

# A 3D NYOMTATOTT PRÓBATESTEK RÉTEGVASTAGSÁGÁNAK ÉS ORIENTÁCIÓJÁNAK HATÁSA AZ ESZTERGÁLT MUNKADARABOK MÉRETPONTOSSÁGÁRA ÉS FELÜLETI ÉRDESSÉGÉRE

## THE EFFECT OF LAYER THICKNESS AND ORIENTATION OF 3D PRINTED TEST PIECES ON THE DIMENSIONAL ACCURACY AND SURFACE ROUGHNESS OF TURNED PARTS

Kónya Gábor<sup>1,2\*</sup>, 0000-0003-1531-5921, Ficzere Péter<sup>3</sup>, 0000-0003-3207-5501

<sup>1</sup> Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország

<sup>2</sup> Gépjárműtechnológia Tanszék, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Magyarország

<sup>3</sup> Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2024.1.ENG.005>

### **Kulcsszavak:**

FDM nyomtatás  
esztergálás  
PLA  
hengeresség  
felületi érdesség

### **Keywords:**

FDM printing  
turning  
PLA  
cylindricity  
Surface roughness

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2023. november 10.  
Átdolgozva 2024. április 15.  
Elfogadva 2024. április 20.

### **Összefoglalás**

A 3D nyomtatás jelentős fejlődésen megy keresztül napjainkban, melynek köszönhetően a termékfejlesztési idő rendkívül felgyorsult a gyors prototípusgyártás által, valamint késztermékek gyártása is nagymértékben egyszerűsödött. Azonban vannak olyan funkcionális felületek, melyeknek pontossága és felületi minősége nem érhető el 3D nyomtatással, ezt szubtraktív eljárással kell elkészíteni. Jelen publikációban a 3D nyomtatott, hengeres munkadarab rétegvastagságának és tájolásának hatásainak vizsgálatával foglalkoztunk a nyomtatott és esztergált munkadarabok méretpontosságára és felületi érdességére nézve. Eredményül azt kaptuk, hogy a nyomtatott felület érdessége és pontossága (megfelelő korrekció használata esetén) nincs hatással az esztergált felület érdességére, annak értéke konstans a rétegvastagság függvényében álló tájolás esetén.

### **Abstract**

3D printing is undergoing significant development today, with product development times greatly accelerated thanks to rapid prototyping, and the production of finished products greatly simplified. However, there are functional surfaces for which accuracy and surface quality cannot be achieved by 3D printing, and must be produced by a subtractive process. In this paper, we investigated the effects of layer thickness and orientation of 3D printed cylindrical workpiece on dimensional accuracy and

\* Kónya Gábor.  
E-mail cím: [konya.gabor@nje.hu](mailto:konya.gabor@nje.hu)

*surface roughness of printed and turned workpieces. The results show that the roughness and accuracy of the printed surface (when using the appropriate correction) has no effect on the roughness of the turned surface, and its value is constant for orientation as a function of layer thickness.*

## 1. Bevezetés

A különféle 3D nyomtatási eljárások megváltoztatták a mindennapjainkat az otthoni felhasználástól egészen az ipari alkalmazásokig [8]. Segítségével a termékfejlesztési idő nagymértékben felgyorsult, valamint nagy bonyolultságú termékek készre gyártásának lehetősége megnyílt az ipari szereplők számára [2] [6]. Ennek eredményeképp megnőtt a tervezési szabadság is, lehetőség nyílt a generatív tervezés alkalmazására is, melynek köszönhetően a hagyományos, szubtraktív eljárásokkal készült alkatrészek cserélhetők könnyebb, nyomtatott alkatrészekre azonos vagy jobb mechanikai szilárdsággal [4] [5].

Számos nyomtatási eljárás közül az FDM (Fused Deposition Modelling) eljárást választottuk, mivel a többi technológiához képest viszonylag olcsó és széles körben elérhető [1] [3], valamint nagy méretű termékek nyomtathatók vele. FDM 3D nyomtatás során a hőre lágyuló polimerszál az extrúderben megolvad, majd egy fúvókán keresztül a tárgyasztalra kerül. Eközben a fej x-y irányban mozog a 3D modellből kapott információk alapján, melynek eredményeképp létrehozza a modell egy keresztmetszeti rétegét, majd elkészülte után az asztal egy rétegvastagságnival lesüllyed. A folyamat addig ismétlődik, míg a teljes modell el nem készül [7].

