

3D NYOMTATOTT 0,3 MM MODULÚ MŰANYAG FOGASKEREKEK PONTOSSÁGA

ACCURACY OF 3D PRINTED PLASTIC GEARS WITH A 0.3 MM MODULE

Dr. Marada Imre*

ABSTRACT

Small plastic gears can be found in almost every sector of industry. These are gears with a module of not larger than 0.5 mm and made from some form of polymer. In my previous research, I studied small plastic gears as the subject of my PhD thesis. In that research, I established that the faults on small plastic gears can be detected by examining the recirculation torque. To this end, I used SLA 3D printing to produce gears with both faultless and faulty teeth. In my PhD thesis, I examined the 0.5 mm module, as injection-molded gears of this size were available to me for comparison. In this article, I examined the accuracy of SLA 3D printed gears with a 0.3 mm module.

1. BEVEZETÉS

A kisméretű műanyag fogaskerekek olyan fogaskerekek, melyeknek a modulja 0,5 mm-nél nem nagyobb és polimer alapanyagból készülnek. Gyártásukat általában fröccsöntéssel szokták végezni, leggyakoribb alapanyagaik közé a poliamid és a polioximetilén tartozik. [1] [2]

Kisméretű műanyag fogaskerek szinte minden területen előfordulhatnak. Általában nem teljesítményhajtások esetében alkalmazzák őket, hanem kinematikai műveletek végrehajtásakor. A járműiparban például a visszapillantó tükrök állításánál használják ezeket. De megtalálhatóak irodai gépekben, például nyomtatókban, vagy mérőeszközökben is. [3] [4]

Korábbi kutatási tevékenységem során, a PhD értekezésemben foglalkoztam kisméretű műanyag fogaskerekekkel. Munkámban a kisméretű műanyag fogaskerekek hibáinak kimutathatóságát vizsgáltam. Megállapítottam, hogy az átforgatási nyomaték mérésével ezek a hibák kimutathatóak. Ezekhez a mérésekhez kis mennyiségben, alacsony költséggel kellett hiba nélküli és hibás fogakat tartalmazó fogaskerekeket gyártanom. Mivel a fröccsöntés csak nagy gyártási volumen mellett gazdaságos eljárás, ezért kutatásom során megvizsgáltam az egyes 3D nyomtatási eljárások pontosságát optikai mikroszkópos mérésekkel és ezeket fröccsöntött fogaskerekek pontosságával hasonlítottam össze. Mivel a fröccsöntött

fogaskerekekből csak $m=0,5$ mm modulú, 30-as és 50-es fogszámú fogaskerekek álltak rendelkezésemre, ezért a nyomtatáshoz és az átforgatási nyomaték vizsgálatához s ilyen méretekkel rendelkező fogaskerekeket választottam. Végül a vizsgálataim bemutatták, hogy az STL (sztereolitográfia) eljárással, Phrozen Mini 8k s nyomtatóval, 0,05 mm rétegvastagság és 4 s megvilágítási idő mellett, Phrozen Rock Black Stiff alapanyag alkalmazásával az átforgatási nyomaték vizsgálatokhoz megfelelő pontosságú 0,5 mm modulú műanyag fogaskerekeket lehet gyártani. [5]

Azonban a kisméretű műanyag fogaskerekeket nem csak 0,5 mm modullal, hanem annál kisebb modulok esetén is szokták alkalmazni, ezért célomul tűztem ki, hogy megvizsgáljam, hogy ez az eljárás, ugyanezzel a nyomtatóval, paraméterekkel és alapanyaggal milyen pontosságú lesz 0,5 mm-nél kisebb modul esetén. Választásom végül a 0,3 mm modulra esett.

2. A MÉRÉSHEZ HASZNÁLT ESZKÖZÖK, PARAMÉTEREK

A fogaskerekek profilját KISSSoft szoftver segítségével generáltam le, majd egy Phrozen Sonic Mini 8k s nyomtatóval gyártottam le őket a Phrozen gyártó Rock Black Stiff elnevezésű fotopolimeréből. A rétegvastagság 0,05 mm, a megvilágítási idő 4 s volt. A fogaskerekek az 1. ábrán láthatóak.



