

A RÉTEGVASTAGSÁG ÉS AZ ORIENTÁCIÓ HATÁSA 3D NYOMTATOTT ALKATRÉSZEK MIKRO- ÉS MAKROGEOMETRIAI JELLEMZŐIRE

THE EFFECT OF LAYER THICKNESS AND ORIENTATION ON THE MICRO- AND MACROGEOMETRIC CHARACTERISTICS OF 3D PRINTED PARTS

Kónya Gábor, tanársegéd, konya.gabor@gamf.uni-neumann.hu
Ficzere Péter, egyetemi docens, ficzere.peter@kjk.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A 3D nyomtatási eljárások drasztikus fejlődésen mentek keresztül az elmúlt 30 évben. Napjainkban már széles választékuk megtalálható az ipari- és otthoni alkalmazásokban. Ebben az előkutatásban FDM eljárással nyomtatott PLA alapanyagból készült hengeres próbatestek rétegvastagságának és orientációjának hatását vizsgáltuk az átlagos felületi érdességre, az alakhibára és hengerességre nézve.

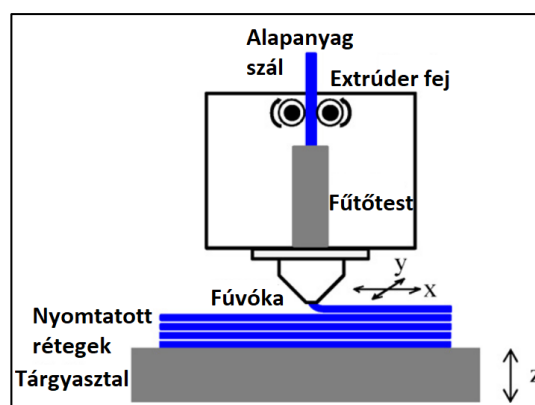
ABSTRACT

3D printing has developed dramatically over the past 30 years. Today, they can be found in a wide range of industrial and home applications. In this preliminary study, we investigated the effects of layer thickness and orientation on the average surface roughness, the form error and the rolling of cylindrical specimens made of PLA material printed by FDM.

1. BEVEZETÉS

A 3D nyomtatási eljárások az elmúlt 30 évben nagy fejlődésen mentek keresztül, melyek lehetővé teszik napjainkban széleskörű alkalmazásukat ipari- és otthoni felhasználásban egyaránt [1], [2]. Segítségükkel nem csak komplex, késztermékeket tudunk nyomtatni, hanem alkalmazásukkal a versenyképességet növelve a termékfejlesztési időt jelentősen le tudjuk csökkenteni, így rövidebb idő alatt tudunk megjeleníteni a termékkel a piacon [3], [4]. Számos additív eljárás közül a FDM (Fused Deposition Modelling) 3D nyomtatást választottuk, mert széles körben elterjedt,

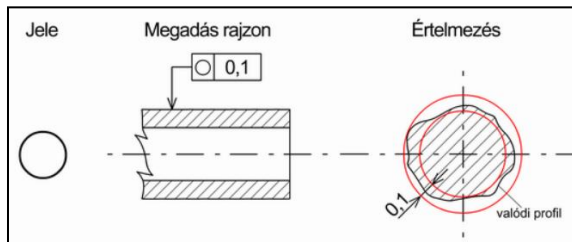
viszonylag olcsó technológia és sokféle alapanyag elérhető áron áll rendelkezésre hozzá. Pontossága egyes eljárásokhoz képest elmarad [4], azonban, ha a funkcionális felületek nem készre nyomtatásra kerülnek, hanem valamilyen utómegmunkálással készülnek el (pl.: esztergálás, marás, fúrás), továbbá a pontos és szép felület az alkatrész többi részén nem követelmény, akkor kiváló választás lehet. Az FDM 3D nyomtatás során a hőre lágyuló polimerszálat extrudálják, miközben a nyomtatni kívánt modell adott keresztmetszeti rétegén az extrúder fej „x-y” tengely mentén mozog. Miután egy réteg elkészült, az egész platform egy rétegvastagságnnyival lesüllyed „z” irányban és a folyamat mindaddig ismétlődik, míg a kívánt modell el nem készül. Ez a folyamat látható az 1. ábrán [5]–[7].



