

FDM nyomtatott PLA és kenderszál erősített PLA fogaskerekek pontosságának vizsgálata

Testing the accuracy of FDM printed PLA and hemp fibre reinforced PLA gears

MARADA Imre¹, CSÖRGŐ Zsombor László², Dr. KOVÁCS Sándor³

¹Kutató, ²Junior kutató, ³Vezető kutató,

Szerkezetintegritás és Gyártástechnológia Osztály, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.,
3519 Miskolc, Iglói út 2.

Abstract

The most common production method for plastic gears is injection moulding. However, this is only economical for large production volumes. In recent years, FDM 3D printers have become a common manufacturing tool in industry, so more and more plastic parts are being produced using this method. However, the question arises as to whether this method is accurate enough to produce plastic gears. To determine this, we compared FDM printed gears.

Keywords: 3D printing, FDM, PLA, torque, fault

Kivonat

A műanyag fogaskerekek leggyakoribb előállítási módja a fröccsöntés. Ez azonban csak nagy gyártási volumenek esetén gazdaságos. Az FDM 3D nyomtatók az utóbbi években az iparban is elterjedt gyártási eszközökké váltak, így egyre több és több műanyag alkatrész készül ilyen módszerrel. Azonban adódik a kérdés, hogy elég pontos-e ez a módszer műanyag fogaskerekek gyártására. Ennek a meghatározására FDM nyomtatott fogaskerékpárokat hasonlítottunk össze.

Kulcsszavak: 3D nyomtatás, FDM, PLA, nyomaték, hiba

1. BEVEZETÉS

A műanyag fogaskerekek leggyakoribb előállítási módja a fröccsöntés. Ez azonban csak nagy gyártási volumenek esetén gazdaságos, hiszen költséges szerszámot kell tervezni és gyártani hozzá. Az FDM 3D nyomtatók az utóbbi években az iparban is elterjedt gyártási eszközökké váltak, így egyre több és több műanyag alkatrész készül ilyen módszerrel. Ennek oka, hogy 3D nyomtatás egyedi- és tömeggyártás esetén is gazdaságos eljárás, hiszen a fröccsöntéssel ellentétben nem szükséges szerszámot tervezni és gyártani hozzá. Azonban adódik a kérdés, hogy elég pontos-e ez a módszer műanyag fogaskerekek gyártására, különösen kisebb modulok esetén.

2. A FOGASKEREKEK

A bevezetőben felvetett kérdés megválaszolására műanyag fogaskerekeket nyomtattunk FDM technológiával. A nyomtatáshoz egy Raise3D Pro3 Plus nyomtatót használtunk. Nyomtatási anyagnak kétféle választottunk. Egyrészt az FDM nyomtatásnál leggyakrabban használt PLA (politejsav) műanyagot. Másrészt egy kenderrel töltött PLA anyagot. Ez utóbbi 200 µm alatti szemcseméretű szálakat tartalmazott, 3,3 tömegszázalékos töltöttségben. Ezt az anyagot azért választottuk, hogy megnézzük, milyen hatása van ennek a pontosságra, mivel gyakran szoktak szálerősített műanyag fogaskerekeket alkalmazni.

A fogaskerékgeometriát kétféle modullal generáltuk a KISSSoft szoftverével. Így létrehoztunk $m=0,5$ mm és $m=1$ mm modulú fogaskerekeket. Mindegyik modulhoz kétféle fogszámot választottunk, ezek $z=30$ és $z=50$ voltak az $m=0,5$ mm modulnál, illetve $z=15$ és $z=25$ az $m=1$ mm modul esetén.

