

Rugalmas polimerek (TPU) SLS technológiával való 3D nyomtatási lehetőségeinek elemzése

Analysis of 3D printing possibilities of flexible polymers (TPU) with SLS technology

NEMES Dániel^{1,2}, Dr. HAJDU Sándor¹, FILE Máté¹, HURI Dávid¹, TUPE Disha³,
Dr. MAJOR Zoltán³, Dr. MANKOVITS Tamás¹

¹Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4.

²Debreceni Egyetem, Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Informatikai Kar, 4028 Debrecen, Kassai Út 26.

³Johannes Kepler University Linz, Institute of Polymer Product Engineering, 4040 Linz, Altenberger Straße 69.
nemes.daniel@eng.unideb.hu, hajdusandor@eng.unideb.hu, mate.file@eng.unideb.hu, huri.david@eng.unideb.hu,
disha.tupe@jku.at, zoltan.major@jku.at, tamas.mankovits@eng.unideb.hu

Abstract

The purpose of the research presented in this article is to present SLS printing technology and TPU flexible polymer printing, as well as to explain the causes and solutions of problems that may arise. In the future, TPU printing with an SLS printer offers further opportunities in various applications such as automated manufacturing, sporting goods and medical technology. SLS printing and TPU have particularly good application possibilities in orthopedic practice, such as prostheses that can be used in the knee joint (median meniscus) and lattice structures. During the research, a number of different geometries were printed, some of which were produced for material tests, and another part for assessing the capabilities of the printer.

Keywords: SLS, TPU, 3D printing, Sinterit Lisa, Flexa, lattice structure

Kivonat

A cikkben bemutatott kutatás célja az SLS nyomtatási technológia és a TPU rugalmas polimer nyomtatásának bemutatása, valamint az esetlegesen felmerülő problémák okainak és megoldásainak ismertetése. A TPU nyomtatása SLS nyomtatóval a jövőben további lehetőségeket kínál a különböző alkalmazásokban, például az automatizált gyártásban, a sportcikkben és az orvostechikában. Az SLS nyomtatásnak és a TPU-nak különösen jó alkalmazási lehetőségei vannak az ortopédiai gyakorlatban, mint például a térd ízületben (median meniscus) használható protézisek, illetve a cellás szerkezetekben (lattice structure). A kutatás során számos különböző geometria lett kinyomtatva, melyek egy részét anyagvizsgálatokhoz állítottuk elő, másik részét pedig a nyomtató képességeinek felméréseért.

Kulcsszavak: SLS, TPU, 3D nyomtatás, Sinterit Lisa, Flexa, cellás szerkezet

1. Bevezetés

A 3D nyomtatás az iparban mára már nem csupán gyorsprototípus gyártásként, hanem késztermék gyártásakor is egyre gyakrabban előkerül. A műanyagfeldolgozás területén ezidáig hiányzott az a gyártástechnológia, amivel a tervezőmérnökök képesek változatos geometriájú kis szériás termékeket létrehozni költséghatékonyan. Ez vagy, mint késztermék, vagy mint annak gyártásához szükséges segédelemként funkcionál, mint egy robotkar megfogója. Jelen cikkben az SLS technológiára és azon belül a TPU alapanyagra fókuszáltunk. A TPU (Thermoplastic Polyurethane) egy poliuretán alapú termoplasztikus anyag, amely nagyon rugalmas és kopásálló. Az SLS nyomtatók a TPU-t felmelegítik és lézerrel olvasztják össze rétegről rétegre, ami lehetővé teszi a szilárd testek létrehozását. A kutatók már régóta vizsgálják az SLS technológia orvosi alkalmazhatóságát. Alida Mazzoli egy 2013-as kutatásában [1] különböző példákat mutat be ennek a nyomtatási technológiának az orvosi biológiai alkalmazhatóságára. Számos tanulmányt felsorakoztat a technológia használatára páciens-specifikus anatómiai modellek létrehozásánál úgymint száj-, arc-állcsont, neurológiai sebészet és ortopédia. Átfogóan azt a megállapítást tette, hogy az orvostudományban elsősorban a diagnózis felállítás segítésére, a kezelés tervezésére és az implantátumok gyártására használják. Egy másik

