

Hengeres fogaskerékajtások tervezése és elemzése egyenes fogiránnyal

Bodzás Sándor

gépészmérnök, egyetemi docens, Debreceni Egyetem

Bevezetés

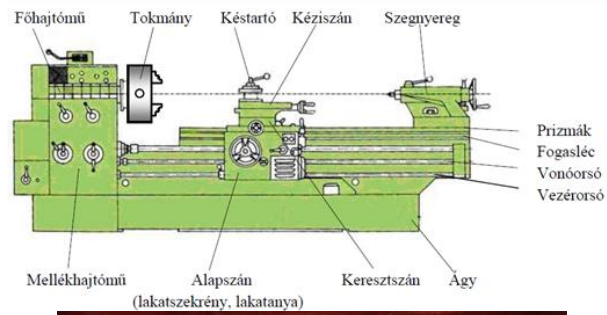
A hengeres fogaskerékajtásokat széles körben használják különböző gépekben és gépszerkezetekben, ahol szükség van nyomaték átadásra, forgásirány és fordulatszám megváltoztatására. Napjainkban gyakorlatilag minden gép tartalmaz különböző geometriájú fogazatokat.

Kutatásaim célja a fogazott hajtópárok geometriájának tervezése, modellezése és kapcsolódás vizsgálata. A hajtópárok számítógépes modelljeinek elkészítése (CAD) a mozgás szimulációhoz és a kapcsolódás vizsgálatokhoz. A hajtópárok kapcsolódása során fellépő mechanikai jellemzők vizsgálata (TCA). A vizsgálatok alapján a geometriából adódóan a következtetések levonása és a kerékgeometriai optimalása figyelembe véve a gyárthatósági kritériumokat.

A hengeres fogaskerekek főbb alkalmazásai az 1–6. ábrákon láthatók.



1. ábra. Gépjárművek sebességváltói [15, 16]



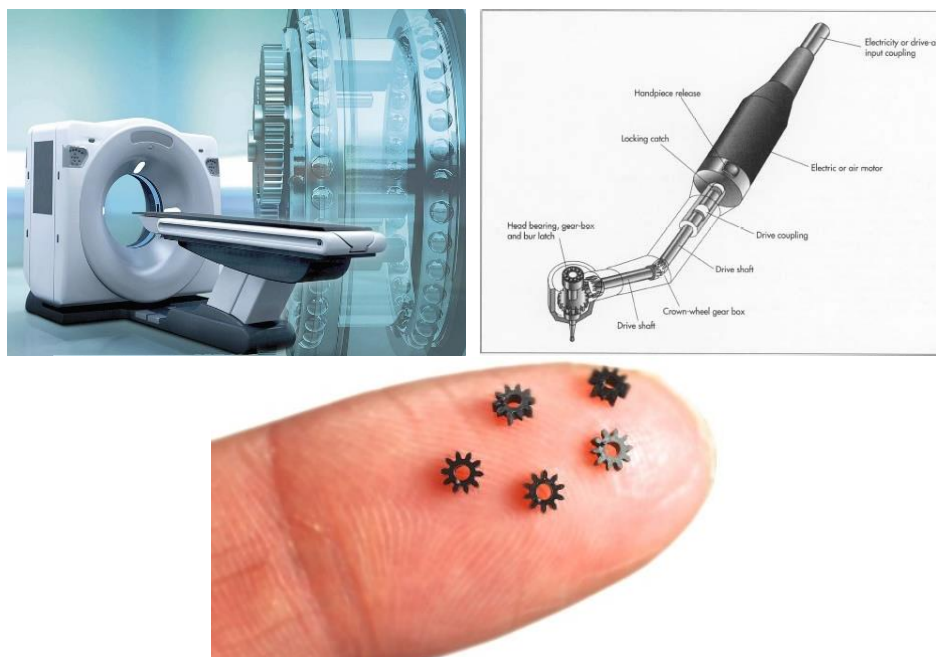
2. ábra. Szerszámgépek főhajtóművei [17]



