

Műanyag fogaskerék koptató berendezés és matematikai modellezése

THE DEVELOPMENT OF A PLASTIC GEAR WEAR MACHINE AND IT'S MATHEMATICAL MODEL

Gergely Attila Levente^{0000-0003-4536-7642 1*}, Kovács Zsolt Ferenc^{0000-0002-6995-6508 2},

Liska János^{0000-0002-1614-8566 2}, Csorba Béla István^{0009-0009-9551-7478 2},

Póka György^{0000-0002-7585-986X 3}, Máté Márton^{0000-0003-4120-3042 1}

¹ Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhelyi Kar, Sapienia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Románia

² Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország

³ Gyártástudomány és -technológia Tanszék, Gépészmérnöki Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2024.1.ENG.011>

Kulcsszavak:

Műanyag
Fogaskerék
Kopás
Matematikai modell
Tervezés

Keywords:

Thermoplastic
Gear
Wear
Mathematical model
Design

Cikktörténet:

Beérkezett 2024. április 20.

Átdolgozva 2024. április 27.

Elfogadva 2024. május 3.

Összefoglalás

A műanyagból készült fogaskerekek számos alkalmazásban kiváltották a fémből készült fogaskerekeket a kedvező tulajdonságuknak köszönhetően. Mivel a műanyagok mechanikai tulajdonságaira a hőmérsékletnek számottevő hatása van a műanyag fogaskerekek működés közbeni viselkedésének tanulmányozása elengedhetetlen. Ennek érdekében egy berendezést valósítottunk meg, megalkottuk a matematikai modelljét és kezdeti kopási vizsgálatokat végeztünk el.

Abstract

Plastic gears replaced metal gears in several applications due to their inherent advantageous properties. Thus, the investigation of plastic gears during operation is necessary, as the mechanical properties of plastic material are highly influenced by temperature. The work presents an instrument that is capable of testing plastic gears in operation, we also developed the mathematical model and carried out some initial wear tests.

1. Bevezetés

A fogaskerék az egyik legfontosabb gépelem, mely nyomaték és forgómozgás továbbítására alkalmasak. A fogaskerék-hajtások esetén a kapcsolódó fogfelületek közti csúszás alacsonyabb mértékű, mint szíj- vagy lánchajtás esetén, ezért megbízhatóbbak [1]. A fogaskerék-hajtásokat szinte minden ipari alkalmazásban megtaláljuk, ahol a forgó mozgás megjelenik, így kapcsolószekrényekben, differenciálművekben, hajtóművekben is fellelhetők. Az egyik legjobb mutatószám a fogaskerekek elterjedésére a világ fogaskerékpiajának évi forgalma, mely 2023-ban 150 milliárd USD-ra becsülhető és előrejelzések szerint 2030-ra eléri a 218,6 milliárd USD-t [2].

Az ipari forradalom hajnalán használt fogaskerekek fogprofilja a ciklois volt, amelynek helyét később a körevolvens vette át a jobb teherbírása miatt. A ciklois fogazat az egyetlen, amelynek

* Gergely Attila Levente
E-mail cím: agergely@ms.sapienia.ro

nemcsak a centroidái, hanem a kapcsolódó profilok is csúszásmentesen gördülnek le egymáson minimálissá téve ezáltal a kopást. Emiatt használják főleg az óraparban és más nagy pontosságú finommechanikai szerkezetekben, viszont nagyon érzékeny a tengelytávra, valamint előállítás is nehézkes. Az evolvens fogazat nem érzékeny a tengelytáv pontosságára, így a jelenkori gépészeti alkalmazásokban szinte kizárólag ezt a fogazatot használják [3]. Az egymást metsző vagy kitérő tengelyű hajtópárok modellezése az evolvens hengeres hatások modelljéből volt elindítva, bár ezeknél a profil nem evolvens. Léteznek nem evolvens hengeres hajtópárok is, amelyek a növelt terhelhetőség érdekében alakítottak ki. Ilyen például a Novikov-féle körív profilú fogazat. Az evolvens fogazatok előállítását lefejtéses vagy másolósos eljárással végezhetjük el. Kis sorozat vagy egyedi gyártás esetén, amennyiben nincsenek a hajtással szemben különösen a pontossággal vagy sebességgel szemben támasztott igények, a másolás használatos, melyet egyetemes marógépen modul-tárcsamarával vagy modul-szármarával szoktak végezni. A lefejtéses eljárás elvégezhető fésűskéssel, metszőkerékkel vagy csigamaróval. A lefejtéssel gyártott fogaskerekek pontosabbak, mint a másolással előállított fogaskerekek, viszont gyártásuk speciális szerszámokat és szerszámgépeket igényel [4,5]. A fémből gyártott fogaskerékhajtások, annak ellenére, hogy jó hatásfokkal rendelkeznek és nagy nyomatókatadásra képesek, zajosak, kenőanyagok használatát igénylik, nagy tömeggel rendelkeznek, valamint meglehetősen költséges az előállításuk, a költségigényes gyártási környezet miatt.

