

# ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁVAL ELŐÁLLÍTHATÓ RUGALMAS MŰANYAGOK VIZSGÁLATA

## TESTING OF FLEXIBLE PLASTICS PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY

Kis Katalin<sup>\*</sup>, Dr. Ficzer Péter<sup>\*\*</sup>, Dr. Kovács Norbert Krisztián<sup>\*\*\*</sup>, Dr. Szabó Gábor<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

*My theme is the testing of flexible plastics produced by additive manufacturing technology. The main point will be in the flexible polymer, Soft PLA.*

*Polylactic acid is a biopolymer that can be produced from sugar of corn, rice or wheat. Soft PLA is a new material which has high flexibility so it is suitable as gasket, but we have almost no information about its mechanical properties and its integrity. [1]*

*PLA materials are easy to printing and the printed surface has high quality so it is the most commonly used printer material for FDM printers. [1]*

*Our thesis aims to investigate the ideal print conditions of the Soft PLA material, and then determine the material laws, material properties, and print properties for the printed prototypes to study how the printing directions affect the mechanical properties.*

*During our thesis, after setting the correct printing parameters, I print the test pieces in 3 different positions and then, by tensile test, I examine the voltage stretching diagram of the Soft PLA material and whether the printing directions are different and, if so, then what will I determine the strength and modulus of the material.*

### 1. BEVEZETÉS

Manapság egyre nagyobb szerepe van a termékek élettartamának. Ehhez megfelelő tervezés, szimuláció és egyéb méretezési - és tervezési eljárások szükségesek. A vizsgálatokhoz szükséges konstrukciós kialakításokban nagy segítséget jelentenek az additív gyártástechnológiák. Ennek az eljárásnak a lényege, hogy felépítő elven, rétegről-rétegre állítjuk elő a kívánt munkadarabokat. Azonban a méretezési eljárások mit sem érnek, ha nem ismerjük a technológia sajátosságait, valamint a technológia során használt anyagok mechanikai tulajdonságait. [2] [3] [4]

Vizsgálatunk során a huzalfelrakásos, más néven 3D extrudálásos (FDM) eljárással készülő rugalmas műanyag vizsgálata a célunk.

<sup>\*</sup> BSc hallgató, BME-Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék  
<sup>\*\*</sup> adjunktus, BME-Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék  
<sup>\*\*\*</sup> adjunktus, BME-Polimertechnika Tanszék

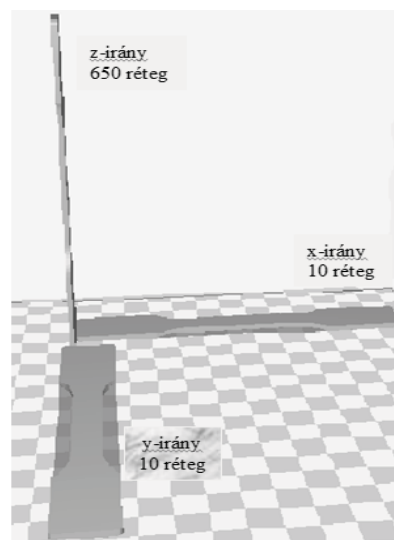
Ez az anyag, melyet Soft PLA-nak hívnak, alkalmas lehet tömítések, és egyéb rugalmas alkatrészek gyártására. [1] Azonban, hogy alkalmazni tudjuk ezeket az alkatrészeket, szükséges az anyag mechanikai tulajdonságainak az ismerete.

Vizsgáltuk a rugalmas anyag ideális nyomtatási paramétereit, valamint meghatároztuk a méretezéshez szükséges anyagtvényeket és anyagjellemzőket.