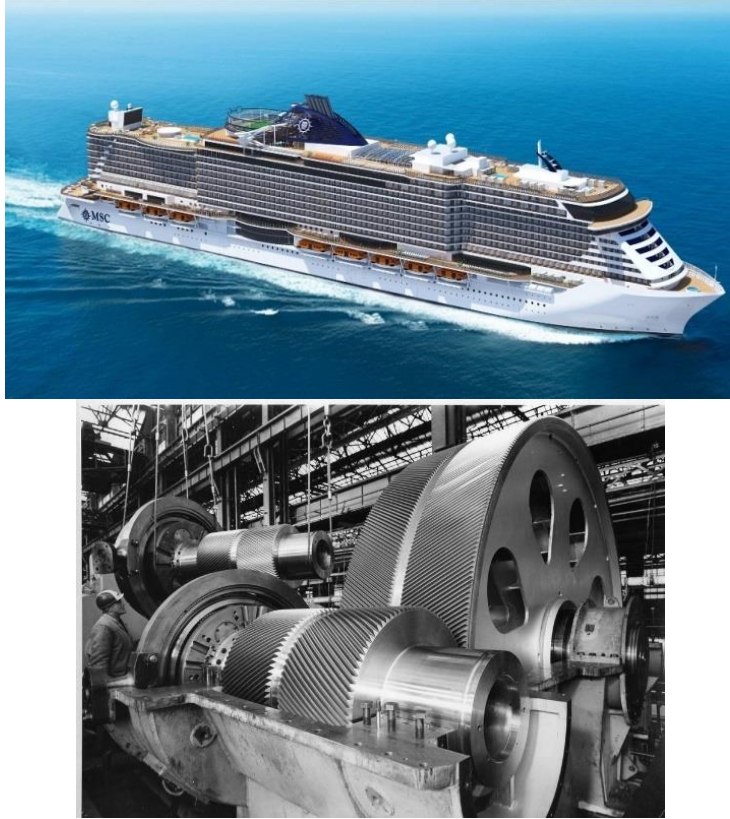
3. ábra. Repüléstechnika [20, 21, 22]



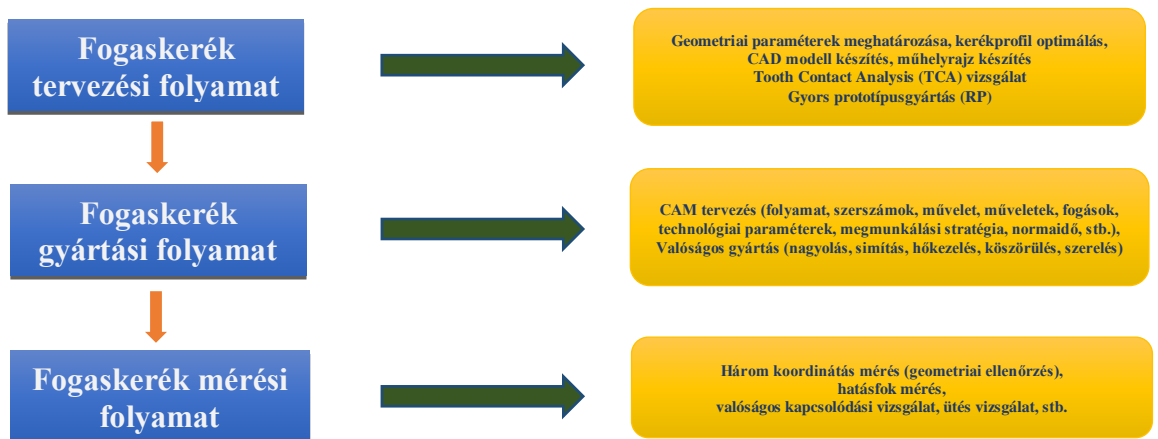
4. ábra. Robottechnika [18, 19]



5. ábra. Orvosi eszközök, katéterek [23, 24, 25]

