

SZTEREOLITOGRÁFIÁVAL GYÁRTOTT MŰANYAG FOGASKEREKEK PONTOSSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Marada Imre 

PhD-hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: machmi@uni-miskolc.hu

Bihari János 

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: janos.bihari@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A legismertebb additív gyártási eljárás a 3D nyomtatás, amelyet egyre gyakrabban alkalmaznak különböző gépelemek gyártására. A sztereolitográfia olyan 3D nyomtatási eljárás, ahol egy fényérzékeny fotopolimer gyantát UV-fény segítségével szilárdítunk meg. Ebben a cikkben SLA-elven alapuló 3D nyomtatással készült műanyag fogaskerekek pontosságát vizsgáljuk. A kutatás célja SLA-technológiával, 0,8, 1, 1,5 és 2 mm-es modullal gyártott fogaskerekek vizsgálata volt, annak megállapítására, hogy a létrejött fogaskerekek mennyiben térnek el a tervezett geometriától, és hogy a gyártási módszer hogyan befolyásolja a fogaskerekek paramétereit.

Kulcsszavak: fogaskerék, műanyag, 3D nyomtatás, sztereolitográfia

Abstract

The best-known additive manufacturing process is 3D printing, which is increasingly used to manufacture various machine components. Stereolithography is a 3D printing process where a photosensitive photopolymer resin is solidified using UV light. In this article, we investigate the accuracy of plastic gears made by SLA 3D printing. The aim of the research was to study gears manufactured using SLA printing technology with 0.8, 1, 1.5 and 2 mm module, to determine how the resulting gears differ from the initial geometry and how the manufacturing method affects the parameters of the gears.

Keywords: gear, plastic, 3D printing, stereolithography

1. Bevezetés

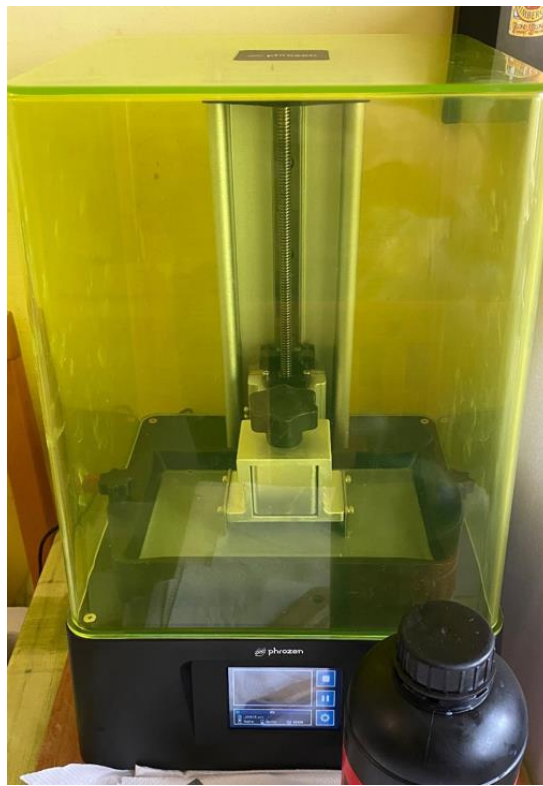
A műanyag fogaskerekek leggyakoribb gyártási módszere a fröccsöntés. Ez azonban csak nagy gyártási volumenek esetén gazdaságos, mivel drága szerszámok tervezését és gyártását igényli (VDI, 1981; VDI 2736, 2014; JIS B 1759, 2019).

Az elmúlt években a 3D nyomtatók egyre jobban elterjedt gyártási eszközökké váltak az iparban, és egyre több műanyag alkatrész készül ezzel a módszerrel. Ennek oka, hogy a 3D nyomtatás gazdaságos eljárás mind az egyedi, mind közepes szériájú gyártás esetében, mivel a fröccsöntéssel ellentétben nem igényli a költséges szerszámok tervezését és gyártását (Bihari et al., 2023). Felmerül azonban a kérdés, hogy ez a módszer elég pontos-e a műanyag fogaskerekek gyártásához.