### 2. VIZSGÁLATHOZ SZÜKSÉGES PRÓBAPESTEK NYOMATÁSA

#### 2.1. Húzó- és nyomó próbatetek

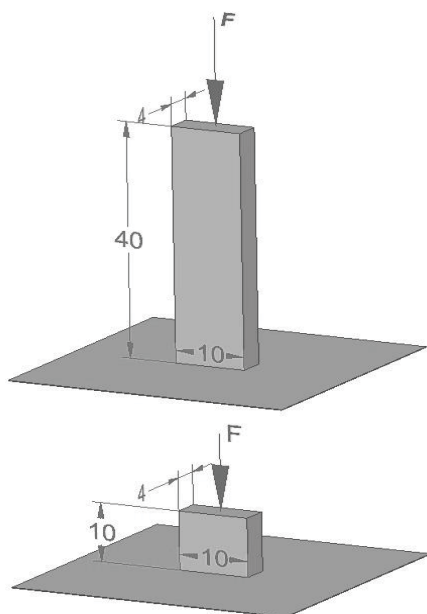
Vizsgálatunk során az időtől nem függő anyagi jellemzők meghatározása a célunk. Ehhez húzó- és nyomó próbatetekre van szükség. A húzó próbateteket 3 különböző pozícióban nyomtattuk, ennek képe az 1. ábrán látható.



1. ábra: Húzóvizsgálathoz használt próbatetek 3 nyomtatási pozíciója, valamint a rétegek száma

A nyomóvizsgálatoknál 2 különböző próbatest nyomtatására van szükség. Az egyik segítségével a

nyomó rugalmassági modulus meghatározása a cél, a másik esetben pedig a nyomószilárdság.

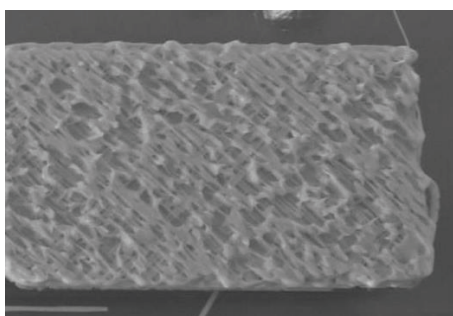


2. ábra: Nyomóvizsgálathoz használt próbatestek [4]

Minden új anyag készítésénél tanulmányozni kell a nyomtatás feltételeit. Ez esetben is vizsgálni kell az ideális nyomtatási paramétereket, valamint az anyag - és az FDM technológia nyomtatási sajátosságait.

## 2.2. Nyomtatási problémák és azok kiküszöbölése

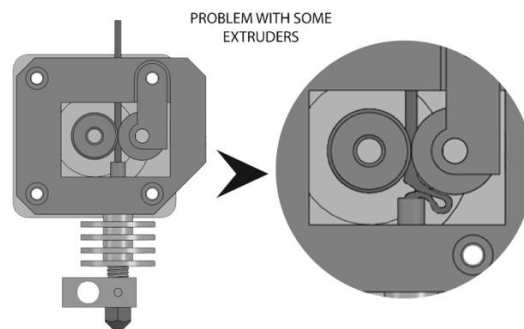
A próbanyomtatások során számos probléma merült fel. A nyomtatási paraméterek változtatásával nem sikerült megfelelő eredményt elérni. Minden esetben lyukacsos szerkezetű próbatesteket kaptunk. Ez a 3. ábrán látható.



3. ábra: A nem megfelelő, lyukacsos szerkezetű réteg kialakulása a nyomtatás során

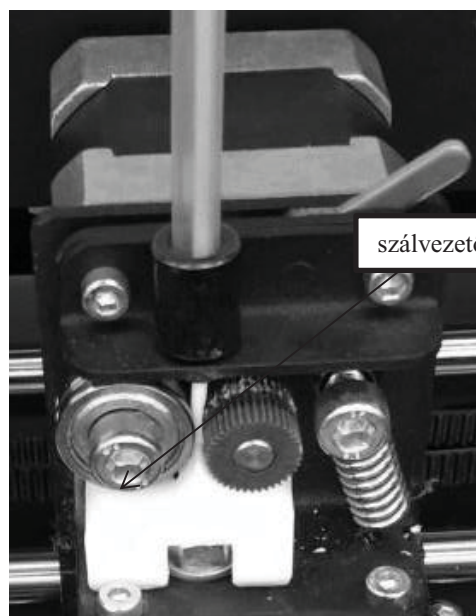
A hiba eredete nem a nyomtatási beállítások hibája, hanem a gépben keresendő. A nyomtató extrúdere nem volt képes elegendő mennyiségű anyagot a fűvókába juttatni, így minden esetben lyukacsos szerkezetet kaptunk. A hiba okának számos tényezőjét sikerült

felkutatni. Egyik ok, hogy a behúzó rendszer és a melegítő fej között hézag található, így a szálanyag képes kihajolni, ezáltal nem jut elegendő mennyiségű anyag a fűvókába.