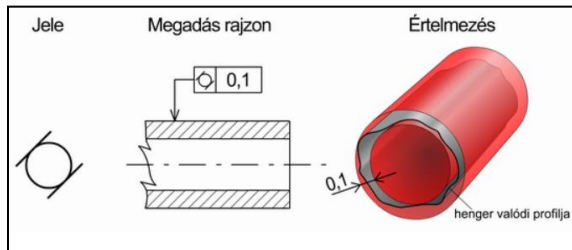
1. ábra: 3D nyomtatás folyamata [8]

Ez a tanulmány a rétegvastagság és a munkadarab orientációjának hatását taglalja a felületi érdességre, a köralakúságra és hengerességre nézve. A köralakúság során

bármely keresztmetszet valóságos körvonalának két olyan koncentrikus kör között kell elhelyezkednie, amelyek sugárkülönbsége a megadott tűrésérték, míg hengeresség esetén a valóságos hengerfelület minden pontjának két olyan koaxiális hengerfelület között kell elhelyezkednie, amelyek sugárkülönbsége a megadott tűrésérték [9]. Ezt szemlélteti a 2. és 3. ábra.



2. ábra: Köralakúság értelmezése [9]



3. ábra: Hengeresség értelmezése [9]

A nyomtatási paraméterek hatásait a mikro- és makrogeometria jellemzőkre számos kutató vizsgálta az elmúlt időszakban, azonban egyértelműen csak Pérez és mtsai. [10] mondták ki egyértelműen, hogy ezen jellemzőkre legnagyobb hatással a rétegvastagság és az orientáció van. Azonban a forgácsolásra gyakorolt hatásait már ők sem vizsgálták.

2. A KÍSÉRLET MÓDSZERTANA

2.1. A nyomtató és nyomtatott próbatetek

A próbateteket Prusa I3 típusú 3D nyomtatóval nyomtattuk. Alapanyagként a széles körben alkalmazott, hőre lágyuló PLA-t (polylactic acid) [11] használtuk, melynek tulajdonságtartományai az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat. PLA alapanyagok tulajdonságtartományai [6], [12]

Szakítószilárdság (MPa)	15,5-72,2
Szakító modulus (GPa)	2,020-3,550
Szakadási nyúlás (%)	0,5-9,2
Hajlítószilárdság (MPa)	52-115,1
Hajlítási modulus (GPa)	2,392-4,930
Nyomatási hőmérséklet (°C)	190-220
Nyomatási sebesség (mm/s)	40-90

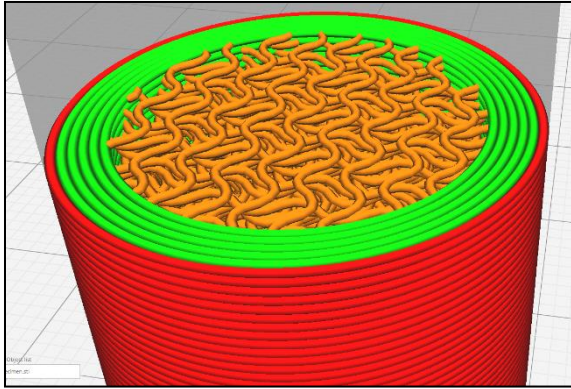
Összesen 8 db, Ø20x50 mm-es hengeres próbatetet nyomtattunk, melyek közül 4 db álló és 4 db fekvő tájolású volt. Mindkét orientáció esetén 4 különböző rétegvastagságot alkalmaztunk, melyek 0,05; 0,1; 0,2 és 0,4 mm voltak.

A henger modellezése, majd az STL fájl kiexportálása is Solid Edge-ben történt, mely során 0,05 mm-es tűrést és 3°-os síkok általi bezárt szöveget alkalmaztunk.