1. ábra A nyomtatott fogaskerekek

* adjunktus, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet

A mérések során optikai mikroszkópot használtam. Emellett a mérésekhez speciális mérősablonokat is gyártottam, amiket a 2. ábra mutat. A sablonokat a fogaskerekek furatába lehet egyszerűen pozicionálni, így a mérési pontok könnyen megtalálhatóak. A sablonok kétféle mérettel rendelkeztek. Az egyik méret az osztókör átmérője, a másik a lábkör átmérője volt.



2. ábra A mérési sablonok

A vizsgált paraméterek a fog alakja, a foghúrméret, az osztóhúrméret, a fogmagasság és a fejmagasság voltak.

A foghúrméret a fog két ellentétes profilján megjelenő pontok közötti távolságot jelenti, de nem ívhosszban, mint a fogvastagság, hanem ez a pontokat összekötő egyenes szakasz hossza. [6]

A szomszédos fogak egyoldali fogfelületeinek távolságát az osztókörön ívhosszban értve osztásnak nevezzük. [6]

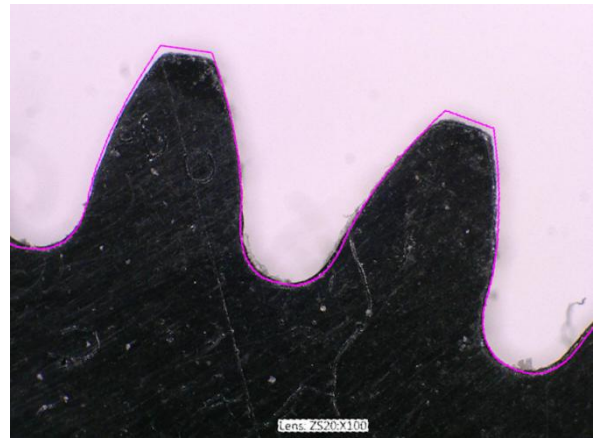
Az osztóhúrméret, az osztással szemben, az osztás méréséhez használt két pontot összekötő egyenes szakasz hossza. [5]

A fogmagasság a fog a lábkör és a fejkör közötti, a fogfelületre merőlegesen elhelyezkedő szakaszának a mérete. A fejmagasság a fogmagasságnak a fejkör és az osztókör közötti szakasza. [6]

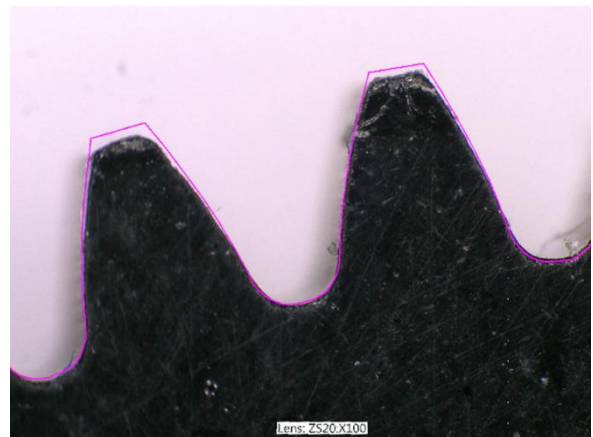
3. A KORÁBBI EREDMÉNYEK 0,5 MM MODUL ESETÉRE

A PhD értekezésemben $m=0,5$ mm modulú fogaskerekeket vizsgáltam. Az összehasonlítás érdekében az ezekkel a fogaskerekekkel kapott mérési eredményeimet ebben a fejezetben röviden bemutatom.

A fog alakja a 3. és 4. ábrán látható. Az ábrákon látszik a mikroszkópi kép mellett a kiindulási geometria profilja is. Összehasonlítva a generált és a nyomtatott profilt jól látszik, hogy a nyomtatott profil meglehetősen pontosan követi a kiindulási geometriát. [5]



3. ábra $A z=30$ fogaskerekek foga 100-szoros nagyítással [5]



4. ábra $A z=50$ fogaskerekek foga 100-szoros nagyítással [5]

Az 1., 2., 3. és 4. táblázatok pedig a mért legnagyobb, legkisebb és átlagos értékek eltérését mutatják a kiindulási geometriához képest.