4. ábra: Az anyag kihajlása az extrúderben [6]

Ennek elkerülése érdekében plusz alkatrészt kellett a nyomtatóra szerelni (5. ábra), ami meggátolja a huzal kihajlását.



5. ábra: CraftBot2 3D nyomtató extrúdere, valamint a nyomtatóhoz tervezett szálvezető

A nyomtatási problémák másik oka, hogy az alapanyag a rugalmasságából adódóan képes megnyúlni. A huzalt dobra tekercselt formában helyezük fel a nyomtatóra, így biztosítva a megfelelő anyagmennyiséget. Azonban ez az elrendezés a megnövekedett súrlódását okozta. Ennek elkerülése érdekében a huzalt lecsévéltük a dobról és a szükséges hosszt kiszámítva csak az adott mennyiséget helyeztük fel a nyomtatóra. Az 5. ábrán látható alkatrész képes megvezetni a huzalt, ezáltal nagyban elősegítette a nyomtatás optimális feltételeinek meghatározását. Ezek után az ideális nyomtatási paraméterekkel már sikerült megfelelő minőségű próbatesteket nyomtatni.

## 2.3. Nyomatási paraméterek

Nyomatás közben több beállítási paraméterrel is próbálkoztunk. Az általunk optimálisnak bizonyult főbb nyomatási adatok a következők:

- Hőmérséklet: 215 °C
- Nyomatási sebesség: 10 mm/s
- Rétegvastagság: 0,2 mm

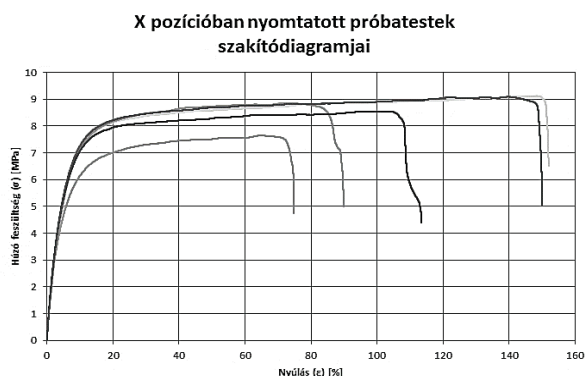
## 3. SOFT PLA ANYAGVIZSGÁLAT EREDMÉNYEI

Esetünkben 3D nyomtatott próbatesteket mérünk. Szabványos eljárás még nincs a 3D nyomtatott darabok vizsgálatára. Az additív gyártástechnológiával előállított polimereknek az anyagjellemzői eltérnek a hagyományos elven előállított polimerektől. Szabvány nem fedli le ezeknek az anyagoknak a mérését, ezért mérése ugyanúgy zajlik, mint a hagyományos polimerek esetében. A mérés során az MSZ EN ISO 527:2012 szabványt és az ISO 604-es szabványt alapul véve végeztük el a húzó- és a nyomóvizsgálatokat. [5]

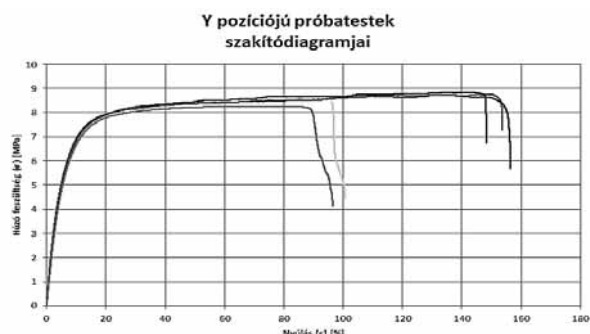
### 3.1. Húzóvizsgálat

A z irányú húzó próbatesteket nem sikerült kinyomtatni, mert az anyag túl rugalmasnak bizonyult. Vékony palástfelület nyomtatása során, ha túl nagy a magasság, akkor az anyag nem nyújt elegendő szerkezeti támaszt. Így sajnos a z pozíció nyomtatása még nem volt sikeres.