A próbateteknél 6 réteg falat terveztünk be, hogy a forgácsolási kísérletek is megvalósíthatóak legyenek. A fekvő tájolás esetén a munkadarab alsó felületén ezt a számot megnöveltük. Gyroid típusú kitöltést alkalmaztunk (4. és 5. ábra), mely a legnagyobb szilárdságot biztosítja az összes közül minimális alapanyag felhasználás mellett [13]. A nyomtatási paraméterek a 2. táblázatban figyelhetők meg.

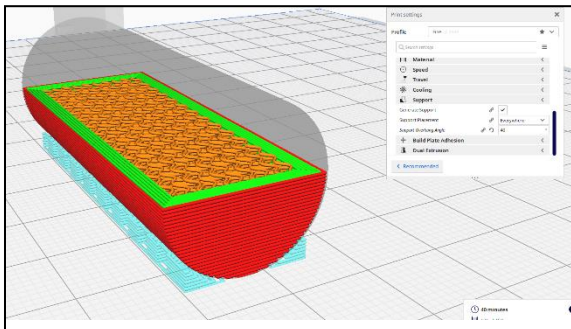
2. táblázat. A nyomtatás során alkalmazott technológiai paraméterek

Rétegvastagság, v (mm)	0,05; 0,1; 0,2; 0,4
Falvastagság (mm)	6 fal x v
Kitöltés sűrűsége (%)	30
Nyomatási hőmérséklet (°C)	215
Nyomatási sebesség (mm/s)	40
Kitöltés nyomtatási sebesség (mm/s)	40
Aktív hűtés (csak fekvő orientáció, 0,4 mm-es rétegvastagság esetén)	-



4. ábra: Gyroid kitöltésű nyomtatási stratégia
Megjegyzés: álló, 0,4 mm-es rétegvastagság

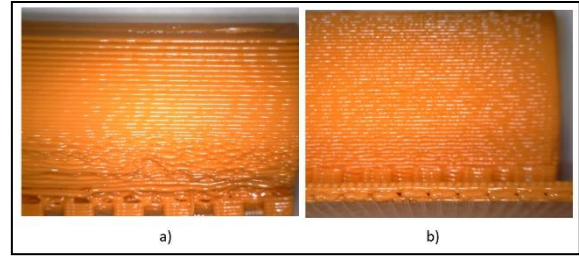
A fekvő tájolású darabok esetén szükség volt támaszanyag tervezésére is a gyárthatóság miatt, amit 40°-os hajlásszögig terveztünk be (5. ábra). A későbbiekben ezt a támaszanyagot el kell távolítani, ami a mikro- és makrogeometriai jellemzőket nagymértékben befolyásolhatja.



5. ábra: Gyroid kitöltésű nyomtatási stratégia
Megjegyzés: fekvő, 0,4 mm-es rétegvastagság

Gyártási sajátosságokból adódóan a felső és alsó rétegek számát meg kellett emelni annak érdekében, hogy a forgácsolás során ne a kitöltéssel találkozzon az esztergálás. Ebből adódóan csak tömör anyaggal (fal) fog találkozni a szerszám. Hibák még így is előfordulhatnak, hiszen nyomtatás során a falak koncentrikussága csak rétegenként biztosítható.

0,4 mm-es rétegvastagság esetén szükség volt aktív hűtés alkalmazására is (6. ábra), mert a rétegrend megbomlott volna nélküle (ahogy a 2. táblázatban is fel van tüntetve).



6. ábra: Nyomtatott próbatest a) aktív hűtés nélkül b) aktív hűtéssel

2.2. Érdességmérés

Az érdességmérést Mitutoyo Formtracer SV-C3100 tapintós érdesség mérővel mértük. Álló munkadarabok esetén a munkadarabok felső részein történtek a mérések, míg a fekvők esetén a támaszanyagok helyén nem történt mérés. A kapott eredményeket Origin Pro 2021-ben értékeltük ki.