A műanyagok fejlődése lehetővé tette, hogy számos alkalmazásban a fémből készült fogaskerekeket kiváltsák műanyagból készült fogaskerekek. Természetesen a fémfogaskerekek kiváltása csak kis- vagy közepes terhelésű alkalmazásokban lehetséges a műanyagok viszonylag gyenge anyagtulajdonsági mutatói miatt. Ennek ellenére számos alkalmazásban elterjedtek a műanyag fogaskerekek. Az autópárhban a kormányrendszer, az ablakemelő mechanizmus, az automatikus ülésbeállító rendszer, a légkondicionáló rendszer [6]. Műanyag fogaskerékhajtások fellelhetőek automatizált rendszerekben és orvosi alkalmazásokban [1], továbbá az élelmiszeriparban, ahol a kenés lehetősége korlátozott. A műanyag fogaskerekek számos pozitív tulajdonsággal rendelkeznek, mint alacsony gyártási költség, kis tömeg, csendesebb járás, ütések elnyelése és akár kenés nélkül is működtethetők [7].

A műanyag fogaskerekek gyártása is megvalósítható másolással vagy lefejtő eljárással, csakúgy, mint a fémfogaskerekeké, viszont a fröccsöntés költséghatékonyabbnak és gyorsabbnak bizonyul 1000 darabszám feletti gyártás esetén. Ugyanakkor az additív gyártástechnológia rohamos fejlődésének köszönhetően az 1000 darabszám alatti sorozat gyártásának alacsonyabb a költsége, mint a fröccsöntésé [8]. Az additív gyártástechnológián belül ömledékrétegezéssel technológia (Fused Deposition Modelling, FDM) akkora fejlődésen ment át, hogy akár az átlagfelhasználó számára is elérhető. Az FDM 3D nyomtatás rétegenként építi fel az alkatrészt. A rétegeket és a réteg kívánt geometriáját egy műanyag filament (huzal) megömlésztésével hozza létre, melyet egy adagoló- és szállító mechanizmus segítségével a kívánt geometriára alakít. A technológia gyorsan tanulható és alkalmazható.

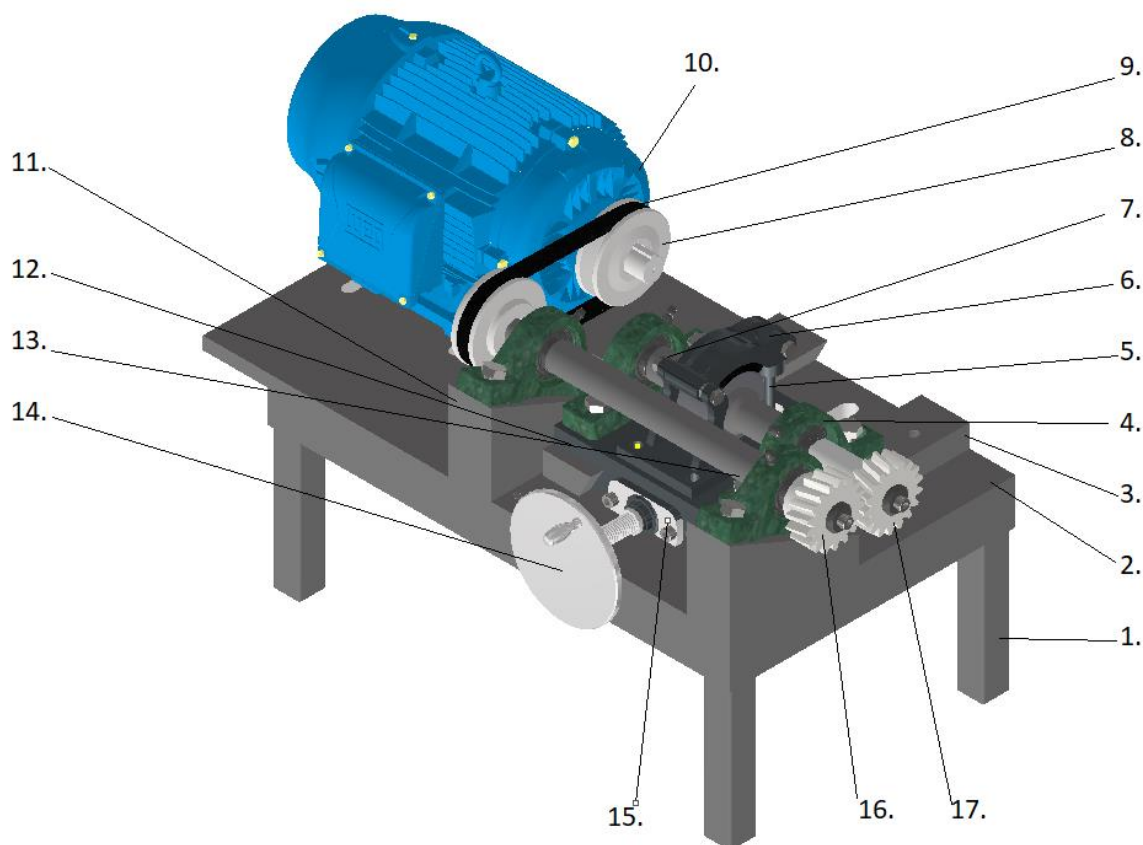
A műanyag fogaskerekek használatával természetesen felmerül a kérdés, hogy hogyan viselkednek működés közben, hiszen ismert tény, hogy a fogaskerékhajtás kapcsolódó fogfelületei egymás felületén elcsúsznak. A csúszás hatására hő keletkezik, melyre a műanyagból készült fogaskerekek jóval érzékenyebbek, mint a fém fogaskerekek. Mao és társai poliacetál (POM) és poliamid (PA) fogaskerekek kopását tanulmányozták [9]. A koptató berendezésben két fogaskereket szereltek egy-egy tengelyre, melyeket összeforgattak. Az egyik tengelyt egy elektromos motorral hajtották meg, míg a másik tengelyt mechanikusan, egy tömeg alkalmazásával fékeztek. Az eredmények alapján egy kritikus nyomaték-érték alatt az POM fogaskerekek lassú kopást mutattak a fogfelületen, viszont a kritikus nyomaték felett nagyon gyors kopás volt megfigyelhető, melyet a szerzők kizárólag a súrlódásból származó hőfejlődésnek tulajdonítottak. A PA fogaskerekek esetén teljesen más viselkedést figyeltek meg, hiszen ebben az esetben nem a felületi kopás jelentkezett, hanem a fogtörés. Singh és társai akrilnitril-butadién-stirol (ABS), nagy sűrűségű polietilén (HDPE) és POM anyagból készült fogaskerekek kopási tulajdonságait vizsgálták [1]. A koptató berendezést két elektromos motor hajtotta: az egyenáramú (DC) villanymotor a fékező tengelyre, míg a váltóáramú (AC) a behajtó tengelyre kapcsolódott. A berendezés tehát elektromosan valósította meg a fékezést a DC motor és egy változtatható ellenállás használatával. Az eredmények alapján az ABS-ből készült fogaskerekeken felületi kopás, míg a HDPE-ből készült fogaskerekeken fogtörés

