

A KISMÉRETŰ MŰANYAG FOGASKEREKEK FDM ÉS SLA ELVEN TÖRTÉNŐ 3D NYOMTATÁSA SORÁN SZERZETT TAPASZTALATOK

EXPERIENCES WITH 3D PRINTING OF SMALL PLASTIC GEARS USING FDM AND SLA METHODS

Marada Imre, PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, maradaimre@gmail.com

Dr. Bihari János, Egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, machbj@uni-miskolc.hu

ABSTRACT. Small plastic gears can be manufactured by a variety of methods, including machining and injection moulding. One of these manufacturing methods could be the use of 3D printers, which are becoming increasingly popular these days. In this article, we will present gears created with FDM and SLA printers and compare them with the initial geometry in terms of tooth accuracy. We also illustrate how the latter process can be used to produce even more accurate gears.

1. BEVEZETÉS

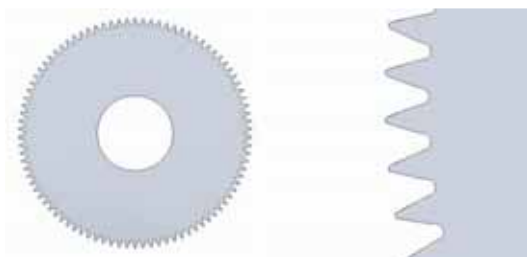
A kisméretű műanyag fogaskerekeket az ipar számos területén alkalmazzák. Ilyen alkalmazási lehetőségek lehetnek például a járművekben található tükörállító- és szellőzésszabályozó-rendszerek hajtóművei, a különböző aktuátorok, vagy nyomtatókban is előfordulhatnak például a papírtovábbító vagy a fejmozgató egységekben.

A kisméretű műanyag fogaskerekek alatt ebben a cikkben olyan fogaskereket értünk, amelyeknek modulja 0,5 mm-nél nem nagyobb és legnagyobb jellemző méretük pedig legfeljebb 30 mm. Ezek evolvens profillal, külső egyenes fogazattal rendelkező hengeres fogaskerekek, amelyek valamilyen polimerből készültek [2].

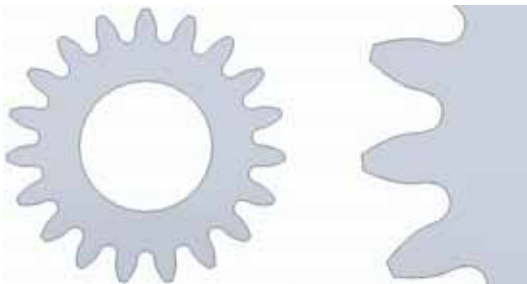
Ezeknek a kisméretű fogaskerekeknek a gyártása sokféle módszerrel történhet. Ilyenek lehetnek például a fémek esetében is használt forgácsolási módszerek, de a más műanyag termékek esetén népszerű fröccsöntést is gyakran alkalmazzák. Ezek mellett egy lehetséges és egyre gyakoribb gyártási mód a 3D nyomtatók használata. A 3D nyomtatókat az iparban elsősorban prototípusgyártásra szokták alkalmazni, de kisméretű fogaskerekek esetén jól használhatóak lehet az egyedi fogaskerekek és kis sorozatok gyártására. Ezek a nyomtatók többféle elven is működhetnek, ezek közül ebben kutatásban kétfélét használtunk, egy FDM és egy SLA nyomtatót.