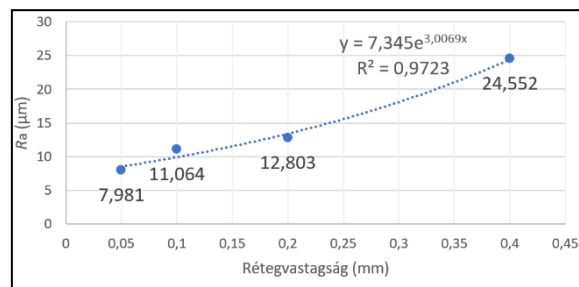
2.3. Alakhiba mérés

Az alakhiba mérése prizmában, 0,01 mm-es pontosságú Mitutoyo 543-270B típusú digitális mérőórával történt, mely során a névleges mérettől való méreteltérést mértük. Álló tájolással készült próbatestek esetén 3 síkban, a tetejétől számítva 5, 10 és 15 mm-nél. Mindegyik síkban 4 mérés történt 0°-nál, 90°-nál, 180°-nál és 270°-nál. A fekvő tájolású darabok esetén is 3 síkban 4 ponton történt a mérés, itt igyekeztünk a támaszanyag eltávolításából következő torzításokat figyelmen kívül hagyni.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Érdességmérés eredményei

Az egyes rétegvastagságok függvényében mért átlagos felületi érdesség értékek álló tájolás esetén a 7. ábrán láthatók.



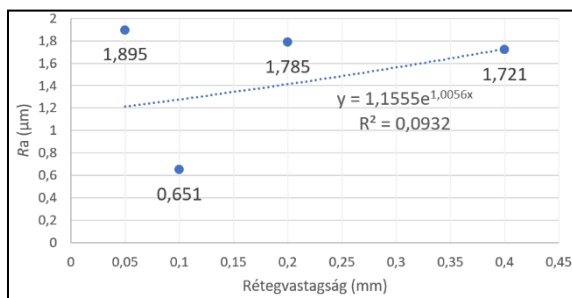
7. ábra: Az átlagos felületi érdesség alakulása a rétegvastagság függvényében álló tájolás esetén

A 0,4 mm-es rétegvastagsággal nyomtatott próbatessz esetén nyomtatási hibák figyelhetők meg, erre mutat példát a 8. ábra.



8. ábra: Nyomtatási hiba
Megjegyzés: 0,4 mm rétegvastagság, álló tájolás

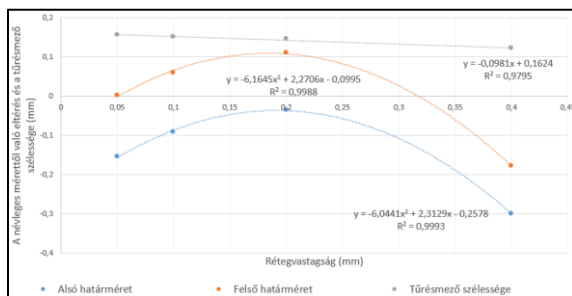
Az egyes rétegvastagságok függvényében mért átlagos felületi érdesség értékek fekvő tájolás esetén a 9. ábrán figyelhetők meg.



9. ábra: Az átlagos felületi érdesség alakulása a rétegvastagság függvényében fekvő tájolás esetén

3.2. Alakhiba mérés eredményei

A rétegvastagságok függvényében mért névleges mérettől való eltérés és számított tűrésmező szélesség az álló tájolású próbatessz esetén a 10. ábrán és a 2 táblázatban látható.

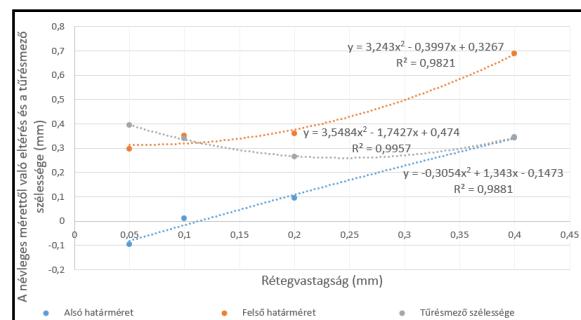


10. ábra: Névleges mérettől való eltérés és a számított tűrésmező szélesség a rétegvastagság függvényében álló tájolás esetén