1. táblázat A foghúrméret eltérése $m=0,5$ esetén [5]

Érték	$z=30$	$z=50$
Maximum	+41,75 μm (5,8%)	+35,94 μm (5%)
Átlag	+11,24 μm (1,6%)	+10,05 μm (1,4%)
Minimum	-17,36 μm (2,4%)	-10,41 μm (1,5%)

Az 1. táblázat megmutatja, hogy a legnagyobb eltérés a névleges foghúrmérethez képest 41,75 μm volt. Ez 5,8%-os eltérésnek felel meg. [5]

2. táblázat Az osztóhúrméret eltérése $m=0,5$ esetén [5]

Érték	$z=30$	$z=50$
Maximum	+18,73 μm (1,2%)	+19,71 μm (1,3%)
Átlag	+1,07 μm (0,1%)	+0,21 μm (0,07%)
Minimum	-14,77 μm (0,9%)	-20,96 μm (1,3%)

A 2. táblázat az osztóhúrméret eltérését mutatja. Itt a legnagyobb eltérés 20,96 μm volt, ami 1,3%-os eltérés a névleges értékhez képest. [5]

3. táblázat A fogmagasság eltérése $m=0,5$ esetén [5]

Érték	$z=30$	$z=50$
Maximum	+25,31 μm (2,2%)	+28,81 μm (2,6%)
Átlag	-0,49 μm (0,04%)	-0,53 μm (0,05%)
Minimum	-26,41 μm (2,3%)	-20,82 μm (1,9%)

A 3. táblázat azt mutatja, hogy a fogmagasság esetén a legnagyobb eltérés 28,81 μm volt, ami 2,6%-os különbséget jelent a kiindulási geometriához képest. [5]

4. táblázat A fejmagasság eltérése $m=0,5$ esetén [5]

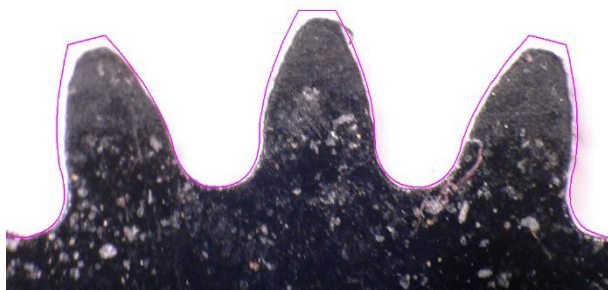
Érték	$z=30$	$z=50$
Maximum	+27,05 μm (5,4%)	+28,21 μm (5,6%)
Átlag	-0,54 μm (0,1%)	-0,3 μm (0,06%)
Minimum	-26,06 μm (5,2%)	-26,98 μm (5,4%)

Végezetül a 4. táblázat bemutatja, hogy a fejmagasság legnagyobb eltérése 28,21 μm volt, ami 5,6%-ot jelent. [5]

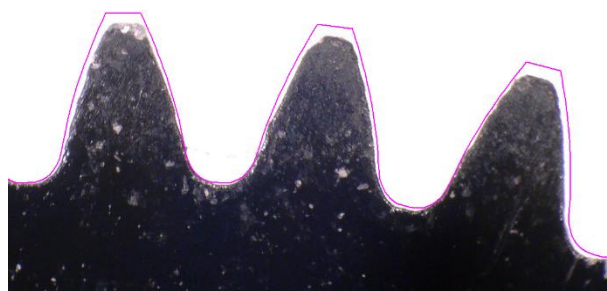
A táblázatban látható eltérések hasonlóak voltak a rendelkezésemre álló fröccsöntött fogaskerekekével. Ezek alapján PhD értekezésemben arra a következtetésre jutottam, hogy az így legyártott fogaskerek megfelelő pontosságúak arra, hogy átforgatási nyomtérk vizsgálatokra használjam fel őket [5].

4. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK 0,3 MM MODULRA

A 0,3 mm modulú nyomtatott fogaskerek fogainak nagyított képét az 5. és 6. ábrák mutatják. Kétféle fogszámot választottam a vizsgálatokhoz, ezek 25 és 50 voltak. Az ábrákon most is látható a kiindulási geometria kontúrja. Az ábrákon tisztán látszik, hogy a 0,3 mm modulú fogaskerek nem követik olyan jól a kiindulási geometria profilját, mint 0,5 mm modul esetén.



5. ábra A $z=25$ fogaskerek fog 100-szoros nagyítással



6. ábra A $z=50$ fogaskerek fog 100-szoros nagyítással

A kiindulási geometria foghúrméretét, osztóhúrméretét, fogmagasságát és fejmagasságát az 5. táblázat mutatja be. Ezek voltak a névleges értékek, amikhez képest a mérések eredményeit viszonyítottam a továbbiakban.

5. táblázat A kiindulási geometriai adatai

Paraméter	$z=25$	$z=50$
Foghúrméret (s')	421,466 μm	402,786 μm
Osztóhúrméret (p')	939,999 μm	941,858 μm
Fogmagasság (h)	675 μm	675 μm
Fejmagasság (h_a)	300 μm	300 μm

A 6. táblázat a foghúrméret legnagyobb, legkisebb és átlagos értékének eltérését mutatja a kiindulási geometriához képest. Bár a legnagyobb eltérés, ami 39,813 μm volt, méretében kisebb, mint a 0,5 mm modul esetén, százalékosan mégis jelentősen nagyobb a 9,88%-os hiba, mint az 5,8%-os, ami a 0,5 mm modulnál volt.

6. táblázat A foghúrméret eltérése $m=0,3$ esetén

Érték	$z=25$	$z=50$
Maximum	+27,769 μm (6,5%)	+39,813 μm (9,88%)
Átlag	-0,346 μm (0,08%)	+1,141 μm (0,28%)
Minimum	-23,084 μm (5,5%)	-23,537 μm (5,8%)

Az osztóhúrméret maximális, minimális és átlagos értékeinek eltérését a 7. táblázat tartalmazza. Bár a 0,3 mm modulnál mért legnagyobb eltérés kevesebb, mint 3 μm -rel volt csak nagyobb a 0,5 mm modul esetén mértéknél, azonban százalékosan a hiba mértéke majdnem megduplázódott 1,3%-ról 2,5%-ra.

7. táblázat Az osztóhúrméret eltérése $m=0,3$ esetén

Érték	$z=25$	$z=50$
Maximum	+19,851 μm (2,1%)	+21,463 μm (2,3%)
Átlag	+0,099 μm (0,01%)	-3,592 μm (0,4%)
Minimum	-22,634 μm (2,4%)	-23,083 μm (2,5%)

A 8. táblázat a fogmagasság legnagyobb, legkisebb és átlagos értékének eltérését mutatja a névleges értékhez képest. Bár a 27,556 μm -os legnagyobb eltérés méretében kisebb, mint a 0,5 mm modul esetén mért 28,81 μm , százalékosan mégis jóval nagyobb a 4,1%-os eltérés, mint az 2,6%-os, ami a 0,5 mm modulnál volt.

8. táblázat A fogmagasság eltérése $m=0,3$ esetén

Érték	$z=25$	$z=50$
Maximum	+27,713 μm (4,1%)	+27,556 μm (4,1%)
Átlag	+0,539 μm (0,08%)	+0,223 μm (0,03%)
Minimum	-23,619 μm (3,5%)	-26,775 μm (4%)

AA 9. táblázat a fejmagasság maximális, minimális és átlagos értékeinek eltérését mutatja be. Bár a 0,3 mm modulnál mért legnagyobb eltérés, ami 26,27 μm volt, kisebb, mint a 0,5 mm modul esetén mért 28,21 μm , azonban százalékosan a hiba mértéke jelentősen megnőtt 5,6%-ról 8,8%-ra.