2. A GEOMETRIA

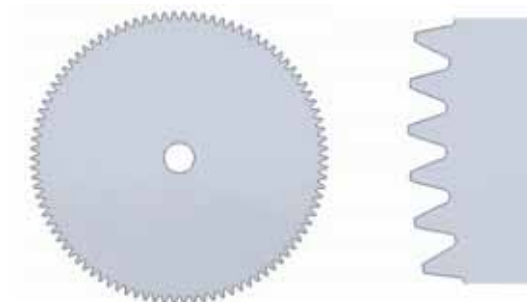
A fogaskerekek geometriáit a KISSsoft szoftverrel állítottuk elő. Ez a szoftver valódi evolvens generál, nem sokszögekkel közelíti a fogprofil A fogaskerékmodelleket 0,1, 0,3 és 0,5 mm modulal generáltuk. Létrehoztunk egy 0,1 mm modulú fogaskereket $z=90$ fogszámmal, és egy 0,5 mm modulú fogaskereket pedig $z=50$ fogszámmal. Az $m=0,3$ mm modul esetén kétféle fogszámot alkalmaztunk, $z=19$ -et és $z=94$ -et. A létrehozott modelleket az 1. – 4. ábrák mutatják be. Ezután a fogaskerekeket kinyomtattuk 3D nyomtatókkal.



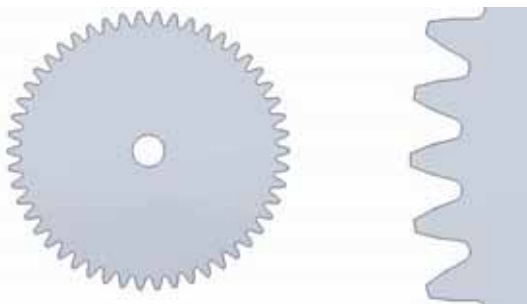
1. ábra. A $z=90$, $m=0,1$ mm generált fogaskerék (balra) és a generált fogazat nagyítva (jobbra)



2. ábra. A $z=19$, $m=0,3$ mm generált fogaskerék (balra) és a generált fogazat nagyítva (jobbra)



3. ábra. A $z=94$, $m=0,3$ mm generált fogaskerék (balra) és a generált fogazat nagyítva (jobbra)

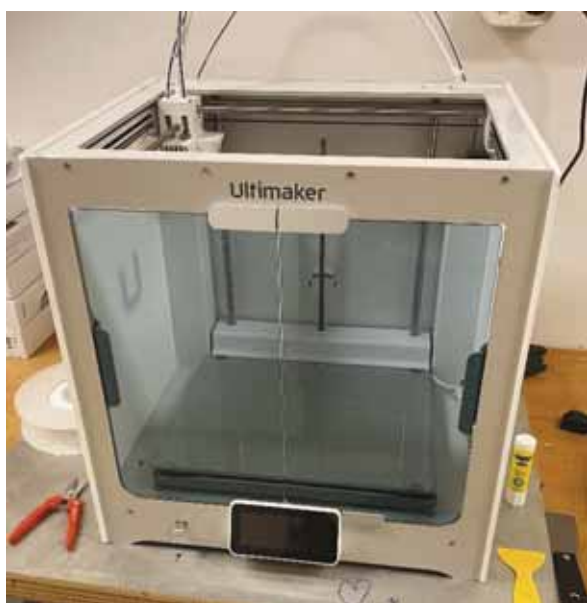


4. ábra. A $z=50$, $m=0,5$ mm generált fogaskerék (balra) és a generált fogazat nagyítva (jobbra)

3. AZ FDM NYOMTATÁSSAL KÉSZÜLT FOGASKEREKEK

Az egyik elérhető módszer a fogaskerekek előállítására az FDM eljárás alapján működő 3D nyomtatás volt. Az FDM (Fused Deposition Modeling) a piacon elérhető legelterjedtebb 3D nyomtatási technológia. Az ilyen technológiát használó nyomtatókba alapanyagot szál formájában, feltekercselve kell a gépbe helyezni, majd a gép a szálát megolvasztja, és egy előre meghatározott pályát követve rétegenként egy építőlappra rakja le. Ezután a rétegek lehűlnek és egymáshoz tapadnak, így egy háromdimenziós alkatrészt hoznak létre. Az FDM-nyomtatók jellemzően hőre lágyuló polimereket használnak és egy vagy két extruderrel működnek. A leggyakrabban használt alapanyagaik az ABS, ASA és a PLA [1].