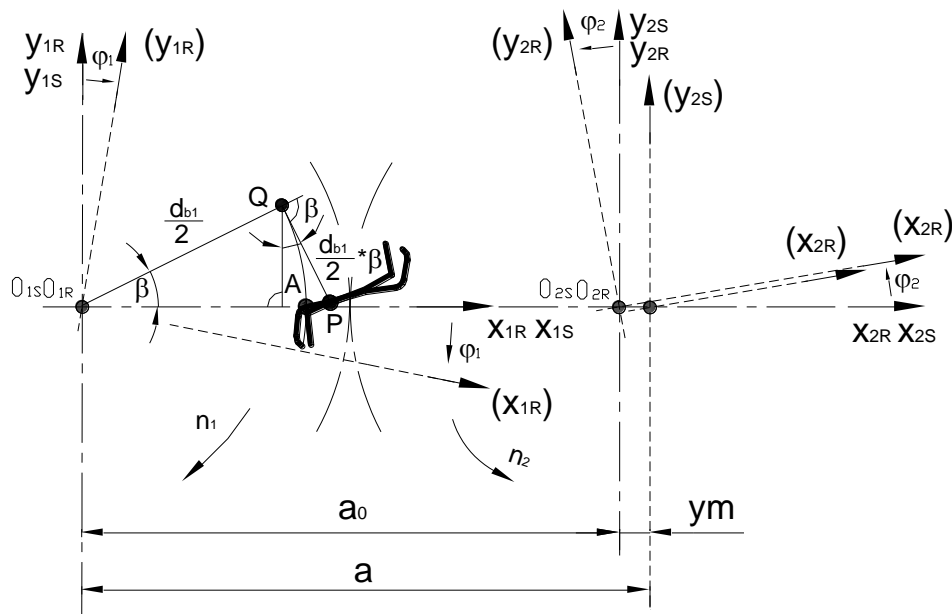


6. ábra. Hajótechnika [26, 27]



7. ábra. Fogaskerék előállítási folyamat

A bemutatott főbb alkalmazási területek indokolják a fogazott hajtópárok kutatását, ami kiterjed a konstrukció tervezésre és modellezésre (CAD), a kapcsolódás vizsgálatokra (TCA), a gyors prototípusgyártásra (RP), a számítógépes gyártástervezésre és az effektív gyártásra (CAM, CNC) és a mérés technikai vizsgálatokra (7. ábra).



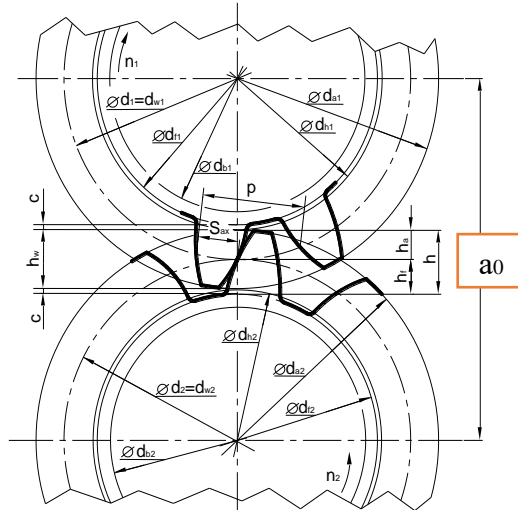
8. ábra. Az evolvens fogprofil egyenletének előállítás matematikai úton [2]

A fogaskerek fogprofilja gyakorlati tapasztalatok alapján evolvens görbe [7, 8, 12, 13, 14]. Ezen görbe alkalmazásával érhetünk el kedvező kapcsolódási viszonyokat és viszonylag könnyen gyártható a kerék [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. A 8. ábra alapján az evolvens fogprofilok egyenletei [14]:

$$x_{1S} = \frac{d_{b1} \cdot \cos \alpha_0}{2} \cdot (\cos \beta + \beta \cdot \sin \beta)$$

$$y_{1S} = \frac{d_{b2} \cdot \cos \alpha_0}{2} \cdot (\sin \beta - \beta \cdot \cos \beta)$$

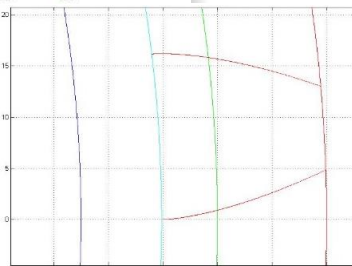
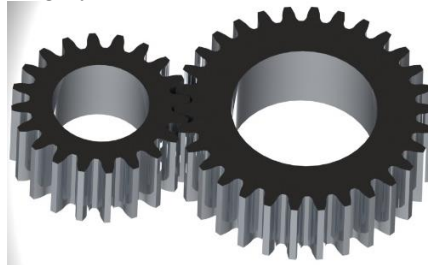
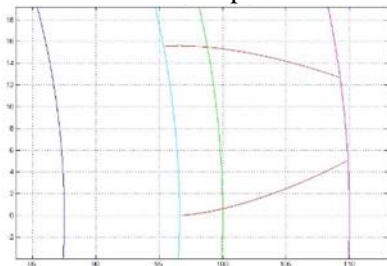
Elemi egyenes fogazatú hengeres fogaskerékpár vizsgálata



9. ábra. Elemi fogazatú hengeres fogaskerékpár kialakítása [1, 3]

A hajtópár főbb tulajdonságai [1, 8, 13, 14] (9. ábra):

- az osztókör átmérő (d) megegyezik a gördülőkör átmérővel (d_w),
- nincsen profileltolás alkalmazva,
- a kerekek kapcsolódása az elemi tengelytáv (a_0) mentén történik.