2. táblázat. Névleges mérettől való eltérés (alsó- és felső eltérés) és a számított tűrésmező szélesség a rétegvastagság függvényében álló tájolás esetén

Rétegvastagság (mm)	AE (mm)	FE (mm)	T (mm)
0,05	-0,155	0,002	0,157
0,1	-0,091	0,06	0,151
0,2	-0,035	0,111	0,146
0,4	-0,300	-0,178	0,122

A rétegvastagságok függvényében mért névleges mérettől való eltérés és számított tűrésmező szélesség a fekvő tájolású próbatessz esetén a 11. ábrán és a 3. táblázatban figyelhető meg.



11. ábra: Névleges mérettől való eltérés és a számított tűrésmező szélesség a rétegvastagság függvényében fekvő tájolás esetén

3. táblázat. Névleges mérettől való eltérés (alsó- és felső eltérés) és a számított tűrésmező szélesség a rétegvastagság függvényében fekvő tájolás esetén

Rétegvastagság (mm)	AE (mm)	FE (mm)	T (mm)
0,05	-0,097	0,296	0,393
0,1	0,012	0,352	0,34
0,2	0,095	0,36	0,265
0,4	0,343	0,688	0,345

4. ANALÍZIS

4.1. Érdességmérés eredményei

Álló tájolással nyomtatott próbatessz esetén a 7. ábrán látható, hogy az érdesség romlás exponenciálisan növekszik a rétegvastagság növelésével. Mivel ezek az alkatrészek esztergálással lesznek majd készre munkálva,

abból adódóan a 0,4 mm-es rétegvastagsággal történő nyomtatás lenne a célravezető a nyomtatási időre, ezáltal a költség minimalizálására nézve, azonban, ahogy az a 8. ábrán is látható módon nyomtatási hibákat eredményezett. Ezért mivel a 0,1 mm-es és 0,2 mm-es rétegvastagság között minimális érdességnövekedés lépett fel, ezért a 0,2 mm-es rétegvastagságot érdemes választani álló tájolású munkadarabok esetén.

A fekvő tájolású próbatetek esetén a fent említett tendencia nem mondható el, hiszen alapvetően rétegvastagság növelésével minimálisan csökken a felületi érdesség, ahogyan az a 9. ábrán látható. A 0,1 mm-es rétegvastagság esetén egy nagy érdességcsökkenés figyelhető meg, így ebből a szempontból fekvő tájolás esetén ez az érték tekinthető a nyomtatás optimumának.

Alapvetően a 2 tájolás eredményeit nem lehet összehasonlítani, mert míg az álló tájolás esetén a nyomtatott rétegekre merőlegesen, addig a fekvő tájolású darabok esetén a szálirányra párhuzamosan történt a mérés.

4.2. Alakhibamérés eredményei

Álló tájolású próbatetek esetén megfigyelhető, hogy a rétegvastagság ahogyan nőtt, úgy csökkent a tűrésmező szélessége, azaz, ha ezt a méreteltérést a tervezés során tudjuk kompenzálni, akkor szűkebb tűrésmezővel, azaz pontosabban tudunk gyorsabban gyártani.

A fekvő tájolású próbatetek esetén a 11. ábra és a 3. táblázat alapján látható, hogy a rétegvastagság növelésével nőtt a névleges mérettől való méreteltérés. Ezzel párhuzamosan a tűrésmező szélessége csökkent minimálisan, azonban a 0,2 mm-es rétegvastagság esetén ezt az aspektust vizsgálva egy optimumot láthatunk.

5. ÖSSZEGZÉS

A vizsgált tényezők alapján a fent vizsgált próbatetek esetén elmondható, hogy az álló tájolású nyomtatás kedvezőbb eredményt hozott és nem igényel utómunkát, mint a fekvő nyomtatással készült próbadarabok, ahol a támaszanyagokat el kell távolítani, ami nyomot hagy a nyomtatott termék felszínén, mely rontja az esztétikusságát.

Általánosságban elmondható, hogy a felületi érdességnek optimuma van mindkét tájolás esetén a nyomtatási idő függvényében. Ez nagy mértékben befolyásolja a gépidő révén a nyomtatási költségeket.