Erre a célra egy Ultimaker S5 típusú nyomtatót használtunk. Az alapanyagként PLA szolgált. A nyomtató 0,2 mm átmérőjű fűvókával volt felszerelve a darabok előállításához. A nyomtatáshoz a nyomtató és az alapanyag gyártója által ajánlott beállításokat használtuk.



5. ábra. A felhasznált FDM nyomtató

Általánosan elmondható az így gyártott fogaskerekekről, hogy a fogalakok jelentősen eltérnek az előállításukhoz használt 3D geometriákhoz képest. Az is megfigyelhető, hogy $m=0,3$ mm modul esetén a $z=19$ fogszerű fogaskerék fogai pontosabbak, kevesebb gyártási hiba figyelhető meg rajtuk, mint a $z=94$ fogszerűakon. Az is látható, hogy a modul növekedésével a fogalakok egyre pontosabbak lesznek, azonban még $m=0,5$ mm-nél is sok az eltérés. Emellett az FDM nyomtató a legalsó, tárgyasztalra helyezett, réteget mindig pontatlanul készíti el. Ezekon kívül megfigyelhetők más hibák és pontatlanságok is. A fogaskerék testen különböző helyzetű és méretű anyaghiányok találhatók. Továbbá észrevehetőek még hibák a szálak elcsúszásából és nem megfelelő megtapadásából is. Emellett az $m=0,1$ mm modulal rendelkező fogaskereket nem sikerült ezzel az anyaggal és ezzel nyomtatóval előállítani. Ezek a hibák azonban elsősorban jellemzően arra vezethetők vissza, hogy az alapanyag átmérője nem állandó. Ezért ezeket a fogaskerekeket a későbbiekben jobb minőségű alapanyagból is le fogjuk gyártani és össze fogjuk hasonlítani őket ezekkel a fogaskerekekkel.



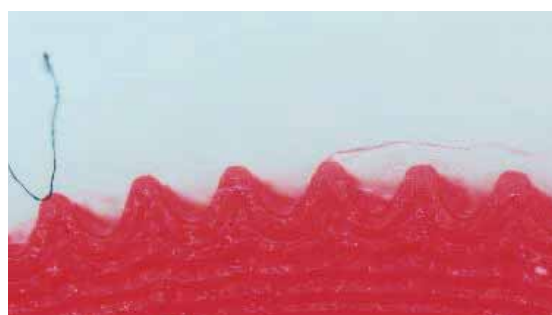
6. ábra. A $z=19$, $m=0,3$ mm FDM nyomtatással létrehozott fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



7. ábra. A $z=19$, $m=0,3$ mm FDM nyomtatással létrehozott fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



8. ábra. A $z=94$, $m=0,3$ mm FDM nyomtatással létrehozott fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



9. ábra. A $z=94$, $m=0,3$ mm FDM nyomtatással létrehozott fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



10. ábra. A $z=50$, $m=0,5$ mm FDM nyomtatással létrehozott fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



11. ábra. A $z=50$, $m=0,5$ mm FDM nyomtatással létrehozott fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe

Az jelenlegi tapasztalatok alapján azt a következtetést tudtuk levonni, hogy alsó réteg felsőbb rétegekhez képesti pontatlanságára megoldás lehet a fogaskerék megemlése támaszok felhasználásával, vagy egy alsó, a fejkör átmérőjével megegyező méretű agy beépítésével a modellbe. Azonban egyelőre nem tudtuk igazolni, hogy ez a technológia alkalmas-e ilyen méretű fogaskerekek gyártására. Az bizonyos, hogy nem minden esetben alkalmas rá.

