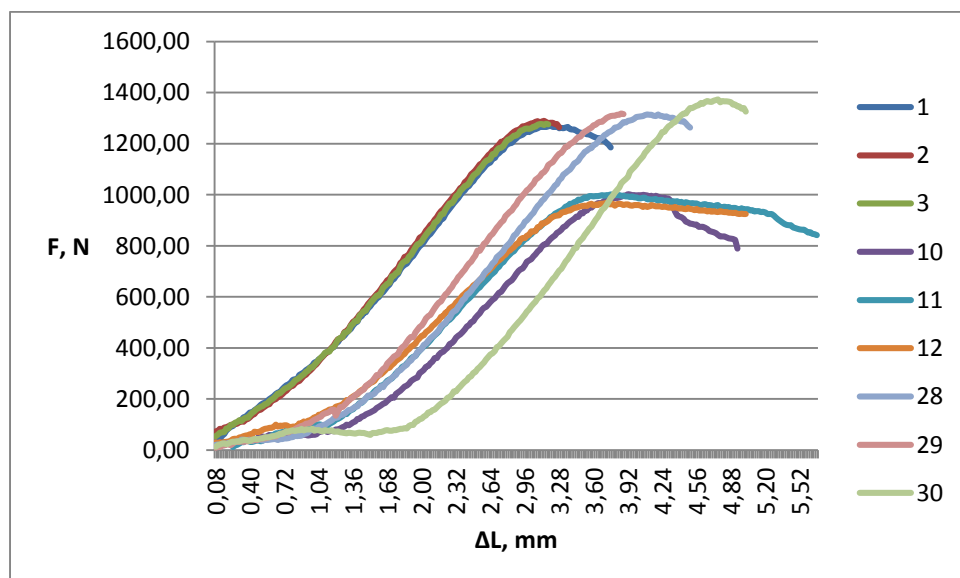


3. ábra

A nyomtatási sebesség változtatásának hatása

Az 1.-3. számú próbatesteket rögzített paraméterekkel készítettük el, a későbbiek folyamán ezek szolgálnak az összehasonlítások alapjaként. A 4.-6. számú próbatesteket csökkentett ( $v=50$  mm/s), míg a 7.-9. jelölésű próbatesteket növelt ( $v=150$  mm/s) nyomtatási sebességgel készítettük el. A vizsgálatok igazolták, hogy a nyomtatás sebessége hatással van az elkészült darab szakítószilárdságára is.

### ***A rétegvastagság változtatásának hatása***



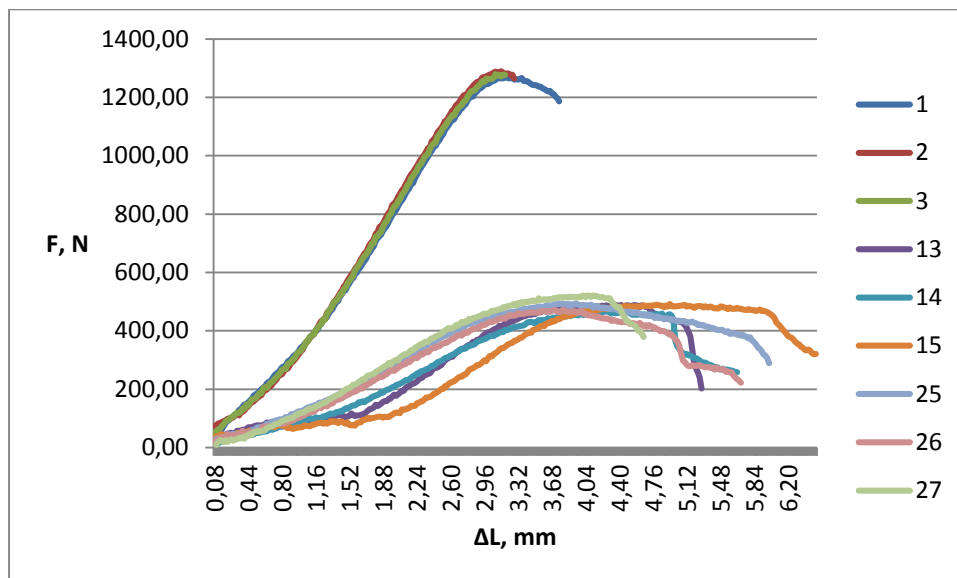
4. ábra

A rétegvastagság változtatásának hatása

A 10.-12. jelű próbatesteket növelt rétegvastagsággal ( $150 \mu\text{m}$ ), a 28.-30. jelű próbatesteket csökkentett rétegvastagsággal ( $50 \mu\text{m}$ ) nyomtattuk. A vizsgálat során