2. A nyomtatási eljárás

Az ebben a cikkben bemutatott fogaskerekeket az SLA-nyomtatással állítottuk elő. A sztereolitográfia (SLA) az 1980-as években jelent meg. Az SLA 3D nyomtatók fotopolimereket használnak, amelyek fényérzékeny anyagok, és UV-fény hatására szilárdulnak meg. Az SLA egy lézer vagy egy kijelző és UV-fény segítségével egy folyékony gyantát szilárdít meg a fotopolimerizációnak nevezett folyamat során. Ez az eljárás általánosan nagyobb felbontású, izotrop és vízzáró tulajdonságokkal rendelkező alkatrészek gyártását teszi lehetővé, mint az FDM. (Marada et al., 2022)

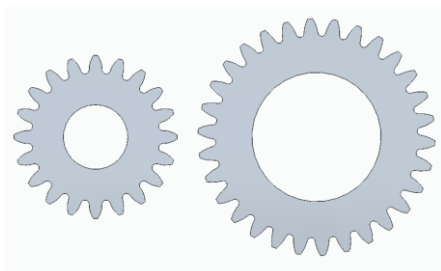
A gyártáshoz egy Phrozen Sonic Mini 8k S nyomtatót használtunk. A nyomtató az 1. ábrán látható. Ez a nyomtató egy LCD-kijelzőt és UV-fényt használ a fotopolimer megszilárdításához, amely rétegenként történik. A fogaskerekek anyaga a Rock Black Stiff nevű fotopolimer gyanta volt.



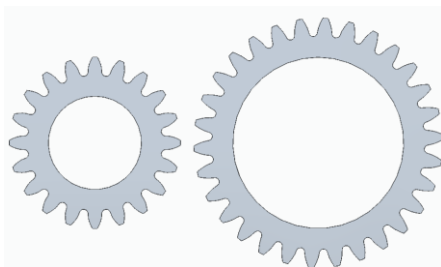
1. ábra. Phrozen Sonic Mini 8k S

3. A geometria

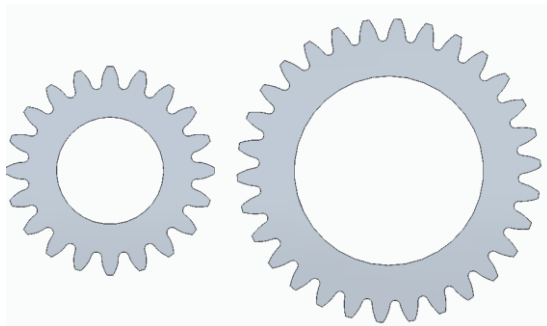
A fogaskerékgeometriákat a KISSsoft szoftver segítségével generáltuk. A fogaskerékmodelleket 0,8, 1, 1,5 és 2 mm-es modulokkal hoztuk létre. Minden modulból $z = 20$ és 30 fogú fogaskerekeket generáltunk. A generált fogaskerekek 3D modelljeit a 2., 3., 4. és 5. ábrák mutatják. A 6. ábrán pedig a nyomtatott fogaskerekek láthatóak.



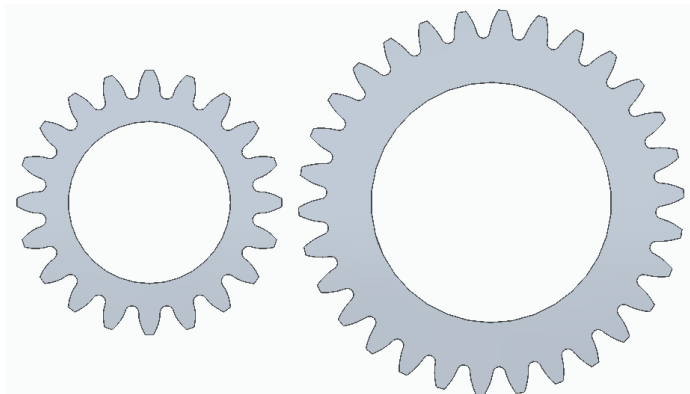
2. ábra. Az $m = 0,8$ fogaskerekek 3D modellje (balra: $z = 20$, jobbra: $z = 30$)