4. SLA NYOMTATÓVAL KÉSZÜLT FOGASKEREKEK

A másik a kutatás ezen szakaszában használt gyártási technológia az SLA nyomtatás volt. A sztereolitográfia (SLA) az 1980-as években jelent meg a piacon. Az SLA 3D nyomtatók műanyag szálak helyett fotopolimereket használnak, amelyek fényérzékeny anyagok, és UV fény hatására megváltoztatják fizikai tulajdonságaikat. Extrudáló fűvóka helyett az SLA egy lézer vagy egy kijelző segítségével egy folyékony gyantát szilárdít meg a fotopolimerizációnak nevezett folyamat során. Ez az eljárás általánosan nagyobb felbontású, izotróp és vízzáró tulajdonságokkal rendelkező alkatrészek gyártását teszi lehetővé. A fotopolimerek hőre keményedő anyagok, ami azt jelenti, hogy másképp reagálnak, mint a hőre lágyuló műanyagok [1].

A fogaskerekek előállításához egy Phrozen Sonic Mini 4k típusú nyomtatót alkalmaztunk. Ez a nyomtató egy 4k felbontású kijelző segítségével világítja meg és ezáltal keményíti ki az alkalmazott fotopolimert. Alapanyagként a Phrozen „Rock-Black Stiff” elnevezésű műgyantáját használtuk.



12. ábra. A felhasznált SLA nyomtató

A nyomtatóval először bármiféle változtatás nélkül nyomtattuk ki a testeket. Az FDM eljáráshoz képest fogaskeréktesteken már nem találhatók különböző helyzetű, méretű és formájú lyukak. Továbbá, mivel ez a módszer a műgyantát pontosan egymás fölé helyezkedő rétegekként szilárdítja meg, eltűntek a szálak elcsúszásából és nem megfelelő tapadásából származó hibák is. Pontosságát tekintve jelentős javulás látható az FDM nyomtatóhoz képest, már a kisebb méretek esetén is. Ezzel az eljárással sikerült 0,1 mm nagyságú modulúval rendelkező fogaskerekeket is gyártani.



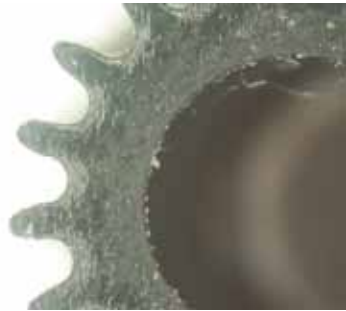
13. ábra. A $z=90$, $m=0,1$ mm SLA nyomtatással létrehozott fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



14. ábra. A $z=90$, $m=0,1$ mm SLA nyomtatással létrehozott fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



15. ábra. A $z=19$, $m=0,3$ mm SLA nyomtatással létrehozott fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



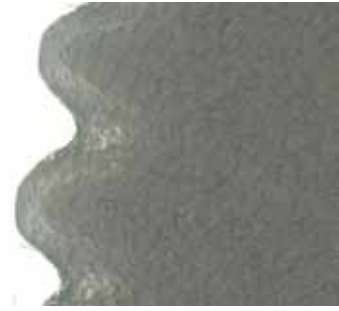
16. ábra. A $z=19$, $m=0,3$ mm SLA nyomtatással létrehozott fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



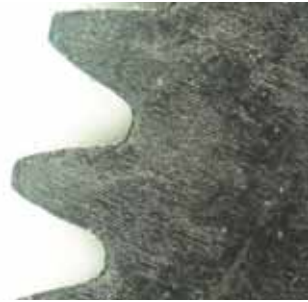
17. ábra. A $z=94$, $m=0,3$ mm SLA nyomtatással létrehozott fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



18. ábra. A $z=94$, $m=0,3$ mm SLA nyomtatással létrehozott fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



19. ábra. A $z=50$, $m=0,5$ mm SLA nyomtatással létrehozott fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



20. ábra. A $z=50$, $m=0,5$ mm SLA nyomtatással létrehozott fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe

Az ábrák alapján látható, hogy az alsó réteget itt is nagyon pontatlanul hozta létre a nyomtató. Ennek az oka, hogy ez a réteg valójában vékonyabb a többi rétegnél, de ugyanannyi anyag szilárdul meg benne. A többi réteg azonban a mikroszkópos felvételek alapján megfelelően pontos, különösen 0,3 mm modulnál és annál modulok nagyobb esetében. Az alsó réteg pontatlansága miatt megpróbáltunk olyan beállításokat használni, illetve olyan fogaskerék-geometriát létrehozni, amely minden rétegében pontos.