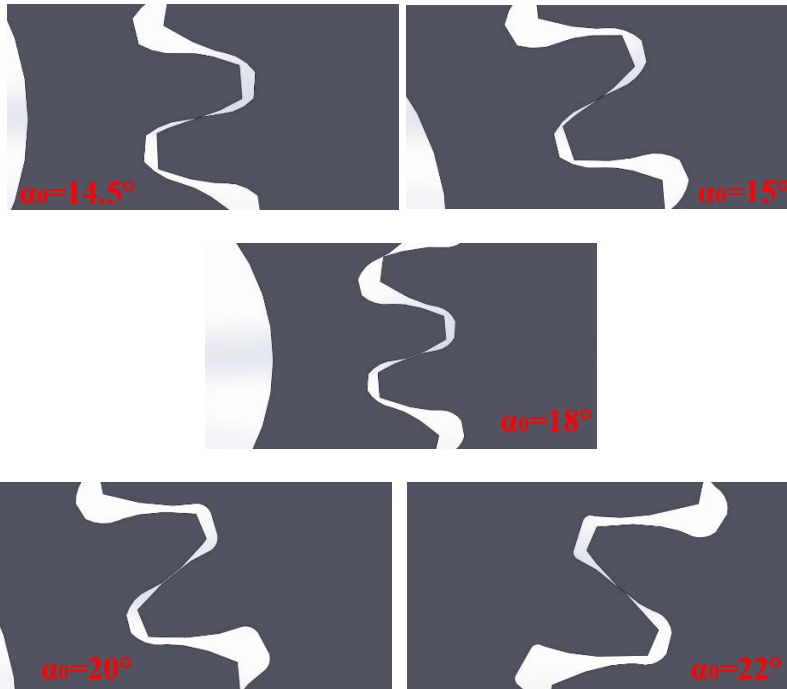
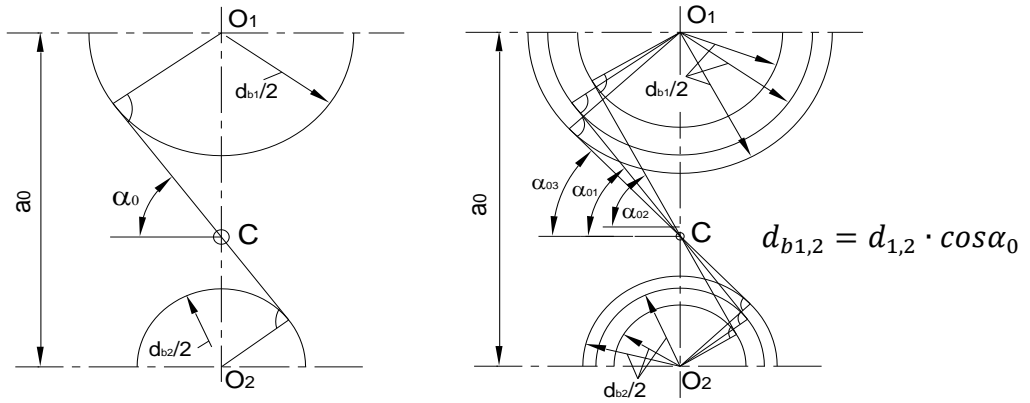