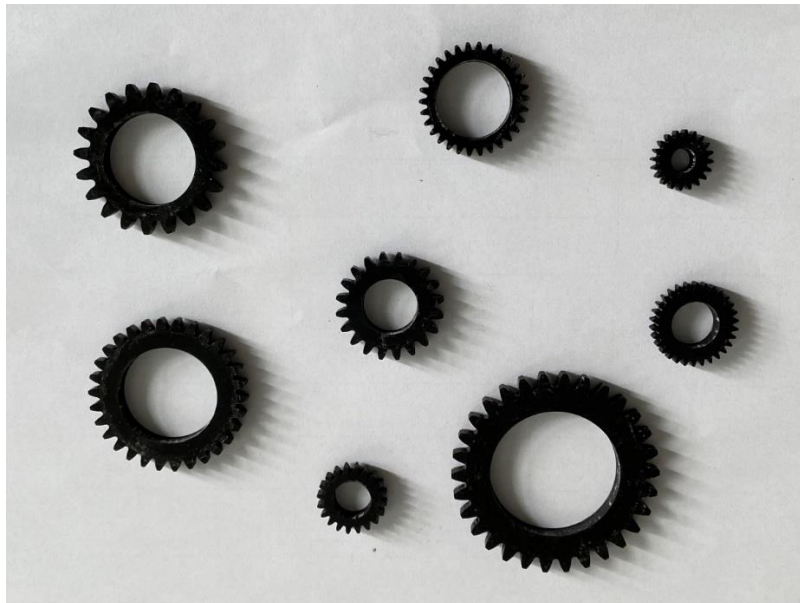
3. ábra. Az $m = 1$ fogaskerekek 3D modellje (balra: $z = 20$, jobbra: $z = 30$)



4. ábra. Az $m = 1,5$ fogaskerekek 3D modellje (balra: $z = 20$, jobbra: $z = 30$)



5. ábra. Az $m = 2$ fogaskerekek 3D modellje (balra: $z = 20$, jobbra: $z = 30$)



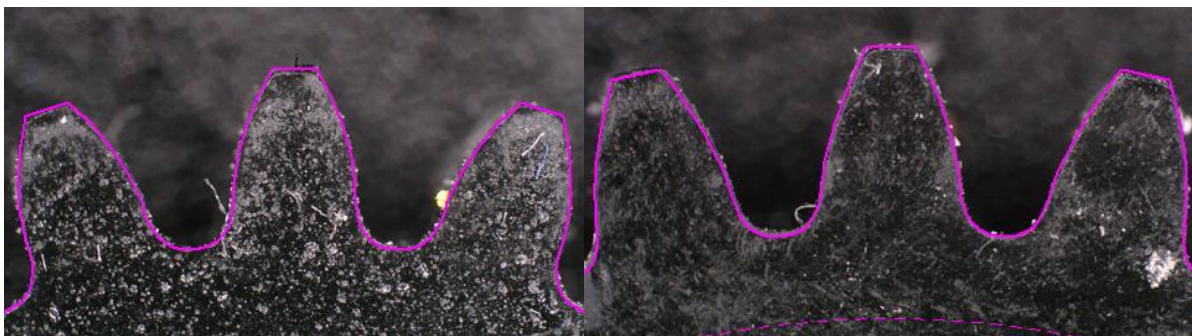
6. ábra. A 3D nyomtatott fogaskerekek

4. A mérések

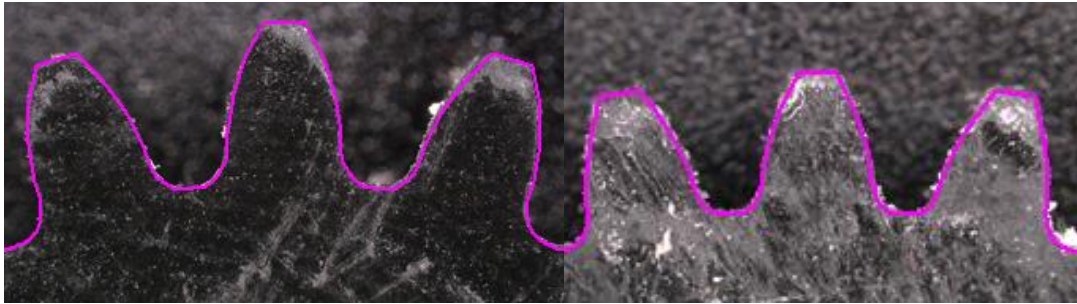
A kutatás során a méréseket optikai mikroszkóp segítségével végeztük. A vizsgálatok során először azt vizsgáltuk, hogy a fogak mennyire hasonlítanak a számítógéppel generált kiindulási geometriához. Ezenkívül minden fogaskerékhez mérési sablonokat készítettünk, amelyek segítségével megmérhettük a különböző fogméreteket. Az általunk mért paraméterek a fogvastagság, az osztóköri osztás, a fogmagasság és a fejmagasság voltak.

