

# Hőre lágyuló műszaki műanyag fogaskerekek élettartama

## Lifetime of the engineering thermoplastic gears

ODROBINA Miklós, KERESZTES Róbert Zsolt, KALÁCSKA Gábor

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézet,  
2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1., odrobina.miklos@hallgato.uni-szie.hu

### Abstract

*Nowadays, plastic gears are gaining more and more space within the field of power transmission systems due to their advantageous properties. However, their applicability has limitations such as load carrying capacity and temperature sensitivity. Design standards are currently incomplete and only properly developed for specific materials (e.g., polyoxymethylene (POM) or polyamide (PA), etc.). In this work, the lifetime and the surface temperature of the polyvinyl chloride (PVC) gears are investigated at a given speed, and variable load under non-lubricated conditions, applicable and what forms of failure are expected. The obtained results are compared with the results of the POM and PA gears found in the literature. Thus, there is a comprehensive picture of the load range in which the examined gears can be used and what forms of failure are expected.*

**Keywords:** PVC, plastic gear, lifetime, temperature rise, load carrying capacity

### Kivonat

*Napjainkban a teljesítményátviteli rendszereken belül a műanyag fogaskerekek egyre nagyobb teret hódítanak előnyös tulajdonságaik miatt, azonban alkalmazhatóságuknak megvannak a korlátjai, mint például a terhelhetőség és a hőmérsékletre való érzékenység. A teljesítmény adatok, valamint a tervezési szabványok jelenleg hiányosak, valamint csak adott anyagokra (pl. polioximetilén (POM), vagy poliamid (PA) stb.) vannak megfelelően kidolgozva. A munkánkban a kevésbé elterjedt polivinil-klorid (PVC) fogaskerekek élettartamát és hőmérséklet alakulását tanulmányoztuk adott fordulatszám, illetve változó terhelés mellett kenés nélküli körülmények között. A kapott eredményeket összehasonlítjuk a szakirodalomban fellelhető POM és PA fogaskerekek eredményeivel, így átfogó képet kapunk arról, hogy a vizsgált fogaskerekek milyen terhelhetőségi tartományban alkalmazhatók, valamint milyen tönkremeneteli formák várhatóak.*

**Kulcsszavak:** PVC, műanyag fogaskerék, élettartam, hőmérsékletváltozás, terhelhetőség

## 1. BEVEZETÉS

A fogaskerék a teljesítményátviteli rendszerek egyik legfontosabb alkatrésze, amely ma már elérhető fémes és nemfémes változatban is. A nemfémes fogaskerekek, mint a műanyag fogaskerekek, jelentősége és felhasználása is egyre nő az előnyös tulajdonságaik miatt, mint például az alacsony előállítási költség, a kis súly, a csendes üzem vagy a külső kenés nélküli működés lehetősége stb. [1].

A felsorolt előnyök ellenére, azonban a műanyag fogaskerekek alkalmazásának megvannak a maga korlátai. A teljesítmény adatok, valamint a tervezési szabványok jelenleg még hiányosak, mivel a műanyag fogaskerekek mechanikai és hőtani viselkedése nem ismert teljes mértékben [2, 3]. Adott anyagokra, mint például polioximetilén (POM), poliamid (PA) vagy poliéter-éter-kezon (PEEK), már vannak megfelelő irányelvek a fogaskerék tervezéshez, azonban az egyre szélesedő műanyagipari kínálat miatt a műanyagok nagy részéhez még nem állnak a rendelkezésünkre a szükséges tervezési adatok [4]. Ezenkívül a műanyag fogaskerekek teherbírása limitált a műanyagok kisebb szilárdsága miatt, valamint a mechanikai tulajdonságaik drasztikusan romlanak a hőmérséklet emelkedésével [5]. Ezeket összegezve elmondható, hogy a műanyag fogaskerekek esetében a mechanikai tulajdonságok, valamint az azt erősen befolyásoló termikus hatások feltérképezése kiemelt feladat. Ha a terhelés elér egy bizonyos felsőhatárt a műanyag kerekeknél, akkor azok működésképtelenné válnak, és különböző meghibásodások következnek be. Ez az anyagonként változó felső határ még feltárára vár. A fogaskerék teljesítmény szintjeihez köthetőek a meghibásodások fajtái is, amelyek

átfogó vizsgálata még szintén nem valósult meg. A jelen tanulmányban a PVC fogaskerekek vizsgálata során többek között az élettartamot, a terhelhetőséget és a hőmérséklet alakulását kutattuk. A mérési eredményeket összevettük a különböző szakirodalmi cikkek adataival.