Megfigyelhető ezzel összefüggésben, hogy a rétegvastagság növeléssel a hengeresség tűrésmezőjének szélessége csökken, ezáltal, ha mérettorzulást a tervezés során sikerül kompenzálni, akkor pontosabb termékeket lehet előállítani.

IRODALOM

- [1] H. Alzyod and P. Ficzer, "The Influence of the Layer Orientation on Ultimate Tensile Strength of 3D Printed Poly-lactic Acid," *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, vol. 16, no. 3, 2022.
- [2] B. Ádám and Z. Weltsch, "Thermal and Mechanical Assessment of PLA-SEBS and PLA-SEBS-CNT Biopolymer Blends for 3D Printing," *Applied Sciences 2021, Vol. 11, Page 6218*, vol. 11, no. 13, p. 6218, Jul. 2021, doi: 10.3390/APP11136218.
- [3] "Tribological Behaviour Comparison of ABS Polymer Manufactured Using Turning and 3D Printing megtekintése | International Journal of Engineering and Management Sciences." https://deenkdev.lib.unideb.hu/ojs/IJEM_S/article/view/5154/4883 (accessed Jun. 08, 2022).
- [4] G. Krolczyk, P. Raos, and S. Legutko, "EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SURFACE ROUGHNESS AND SURFACE TEXTURE OF MACHINED AND FUSED DEPOSITION MODELLED PARTS," 2012.
- [5] K. Kandananond, "Surface Roughness Reduction in A Fused Filament Fabrication (FFF) Process using Central Composite Design Method," *Production Engineering Archives*, vol. 28, no. 2, pp. 157–163, Jun. 2022, doi: 10.30657/PEA.2022.28.18.
- [6] T. Yao, Z. Deng, K. Zhang, and S. Li, "A method to predict the ultimate tensile strength of 3D printing polylactic acid (PLA) materials with different printing orientations," *Composites Part B: Engineering*, vol. 163, pp. 393–402, Apr. 2019, doi:

- 10.1016/J.COMPOSITESB.2019.01.025
- [7] J. T. Cantrell *et al.*, “Experimental characterization of the mechanical properties of 3D-printed ABS and polycarbonate parts,” *Rapid Prototyping Journal*, vol. 23, no. 4, pp. 811–824, 2017, doi: 10.1108/RPJ-03-2016-0042/FULL/XML.
- [8] D. Ahn, J. H. Kweon, S. Kwon, J. Song, and S. Lee, “Representation of surface roughness in fused deposition modeling,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, no. 15–16, pp. 5593–5600, Aug. 2009, doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2009.05.016.
- [9] “Műszaki alapismeretek | Sulinet Tudásbázis.”
<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/mezogazdasag/muszaki-alapismeretek/alakturesek/alakturesek> (accessed Jun. 09, 2022).
- [10] M. Pérez, G. Medina-Sánchez, A. García-Collado, M. Gupta, and D. Carou, “Surface Quality Enhancement of Fused Deposition Modeling (FDM) Printed Samples Based on the Selection of Critical Printing Parameters,” *Materials 2018, Vol. 11, Page 1382*, vol. 11, no. 8, p. 1382, Aug. 2018, doi: 10.3390/MA11081382.
- [11] J. Jos’ *et al.*, “Mechanical properties of PLA-graphene filament for FDM 3D printing,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 103, pp. 2423–2443, 2019, doi: 10.1007/s00170-019-03532-5.
- [12] A. Nugroho, R. Ardiansyah, L. Rusita, and I. L. Larasati, “Effect of layer thickness on flexural properties of PLA (PolyLactid Acid) by 3D printing,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1130, no. 1, p. 012017, Nov. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1130/1/012017.
- [13] G. K. Maharjan, S. Z. Khan, S. H. Riza, and S. H. Masood, “Compressive Behaviour of 3D Printed Polymeric Gyroid Cellular Lattice Structure,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 455, no. 1, p. 012047, Dec. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/455/1/012047.