a) hajtó kerék profil

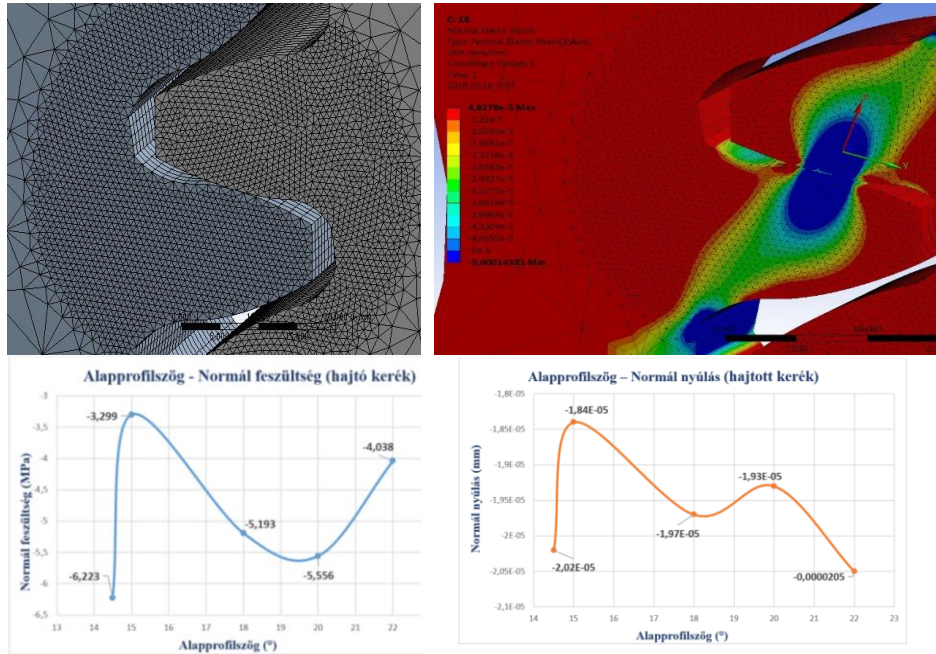
b) számítógépes modellezés

c) hajtott kerék profil

10. ábra. Számítógépes tervezés
(saját szoftver + Solidworks tervezőszoftver) [1, 3]



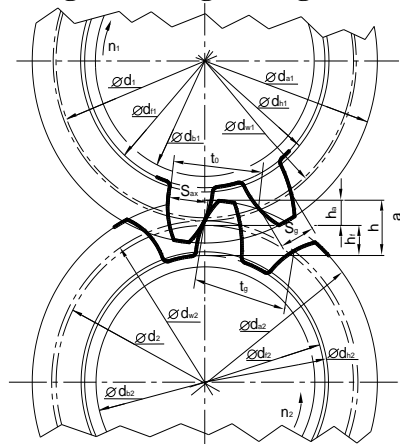
a) több geometriai változat tervezése



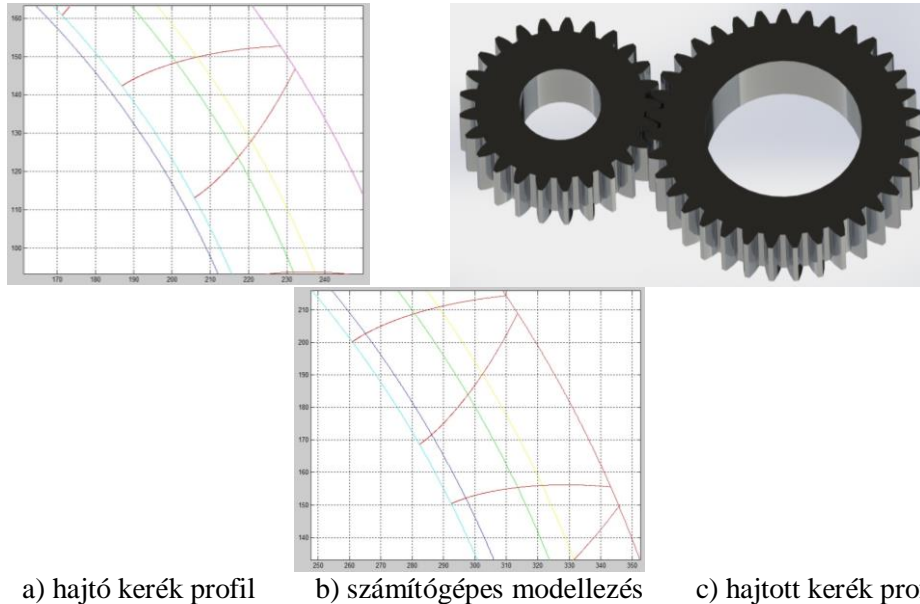
b) TCA vizsgálatok

11. ábra. kutatás: az alapprofilszög változtatásának hatása a TCA paraméterekre [3]

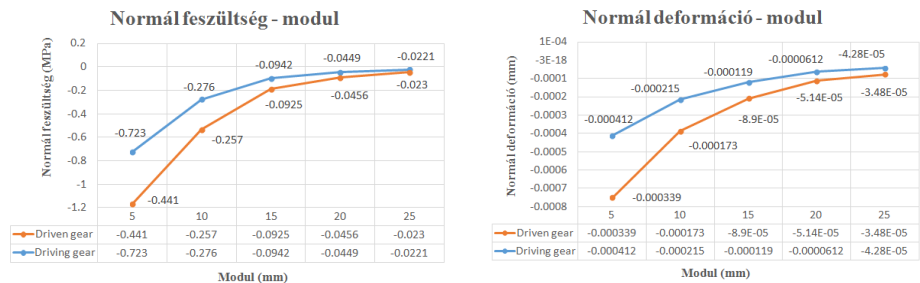
Általános, egyenes fogazatú hengeres fogaskerékpár vizsgálata