5. TÁMASZTÉKOKKAL GYÁRTOTT FOGASKEREKEK

Az alsó réteg pontosságának javítására az egyik kézenfekvő megoldás, ha a fogaskerék alsó rétegét eltávolítjuk a tárgyasztaltól, és ezzel a fogazatot nem közvetlenül a tárgyasztalra kezdjük el nyomtatni, hanem adott távolságra tőle. Ezt FDM nyomtatóknál nehéz megvalósítani, mert ilyenkor a fogaskerék fogai alá is támaszokat kell elhelyezni. Az ilyen támaszok esetenként a fogaskerekek fogainak alakját is befolyásolhatják. Ez az SLA nyomtatóknál nem okoz gondot, mert a nyomtató a gyantából kiemelve, felfelé mozgatja a tárgyasztalt, és az egyes rétegek önállóan is stabilak, nem szükséges, hogy a geometria minden pontjában kapcsolódjanak a tárgyasztalhoz, vagy a fölöttük található réteghez. Ezért a fogazatokat nem kell a tárgyasztalhoz kapcsolni, elég, ha a fogaskerek fölötti támaszok elbírják a nyomtatás során a fogaskereket, hogy az a nyomtatás során ne essen le a tárgyasztalról. Így az esetleges támaszok nem befolyásolják a fogak alakját. Azonban így is használni kell olyan támaszokat, amelyek a fogaskeréket többi részét tartják.

Először egy olyan megoldást próbáltunk ki, ahol több kisebb támasz felhasználásával nyomtatjuk ki a fogaskerekeket, és ezek a támaszok a nyomtatás után egy késsel eltávolíthatóak. Az első próbálkozásra azonban a támaszok túl vékonyak lettek, így nem tudták megtartani a fogaskerekeket, így azok nyomtatás közben elváltak és leestek a tárgyasztalról.



21. ábra. A támaszokról leválása után készült „fogaskerék” (balra) és a támaszok (jobbra)

A tapasztalatok alapján módosítottuk a támaszok vastagságát, így azok megfelelő tartást biztosítottak. Azonban a támaszok eltávolítása után hibákra lettünk figyelmesek a fogaskerék azon oldalán, ahol a támaszok voltak. A hibák olyan hatást keltenek, mintha a műgyanta szilárdulás közben megfolyt volna a támaszok közötti részekben. Ezáltal egy egyenetlen felület jött létre. Ez a hibát az okozta, hogy a fogaskereket a támaszok nem tartották elegendően ferde helyzetben, így a gyanta nem tudott lefolyni a fogaskerék felső rétegéről. Ugyanakkor látható, hogy a fogazat összes rétege megfelelő pontosságú lett, így ez a módszer jelenthet valós megoldást.



22. ábra. A fogaskerék a támaszokkal ellátva, közvetlenül a nyomtatás után



23. ábra. A támaszok eltávolítása után kapott fogaskerék

6. AGGYAL RENDELKEZŐ FOGASKEREKEK

Következő kísérlet során úgy módosítottuk a geometriát, hogy elláttuk egyetlen támasszal, egy aggyal, ami a fogaskerekek láb körénél nem sokkal kisebb átmérőjű. A műanyag fogaskerekekénél gyakran van szükség a fogszélességnél szélesebb aggyra, mert ha a fogaskerék zrugorkötéssel vagy ragasztással kapcsolódik a tengelyhez, csak így oldható meg, hogy a teljesítmény átviteléhez megfelelő keresztmetszet álljon rendelkezésre. Ezért ezzel a kísérlettel az volt a célunk, hogy meghatározzuk, hogy az agy

teljes mértékben ki tudja-e váltani a támaszokat. Amennyiben igen, akkor anyag takarítható meg a támaszok elhagyásával.