jelentkezett. A POM-ból készült fogaskerekek nem mutattak számottevő kopást a 2 millió ciklus alatt. A nyomtatással készült fogaskerekek utólagos forgácsolással lehetséges, feltéve, hogy figyelembe vesszük a nyomtatott termékek forgácsolhatósági tulajdonságait [10] [11].

A jelen munka célja egy olyan koptató berendezés tervezése és építése, mely műanyagból készült fogaskerekek koptatására és fárasztására alkalmas. Továbbá célkitűzés a berendezés matematikai modelljének a kidolgozása.

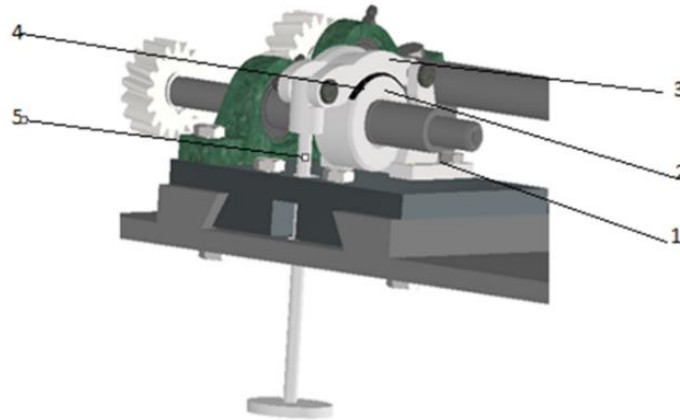
2. A koptató berendezés felépítése

A műanyag fogaskerekek koptatására alkalmas berendezés 3D modellje az (1. ábrán) látható. A berendezés tervezésekor a költséghatékonyságra és egyszerű kivitelezhetőségre törekedtünk. Ennek értelmében a választás egy egypofás fékrendszer alkalmazására esett. A koptatni kívánt fogaskerekek egy-egy tengelyre reteszkötéssel kapcsolódnak. A behajtó tengely egy 1.5 kW teljesítményű AC elektromos motor $i=1$ áttételű szíjhajtáson keresztül van meghajtva. A műanyag fogaskereket a tengelyeken egy váll pozicionálja, illetve a tengely végén egy alátét és csavarkötés rögzíti. A kihajtó tengelyt tömeggel állítható erejű féktárcsa-fékpofa kapocs fékezi. A berendezés lehetővé teszi a tengelytáv, a fékező nyomaték és a fordulatszám változtatását.