## 2. FOGASKERÉK VIZSGÁLAT

A mérésekhez használt hajtástásvizsgáló fékpadot a Szent István Egyetem Gépipari Technológiai Intézete fejlesztette, amely alkalmas hosszútávú élettartam vizsgálatok elvégzésére műanyag fogaskerekek esetén, közel állandó terhelés mellett (1. ábra). A tesztágy hasonlóan épül fel, mint az FZG fogaskerék vizsgáló rendszerek. A zárt hajtásláncot villanymotor hajtja, amelynek feladata a megfelelő fordulatszám biztosítása. A fordulatszám 0 – 1500 ford./perc tartományban szabályozható potencióméterrel. A rendszer működésének egyik nagy előnye a gazdaságosság, mivel a villanymotornak csak a hajtás veszteségeit kell ellensúlyoznia. A zárt hajtáson belül rugós előfeszítéssel hozható létre a kívánt terhelés. A motor elindítását követően bordásszíjhajtáson keresztül két párhuzamos tengely kerül meghajtásra. A feszes szíjához tartozó párhuzamos tengelyhez, amely közé nyomaték-mérő szenzor került beépítésre, kapcsolódik a hajtó, vizsgált fogaskerék. Ez forgatja meg a hajtott, vizsgált fogaskereket, amely egy hajtóművön keresztül kapcsolódik a másik párhuzamos tengelyhez. Ezen párhuzamos tengely közé került beépítésre a rugós előfeszítő egység. A mérőrendszer 3 vizsgálati paraméter folyamatos rögzítésére képes HBM Spider 8 mérési adatgyűjtő rendszerrel összekapcsolva, amik a következők: fordulatszám, nyomaték, idő.

A hőmérséklet méréshez egy NEC H2640 típusú infrakamerát használtunk. A kamera infravörös detektora nagy felbontású (640 x 480), érzékenysége 0,03 °C és a mérési tartománya -40 °C-tól + 500 °C-ig terjed.



1. ábra. Hajtástásvizsgáló fékpad

A fogaskerekek félkész termékből, extrudált PVC rúdból készültek hagyományos Fellows-féle lefejtő fogazási eljárással, jellemzői méreteiket az 1. táblázat foglalja össze. A mérések során a fogaskerekek külső kenés nélkül adott fordulatszámon futottak a tönkremenetel pillanatáig.

Fogaskerekek jellemző méretei

1. táblázat

Profil	Evolvens, ISO 53 A
Modul (mm)	2
Fogszám (db)	30
Fogszélesség (mm)	10
Kapcsolószög	20°
Kapcsolószám	1,65

## 3. EREDMÉNYEK

A PVC-PVC fogaskerékpárok terhelhetőségének tanulmányozása érdekében lépcsős előméréseket végeztünk. A terhelési lépcsőt 1 Nm-nek választottuk, amit 100.000 ciklust követően növeltünk 1000 fordulat/perc forgási sebesség mellett. A terhelési lépcsők között 10 perc szünetet tartottunk, mivel a

nyomtaték állítása csak a rendszer leállítása után végezhető el. Az előmérés eredményei azt mutatták, hogy  $1,7 - 2,25 \times 10^5$  ciklust követően bekövetkezett a fogaskerek meghibásodása.

Ezen eredmények alapján a 2 Nm terhelést választottunk további részletes élettartam vizsgálatok elvégzéséhez. Az adott terhelésen 3 párhuzamos mérést hajtottunk végre, aminek az eredményei a 2. táblázatban láthatóak.

PVC fogaskerék párok élettartama

2. táblázat

	PVC-PVC (1)	PVC-PVC (2)	PVC-PVC (3)
Működési ciklus [fordulat $\times 10^5$ ]	1,12	1,56	1,5
Tönkremenetel [-]	Fogtörés		

A szakirodalomban fellelhető szakcikkek eredményei a következőket mutatják:

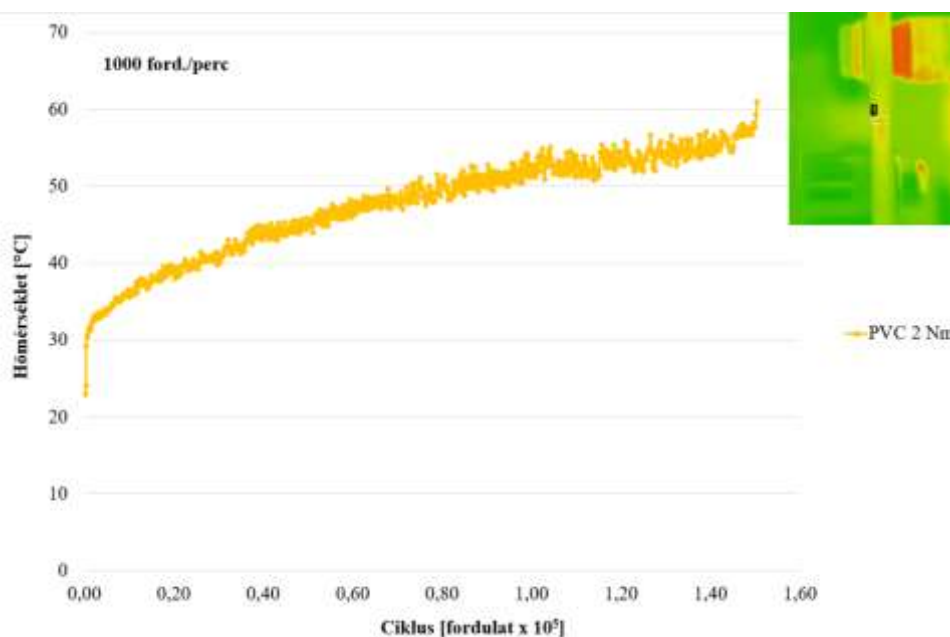
Breeds és tsai. tanulmányában azonos modul, fogszám, eltérő fogszélesség (17 mm) és jóval nagyobb 7 Nm terhelés, valamint 1000 ford./perc mellett a PA fogaskerek 7 x 10<sup>6</sup>, míg a POM kerek 2,1 x 10<sup>7</sup> ciklus megtételére voltak képesek [6].