9. táblázat A fejmagasság eltérése $m=0,3$ esetén

Érték	$z=25$	$z=50$
Maximum	+26,27 μm (8,8%)	+26,27 μm (8,8%)
Átlag	+0,461 μm (0,15%)	+0,285 μm (0,1%)
Minimum	-22,539 μm (7,5%)	-25,072 μm (8,4%)

A mért értékeket figyelembe véve kijelenthető, hogy az eltérések μm -ben nagyságrendileg ugyanakkorák voltak, mint a 0,5 mm modul esetében. Ugyanakkor a 0,3 mm modul esetén a névleges értékek jelentősen kisebbek, mint a 0,5 mm modulnál. Ezért, ha százalékosan fejezzük ki az eltéréseket, azt tapasztaljuk, hogy így azok jóval nagyobbak.

Mivel 0,3 mm modulú fröccsöntött fogaskerek nem álltak rendelkezésemre, ezért a mért eredményeket nem tudtam összehasonlítani velük. Ezért nem kijelenthető, hogy 0,3 mm modul esetén az alkalmazott 3D nyomtatási technológia az adott paraméterekkel és anyaggal megfelelő pontosságú-e.

Kijelenthető azonban, hogy ha ezeket a fogaskereket átforgatási nyomaték méréshez használnám, nagyobb mértékű hibákat kellene elhelyeznem a fogakon, hogy ugyanannyira hatásosan tudjam azokat kimutatni a nyomatékgörbén, mint a 0,5 mm modul esetén. Ez azért lenne szükséges, mert ebben az esetben a fogak gyártásból adódó hibája a névleges értékekhez képest viszonyítva nagyobb, mint a 0,5 mm modulnál volt.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben 0,3 mm modulú SLA módszerrel 3D nyomtatott műanyag fogaskerek pontosságának vizsgálatát mutattam be.

Első lépésként legeneráltam a fogaskerek 3D CAD geometriáját, majd ezeket SLA nyomtató alkalmazásával legyártottam. Ezt követően mérési sablonokat gyártottam le a könnyebb mérhetőségért. A méréseket egy optikai mikroszkóppal végeztem el. A mért paraméterek a fog alakja, a foghúrméret, az osztóhúrméret, a fogmagasság és a fejmagasság voltak. A cikkben röviden bemutattam a PhD értekezésem során 0,5 mm modullal végzett méréseimet is az összehasonlíthatóság érdekében.

A mérések eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy egyértelműen nem lehet kijelenteni, hogy ez a technológia ilyen kis modul esetén is megfelelő pontosságú, de ha ezeket a fogaskereket átforgatási nyomaték méréshez használnám, nagyobb mértékű hibákat kellene elhelyeznem a fogakon, hogy ugyanannyira hatásosan tudjam azokat kimutatni a nyomatékgörbén, mint a 0,5 mm modul esetén

6. SUMMARY

In this article, I presented an investigation into the accuracy of 3D printed plastic gears produced using the SLA method with a 0.3 mm module.

As a first step, I generated the 3D CAD geometry of the gears, then manufactured them using an SLA printer. I subsequently produced measurement templates to make measurement simpler. I carried out the measurements using an optical microscope. In the article, I also briefly presented the measurements I carried out with a 0.5 mm module during my PhD thesis for the sake of comparability.

Based on the results of the measurements, I concluded that it cannot be clearly stated that this technology offers sufficient accuracy for such a small module; however, if I were to use these gears to measure recirculation torque, I would need to put larger faults on the teeth in order to detect them just as effectively on the torque curve as with the 0.5 mm module

7. IRODALOM

- [1] Bihari, J.: Kisméretű műanyag fogaskerekkel szerelt hajtóművek tűrésezési problémái, GÉP 2016/5-6., pp: 14 – 17, 2016.
- [2] Bihari J., Heating behaviour of plastic gears, in Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tools, 2012, pp. 323–328.
- [3] Bihari J., Kisméretű műanyag fogaskerekre ható külső hatások vizsgálata, GÉP. 68, 3, pp. 15–18, 2017.
- [4] Bihari, J. – Kamondi, L.: Kis méretű műanyag fogaskerek vizsgálat, GÉP 62:(7-8), pp: 21 – 24, 2011
- [5] Marada I., Kisméretű műanyag fogaskerek speciális tervezési kérdéseinek kutatása, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, 2026.
- [6] Erney Gy.: Fogaskerek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.