1. ábra. A fogaskerekek koptatására alkalmas berendezés 3D modellje: 1 - vázszerkezet, 2 - alaplap, 3 – fecskefarok-vezeték, 4 - csapágyak, 5 - terhelési rúd, 6 - fékrendszer, 7 - hajtott tengely, 8 - szíjtárcsa, 9 - szíj, 10 - motor, 11 - tartószerkezet, 12 – csúsztatható asztal, 13 - hajtó tengely, 14 - tárcsa, 15 - mozgató anya, 16,17 - koptatni kívánt fogaskerekek.

A kihajtó tengelyt fékező mechanizmus vázlata a (2. ábrán) látható. A fékezés egy $\varnothing 55$ mm átmérőjű féktárcsán történik, mely szélessége 30 mm. A féktárcsa a kihajtó tengelyhez reteszkötéssel kapcsolódik. A fékezés mértékét az (5) rúdra helyezhető fékező tömegek változtatásával lehet befolyásolni. Nagyobb fékezési felület biztosítása érdekében a fékpofa 100° -os központi szög alatt követi a féktárcsa ívét. A fogak kopását a többfogméret és a felületen kialakult kopási formák időbeli változásának követésével fejezhetünk ki. Számszerű adatokat koordináta-mérőgépen történő méréssel és mikroszkópos vizsgálattal nyerhetünk ki.



2. ábra. A fékező mechanizmus 3D modellje: 1 - tartó elem, 2 - féktárcsa, 3 - fékbetétet tartó elem, 4 - fékbetét, 5 - terhelési rúd.

3. Matematikai modell

A behajtó és a kihajtó tengelyen, illetve a kapcsolódó fogakon jelentkező erők és nyomatékok a (3. ábrán) láthatók. Három koordináta-rendszert vettünk fel: a P főpontban a rögzített $(x_0P y_0)$ rendszert, a behajtó tengelyen az $(x_1O_1 y_1)$, míg a kihajtó (fékezett) tengelyen az $(x_2O_2 y_2)$ rendszert. A behajtó tengelyre a villanymotor az M_m nyomatékot viszi fel, melyet a kihajtó tengelyre alkalmazott, súrlódással előállított M_{br} fékező nyomaték, a behajtó tengely csapágyain, a kihajtó tengely csapágyain jelentkező radiális kényszererőkből származó M_{fr1} és M_{fr2} súrlódási nyomatékok, valamint a fogoldalakon megjelenő súrlódási erők nyomatéka egyenlít ki.

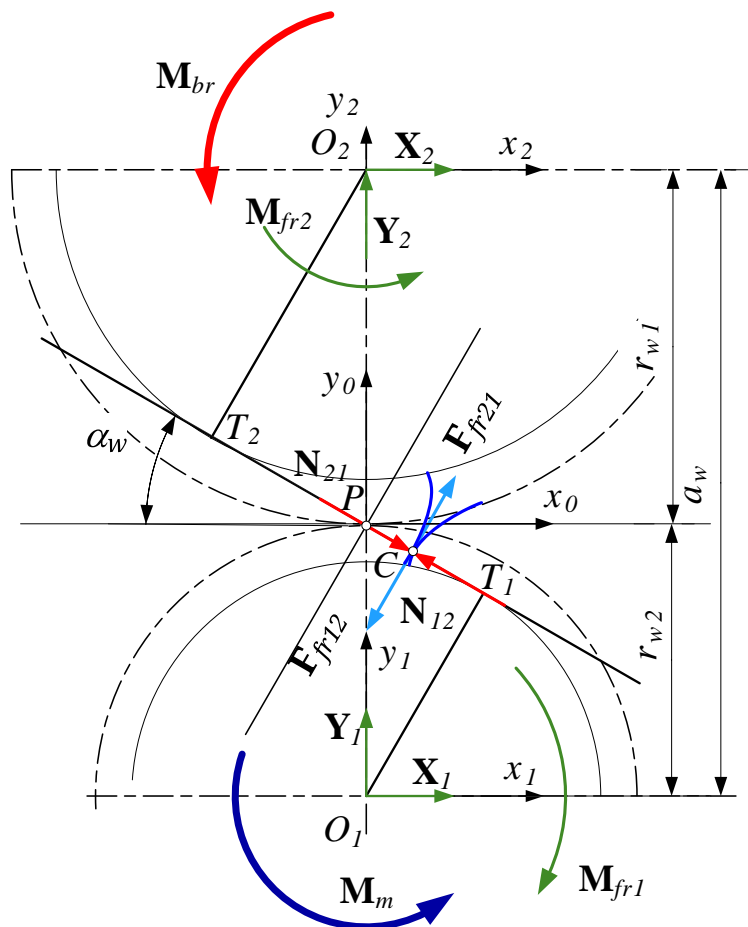
A modell általános fogazásra van kidolgozva, így az a_w tengelytávot a gördülőkörök r_{w1} és r_{w2} sugarainak összege határozza meg, α_w kapcsolószög mellett.