Az alkatrészeken lehetnek olyan funkcionális felületek, melyek jó felületminőséget és pontosságot igényelnek (pl. tömítőfelületek, agy-tengely kapcsolat), melyeket 3D nyomtatással nehéz előállítani, ilyen esetekben a készre munkálásuk valamilyen szubtraktív eljárást igényel. Ezért jelen publikációban a 3D nyomtatott alkatrész rétegvastagságának és nyomtatási orientációjának hatását vizsgáljuk az esztergált felület méretpontosságára és felületi érdességére.

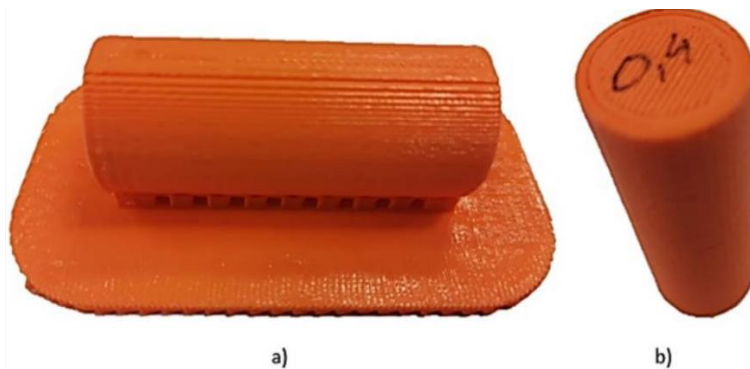
## 2. Kísérleti módszertan

A 2. fejezetben a nyomtatót, a nyomtatandó alapanyagot, a nyomtatási paramétereket, a forgácsolási paramétereket és a mérési módszereket mutatjuk be.

### 2.1. Nyomtatás módszertana

A nyomtatás Prusa i3 típusú 3D nyomtatóval történt. A nyomtatott alapanyag a hőre lágyuló PLA (Polylactic Acid) volt, melyet gyakran alkalmaznak 3D nyomtatás során jó mérettartása, alacsony mértékű zsugorodása és könnyű nyomtathatósága miatt.

Összesen 8 db, Ø20X50 mm hengeres próbatestet nyomtattunk, melyből 4 db álló tájolású és 4 db fekvő tájolású volt, ahogyan az 1. ábrán látható. A rétegvastagság mindkét tájolás esetén 0,05; 0,1; 0,2 és 0,4 mm volt.



1. ábra. Nyomtatott próbatestek: a) fekvő, b) álló [4]

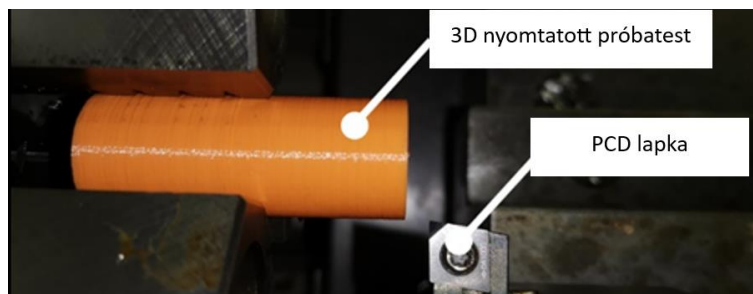
A nyomtatási paraméterek az 1. táblázatban láthatók.

1. Táblázat. Nyomatási paraméterek [6] [7]

Paraméterek	Értékek
Rétegvastagság (mm)	0,05; 0,1; 0,2; 0,4
Falvastagság (mm)	2,5
Kitöltés sűrűsége (%)	30
Nyomatási hőmérséklet (°C)	215
Nyomatási sebesség (mm/s)	40

## 2.2. Esztergálás módszertana

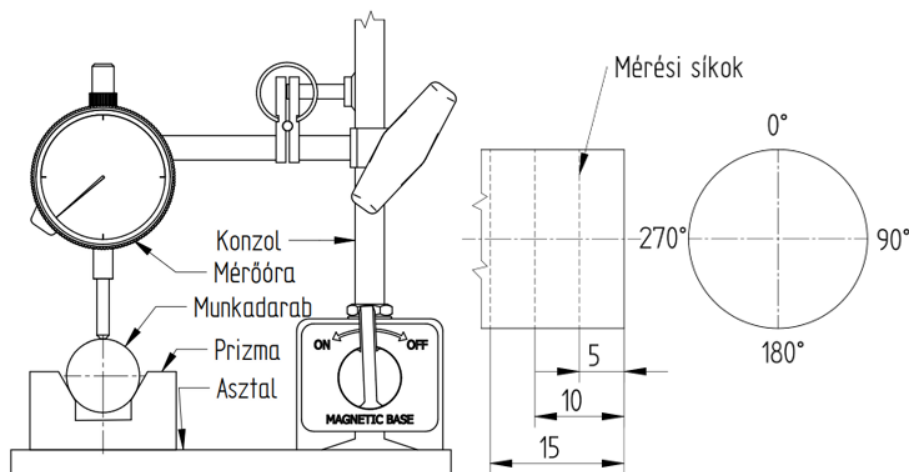
Nyomatott próbatestek felületi érdességének és hengerességének mérése után minden egyes darabot megszesztergáltunk  $v_c = 100$  m/min forgácsolási sebességgel és  $f = 0,3$  mm/fordulat előtolással száraz körülmények között. A fogásmélység változó paraméter volt, mert a névleges  $\varnothing 18$  mm átmérő elérése volt a cél. Az esztergálás NCT Euroturn 12 típusú CNC esztergán történt. A megmunkáláshoz PCD (Polycrystalline Diamond) lapkás szerszámot használtunk, ahogyan a 2. ábrán látható.