kiderült, hogy a rétegvastagság növelésével csökkenést, a csökkentett rétegvastagságnál kismértékű növekedést fedezhetünk fel a vizsgált paraméterek változásaiban.

### *A belső kitöltöttség változtatásának hatása*

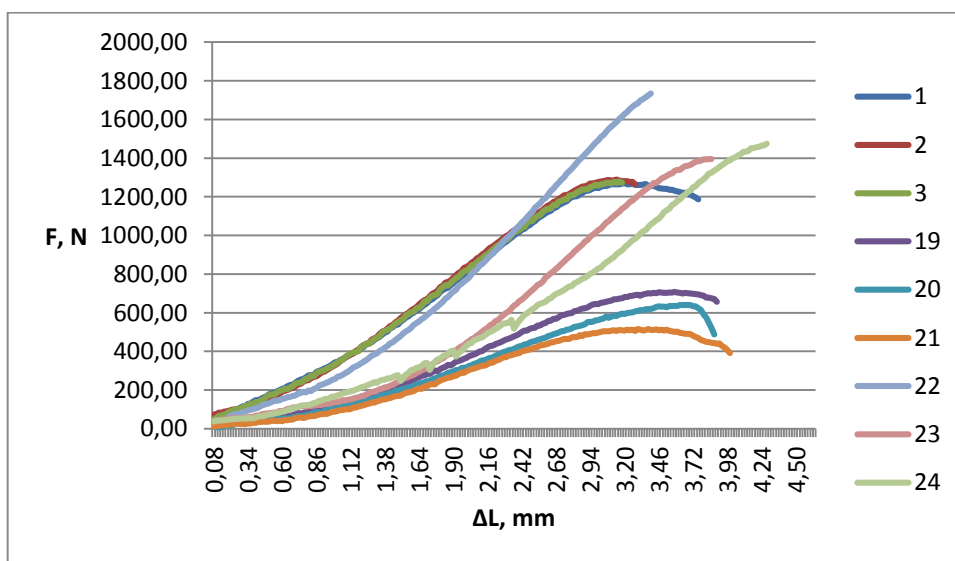


5. ábra

A belső kitöltöttség változtatásának hatása

A Cura segédprogram (amely a nyomtató számára elkészíti a programkódot GCode programnyelven) minden lehetőséget megad a nyomtatási idővel és alapanyaggal való gazdálkodásra. Sok esetben nincs szükség teljes belső kitöltöttségre, a prototípusok jellemzően vizuális szemléltetőeszközök.