A fogoldalok a kapcsolószakaszon tetszőleges helyzetben levő C pontban érintkeznek. A C pontban jelentkezők a fogoldalakon az N_{12} és N_{21} normálerők, és az ennek megfelelő F_{fr12} és F_{fr21} súrlódási erők. A C pontban jelentkező erők irányítását a behajtó tengely óramutató járásával ellentétes irányú forgása adja. A csapágyakon jelentkező radiális kényszererők összetevői a behajtó tengelyen X_1, Y_1 , a kihajtó tengelyen pedig X_2, Y_2 .

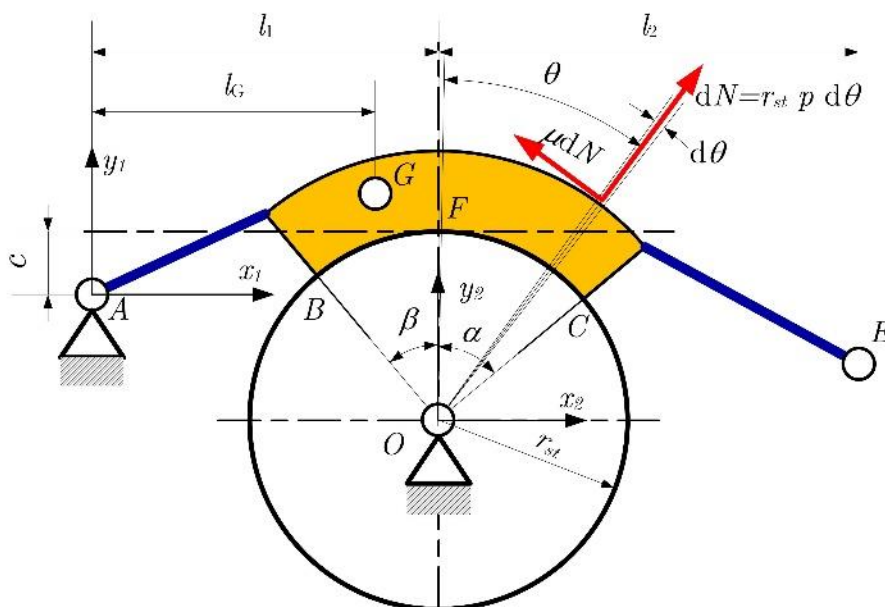
A fékező terhelés hatására a fogaskerék hajtásban megjelennek a fogprofilok között a már nem elhanyagolható súrlódási, valamint a tengelyek csapágyaira ható erők. Ennek értelmében a motor által kifejtett nyomaték a fékező terhelés által indukált fékező nyomatékot és a rendszerben megjelenő súrlódási erők hatására kialakuló nyomatékokat kell ellensúlyozza. Az egyes tengelyekre felírt erőkomponensek és nyomaték egyensúlyi egyenleteiből számítható ki, adott terhelésre, a motor által leadott nyomaték, melyet az (1) összefüggéssel írunk le:

$$M_m(x) = M_{br} \cdot \frac{r_{b1} + \mu_f \cdot \left(T_1 A_2 + x + \frac{p_b}{2} \right) + \sqrt{1 + \mu_f^2 \cdot \mu_{cs} \cdot r_{1cs}}}{r_{b2} + \mu_f \cdot \left(T_1 T_2 - \left(T_1 A_2 + x + \frac{p_b}{2} \right) \right) - \sqrt{1 + \mu_f^2 \cdot \mu_{cs} \cdot r_{2cs}}} \quad (1)$$

Az (1) képletben M_m – a motor nyomatéka, M_{br} – a fékező nyomaték, r_{b1} – a hajtó kerék alapkörének sugara, r_{b2} – a hajtott kerék alapkörének sugara, μ_f – a fogak közti súrlódási együttható, $T_1 A_2$, $T_1 T_2$, $T_1 A_2$ és x az Erney-féle vonalas kapcsolási rajzokból meghatározható geometriai távolságok, p_b – az alaposztás, μ_{cs} – a csapágy súrlódási együtthatója, r_{1cs} és r_{2cs} az 1-es és 2-es tengelyeken található csapágyak sugarai. Az egyszerűség kedvéért a fejkörök és a kapcsolóvonal A_1 illetve A_2 metszéspontjait nem ábrázoltuk. Az x távolság a hajtókerékre, az első kapcsolódási pontjától a pillanatnyi kapcsolódási pontig mért távolság.



3. ábra. A fogaskerék hajtásban megjelenő erők és nyomatékok.