Ellenben x és y pozícióban megfelelő próbatesteket kaptunk a nyomtatás során. Ezeknek a próbatesteknek a húzóvizsgálatai során kapott szakítódigrammok láthatók a következő ábrákon. (6. és 7. ábra) A különböző pozícióban nyomtatott próbatestek szakítódigramjait megvizsgálva megállapítható, hogy azok jellegre azonosak, továbbá a szakítószilárdságok között sem látható szignifikáns mértékű különbség. Ugyanakkor a rugalmassági modulusok tekintetében már jelentős mértékű különbség tapasztalható.



6. ábra: X pozícióban nyomtatott próbatestek szakítódigramjai



7. ábra: Y pozícióban nyomtatott próbatestek szakítódigramjai

A mérési eredményekből meghatároztuk a vizsgált darabok húzó rugalmassági modulusát, a szakítószilárdságát és a szakadási nyúlását. Ez az 1. táblázatban tekinthető meg.

1. táblázat: Mindkét nyomtatási pozícióban vizsgált eredmények átlag értékei

	E [MPa]	Rm [MPa]	εszak [%]
x értékek	180,044±5,5	8,619±1,01	114,5021±41,1
y értékek	155,78±31,1	8,62104±0,38	129,2554±38,3

A két pozícióban nyomtatott próbatesteken mért átlagértékekből kiolvashatjuk, hogy milyen eltéréseket mutatnak a nyomtatási pozíciók. Látható, hogy az y irányban lévő nyomtatás Young-modulusainak az eredményei nagyobb szórást produkáltak, mint az x irányban nyomtatott esetében, ellenben észrevehető az is, hogy valamelyest kisebb értékek adódtak. Ez az eltérés látható a szakadási nyúlások esetében is. A szakadási szilárdság értékek közel ugyanolyan eredményt adtak mindkét esetben.

Az y pozícióban nyomtatott próbatestek szakítódigramjai (7. ábra) jellegre megegyeznek az x pozíciókéval (6. ábra), ami arra enged következtetni, hogy a két nyomtatási pozíció között nincsenek számottevő eltérések a rugalmassági modulus tekintetében. Azonban a számszerű eredmények eltérő eredményt adtak.

Fontos megjegyezni, hogy az y pozícióban a modulusok tekintetében igen jelentős eltérések adódtak. Ez azt jelenti, hogy az eredmények reprodukálhatósága nem biztosított. Ez a gyártási paraméterek megfelelését is megkérdőjelezi.

Az y pozícióban nyomtatott próbatestek esetében probléma adódott a darabok felszedésével is, így enyhén deformálódtak. Ezt szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra: Az y pozícióban nyomtatott húzó próbatest felszedése utáni maradó deformáció

Feltehetően ez is befolyásolta a próbatetek húzó rugalmassági modulusok eltéréseit x és y irányban nyomtatott próbatetek esetében.

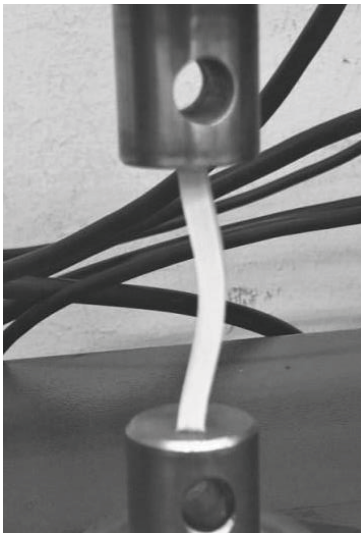
A szakadási nyúlások az átlag értéktől igen nagy eltéréseket mutatnak, mind pozitív, mind negatív irányban. Ez feltételezhetően amiatt lehet, hogy a nyomtatás során nem minden esetben lett egyenletes a rétegek összetapadása, így hézagok keletkeztek a rétegek között.

Viszont ez már a mérnöki tervezés tartományán kívül esik, így nem okoz problémát.

### 3.2. Nyomóvizsgálat

#### 3.2.1. Nyomó rugalmassági modulus

A nyomó rugalmassági modulus mérése során a próbatest alakjából adódóan kihajlik, ez a 9. ábrán megfigyelhető. Ezért ez a próbatest a nyomószilárdság meghatározására nem alkalmas.