### *A nyomtatási hőmérséklet változtatásának hatása*



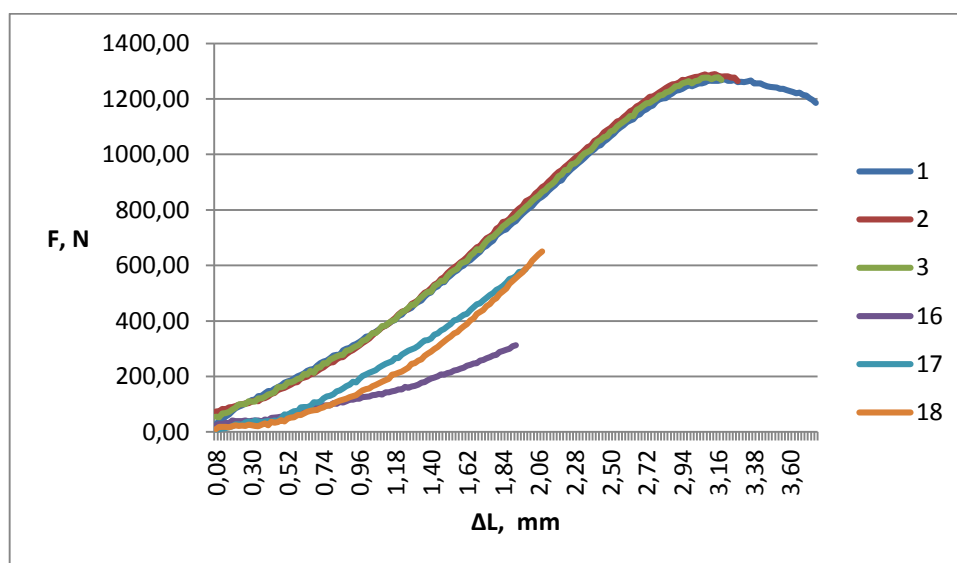
6. ábra

A nyomtatási hőmérséklet változtatásának hatása

A három vizsgált beállítás (13.-15. próbatestek: 50%, 25.-27.: 10%) során egyértelműen látszik, hogy drasztikusan csökkennek a szilárdsági jellemzők.

A vizsgálatok során a jelentős különbségeket sikerült a nyomtatási hőmérséklet megváltoztatásával elérni. A 19.-21. próbatesteket csökkentett ( $T=190^{\circ}\text{C}$ ), a 22.-24. próbatesteket ( $T=230^{\circ}\text{C}$ ) megnövelt hőmérsékleten készítettük el. Vélhetően az erősebb kötések kialakulása miatt, a növelt hőmérsékletű próbatestek több, mint kétszer olyan szakítószilárdságúak, mint a  $190^{\circ}\text{C}$ -on nyomtatottak.

### *A próbatest orientációjának hatása*



7. ábra

A próbatest orientációjának hatása

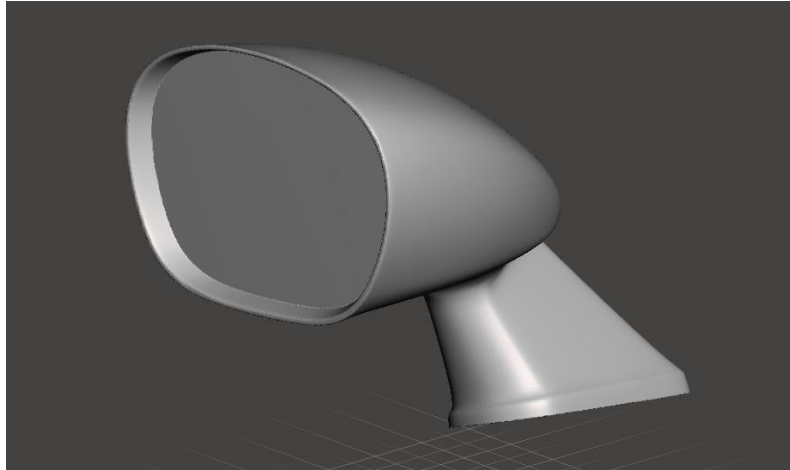
Az orientáció kérdésében a vártaknak megfelelően a fekvő orientáció egyértelműen nagyobb szakítószilárdságot eredményezett, mint az álló (16.-18. próbatestek), ugyanis itt nagyobb felületen kötnek egymáshoz a rétegek, illetve a keskeny, álló orientációból eredő szűk keresztmetszet az ömledék-felrakásos berendezéseknél kihívást jelent alakhelyesség tekintetében: a próbatestek oldalai enyhén bordázottak lettek, amely a próbatestek vizsgálati szakaszában feszültséggyűjtő helyekként is jelentkezhetnek.

## **VI. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZÁSA**

Az járműiparban számos területen alkalmazhatók a gyors prototípusgyártó eljárások. Alkalmazhatók a jármű fejlesztési szakaszában, illetve az utólagos terméktámogatás során, utólagos alkatrészek pótlásakor.

A fejlesztés során felmerülhet az igény olyan egyedi, vagy kis szériában legyártott műanyag alkatrészekre, amelyek esetében költséghatékonyabb ilyen módon előállítani azokat, amelyek már nem csak geometriai ellenőrzésre alkalmasak, hanem akár funkcionáló darabokat is készíthetünk.