4.1. A fogalak

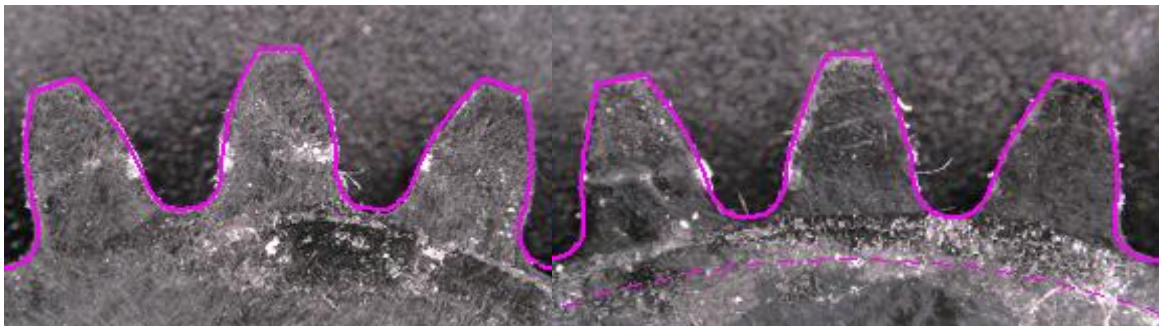
A fogak mikroszkópos képét a 7., 8., 9., és 10. ábrák mutatják. Az ábrákon látható egy kék körvonal is, ami a kiindulási geometriát jelöli. A képeken látható, hogy a fogprofilok nagy pontossággal követik a kiindulási geometria profilját.



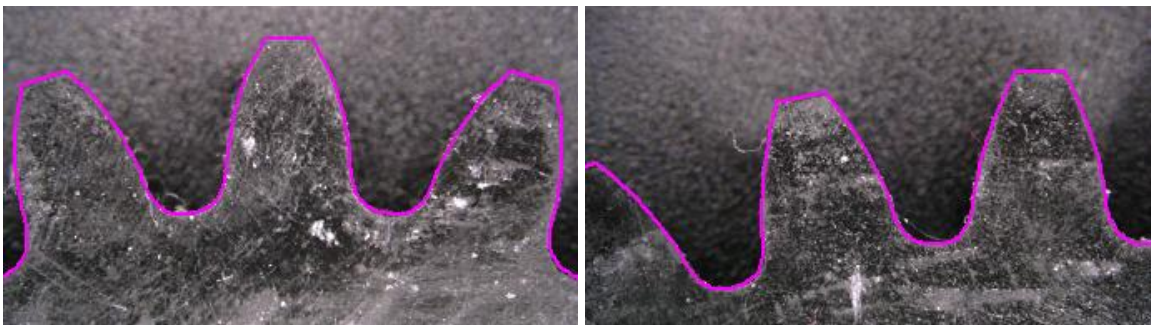
7. ábra. A fogak alakja $m = 0,8$ fogaskerekek esetén (balra: $z = 20$, jobbra: $z = 30$)



8. ábra. A fogak alakja $m=1$ fogaskerekek esetén (balra: $z=20$, jobbra: $z=30$)



9. ábra. A fogak alakja $m = 1,5$ fogaskerekek esetén (balra: $z = 20$, jobbra: $z = 30$)



10. ábra. A fogak alakja $m = 2$ fogaskerekek esetén (balra: $z = 20$, jobbra: $z = 30$)