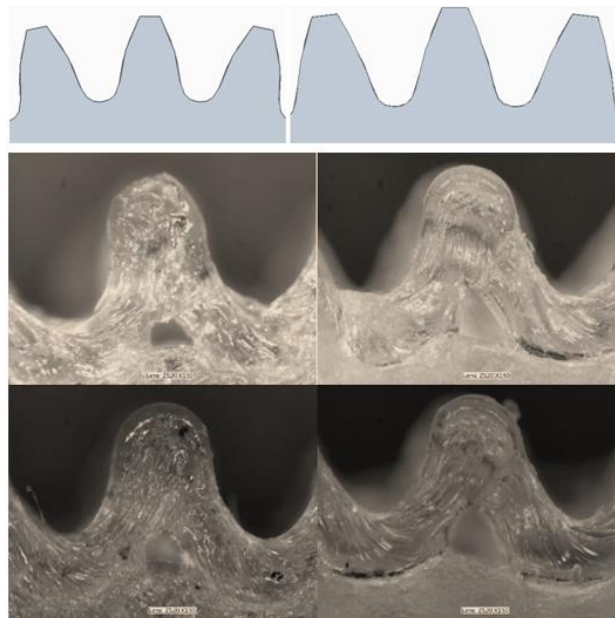
3. AZ ELVÉGZENDŐ VIZSGÁLATOK

Kétféle vizsgálati módszert választottunk. Egyrészt a fogaskereket megvizsgáltuk mikroszkóp alatt. Itt először azt néztük, hogy a fogak geometriája mennyire hasonlít a kiindulási geometriához. Utána osztóköri fogvastagságot mértünk minden esetben 3-3 fogaskerék több fogán is, amit szintén a kiindulási geometria osztóköri fogvastagságával hasonlítottunk össze. Ez $m=0,5$ mm esetén $720\ \mu\text{m}$, $m=1$ mm esetén pedig $1500\ \mu\text{m}$ volt.

Ezek után egy különleges mérőberendezésbe helyeztünk egy-egy ugyanolyan modulú és fogszámú fogaskerékpárt. A méréshez egy olyan nyomatókmérő berendezést használtunk, amely a differenciálmű elvén alapulva dinamikus nyomatókmérést végez. A készüléket a meghajtó motor kimenő tengelyéhez és a mérendő fogaskereket tartalmazó hajtómű bemenő tengelyéhez csatlakoztattuk. A berendezéssel az átfogatáshoz szükséges nyomatókót vizsgáltuk, abban az esetben, amikor a fogaskerékpárokat tartalmazó hajtóművön nincs terhelés. Számos eset igazolta, hogy ez a módszer alkalmas a műanyag fogaskerekek hibáinak vizsgálatára. [1] [2] [3] [4] Minden fogaskerékpárra 3-3 egymástól független mérést végeztünk el. A berendezés részletes leírása az [5] szakirodalomban található.

4. AZ EREDMÉNYEK $M=0,5$ MM ESETÉN

Az 1. ábrán a generált fogazat modellje és a nyomtatott fogaskerekek fogainak mikroszkópos képe látható. Jól látszik, hogy a nyomtatott fogak alakja jelentősen eltér a kiindulási geometriához képest.



1. ábra. A fogazatok képe (bal fent: a kiindulási geometria $z=30$ esetén, jobb fent: a kiindulási geometria $z=50$ esetén, bal középen: $z=30$ kender-PLA kompozit, jobb középen: $z=30$ PLA, bal lent: $z=50$ kender-PLA kompozit, jobb lent: $z=50$ PLA)

A fogvastagságok legnagyobb, legkisebb és átlagos értékei $m=0,5$ mm esetén

1. táblázat

Fogaskerék	Maximum [μm]	Minimum [μm]	Átlag [μm]
$z=30$, PLA	790,12	631,71	734,859
$z=30$, kender-PLA	885,23	692,01	762,9468
$z=50$, PLA	814,53	672,7	737,1983
$z=50$, kender-PLA	805,41	696,22	749,6768

A fogvastagságokat az 1. táblázat tartalmazza. Jól látható az értékekből, hogy azok nagy mértékben eltérnek a kiindulási geometria $720\ \mu\text{m}$ -es értékéhez képest.