Mao és tsai. kutatásuk alapján azt találták, hogy azonos modul, fogszám, eltérő fogszélesség (15 mm) és 7,5 Nm terhelés, valamint 1000 ford./perc mellett a POM fogaskerek 2,14 x 10<sup>6</sup> fordulatot követően hibásodtak meg [2].

Senthilvelan és Gnanamoorthy tanulmányában azonos modul, fogszélesség, eltérő fogszám (17) és 1,5 Nm, 1000 ford./perc sebesség mellett a PA fogaskerek élettartama 2 x 10<sup>6</sup> fordulat [7].

A PVC fogaskerek ettől láthatóan jóval gyengébben teljesítettek.

A 2. ábra mutatja a PVC-PVC (2) fogaskerékpár fogfelületi hőmérséklet alakulását a fogtörés pillanatáig. Az indítást követően hirtelen ugrás volt tapasztalható a hőmérséklet alakulásában, majd fokozatosan emelkedett a tönkremenetel pillanatáig. A hőmérsékletváltozás 38 °C, ami igen jelentős, mivel így szobahőmérsékletről indulva a fogaskerék fogfelülete átlépte a 60°C-t, ami a PVC alapanyag alkalmazható maximális hőmérséklete levegőn rövid idejű használat esetén [8]. A fogaskerék hőmérséklet stabilizálódásának hiányából egyértelműen következik, hogy a hőképződés, amit a kapcsolódó felületek súrlódása és az anyag hiszterézise okoz, nagyobb, mint a hőelvonás.



2. ábra. PVC-PVC (2) fogaskerékpár hőmérséklet emelkedése 2 Nm terhelésen

Az erőteljes melegeződés okozta elszíneződés a kapcsolódó fogfelületeken szintén könnyen felismerhető a mikroszkópos felvételeken (3. ábra).

A kopás mértéke szignifikáns, azonban a fogaskerék meghibásodását túlterhelés okozta. Jól látható, hogy a repedés a fog lekerekítésénél indult meg, és tovább terjedt a fogtő mentén, aminek háttérben a túlzott mértékű deformáció és hajlító feszültség áll [9, 10].



3. ábra. Kopott fogfelület, fogtörés (30x nagyítás)

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során a polivinil-klorid (PVC) féltermékből forgácsolási eljárással készített fogaskerekek használhatóságát tanulmányoztuk. Az eredményeket összefoglalva elmondható, hogy a PVC fogaskerekek alkalmazhatóak kis terhelés és nagy fordulatszám mellett, azonban terhelhetőségben messze elmaradnak a PA és POM kerekektől.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3-II-SZIE-24. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Ghazali, W. M., Idris, D. M. N. D., Sofian, A. H., Siregar, J. P., Aziz, I. A. A. A review on failure characteristics of polymer gear. In MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 2017, 90, 01029.
- [2] Mao K., Langlois P., Hu Z., Alharbi K., Xu X., Milson M., Li W., Hooke C.J., Chetwynd D. The wear and thermal mechanical contact behaviour of machine cut polymer gears, Wear, 2015, 332-333, 822-826.
- [3] Pogacnik A., Tavcar J., An accelerated multilevel test and design procedure for polymer gears, Materials and Design, 2015, 65, 961-973.
- [4] VDI 2736 Blatt 2 – Thermoplastic Gear Wheels, Cylindrical Gears, Calculation of the Load-carrying Capacity, 2013.
- [5] Walton D., Shi Y. W. A Comparison of Ratings for Plastic Gears, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 1989, 203, 31-38.
- [6] Breeds A. R., Kukureka S. N., Mao K., Walton D., Hooke C. J. Wear behaviour of acetal gear pairs, Wear, 1993, 166, 85-91.
- [7] Senthilvelan, S., Gnanamoorthy, R. (2004). Damage mechanisms in injection molded unreinforced, glass and carbon reinforced nylon 66 spur gears. Applied Composite Materials, 2004, 11, 377-397.
- [8] QuattroPlast Kft. DOCADUR (PVC) Műszaki adatlap, <https://quattroplast.hu/anyagok/docadur-pvc-polivinil-klorid/docadur> (Utolsó letöltés: 2021.02.18.).
- [9] Bravo, A., Koffi, D., Toubal, L., Erchiqui, F. Life and damage mode modeling applied to plastic gears. Engineering Failure Analysis, 2015, 58, 113-133.
- [10] Singh, A. K., Siddhartha, Singh, P. K. Polymer spur gears behaviors under different loading conditions: A review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 2018, 232, 210-228.