12. ábra. Általános fogazatú hengeres fogaskerékpár kialakítása [2, 4]



13. ábra. Számítógépes tervezés (saját szoftver + Solidworks tervezőszoftver) [2, 4]



14. ábra. Kutatás: a modul változásának hatása a TCA paraméterekre [4]

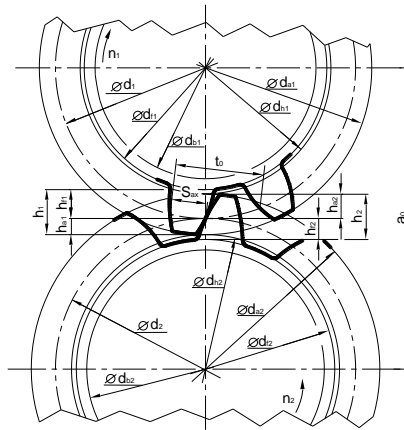
A hajtópár főbb tulajdonságai [1, 8, 13, 14] (12. ábra):

- a lefejtés során a szerszám osztóvonala nem esik egybe a szerszám középvonalával,
- a módszert fogazat helyesbítésnek nevezzük, ahol a szerszámközepvonalat elállítjuk a kerék osztókörétől,
- a fogazat kapcsolódás a gördülőkör átmérő mentén történik (dw),
- a kerekek kapcsolódása nem az elemi tengelytáv mentén történik.

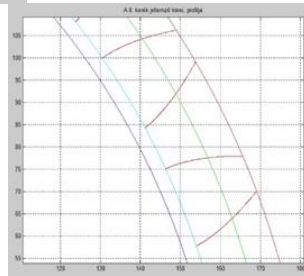
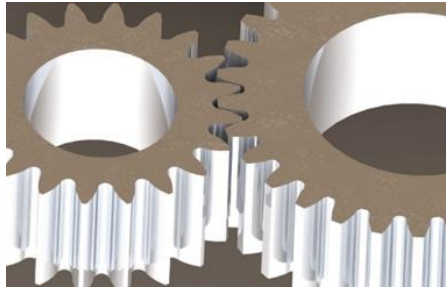
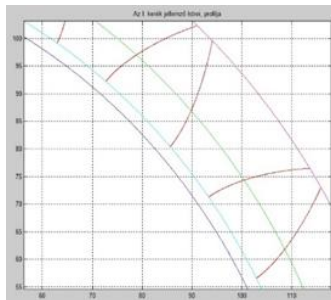
Kompenzált, egyenes fogazatú hengeres fogaskerékpár vizsgálata

A hajtópár fő tulajdonságai [1, 8, 13, 14] (15. ábra):

- az osztókör átmérő (d) megegyezik a gördülőkör átmérővel (d_w),
- a kerek kapcsolódása az elemi tengelytáv mentén történik,
- profileltolásos fogazás.