4. ábra. A fékezési mechanizmus modellje.

A fékező berendezés kinematikai vázlata a (4. ábrán) látható. A kihajtó tengelyhez csatoljuk az x_2Oy_2 koordináta-rendszert. A fékpofa az EA pontok között látható, A -ban csuklózott egykarú emelőhöz rögzített. A féktárcsát az y tengely által meghatározott α és β központi szögek összege alatt érinti.

A fékező nyomaték meghatározásakor a fékpofa és a féktárcsa közti találkozási felületen egy egyenletesen eloszló nyomást feltételeztünk. A fékező tömeg a hajtott tengely csapágait is terheli, melynek a fékező nyomatékkal azonos irányú nyomatékat generál. A generált fékező nyomaték az

$$M_b = \mu \cdot p \cdot r_{st} \cdot \alpha + 2 \cdot p \cdot \mu_{cs} \cdot \sqrt{1 + \mu^2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot r_{cs2} \cdot r_{st} \quad (2)$$

képlettel számolható, ahol μ – a féktárcsa és a fékbetét közötti súrlódási együttható, p – a terhelés és a fékező elemek tömegének hatására jelentkező nyomás a féktárcsa és a fékbetét között, r_{st} – a féktárcsa sugara, α – a féktárcsa és a fékbetét kapcsolódási szöge.

A normálerő a következő képlettel számítható:

$$N = \frac{M_b}{r_{b2} + \mu_f \cdot (T_1 T_2 - T_1 A_2 - x) - \sqrt{1 + \mu_f^2} \cdot \mu_{cs} \cdot r_{2cs}} \quad (3)$$

4. Eredmények

A kísérlet megvalósításához terhelésenként 1 fogaskerékpárt nyomtattunk, Creality K1 FDM 3D típusú nyomtatón, politejsav (PLA, Hyper Series PLA) filamentből. A PLA-ára, mint modell anyagra a könnyű nyomtathatósága és beszerzése miatt esett a választás. A 3D nyomtatott műanyag fogaskerek alkalmazhatóságát tekintve a poliamid vagy szénszállal erősített alapanyagok indokoltak. A 3D nyomtatási paraméterek az (1. táblázatban) találhatóak.

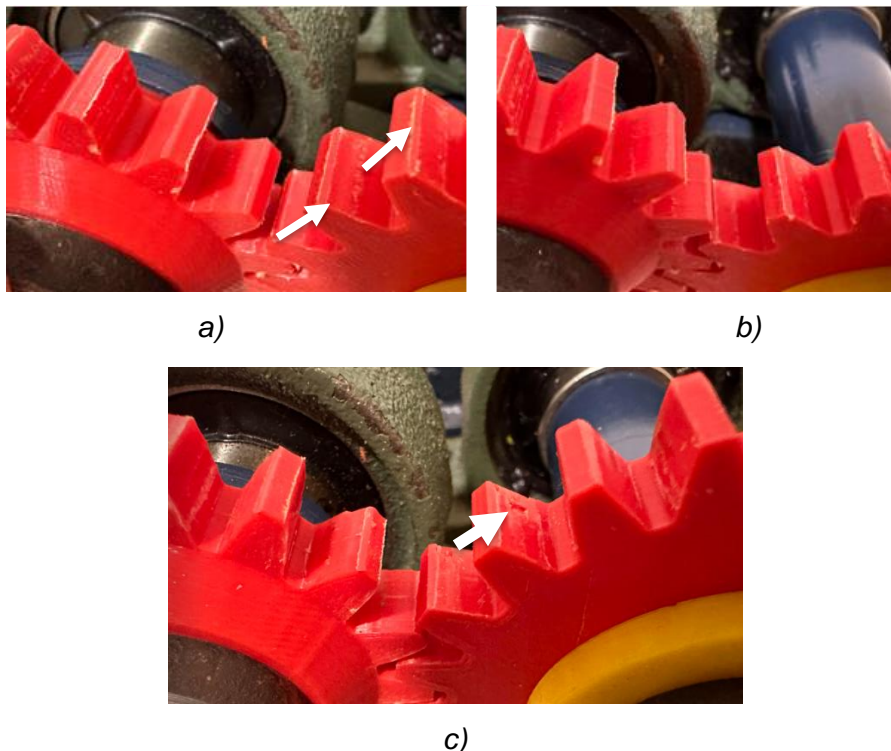
1. Táblázat: 3D nyomtatási paraméterek.