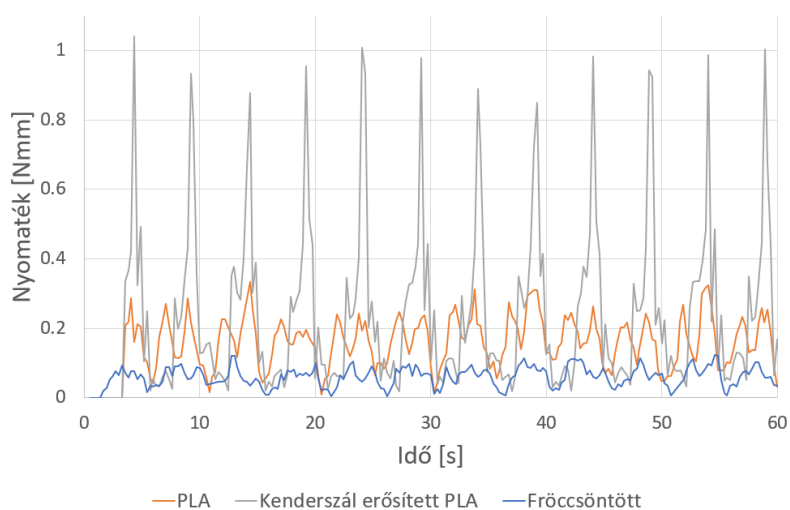
A következő lépés az átfogatási nyomaték vizsgálata volt. A 2. ábra egy PLA és egy kenderrel töltött PLA görbéjét hasonlítja össze $z=30$ esetén egy olyan fröccsöntött fogaskerekével, ami a $720\ \mu\text{m}$ -hez képest csak $\pm 35\ \mu\text{m}$ -rel tér el. A 3. ábra ugyanezt mutatja $z=50$ fogaskerékpár esetén. A mérések maximum, minimum és átlagos értékeit a 2. táblázat foglalja össze. Az értékekből látható, hogy a mérési eredmények is ugyanazokat az eltéréseket mutatják az egyes értékek között, mint a mikroszkópos mérések.

Az is megfigyelhető, hogy a kenderrel töltött, $z=30$ fogszámú fogaskerekéknél jelentősen megnövekedik a maximum és az átlag érték mind a fogvastagságnál, mind a nyomatéknál. Viszont $z=50$ esetén már csak az átlagos érték nagyobb mindkét méréstípusnál a PLA-hoz képest.

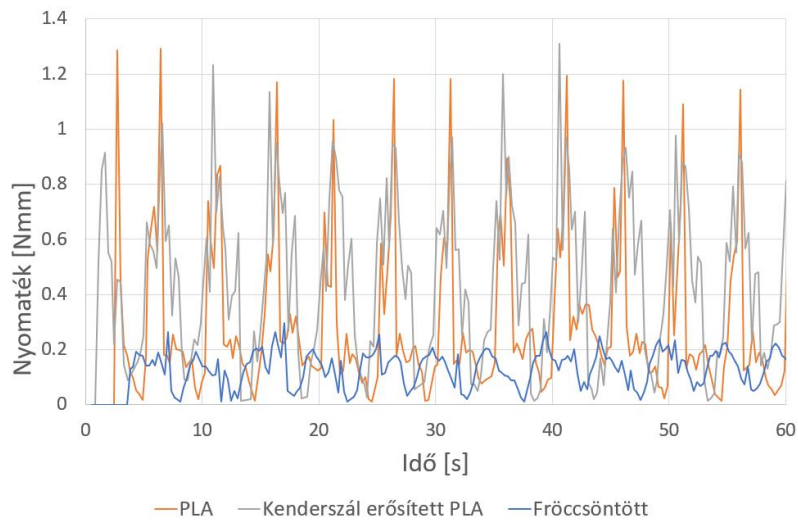
A nyomatékgörbék értékei $m=0,5\ \text{mm}$ modul esetén

2. táblázat

Fogaskerék	Mérés	Maximum [Nmm]	Minimum [Nmm]	Átlag [Nmm]
$z=30$, PLA	1. mérés	0,299009	0,012066	0,1149
	2. mérés	0,333148	0,008155	0,163013
	3. mérés	0,272816	0,007946	0,131872
$z=30$, kender-PLA	1. mérés	1,041086	0,016922	0,253143
	2. mérés	0,968247	0,016186	0,249158
	3. mérés	1,055066	0,017658	0,316176
$z=50$, PLA	1. mérés	1,36874	0,019865	0,327251
	2. mérés	1,293939	0,010055	0,298301
	3. mérés	1,255925	0,008829	0,298362
$z=50$, kender-PLA	1. mérés	1,355619	0,015328	0,534942
	2. mérés	1,285723	0,010423	0,463246
	3. mérés	1,309022	0,012876	0,455349