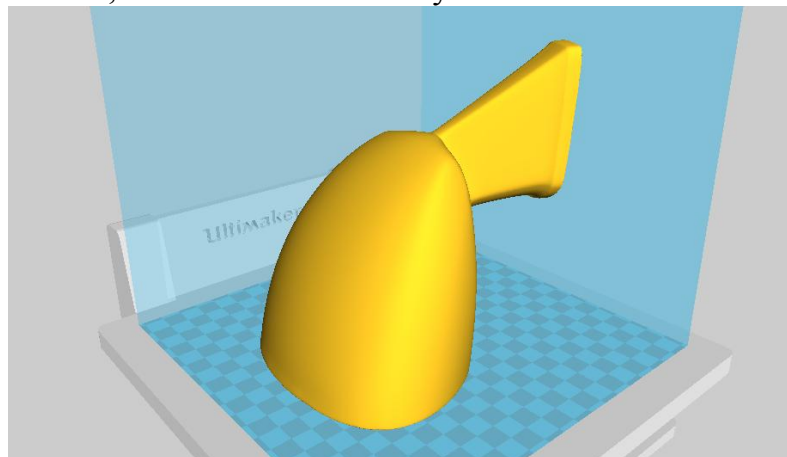
Ugyanezen okból kifolyólag alkalmazható az eljárás ritka, régebbi járművek esetében, ahol az utólagos alkatrészellátás nehezen, vagy egyáltalán nem megoldható.



8. ábra

A NISSAN Skyline visszapillantó tükrének modellje

Ilyen példa az ábrán bemutatott Nissan tükör is: egy 1972-es évjáratú Nissan Skyline bal oldali visszapillantó-tükrét kíséreltük meg reprodukálni. A meglévő jobb oldali tükörből 3D szkennelés segítségével elkészítettünk a modellt, a hálón lévő hibákat kijavítottuk, és előkészítettük 3D nyomtatásra.



9. ábra

A javított modell a Cura-ban

A modellt megfelelően orientáltuk, ugyanis a túlnyúlások csökkentésével javítható a modell minősége (hiszen nem igényel olyan sok alátámasztást), majd a tartósság érdekében alkalmaztuk a korábbi pontokban ismertetett technológiai paramétereket, amelyeket a vizsgálatok során meghatároztunk. A példaként bemutatott modellt, növelt hőmérsékleten, a modell méreteihez igazítva kis rétegvastagsággal, kis nyomtatási sebességgel készítettük el (a nyomtatási idő  $t=18$  h).