2. ábra. Kísérleti beállítás esztergáláshoz

## 2.3. Felületi érdesség és hengeresség mérés

A felületi érdesség mérése tapintós Mitutoyo Formtracer SV-C3100 érdességmérővel történt MSZ EN ISO 4278:2002 szabvány szerint. A hengeresség mérés prizmában történt Mitutoyo 543-270B típusú 0,01 mm pontosságú analóg mérőórával, mert olyan nagy mértékű volt az alkatrészek ütése, hogy köralakhiba mérőben nem lehetett megmérni. A mérési módszer a 3. ábrán látható. A mérés 3 síkban történt, melyek 5; 10 és 15 mm-re helyezkednek el a nyomtatott próbatest végétől. Mindegyik síkban 4 mérés történt  $90^\circ$ -onként. Mindkét mérés eredményét Microsoft Excel segítségével értékeltük ki.

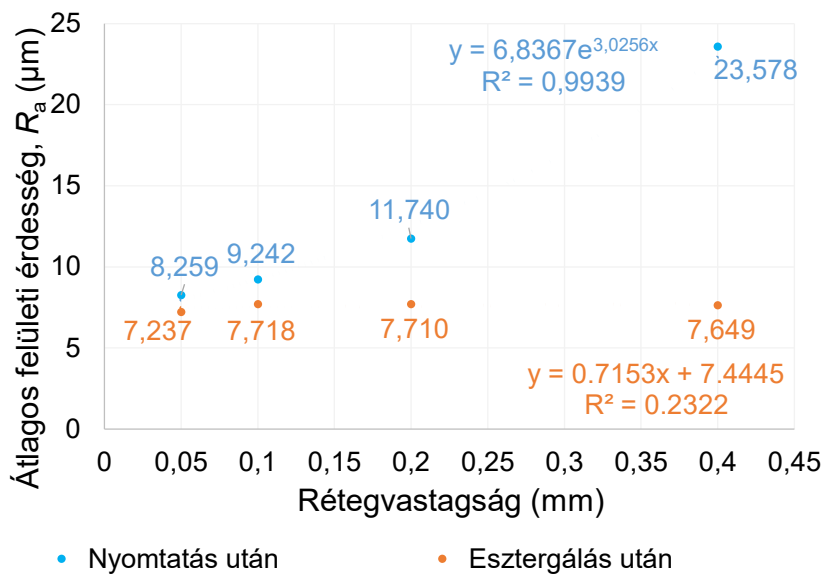


3. ábra. Hengeresség mérés elvi ábrája

### 3. Eredmények

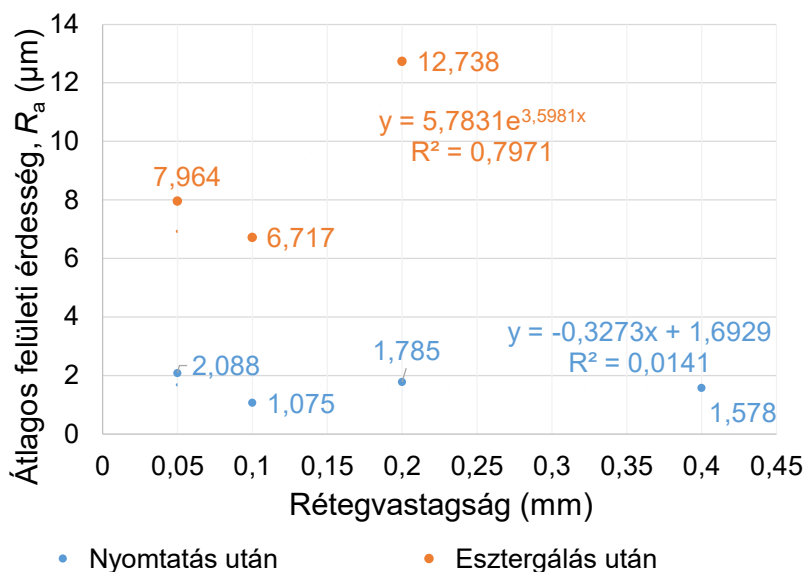
#### 3.1. Átlagos felületi érdesség

A 4. ábrán az átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) látható nyomtatás és esztergálás után a rétegvastagság függvényében álló tájolás esetén. Megfigyelhető, hogy exponenciálisan romlik az átlagos felületi érdesség a rétegvastagság függvényében nyomtatás során, melyért a rétegvastagság növelése a felelős. A 0,05 és 0,1 mm-es rétegvastagság esetén az átlagos felületi érdességromlás minimális, azonban a nyomtatási idő a felére csökken, így megmunkálás nélkül a 0,1 mm-es rétegvastagsággal érdemes nyomtatni álló tájolásban, hengeres próbatesteket. Látható, hogy az esztergált felület átlagos felületi érdességére nincs hatása a rétegvastagságnak, annak értéke  $R_a = 7,2 - 7,7 \mu\text{m}$  között változik. Erre elsősorban a technológiai paramétereknek, a gép pontosságának és merevségének, valamint a forgácsoló szerszámnak van hatása.



4. ábra. Átlagos felületi érdesség a rétegvastagság függvényében nyomtatás és esztergálás után álló tájolás esetén

Az 5. ábrán az átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) látható nyomtatás és esztergálás után a rétegvastagság függvényében fekvő tájolás esetén.



5. ábra. Átlagos felületi érdesség a rétegvastagság függvényében nyomtatás és esztergálás után fekvő tájolás esetén