A burkolás rétegének/vonalainak a száma	Alsó rétegek:	8
	Felső rétegek:	8
	Fal vonalai:	3
	Furat vonalai:	2
Kitöltés paraméterek	Kitöltési sűrűség:	20%
	Kitöltési minta:	Cubic
	Kitöltési réteg vastagsága	0.1 mm
	Kitöltés és fal közti átfedés:	30%
Nyomtatási sebesség	Kitöltési sebesség:	500 mm/s
	Külső fal sebesség:	300 mm/s
	Felső-alsó sebesség:	300 mm/s
Hőmérséklet	Nyomtatási hőmérséklet:	230 °C
	Tárgyasztal:	40 °C
Hűtés	Nyomtatás hűtése:	50%
	Nyomtató terének a hűtése:	75%
	Szűrő-ventilátor:	100%

A vizsgálatokhoz $m = 3$ mm modulú, profileltolás nélküli fogaskereket használtunk. A behajtó fogaskerék fogszáma $z_1 = 17$, míg a kihajtó fogaskerék fogszáma $z_2 = 24$ volt. A kísérlet során a fordulatszámot $n = 1000$ ford./perc értékre állítottuk, a fékezésre alkalmazott tömeg pedig 2

kg, illetve 3 kg volt. Az előbbivel $M_{br} = 754 \text{ N} \cdot \text{mm}$ értékű nyomatékot és $N = 22.2 \text{ N}$ fogoldalankénti normálerőt értünk el, míg a második esetben ezek az értékek $M_{br} = 1108 \text{ N} \cdot \text{mm}$ – re, illetve $N = 32.6 \text{ N}$ -ra módosultak. A fogaskerekeket maximálisan 12 óra hosszan hajtottuk össze és minden 4 órában vizuálisan vizsgáltuk, majd többfogméretet mértünk, $z = 2$ fogon, egy tárcsás mikrométer segítségével.

Az (5. ábrán) a fogaskerekekről készült fényképek láthatók.



5. ábra. PLA fogaskerekek kopását bemutató fényképek 2 kg tömegű terhelés esetén: a) 240.000 ciklusszám, b). 480.000 ciklusszám, illetve c) 720.000 ciklusszám után.

Az (5.a ábra) jól szemlélteti a kopást a fogfejszalagon és a fogoldal felületén. Az (5.b ábra) és az (5.c ábra) a fogaskerekek állapotát mutatja be 480.000 és 720.000 ciklusszám után. Megfigyelhető a kopás mértékének nagysága a ciklusszám növekedésével. A fogfelületen számottevő kopás figyelhető meg 720.000 ciklusszám után. A (2. táblázat) a többfogméret változását mutatja be a ciklusszám és a terhelés függvényében. A behajtó fogaskerék esetén a többfogméret-változás csupán 0,06 mm, míg a kihajtó fogaskeréken 0,10 mm.

2. Táblázat: 2 kg-mal terhelt PLA fogaskerékpár többfogméret-értékeinek változása.

Sorszám:	Ciklusszám behajtó fogaskerék				Ciklusszám kihajtó fogaskerék			
	0	240.000	480.000	720.000	0	240.000	480.000	720.000
1	13.96	13.93	13.92	13.91	14.65	14.59	14.46	14.45
2	13.97	13.96	13.92	13.88	14.66	14.59	14.50	14.44
3	13.95	13.94	13.93	13.90	14.68	14.54	14.53	14.42
4	13.94	13.95	13.93	13.93	14.67	14.52	14.49	14.44
5	13.95	13.95	13.93	13.90	14.65	14.54	14.52	14.50
6	13.97	13.95	13.95	13.92	14.65	14.58	14.55	14.40
7	13.98	13.97	13.92	13.92	14.70	14.50	14.56	14.49
8	13.97	13.95	13.96	13.90	14.71	14.53	14.50	14.44
9	13.95	13.97	13.94	13.87	14.67	14.57	14.48	14.43

10	13.99	13.95	13.91	13.90	14.69	14.55	14.51	14.44
Átlag:	13.96	13.95	13.93	13.90	14.67	14.55	14.51	14.45
Szórás:	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03

A (6. ábrán) látható fényképek a 3 kg terhelés esetén készültek.



a)

b)



c)

6. ábra. PLA fogaskerekek kopását bemutató fényképek 3 kg tömeg terhelés esetén: a) 240.000 ciklusszám, b). 480.000 ciklusszám, illetve c) 692,000 ciklusszám után.

A (6.b ábrán) látható a fogfelület meghibásodása, illetve a (6.c ábrán) a teljesen meghibásodott fogaskerekek. Fogak törtek le mindkét fogaskerékről, valamint a kihajtó fogaskerék megrepedt. A (3. táblázat) a többfogméret értékeit tartalmazza a ciklusszám és terhelés függvényében.