1. táblázat. A szakítópróbák eredményeit összesítő táblázat

| Sorsz. | $F_M$ [N] | $\sigma_M$ [MPa] | $\Delta L_M$ [mm] | $\Delta L_B$ [mm] | $\varepsilon_M$ [%] | $\varepsilon_B$ [%] |
|--------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1.     | 1272,06   | 29,202           | 3,2               | 3,76              | 6,4                 | 7,52                |
| 2.     | 1289,29   | 29,983           | 3,14              | 3,28              | 6,28                | 6,56                |
| 3.     | 1280,93   | 29,789           | 3,1               | 3,18              | 6,2                 | 6,36                |
| 4.     | 1365,97   | 31,767           | 3,54              | 4,12              | 7,08                | 8,24                |
| 5.     | 1288,43   | 29,578           | 4,7               | 5,32              | 9,4                 | 10,64               |
| 6.     | 1383,20   | 32,933           | 3,7               | 3,84              | 7,4                 | 7,68                |
| 7.     | 907,59    | 20,835           | 3,66              | 3,96              | 7,32                | 7,92                |
| 8.     | 979,11    | 22,323           | 3,6               | 5,44              | 7,2                 | 10,88               |
| 9.     | 1065,27   | 25,364           | 3,66              | 4,66              | 7,32                | 9,32                |
| 10.    | 1002,37   | 23,31            | 3,92              | 4,94              | 7,84                | 9,88                |
| 11.    | 1001,51   | 23,2909          | 3,78              | 5,7               | 7,56                | 11,4                |
| 12.    | 968,77    | 22,30            | 3,72              | 5,02              | 7,44                | 10,04               |
| 13.    | 488,85    | 11,36            | 4,56              | 5,28              | 9,12                | 10,56               |
| 14.    | 468,17    | 10,88            | 4,26              | 5,66              | 8,52                | 11,32               |
| 15.    | 491,43    | 11,70            | 4,94              | 6,5               | 9,88                | 13                  |
| 16.    | 312,22    | 8,13             | 1,92              | 2,24              | 3,84                | 4,48                |
| 17.    | 587,07    | 15,29            | 1,98              | 2,06              | 3,96                | 4,12                |
| 18.    | 649,97    | 16,75            | 2,08              | 2,48              | 4,16                | 4,96                |
| 19.    | 708,56    | 16,64            | 3,58              | 3,9               | 7,16                | 7,8                 |
| 20.    | 640,49    | 15,04            | 3,64              | 3,88              | 7,28                | 7,76                |
| 21.    | 516,42    | 11,77            | 3,3               | 4                 | 6,6                 | 8                   |
| 22.    | 1734,74   | 39,55            | 3,4               | 3,46              | 6,8                 | 6,92                |
| 23.    | 1395,27   | 33,22            | 3,88              | 4,12              | 7,76                | 8,24                |
| 24.    | 1475,40   | 34,27            | 4,28              | 4,74              | 8,56                | 9,48                |
| 25.    | 494,02    | 11,88            | 3,94              | 6                 | 7,88                | 12                  |
| 26.    | 472,48    | 11,36            | 3,8               | 5,7               | 7,6                 | 11,4                |
| 27.    | 521,59    | 12,12            | 4,12              | 4,66              | 8,24                | 9,32                |
| 28.    | 1314,28   | 30,56            | 4,2               | 4,5               | 8,4                 | 9                   |
| 29.    | 1317,72   | 30,29            | 3,86              | 3,88              | 7,72                | 7,76                |
| 30.    | 1373,73   | 32,70            | 4,76              | 5,02              | 9,52                | 10,04               |

## VII. ÖSSZEGZÉS

Az FDM eljárás egyre nagyobb teret nyer a hobbigépek piacán. A gépek egyszerűek, az elkészülő darabok utómunka nélkül is kielégítő minőségűek. A felhasználható anyagok köre egyre nő, akár 400°C fokra is felfűthető fejekkel polikarbonát, polietilén is nyomtatató. Ahhoz, hogy a terveinknek, a felhasználási feltételeknek minél jobban megfelelő darabot készíthessünk, ismernünk kell mind az alapanyagot, mind pedig a berendezést és annak beállításait.

A vizsgálatokból kiderült, hogy akár egy paraméter helyes megválasztásával 2,5-szeres szakítószilárdságot érhetünk el, úgy, hogy további paramétereket nem

változtatunk. További vizsgálatokkal tervezzük a kapott eredmények legkedvezőbb kombinációját egy kísérletsorozatban is alkalmazni. Be kívánjuk mutatni, hogy az FDM nem csak egy gyors prototípus eljárás, hanem gyártási eljárás is lehet, amellyel egyedi, vagy kisszériás termelés is megvalósítható.

A szerszám nélküli gyártási eljárásoknak az egyediség az egyik legfőbb előnye. Összekapcsolva ezt háromdimenziós szkenneléssel olyan egyedi, testreszabott darabokat készíthetünk, amelyeket eddig csak bonyolult mérések és megmunkálások árán lehetett megvalósítani. Az egyedi protézisgyártás kiváló példája ennek, hiszen ötvözi az FDM eljárás összes előnyét: egyedi, olcsó és tartós darabok készíthetők, pótolhatók vele.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A dolgozatban ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] D.T PHAM, R.S GAULT - **A comparison of rapid prototyping technologies.** ScienceDirect, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695597001375>
- [2] R. BLUME - **Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie.** 2009, <http://www.chemieunterricht.de/dc2/plaste/poly-ms.htm>
- [3] Műszaki adatlap - Ultimaker Ultiblue