nagy felhasználási lehetőségként a direkt módon beépíthető 3D nyomtatott implantátumok alkotják. A Tejo-Otero és munkatársai egy teljes neuroblastomát nyomtattak ki a sebészeti eljárás pontos megtervezéséhez [2]. A nyomtatáshoz az igen költségesnek bizonyuló MJ eljárás helyett SLS és FFF (FDM) eljárások ötvözését használták, mellyel jelentős költségeket tudtak megvalósítani. Tóth Luca és munkatársai a Pécsi Tudományegyetemen kifejlesztettek egy 3D nyomtatott elemeket tartalmazó anti-spasztikus ortézist, amit sztrók betegeknek segít a felépülésükben a saját otthonukban [3]. Az SLS technológiát a biokompatibilis (PA 2200) passzív elemek nyomtatására használták. A captan fűtőszalagok és a bőr szeparációjára használt TPU-t FDM technológiával állították elő. Yanis A. Gueche és munkatársai 2021-es publikációjukban bemutatták az új gyógyszer-tabletták gyártási lehetőségeit 3D nyomtatás segítségével [4]. Tanulmányuk összefoglalja a 2017 és 2020 közötti publikációkat a témában, mely segít egy átfogó képet kapni a technológia gyógyszerészeti alkalmazhatóságáról. A TPU-t kiválóan lehet használni energiaelnyelő struktúrák létrehozására. Mivel a gumyszerű alapanyagoknak nagy a belső csillapítása így, ha ezt kombináljuk egy megfelelő cellás struktúrával, akkor képesek leszünk kiemelni ezt az energiaelnyelő képességét. FDM nyomtatás segítségével előállított méhsejt szerkezet energiaelnyelő képességét vizsgálta Simon R.G. Bates és munkatársai [5]. Scott Townsend és munkatársai hasonlóképpen FDM nyomtatott TPU méhsejt energiaelnyelő képességét vizsgálták mérés és végelemes analízissel [6]. Ők a méhsejt szerkezetet a szerkezet nyomtatási irányával megegyező irányban terheltek és az origami-szerű alakváltozást elemezték. Semyon Efremov és munkatársai egy módszert dolgoztak ki cellás szerkezetek létrehozására, majd azt SLS technológiával nyomtatott TPU modelleken tesztelték [7]. Sina Ghaemi Khiavi két kollégájával SLS technológiával nyomtatott PA12 anyagú cellás szerkezetek viselkedését vizsgálta mérés és végelemes szimuláció segítségével [8]. Igor Zhilyaev munkatársaival gépi tanulással és végelemes szimulációval hoztak létre strukturális felépítésű rovarszárnyat, mely könnyebben megérthetővé és paraméterezhetővé teszi azt [9].

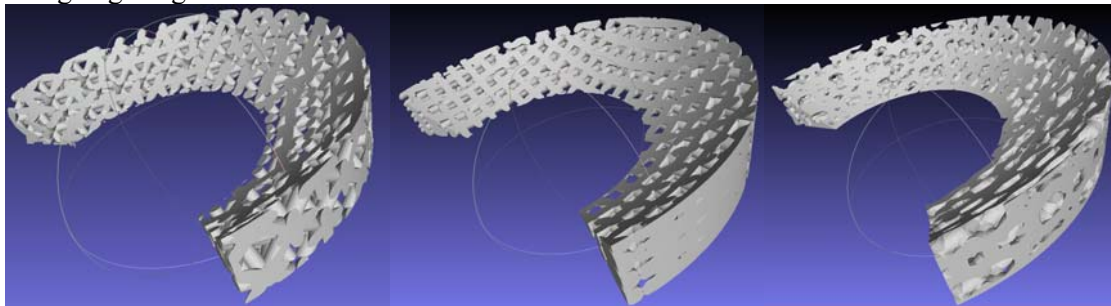
2. Nyomtatott próbatetek

A kutatás során egy térd ízület modellt használtunk a nyomtató képességeinek és célszerű nyomtatási paramétereinek meghatározásakor. Ezt a térd ízületet (medial meniscus) különböző cellás szerkezetekkel töltöttük ki. A cellás szerkezetek sorra egy oktett, ami egy rúdelemekből összekapcsolt egységcella, egy kiosztott, mely ez esetben egy négyzetes rácsos szerkezet rá merőlegesen kiosztva és egy weaire-phelan struktúra, mely nevét Denis Weaire és Robert Phelan fizikusokról kapta. A cellás szerkezetek az 1. ábrán láthatóak. A tesztek során három különböző nyomtatási beállítás volt tesztelve. Ezek beállítási paramétereit, az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A nyomtatási paraméterek a különböző nyomtatási verziók során

| Verziószám | Rétegmagasság | Pozíció |
|------------|---------------|------------|
| 1. | 0,075 mm | vízszintes |
| 2. | 0,075 mm | döntött |
| 3. | 0,1 mm | döntött |