4.2. A fogazat paramétereinek mérése

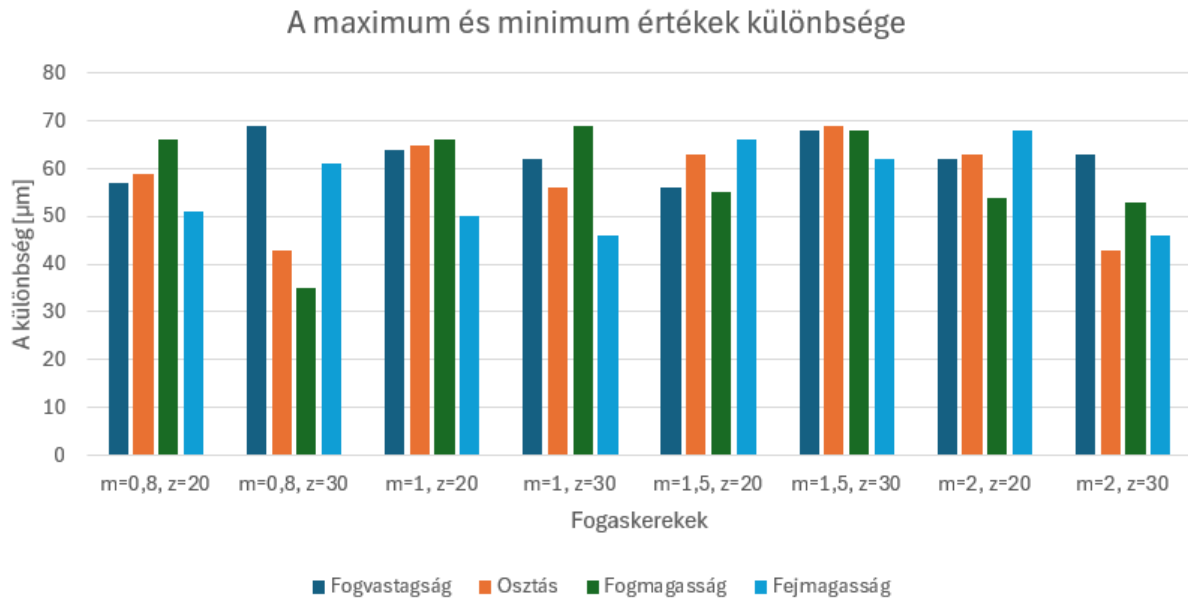
Az 1. táblázat a kiindulási geometria 3D-s modelljén mért értékeket mutatja. A 2. táblázat a mikroszkóppal mért eredmények maximális, minimális és átlagos értékeit foglalja össze. A méréseket 10-10 véletlenszerűen kiválasztott fogon végeztük. Emellett a 11. ábra a mikroszkóppal mért értékek különbségét mutatja, a 12. ábra pedig a mikroszkópos mérések átlagértékének eltérését a kiindulási geometriához képest.

1. táblázat. A kiindulási geometrián mért értékek

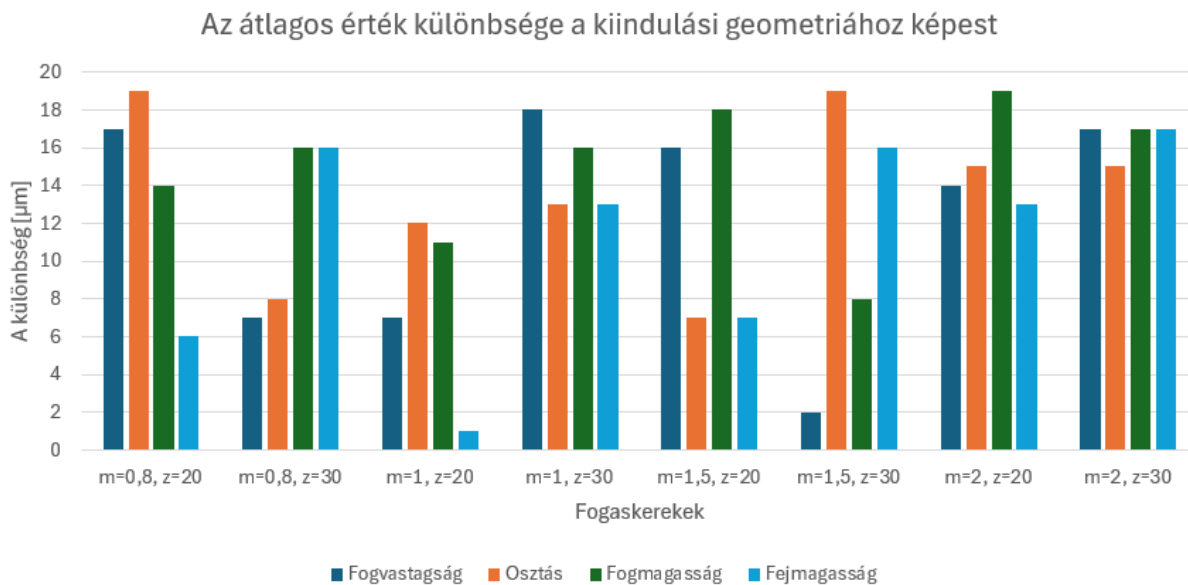
Fogaskerék	Fogvastagság [μm]	Osztás [μm]	Fogmagasság [μm]	Fejmagasság [μm]
m = 0,8, z = 20	1187	2503	1798	798
m = 0,8, z = 30	1187	2509	1798	798
m = 1, z = 20	1501	3129	2248	998
m = 1, z = 30	1501	3136	2248	998
m = 1,5, z = 20	2285	4693	3373	1498
m = 1,5, z = 30	2286	4704	3373	1498
m = 2, z = 20	3070	6257	4498	1998
m = 2, z = 30	3050	6272	4498	1998