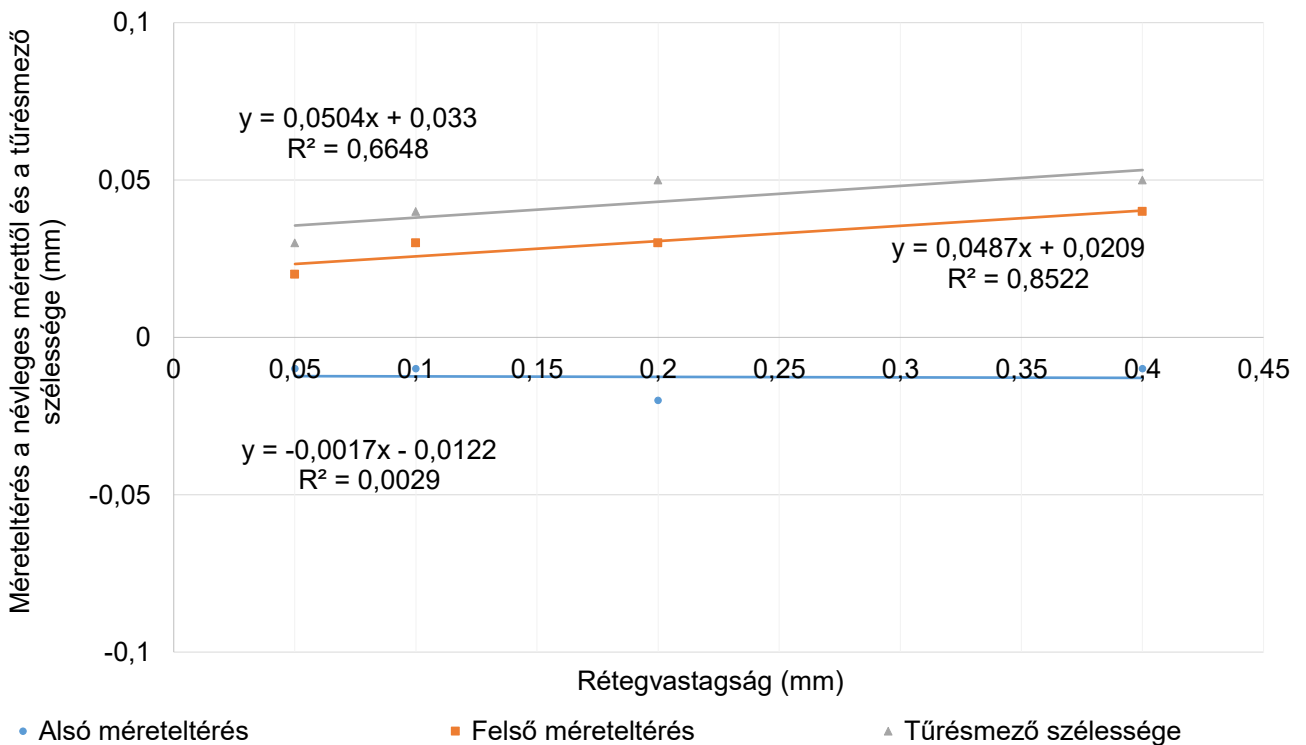
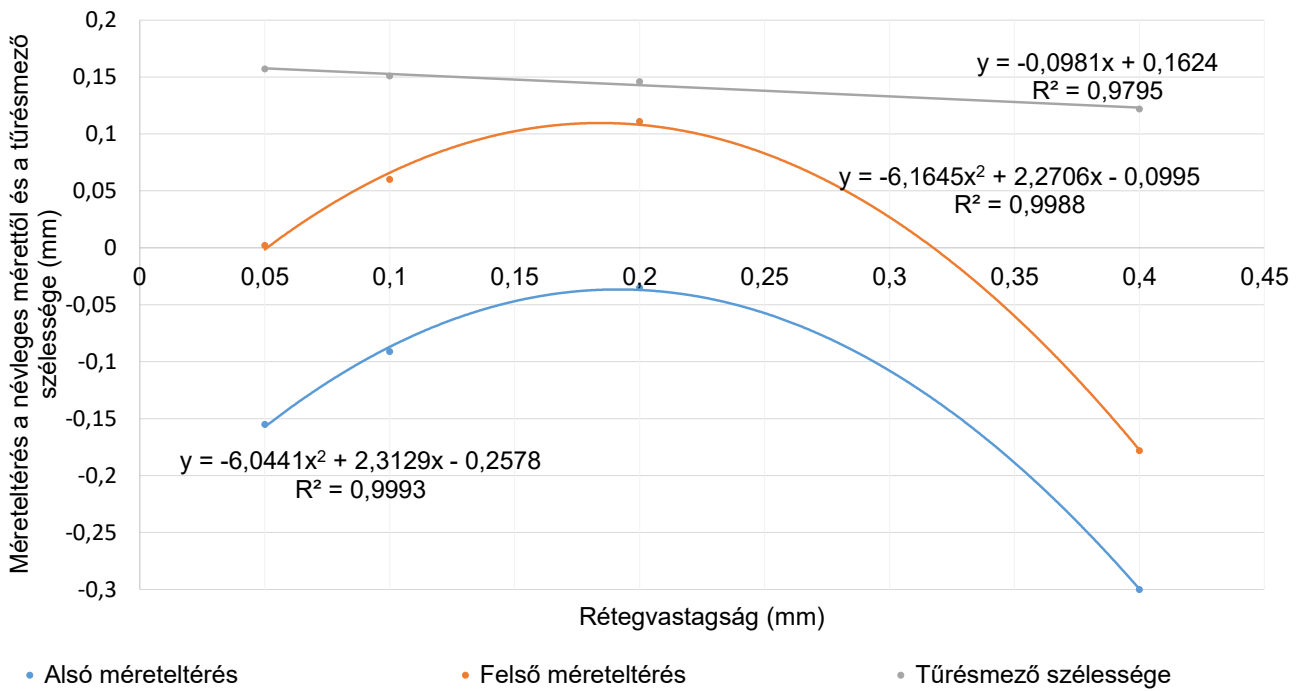
Megfigyelhető, hogy nyomtatás után nincs szignifikáns változás az átlagos felületi érdesség értékében a rétegvastagság növelésével, ez annak köszönhető, hogy fekvő tájolás esetén a mérés iránya megegyezik a nyomtatott réteg irányával, így az álló tájolás esetén kapott eredményekkel nem összehasonlítható. Esztergálás után megfigyelhető, hogy az átlagos felületi érdesség a rétegvastagság függvényében exponenciálisan romlik, a 0,4 mm-es rétegvastagság esetén nem is mérhető, mivel a felület elkenődött, mely a rossz kiinduló felületi minőség és méretpontosság miatt van, ahogyan az a 6. ábrán látható. Így a hengerességre sem tudunk adatot mérni.