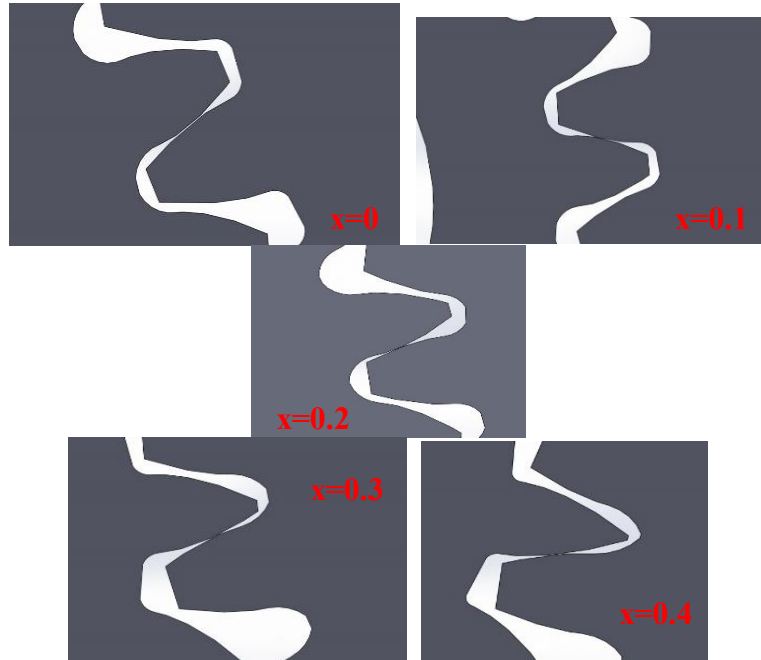


15. ábra. Kompenzált fogazatú hengeres fogaskerékpár kialakítása [2, 5]

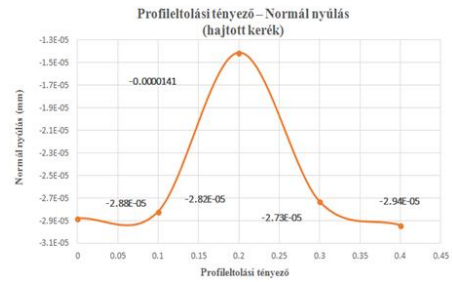
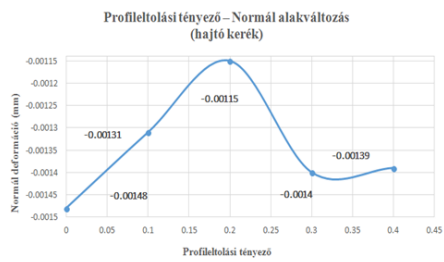
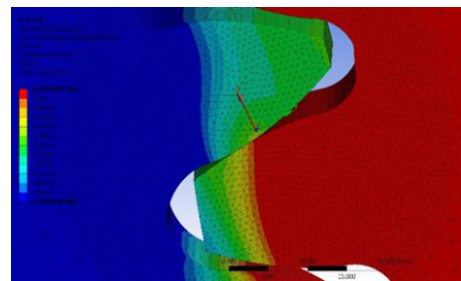
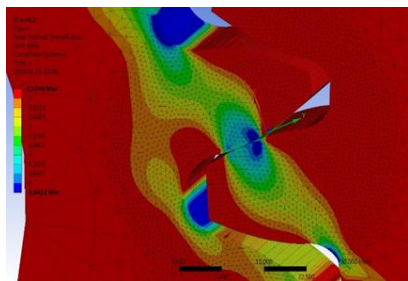


a) hajtó kerék profil b) számítógépes modellezés c) hajtott kerék profil

16. ábra. Számítógépes tervezés
(saját szoftver + Solidworks tervezőszoftver) [2, 5]



a) több geometriai változat tervezése



b) TCA vizsgálatok

17. ábra. Kutatás: profiletolási tényező változásának hatása a TCA paraméterekre [5]

Összefoglalás

Bemutattuk azokat a fő területeket, ahol a hengeres fogaskerékpárokat alkalmazzák. Látható, hogy alkalmazásuk különböző szakterületeken igen elterjedt (járműipar, robottechnika, szerszámgépipar, orvosi berendezések, stb.) (1 – 6. ábra).

Elemeztük a hengeres, egyenes fogazatú fogaskerekek geometriai kialakítását. A szakirodalmak alapján számítógépes programokat fejlesztettünk ki a tervezési folyamatok megkönnyítésére. A kiszámított paraméterek alapján CAD program alkalmazásával elkészíthető a hajtópárok 3D modelljei (10., 13. és 16. ábra).

A hajtópárok geometriai paramétereinek változásának függvényében TCA vizsgálatokat végeztünk. A TCA vizsgálatok lehetővé teszik a hajtópárok mechanikai tulajdonságainak vizsgálatát (11., 14. és 17. ábra). Ennek köszönhetően a tényleges hajtópárok gyártása előtt a TCA vizsgálati paraméterek alapján optimálható a kívánt geometria.

A fogazott hajtópárok kapcsolódás vizsgálata és különböző feltételek szerinti geometriai optimálása fontos

- a hosszabb élettartam,
- a nagyobb terhelhetőség,
- a fog letöredezés elkerülése,
- a nagyobb nyomaték, teljesítmény átvitel,
- a jobb hatásfok elérése miatt.