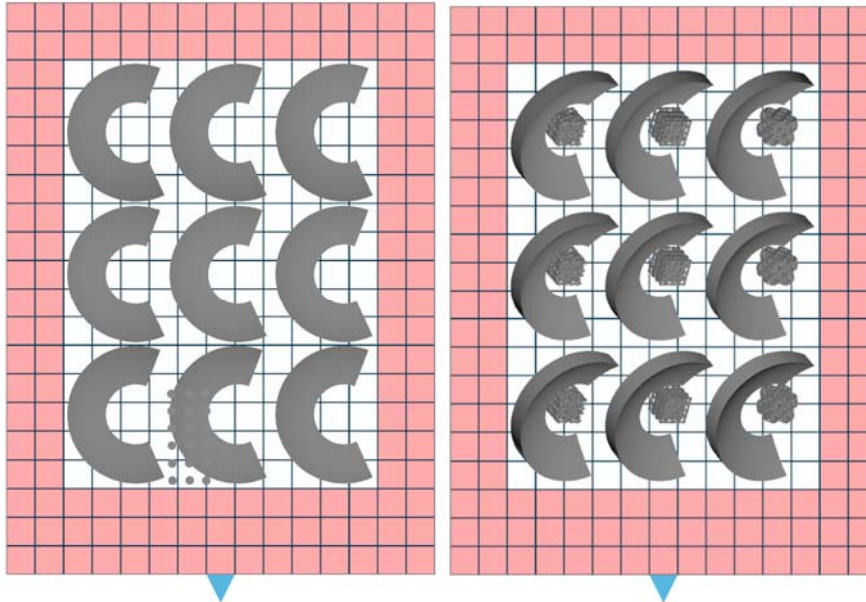
Az első verzióban a modellek vízszintes orientációban voltak elhelyezve a modell térben, valamint a legfinomabb megengedhető rétegmagasságot állítottunk be. A második esetben a modelleket döntött pozícióban helyeztük el a modell térben ugyanazzal a rétegmagassággal, majd végül a döntött pozíció mellett megnövelt rétegmagasságot is alkalmaztunk.



1. ábra. Az alkalmazott cellás szerkezetek: oktett (balra), kiosztott (középen), és egy weaire-phelan struktúra (jobbra)

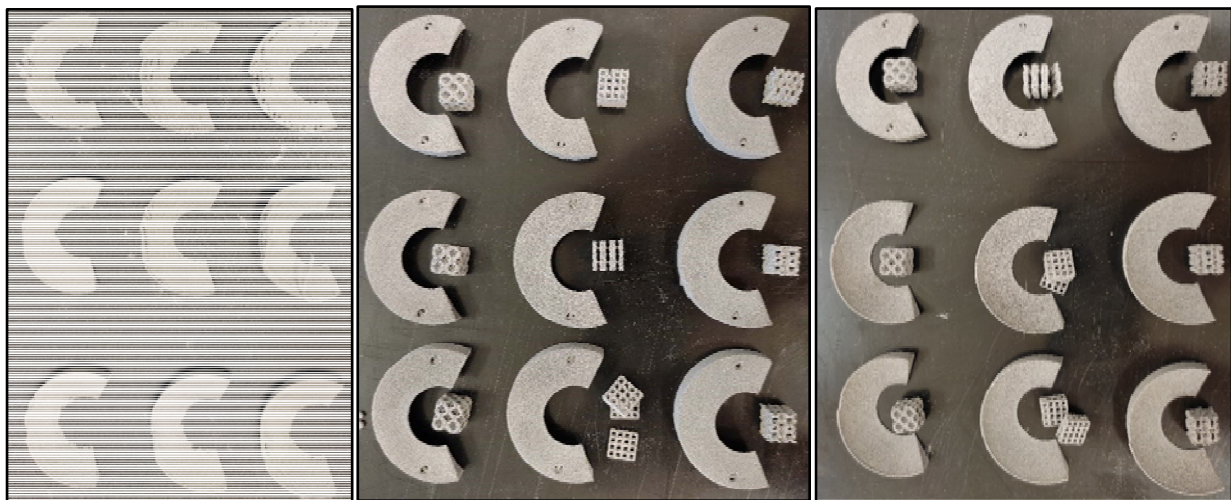
A különböző verziókra a nyomtatott testek nagy mértékű porozitása miatt volt szükség. A nyomtatási pozíciókat az 2. ábra szemlélteti. A második és harmadik esetben egy-egy 1x1cm-es egységcellákból álló

kocka is ki lett nyomtatva, hogy segítsen jobban megérteni a nyomtatás folyamatát és a fellépő hibák okait. A nyomtatást egy Sinterit Lisa SLS nyomtatóval végeztük Flexa Soft TPU anyaggal. A nyomtató szeletelőszoftverében (Sinterit Studio Profiles) kevés nyomtatási paraméter befolyásolható. Ami általánosságban csökkenti a porozitást, az a kamrahőmérséklet és a lézer erősségének növelése, de ezen paraméterek módosítását Flexa Soft alapanyagnál nem javasolja a gyártó, ugyanis ekkor módosulhat a nyomtatott tárgy rugalmassága. A nyomtatványok minőségének javítására kevés lehetőségünk volt, ezek a pozícionálás és a rétegmagasság módosítása volt. A felhasznált struktúrák igen részletesek, így a rétegmagasságot nem választhattuk 0,1mm-nél nagyobbra, mivel ebben az esetben a nyomtatványok alakhelyessége sérült volna.