9. ábra: A nyomóerő hatására a próbatest kihajlik

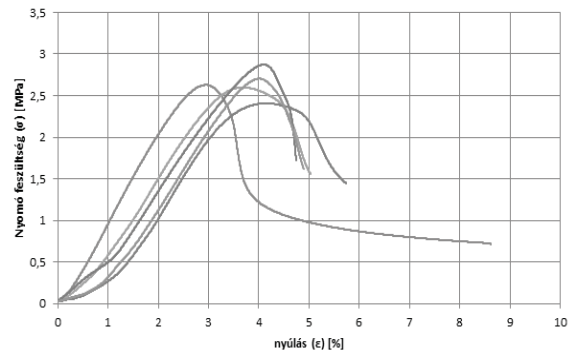
A mérés során az alábbi diagramok rajzolódtak ki (11. és 12. ábra).

Ebben az esetben is 2 különböző pozícióban nyomtatott próbateteket vizsgáltunk (10. ábra).



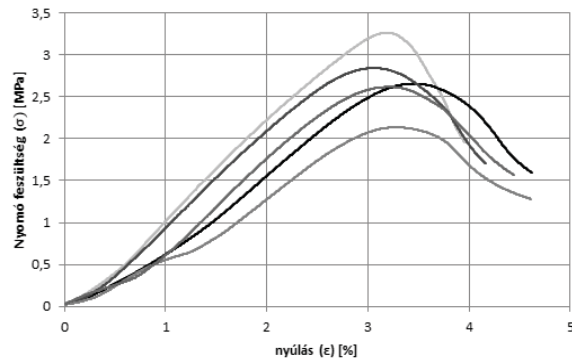
10. ábra: A nyomó rugalmassági modulus meghatározásához alkalmazott próbatetek nyomtatási pozíciói

#### x pozícióban nyomtatott próbatetek nyomás diagramjai



11. ábra: X pozícióban nyomtatott próbatetek nyomás hatására kialakult diagramjai a nyomó rugalmassági modulus meghatározásához

#### y pozícióban nyomtatott próbatetek nyomás diagramjai



12. ábra: Y pozícióban nyomtatott próbatetek nyomás hatására kialakult diagramjai a nyomó rugalmassági modulus meghatározásához

A rugalmassági modulus a görbe két pontjához húzott legnagyobb meredekségű egyenesével határozzuk meg. Ezeket az értékeket meghatározva megkapjuk a próbatetek nyomó rugalmassági modulusait, melyek átlag értékei a 2. táblázatban olvashatók.

Nyomó próbatetek esetében fontos, hogy a befogó pofákkal érintkező felületek síkok legyenek. A nyomó próbatetek esetében fontosak az alak- és helyzettűrések megfelelőisége. Esetünkben a befogási felületek nem lettek teljesen sík felületek, így ezek befolyásolhatták a vizsgálat eredményeit, ezért a kezdeti szakaszokat nem vettük figyelembe az értékek meghatározásánál.

2. táblázat: A rugalmassági modulusok átlagértékei

	E [MPa]
x érték	99,7874±2,97
y érték	112,1403±17,84

A két pozíció átlagértékeit összehasonlítva, az y pozícióban nyomtatott próbatetek esetében vett átlagérték nagyobbra adódott, mint az x esetében, de így is jóval alatta maradt a szakítódigramoknál kiértékelt eredményekhez képest.

A nyomó rugalmassági modulusok diagramjai (11. és 12. ábra) a kezdeti szakaszban hasonló meredekséget mutatnak. Azonban a maximális nyomó modulus értékei már jelentősen eltérnek egymástól. Míg x irányban az átlag értékek 99,7874 MPa-t adtak, addig y irányban ez 112,1403 MPa volt. Az átlagtól való eltérések is különböztek, x irányban 2,97 MPa, y irányban 17,84MPa. Ezekből megállapítható, hogy az y pozícióban nyomtatott nyomó próbatetek szórásai lényegesen nagyobbak.