3. Táblázat: 3 kg-al terhelt PLA fogaskerékpár többfogméret értékeinek változása.

Sorszám:	Ciklusszám behajtó fogaskerék			Ciklusszám kihajtó fogaskerék		
	0	240.000	480.000	0	240.000	480.000
1	13.96	13.78	13.70	14.67	14.48	14.45
2	13.95	13.77	13.68	14.68	14.47	14.43
3	13.97	13.76	13.65	14.69	14.48	14.40
4	13.98	13.81	13.69	14.68	14.45	14.45
5	13.98	13.79	13.62	14.67	14.45	14.46
6	13.95	13.79	13.75	14.70	14.47	14.48
7	13.97	13.80	13.64	14.65	14.46	14.47
8	13.97	13.84	13.75	14.63	14.48	14.44
9	13.94	13.87	13.76	14.69	14.48	14.47

10	13.94	13.89	13.74	14.67	14.50	14.46
Átlag:	13.96	13.81	13.70	14.67	14.47	14.45
Szórás:	0.01	0.04	0.05	0.02	0.01	0.02

A (2. táblázatban) feltüntetett mért többfogméret értékek jól mutatják a kopás mértékének változását: a behajtó fogaskerék esetén 480.000 ciklusszám után a 0,26 mm, míg a kihajtó fogaskerék esetén 0,22 mm a többfogméret változás.

5. Következtetések

Következtetésképpen elmondható, hogy sikeresen megterveztünk, kivitelezünk és kipróbáltunk, valós kísérletsorozat elvégzésével, egy műanyag fogaskerekek koptatására és fárasztására alkalmas berendezést.

A berendezést leíró matematikai modell lehetővé teszi, hogy a fogfelületre ható normálerő előirányzott értékéből ki tudjuk számítani a szükséges terhelő tömeget, vagy a terhelő tömegből ki tudjuk számítani a fogfelületeken ébredő normálerők értékét.

A két különböző terhelés alkalmazásával megállapítottuk, hogy a PLA-ból készült fogaskerekek esetén a terhelő tömeg nagyságának – ezáltal a fogfelületre ható normálerő-értékének – számottevő hatása van a kopás mértékére, amit a többfogméret- változással határoztunk meg.

Adott terhelésre létezik egy olyan ciklusszám, amely után a fogaskerék kopása ellenőrizhetetlen folyamatba megy át, azaz fogak törnek le, a felületen részben olvadási nyomok keletkeznek, aminek következtében a fogaskerék használhatatlanná válik.

A két kísérlet adattáblázatát összehasonlítva észrevehetjük, hogy az első terhelési esetben a behajtó, azaz a kisebb fogszámú keréken kisebb a kopás, mint a kihajtó, azaz a nagyobb fogszámú keréken, míg a második, nagyobb terhelés esetében a kiskeréken nagyobb a kopás. Figyelembe véve, hogy a kiskerék adott foga gyakrabban kerül kapcsolatba, mint a nagykerék adott foga, az első eredmény ellenőrzésére további kísérleteket kellene beiktatni.

Irodalomjegyzék

- [1] Singh, P.K., Singh, A.K. : An investigation on the thermal and wear behavior of polymer based spur gears. Tribology International, 2018, Vol. 118, pp. 264-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.10.007>
- [2] https://www.researchandmarkets.com/reports/338745/gears_drives_and_speed_changers_global (megtekintve: 2024.04.15)
- [3] Tolvaly-Rosca, F.: Gépelemek, Erdélyi Múzeum Egyesület, Kolozsvár, Románia, 2019. DOI: 10.36242/mtf-13
- [4] Máté, M. : Hengeres fogaskerekek gyártószerszámai, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, Románia, 2016, DOI: <https://doi.org/10.36242/mtf-12>
- [5] Pálffy, K., Prezenszky, T., Csibi, V., Antal, B., Gyenge, Cs., Balogh, F. : Fogazott alkatrészek tervezése, szerszámai és gyártása, Gloria Kiadó, Kolozsvár, Románia, 1999.
- [6] Ribbens, W. : Understanding Automotive Electronics, 8th ed., Butterworth-Heinemann: Oxford, UK, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00011-6>
- [7] Zhang, Y., Mao, K., Leigh, S., Shah, A., Chao, Z., Ma, G. : A parametric study of 3D printed polymer gears. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2020, Vol. 107, pp: 4481-4492, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05270-5>
- [8] Berman, B. : 3-D printing: The new industrial revolution, Business horizons, 2012, Vol. 55, No. 2, pp:155-62. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05270-5>
- [9] Mao, K., Li, W., Hooke, C.J., Walton, D. : Friction and wear behaviour of acetal and nylon gears. Wear, 2009 Vol. 267, No: 1-4, pp: 639-45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.10.005>
- [10] Kónya, G., Ficzere, P.: The Effect of Layer Thickness and Orientation of 3D Printed Workpieces, on The Micro- and Macrogeometric properties of Turned Parts. ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA, 2024, Vol. 21, No. 2, pp. 231–250.
- [11] Kónya, G.: Investigating the Impact of Productivity on Surface Roughness and Dimensional Accuracy in FDM 3D Printing. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, Vol. 52, No. 2. pp. 128-133. DOI: 10.3311/PPtr.22952