2. ábra. A nyomtatási pozíciók: vízszintes (balra), döntött (jobbra)

Az eredmények dokumentálására számos fénykép készült, azonban itt most csak egy-egy jellegzetes képet mutatunk be a három nyomtatási verzióra. Ezek a fényképek a 3. ábrán láthatóak.



3. ábra. A nyomtatási verziók eredményei: 1. verzió (balra), 2. verzió (középen), 3. verzió (jobbra)

Jól látható, hogy az első esetben a modellek gyakorlatilag szétestek. További érdekesség, hogy nem egyforma minőségűek a modellek, hanem tendenciózusan egyre rosszabbak. Ennek oka, hogy egymás után helyezkedtek el, így a nyomtató minimális hőmérséklet eloszlás-hibája már elegendő volt ahhoz, hogy ilyen jelentősen befolyásolja a nyomtatványok minőségét a túlfolyó tartály felől. A második esetben már jelentős javulás lépett fel a helyes nyomtatási pozíció megválasztásával. Ebben a verzióban a nyomtatványok élein lehet jobban differenciálni a nyomtatás sikerességét. Látható, hogy a középső oszlopokban lévő kockák geometriája, amelyek a kiosztott struktúrával készültek túl aprólékos volt a sikeres nyomtatáshoz.

3. Összefoglalás

Az eredményeket összevetve arra a következtetésre jutottunk, hogy ennél az alapanyagánál nem lehetséges csökkenteni a kinyomtatott modellek porozitását pusztán a rétegmagasság és a pozíció módosításával. Annak a meghatározásához, hogy milyen mértékben szükséges a lézer erősségét, illetve a kamra hőmérsékletét módosítani további kutatások szükségesek. Szintén vizsgálnunk kell még, hogy a módosítás mennyiben befolyásolja az anyagparamétereket.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az OMAA 11öu5 - Entwicklung von Materialmodellen für 3D-gedruckte elastomere und kurzfaseverstärkte Verbundwerkstoffe (DE-JKU) projekt támogatta.

Irodalmi hivatkozások

- [1] A. Mazzoli, "Selective laser sintering in biomedical engineering," *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 51, no. 3, pp. 245–256, 2013, doi: 10.1007/s11517-012-1001-x.
- [2] A. Tejo-Otero *et al.*, "3D printed prototype of a complex neuroblastoma for preoperative surgical planning," *Ann. 3D Print. Med.*, vol. 2, p. 100014, 2021, doi: 10.1016/j.stlm.2021.100014.
- [3] L. Toth, A. Schiffer, M. Nyitrai, A. Pentek, R. Told, and P. Maroti, "Developing an anti-spastic orthosis for daily home-use of stroke patients using smart memory alloys and 3D printing technologies," *Mater. Des.*, vol. 195, p. 109029, 2020, doi: 10.1016/j.matdes.2020.109029.
- [4] Y. A. Gueche, N. M. Sanchez-Ballester, S. Cailleaux, B. Bataille, and I. Soulairol, "Selective laser sintering (Sls), a new chapter in the production of solid oral forms (sofs) by 3d printing," *Pharmaceutics*, vol. 13, no. 8, 2021, doi: 10.3390/pharmaceutics13081212.
- [5] S. R. G. Bates, I. R. Farrow, and R. S. Trask, "3D printed polyurethane honeycombs for repeated tailored energy absorption," *Mater. Des.*, vol. 112, pp. 172–183, 2016, doi: 10.1016/j.matdes.2016.08.062.
- [6] S. Townsend, R. Adams, M. Robinson, B. Hanna, and P. Theobald, "3D printed origami honeycombs with tailored out-of-plane energy absorption behavior," *Mater. Des.*, vol. 195, p. 108930, 2020, doi: 10.1016/j.matdes.2020.108930.
- [7] S. Efremov, J. Martínez, and S. Lefebvre, "3D Periodic Cellular Materials with Tailored Symmetry and Implicit Grading," *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 140, p. 103086, 2021, doi: 10.1016/j.cad.2021.103086.
- [8] S. Ghaemi Khiavi, B. Mohammad Sadeghi, and M. Divandari, "Effect of topology on strength and energy absorption of PA12 non-auxetic strut-based lattice structures," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 21, pp. 1595–1613, 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.09.116.
- [9] I. Zhilyaev, D. Krushinsky, M. Ranjbar, and A. O. Krushynska, "Hybrid machine-learning and finite-element design for flexible metamaterial wings," *Mater. Des.*, vol. 218, p. 110709, 2022, doi: 10.1016/j.matdes.2022.110709.