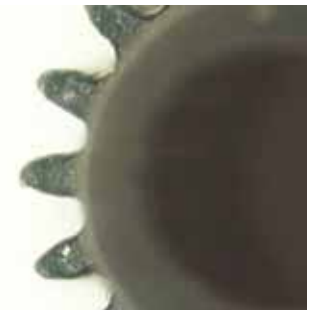
24. ábra. Az agyas fogaskerekek



25. ábra. A $z=90$, $m=0,1$ mm SLA nyomtatással létrehozott agyas fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



26. ábra. A $z=90$, $m=0,1$ mm SLA nyomtatással létrehozott agyas fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



27. ábra. A $z=19$, $m=0,3$ mm SLA nyomtatással létrehozott agyas fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



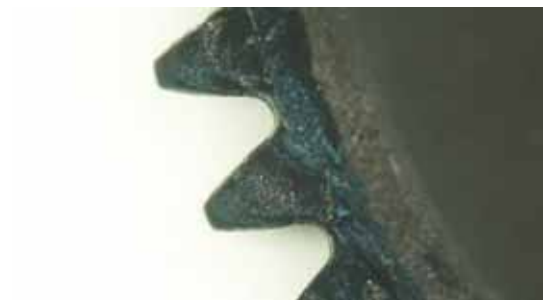
28. ábra. A $z=19$, $m=0,3$ mm SLA nyomtatással létrehozott agyas fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



29. ábra. A $z=94$, $m=0,3$ mm SLA nyomtatással létrehozott agyas fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



30. ábra. A $z=94$, $m=0,3$ mm SLA nyomtatással létrehozott agyas fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



31. ábra. A $z=50$, $m=0,5$ mm SLA nyomtatással létrehozott agyas fogaskerék legalsó rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe



32. ábra. A $z=50$, $m=0,5$ mm SLA nyomtatással létrehozott agyas fogaskerék legfelső rétegének 25x nagyítású mikroszkópos képe

Mint az a mikroszkópos felvételeken is látszik a fogazatok minden rétegükben megfelelő pontosságúak, azaz az agy mellé nincs szükség további támaszokra. Ezek miatt további kutatásainkban az így előállított fogaskerekeket fogjuk alkalmazni.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben a 0,5 mm, illetve annál kisebb modulú rendelkező kisméretű műanyag fogaskerekek 3D nyomtatókkal való előállításával foglalkoztunk. Munkánk során összehasonlítottuk az FDM és az SLA elven működő nyomtatók által létrehozott fogaskerekeket, illetve utóbbinál bemutattuk, hogyan lehet a fogazatok pontosságát javítani. A továbbiakban az SLA-val létrehozott, agyas fogaskerekek felhasználásával szeretnénk folytatni kutatásainkat, melynek során a kisméretű fogaskerekek melegezésével, illetve hibáival fogunk foglalkozni [3]. Ugyanakkor további kísérleteket szeretnénk végezni FDM nyomtatással, mert ehhez a technológiához jelentősen szélesebb körben állnak rendelkezésre különböző anyagok, amelyek tágabb lehetőségeket biztosítanának a melegedés vizsgálatánál.

8. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

„A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM ÚNKP-22-3 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”

9. IRODALOM

- [1] <https://bigrep.com/posts/fdm-vs-sla-3d-printer/> (2022.09.17.)
- [2] Marada, I., Bihari, J.: Designing a new type of drive unit for the analysis of small plastic gears, Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye 11: 5 pp. 245-250., 6 p., 2021
- [3] Marada, I., Bihari, J. (2023). Calculation Methods and Measurement of the Heating of Small Plastic Gears. In: Jármái, K., Cservenák, Á. (eds) Vehicle and Automotive Engineering 4. VAE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.