A kutatás igen összetett és számos további kutatási célt tartogat, hiszen a fogazott hajtópárokat a nyomatékátadás, teljesítményátvitel és fordulatszám változtatás miatt széles körben alkalmazzák különböző gépészeti berendezésekben. Mindezek alapján látható, hogy a TCA kutatás igen sokrétű, magas gépészeti tudást igénylő és összetett kutatási téma, mert szükségesek hozzá

- a megfelelő elméleti fogazásgeometriai ismeretek,
- a gyártástechnológiai ismeretek,
- a matematikai ismertek,
- a programozási ismeretek,
- a szükséges mérnöki szoftverek ismeretei (CAD, CAM, FEM),
- szerszámélgeometriai ismeretek, szerszámgép kinematikai ismeretek stb.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást támogatta a *Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja*. és az *EMMI ÚNKP-18-4* kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programja.



„Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült”



EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA

Felhasznált irodalom

- [1] Bodzás S., *Computer aided designing and modelling of x-zero gear drive*, International Review of Applied Sciences and Engineering, Volume 8, Number 1, Akadémiai Kiadó, 2017, pp. 93–97, ISSN 2062-0810, DOI 10.1556/1848.2017.8.1.13
- [2] Bodzás S., *Computer aided designing and modelling of spur gear pairs having normal and modified straight teeth*, International Review of Applied Sciences and Engineering (during publication)
- [3] Bodzás S., *The effect of the modification of the base profile angle of the x-zero gear drives for the TCA parameters*, International Review of Applied Sciences and Engineering (during publication)
- [4] Bodzás S., *Tooth Contact Analysis of Spur Gear Pairs Having Normal Straight Teeth in the Function of the Module*, Acta Facultatis Technicae Zvolen 23 : 2 pp. 91–103., 13 p., 2018
- [5] Bodzás S., *Analysis of the effect of the addendum modification coefficient for contact surfaces of spur gear*, Journal of Mechanical Engineering, 69 : 1 pp. 5-16, 12 p, 2019
- [6] Dudás I., *Gépgyártástechnológia III., A. Megmunkáló eljárások és szerszámaik, B. Fogazott alkatrészek gyártása és szerszámaik*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2011.

- [7] Dudley D. W., *Gear Handbook*, MC Graw Hill Book Co. New York-Toronto-London, 1962.
- [8] Erney Gy., *Fogaskerek*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983., p. 460.
- [9] Fuentes A., Ruiz-Orzaez R., Gonzalez-Perez I., *Computerized design, simulation of meshing, and finite element analysis of two types of geometry of curvilinear cylindrical gears*, Computer Methods Apply Mechanical Engineering, Elsevier, 2014, pp. 321–339
- [10] Gonzalez-Perez I., Roda-Casanova V., Fuentes A., *Modified geometry of spur gear drives of compensation of shaft deflections*, Meccanica, 2015, pp. 1855-1867, DOI 10.1007/s11012-015-0129-9
- [11] Litvin F. L., Fuentes A., *Gear Geometry and Applied Theory*, Cambridge University Press, 2004., ISBN 978 0 521 81517 8
- [12] Litvin F. L., *A fogaskerékkapcsolás elmélete*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [13] Rohonyi V., *Fogaskerékhajtások*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [14] Terplán Z., *Gépelemek IV.*, Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1975., p. 220.
- [15] <http://citroensipos.hu/webaruhaz/termek/2979/6-fokozatu-mechanikus-sebessegvalto-kar>
- [16] <https://www.thinglink.com/scene/784332038441271297>
- [17] https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_gepipari_techologia/ch05.html
- [18] https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-Robot-Arm-RV-Reducer-gearbox_60718008035.html
- [19] <https://www.indiamart.com/proddetail/industrial-robot-arm-18072085973.html>
- [20] <https://www.youtube.com/watch?v=VAFgqB7frE0>
- [21] https://www.reddit.com/r/MachinePorn/comments/2k7s31/gearbox_cutaway_of_a_bristol_sycamore_helicopter
- [22] <https://tangosix.rs/2017/09/10/helikopterski-servis-republike-srpske-nabavio-helikopter-aw119-koala/>
- [23] <http://trends.directindustry.com/nabtesco-precision-europe/project-17051-125490.html>
- [24] <http://www.madehow.com/Volume-3/Dental-Drill.html>
- [25] <https://isomicro.com/portfolio-items/peek-micro-gears/>
- [26] <https://hajosutak.com/a-legujabb-msc-hajo-a-seaside-projekten-belul/>
- [27] https://www.reddit.com/r/MachinePorn/comments/20e8sx/ships_gearbox_29282082/