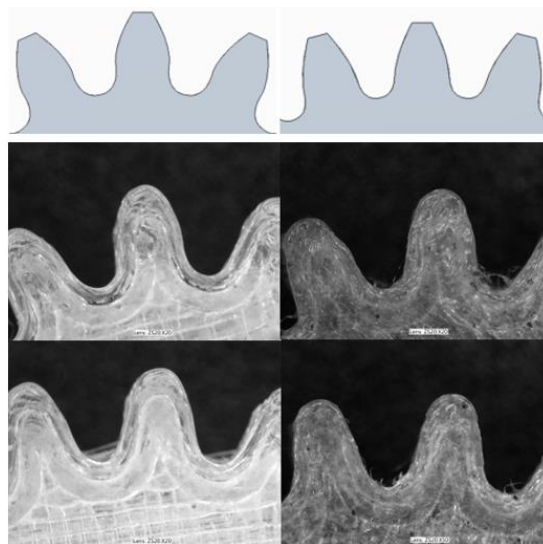
2. ábra. Az átfogatási nyomaték görbéje $m=0,5\ \text{mm}$ és $z=30$ esetén



3. ábra. Az átforgatási nyomaték görbéje $m=0,5$ mm és $z=50$ esetén)

5. AZ EREDMÉNYEK $M=1$ MM ESETÉN

Az 4. ábrán a kiindulási geometria modellje és a nyomtatott fogaskerekek fogainak mikroszkópos képe látható. Bár az $m=0,5$ mm esethez képest a fogak már jobban hasonlítanak a kiindulási geometriához, azonban még mindig jelentős eltérés látható.



4. ábra. A fogazatok képe (bal fent: a kiindulási geometria $z=15$ esetén, jobb fent: a kiindulási geometria $z=25$ esetén, bal közepen: $z=15$ PLA, jobb közepen: $z=15$ kender-PLA kompozit, bal lent: $z=25$ PLA, jobb lent: $z=25$ kender-PLA kompozit)

A fogvastagságok legnagyobb, legkisebb és átlagos értékei $m=1$ mm esetén

3. táblázat

Fogaskerék	Maximum [μm]	Minimum [μm]	Átlag [μm]
$z=15$, PLA	1675,63	1382,85	1497,417
$z=15$, kender-PLA	1685,907	1484,28	1579,907
$z=25$, PLA	1655,18	1409,65	1493,667
$z=25$, kender-PLA	1614,255	1379,44	1467,255

A fogvastagságok értékét a 3. táblázat foglalja össze. A táblázat értékei még mindig jelentősen eltérnek az 1500 µm-es névleges értéktől.

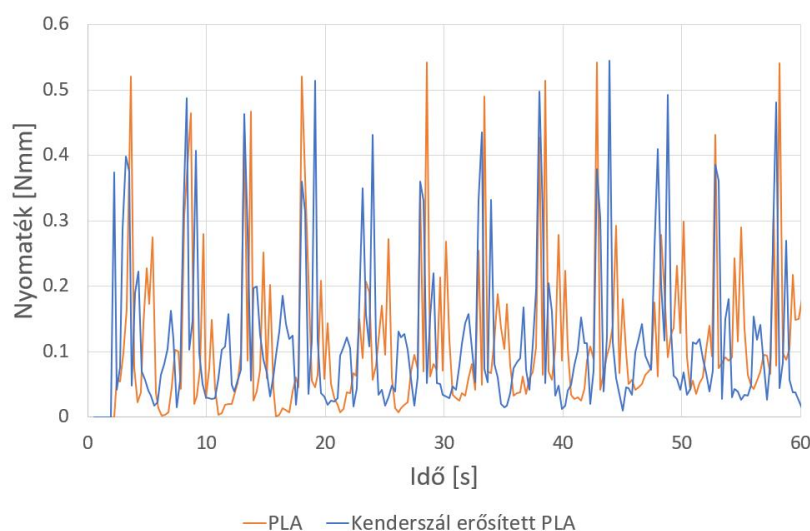
Az átforgatási nyomatékok eredményeit a 5. és 6. ábrák, illetve a 4. táblázat tartalmazzák. Az $m=0,5$ mm esethez hasonlóan itt is megfigyelhető, hogy a mikroszkópos és a nyomatékmérés is ugyanazokat az eltéréseket mutatja az egyes esetek között.

A 0,5 mm modulhoz hasonlóan $z=15$ fogszámánál itt is megnövekszik a fogvastagság és vele együtt a nyomaték átlagos értéke, azonban itt már csak kisebb mértékben és $z=25$ -nél már nem figyelhető meg ez a növekedés.