2. táblázat. A mikroszkóppal mért értékek

Fogaskerék	Érték	Fogvastagság [μm]	Osztás [μm]	Fogmagasság [μm]	Fejmagasság [μm]
m = 0,8, z = 20	maximum	1229	2510	1818	825
	átlag	1203	2484	1783	804
	minimum	1173	2452	1752	774
m = 0,8, z = 30	maximum	1229	2515	1800	804
	átlag	1181	2501	1782	781
	minimum	1160	2472	1766	743
m = 1, z = 20	maximum	1540	3129	2286	1024
	átlag	1508	3116	2237	997
	minimum	1476	3092	2220	973
m = 1, z = 30	maximum	1555	3154	2279	1006
	átlag	1519	3122	2232	985
	minimum	1493	3098	2210	960
m = 1,5, z = 20	maximum	2297	4725	3380	1531
	átlag	2269	4700	3354	1491
	minimum	2241	4662	3325	1465
m = 1,5, z = 30	maximum	2321	4773	3407	1507
	átlag	2289	4723	3364	1481
	minimum	2253	4704	3339	1445
m = 2, z = 20	maximum	3110	6271	4504	2037
	átlag	3084	6242	4479	2011
	minimum	3048	6208	4450	1969
m = 2, z = 30	maximum	3096	6306	4500	2042
	átlag	3067	6287	4481	2015
	minimum	3034	6263	4447	1996



11. ábra. A maximum- és minimumértékek különbsége



12. ábra. A mikroszkópos vizsgálatok eredményeiből számított átlagos értékek eltérése a kiindulási geometriához képest

Az eredményekből jól látható, hogy a maximum- és minimumértékek különbsége nem haladja meg a 70 µm értéket, emellett az átlag eltérése az eredeti értékektől minden esetben 20 µm alatt marad.

5. Összefoglalás

Ebben a cikkben SLA-eljárással 3D nyomtatott fogaskerekek pontosságát vizsgáltuk. A vizsgálatokhoz 0,8, 1, 1,5 és 2 mm-es modulokkal rendelkező fogaskerekeket gyártottunk, és egyes paramétereiket összehasonlítottuk a kiindulási geometriával. Az általunk vizsgált paraméterek a fogak alakja, fogvastagság, az osztóköri osztás, a fogmagasság és a fejmagasság voltak. A mérésekhez egy optikai mikroszkópot használtunk. A mért értékek maximuma és minimuma közötti különbség egy esetben sem haladta meg a 70 μm -t emellett a mért értékek átlagának eltérése a kiindulási geometriához képest minden esetben 20 μm alatt maradt. Ez az FDM nyomtatási eljáráshoz képest sokkal jobb eredménynek számít, ott ugyanis ezek akár 100 μm felettiek is lehetnek. Összességében elmondható, hogy $m > 0,7$ mm modulnál az SLA-eljárás alkalmas lehet műanyag fogaskerekek gyártására nem precíziós hajtásokban való alkalmazás esetén.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-3-ii kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. Supported by the ÚNKP-23-3-ii New National Excellence Program of the Ministry for Culture and Innovation from the source of the National Research, Development and Innovation Fund.



Irodalom

- [1] Marada I., Bihari J. (2022). A kisméretű műanyag fogaskerekek FDM és SLA elven történő 3D nyomtatása során szerzett tapasztalatok. *GÉP*, 73 (3–4), 60–65.
- [2] VDI 2736 (2014). *Thermoplastische Zahnräder*. Berlin: Beuth Verlag.
- [3] JIS B 1759 (2019). (*JGMA/JSA*): *Estimation of tooth bending strength of cylindrical plastic gears*. Tokyo: Japanese Standards Association.
- [4] VDI (1981). *Zahnräder aus thermoplastischen Kunststoffen*. Düsseldorf: VDI Verlag.
- [5] Bihari, J., Marada, I. (2023). Testing bolted connections in plastic parts made by FDM printing. *GÉP*, 74 (2–3), 26–29.