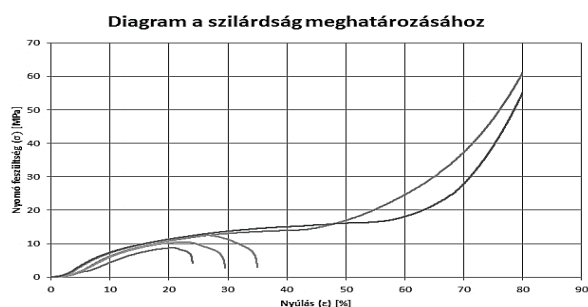
Ez feltételezhetően a gyártási paraméterek nem megfelelésére utal.

Az is megállapítható, hogy a nyomó rugalmassági modulusok értékei jóval elmaradnak a húzó rugalmassági modulusokhoz képest.

### 3.2.2. Szilárdság meghatározása

A szilárdság meghatározásához a 2. ábrán látható kisebb, merevebb, kihajlásra nem, vagy kevésbé érzékeny próbateteket használtuk.

A nyomószilárdság meghatározásához felvett diagramok a 13. ábrán láthatók.

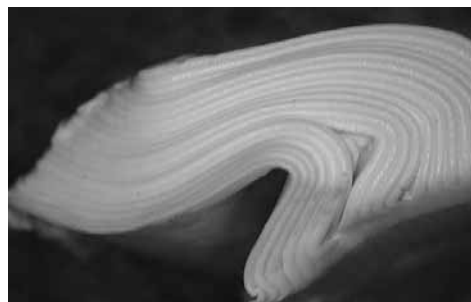


13. ábra: Szilárdság meghatározáshoz mért értékek

A görbék nagy eltéréseket mutatnak, ez a próbatetek nyomóvizsgálatából is meghatározható. Itt az eltérő görbék kiértékelésénél más-más módszer alkalmazása szükséges. Három esetben meg kell keresni a diagramok maximális értékét (nyomószilárdságát), míg a másik két esetben az inflexió pont meghatározása szükséges.

A szilárdságnál kapott diagramok (13. ábra) igen eltérő képet mutatnak. Ennek következtében az értékek közti különbségek és a szórásuk is jelentős mértékű.

A diagramokon is látható, hogy a maximális szilárdsági határ elérése után is folytattuk a vizsgálatot, egészen addig, amíg egyes esetekben a próbatetek meg nem gyűrődtek és el nem kezdtek delaminálódni. A delaminálódás oka, hogy a próbatest rétegekből épül fel, így a nem megfelelő tapadás következtében a próbatest rétegenként szétválhat, ezt mutatja a 14. ábra.



14. ábra: Delaminálódott próbatest

## 4. ÖSSZEGRZÉS

A mérésről elmondható, hogy mind húzó-, mind nyomóvizsgálatok során az y-irányban nyomtatott próbateteknél a szórások lényegesen nagyobbak voltak. Ez feltételezhetően a gyártási paraméterek nem megfelelésére utal, ezért célszerű lenne az y irányú próbatetek vizsgálatát megismételni.

Az is tapasztalható, hogy mindkét irányban a nyomó rugalmassági modulus értékek lényegesen kisebb eredményeket adtak, mint a húzó rugalmassági modulusoknál. Ez arra utalhat, hogy az anyag jelentős mértékben porózus, így a tömítésként történő alkalmazása megkérdőjelezhető.

## 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] <https://3dee.hu/> (2017.11.22.)
- [2] Takács János: Korszerű technológiák a felületi tulajdonságok alakításában, Műegyetem Kiadó, Budapest, ISBN 963-420-789-8, 2004
- [3] Composites Part B: 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective Xin Wang, Man Jiang, Zuowan Zhou, Jihua Gou, David Hui, 2016
- [4] Ficzere P, Szabéni G, Lovas L, Borbás L, SLS eljárással elérhető anyagjellemzők egyénre szabott orvosi implantátumok méretezéséhez, GÉP LXVIII:(3) pp. 62-65. (2017)
- [5] Szakács Hajnalka, Varga Csilla, Nagy Roland: Polimerek mérés technikája a Pannon Egyetemen a TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0012 projekt keretében az Európai Szociális Alap támogatásával készült, 2012
- [6] <http://www.freedee.hu/hogyan-nyomtassunk-rugalmas-filamenttel/> (2017.11.22.)