6. ábra. 0,4 mm-es rétegvastagsággal nyomtatott, fekvő tájolású próbatest esztergálást követően

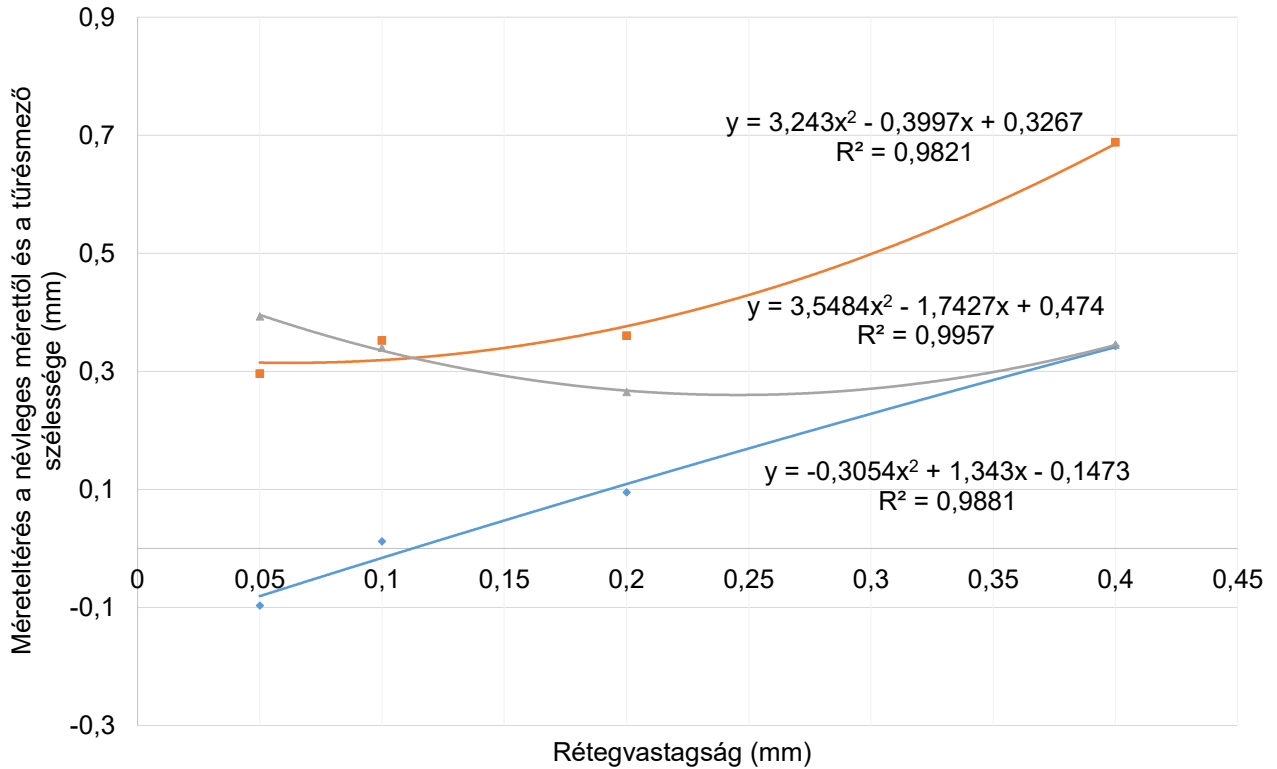
### 3.2. Hengeresség

A 7. ábrán a névleges mérettől való eltérés és a túrésmező szélesség látható nyomtatás és esztergálás után a rétegvastagság függvényében álló tájolás esetén. Megfigyelhető, hogy nyomtatás után a méreteltérés a rétegvastagság függvényében negatív irányban tér el, így nyomtatott méret a névleges méretet nem éri el. Azonban a túrésmező szélessége csökken a rétegvastagság függvényében, ami azt jelzi, hogy szűkebb túréssal lehet nyomtatni. A túrésmező szélessége a felső- és az alsó méreteltérésből lett kiszámolva. Esztergálás után a elérni kívánt  $\varnothing 18$  mm-es átmérőt sikerült megvalósítani 0,03 – 0,05 mm pontossággal, a rétegvastagságnak nincs hatása a hengerességre. A hiba a szerszámgép alapvető hibájából, megfogásból ered.