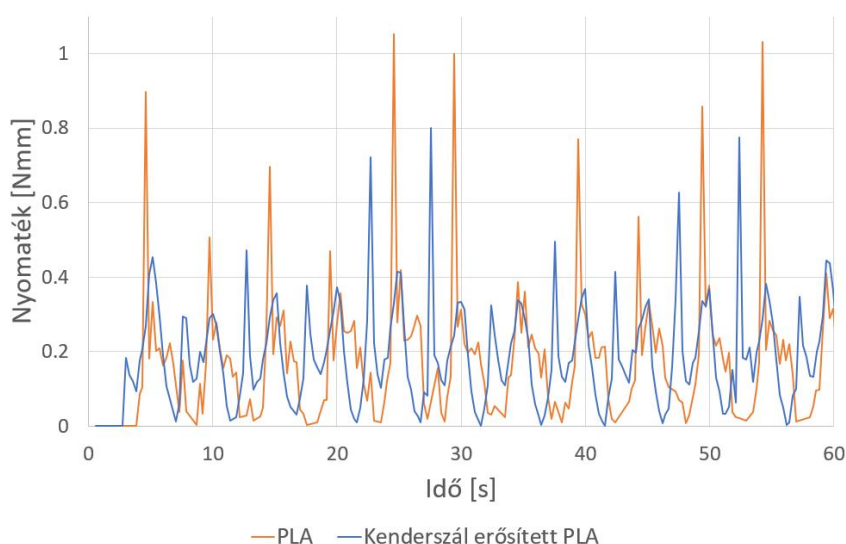
A nyomatékgörbék értékei $m=1$ mm modul esetén

4. táblázat

Fogaskerék	Mérés	Maximum [Nmm]	Minimum [Nmm]	Átlag [Nmm]
z=15, PLA	1. mérés	0,582714	0,001471	0,102028
	2. mérés	0,542984	0,001572	0,115608
	3. mérés	0,553284	0,002943	0,125729
z=15, kender-PLA	1. mérés	0,605522	0,012508	0,161077
	2. mérés	0,544455	0,010301	0,125616
	3. mérés	0,523118	0,011772	0,14049
z=25, PLA	1. mérés	1,117114	0,001246	0,202836
	2. mérés	1,050896	0,002452	0,193239
	3. mérés	1,01043	0,003579	0,184954
z=25, kender-PLA	1. mérés	0,813004	0,003679	0,206357
	2. mérés	0,800741	0,001225	0,194856
	3. mérés	0,724714	0,001326	0,19228



5. ábra. Az átforgatási nyomaték görbéje $m=1$ mm és $z=15$ esetén



6. ábra. Az átfogatási nyomaték görbéje $m=1$ mm és $z=25$ esetén

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben arra kerestük a választ, hogy helyettesíthetőek-e fröccsöntéssel készített műanyag fogaskerekek FDM 3D nyomtatással gyártott fogaskerekkel. Ennek érdekében mikroszkópos vizsgálatokat végeztünk, illetve megvizsgáltuk a fogaskerékpárok átfogatásához szükséges nyomatékot abban az esetben, amikor azokon nincs terhelés. Mindkét módszer ugyanazt az eredményt adta. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy $m=1$ mm vagy annál kisebb modulú fogaskereket nem lehet FDM technológiával megfelelő pontossággal gyártani.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A TKP2021-NKTA-07 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Project no. TKP2021-NKTA-07 has been implemented with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the TKP2021-NKTA funding scheme.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Bihari J., Kisméretű műanyag fogaskerekes hajtások hibái, GÉP, Gépipari Tudományos Egyesület, 2014, 65: 2 pp., 19-22.
- [2] Bihari J., Kamondi L., Design ground of a machine for testing small plastic gears, CADAM 2011: 9th International Scientific Conference on Advanced Engineering, Computer Aided Design and Manufacturing, University of Rijeka, Rijeka, Horvátország, 2011., Paper: 3, p. 7
- [3] Bihari J., Kamondi L., Kis méretű műanyag fogaskerekek vizsgálata, GÉP, Gépipari Tudományos Egyesület, 2011, 62: 7-8 pp., 21-24.
- [4] Bihari J., Kamondi L., Design ground of a machine for testing small plastic gears, ADVANCED ENGINEERING 5, 2011, 1 pp. 15-25.
- [5] I. Marada, J. Bihari: A kisméretű műanyag fogaskerékpárok átfogatási nyomatékának vizsgálatára szolgáló berendezések összehasonlítása, GÉP, Gépipari Tudományos Egyesület, 2023, 74: 4 pp., 106-109.