7. ábra. A névleges mérettől való eltérés és a tűrésmező szélesség a rétegvastagság függvényében (felső) nyomtatás és (alsó) esztergálás után álló tájolás esetén

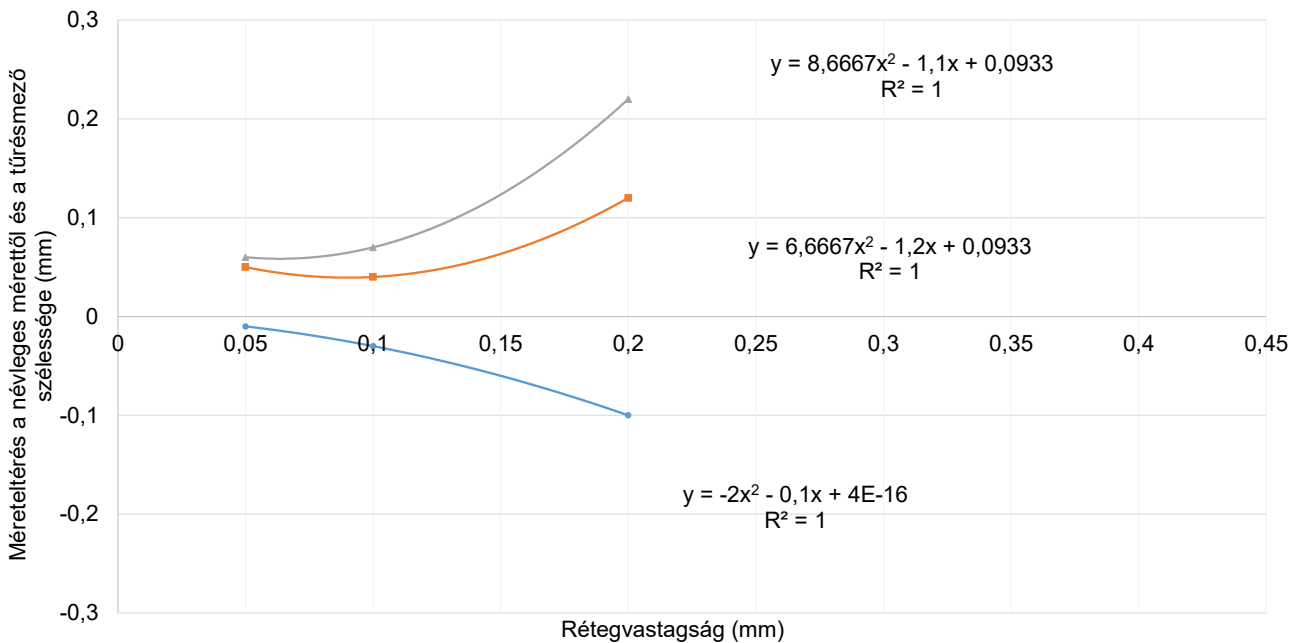
A 8. ábrán a névleges mérettől való eltérés és a tűrésmező szélesség látható nyomtatás és esztergálás után a rétegvastagság függvényében fekvő tájolás esetén.



• Alsó méreteltérés

■ Felső méreteltérés

▲ Tűrésmező szélessége



• Alsó méreteltérés

■ Felső méreteltérés

▲ Tűrésmező szélessége

8. ábra. A névleges mérettől való eltérés és a tűrésmező szélesség a rétegvastagság függvényében (felső) nyomtatás és (alsó) esztergálás után fekvő tájolás esetén

Fekvő tájolás esetén megfigyelhető, hogy a méreteltérés nőtt a rétegvastagság függvényében nyomtatás után, minden esetben a névleges mérethez képest nagyobb átmérőben sikerült kinyomtatni a próbatesteket. Ez a hengeres alkatrészek nyomtatása szempontjából kedvezőtlen nyomtatási orientációból eredhet. Esztergálást követően ez a hiba nagy mértékben csökkent,

azonban gépészeti alkalmazáshoz mérten nem megfelelő. Látható, hogy a méreteltérés a rétegvastagság függvényében növekszik. Ez a hiba ebben az esetben is a szerszámgép hibájából, a megfogásból ered, valamint főként a kiinduló próbatest hibájából, hiszen ilyen hiba mellett az egytengelyűség megvalósítása rendkívül nehéz feladat. Emellett a forgácsolási hőmérséklet is befolyásolhatja, azonban a kísérletek során nem volt mérve, viszont mivel a technológiai paraméterek azonosak voltak, így a képződő hőmennyiségnek is azonosnak kell lennie, vagyis konstans értéként szerepel a kísérletek során.

### 3.3. Forgácsképződés

A forgácsolási kísérletekből származó forgácsok álló és fekvő tájolás esetén a 9. ábrán figyelhetőek meg.



9. ábra. Kapott forgács a) álló és b) fekvő tájolású próbatestek esztergálása során

Látható, hogy az álló tájolású próbatestek esztergálása esetén folyó forgács keletkezett, mivel a nyomtatott szál iránya a forgácsoló sebesség irányával megegyezik. Ezzel szemben, a fekvő tájolású próbatestek esztergálása során apró, tört forgács keletkezett, ez annak köszönhető, hogy ebben az esetben a nyomtatott szál iránya merőleges a forgácsoló sebesség irányára. Ebből a szempontból nézve, a fekvő tájolóással nyomtatott darabok esztergálása kedvezőbb, mivel az apróbb, tört forgácsot könnyebb kezelni. Azonban a forgácsstörés javítható álló tájolóással nyomtatott próbatestek esetén is, például forgácsstörő horony alkalmazásával vagy az előtoló mozgás megszakításával.

## 4. Összegzés

Jelen publikációban PLA alapanyagból, hengeres 3D nyomtatott próbatestek forgácsolási vizsgálatával foglalkoztunk, mely során a próbatestek tájolásának irányának és rétegvastagságának hatásait vizsgáltuk az esztergált felület átlagos felületi érdességére és hengerességére nézve. Eredményül kaptuk, hogy nyomtatott próbatest rétegvastagsága nincs hatással az esztergált felület átlagos felületi érdességére, azt elsősorban a gép pontossága, a technológiai paraméterek és a kiválasztott szerszám befolyásolják. Esztergált felület átlagos felületi érdessége a rétegvastagság függvényében állandó álló tájolás esetén. Esztergálást követően megállapítható, hogy az álló tájolású próbatestek átlagos felületi érdessége jobb, mint a fekvő tájolásúaké, így ebből a szempontból az álló tájolású próbatestek megfelelőbbek.

A nyomtatott próbatestek rétegvastagsága álló tájolás esetén nincs hatással az esztergált munkadarab hengerességére, az a gép pontosságán belül van. Ezzel szemben a fekvő tájolású próbatestek esetén rétegvastagság függvényében folyamatosan romlik. Itt nagymértékben látszik a nyomtatott próbatest mérethibájának befolyása az esztergált munkadarab pontosságában. Esztergálást követően megállapítható, hogy az álló tájolású próbatestek hengeressége jobb, mint a fekvő tájolásúaké, így ebből a szempontból is az álló tájolású próbatestek megfelelőbbek.

Forgácsstörés szempontjából a fekvő tájolású próbatestek esztergálása bizonyult jobbnak. Azonban az álló tájolás esetében is nagymértékben fokozható a forgácsstörés például forgácsstörő horony alkalmazásával vagy az előtoló mozgás időnkénti megszakításával.



## Irodalomjegyzék

- [1] Ádám, B., Polgár, B. és Nagy, D.: The effect of different printing parameters on mechanical and thermal properties of PLA specimens, *Gradus*, 2020, Vol. 7, No. 3, pp. 166–173, DOI: 10.47833/2020.3.ENG.001
- [2] Ficzer, P.: The Impact of the Positioning of Parts on the Variable Production Costs in the Case of Additive Manufacturing, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 2022, Vol. 50, No. 3, pp. 304–308, DOI: 10.3311/PPtr.15827
- [3] Hanon, S. M. M., Kovács, M. és Zsidai, L.: Tribological Behaviour Comparison of ABS Polymer Manufactured Using Turning and 3D Printing, *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 2019, vol. 4, No. 1, pp. 46-57, DOI: 10.21791/IJEMS.2019.1.7
- [4] Kónya, G., Ficzer, P.: The Effect of Layer Thickness and Orientation of the Workpiece on the Micro- and Macrogeometric Properties and the Machining Time of the Part during 3D Printing, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 2023, Vol. 67, No. 2, pp. 143-150, DOI: 10.3311/PPme.21473
- [5] Ledniczky, Gy., Weltsch, Z.: Comparison of the molding parameters effects on metal injection molded specimens in the real experimental and simulation environments, *KOMUNIKACIE / COMMUNICATIONS 1335-4205*, 2024, Vol. 26, No. 2, pp. B90-B98, DOI: 10.26552/com.C.2024.018
- [6] Ledniczky, Gy., Weltsch, Z.: Effects of injection Moulding Parameters on the Produced Parts, *ACTA MATERIALIA TRANSYLVANICA (EN)* 2601-8799, 2023, Vol. 6. No. 1, pp. 33-37, DOI: 10.33924/amt-2023-01-06
- [7] Kun, K.: Reconstruction and development of a 3D printer using FDM technology, *Procedia Engineering*, 2016, Vol. 149, pp. 203–211, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.657
- [8] Tóth, L., Slezák, E., Bocz, K., Ronkay, F.: Progress in 3D printing of recycled PET, *Materials Today Sustainability*, 2024, Vol 26, p. 100757, DOI: 10.1016/j.mtsust.2024.100757