

BODZÁS SÁNDOR*

Különböző típusú fogazott hajtópárok tervezése és modellezése a GearTeq szoftver alkalmazásával**

Резюме. На кафедрі механічної інженерії Дебреценського університету було придбано програмне забезпечення GearTeq, що надає великі можливості для проєктування різноманітних зубчастих передач, CAD моделювання та аналізу з'єднань. Метою публікації є ознайомлення з можливостями додатку шляхом проєктування та моделювання визначених зубчастих конструкцій. Після завершення проєктного етапу перед виготовленням реального виробу необхідно провести аналізи зубчастих зачеплень (TCA).

Ключові слова: зубчасте коло, конічна зубчаста передача, черв'ячна передача, GearTeq, CAD

Rezümé. A Debreceni Egyetem Gépészmérnöki Tanszéke beszerzte a GearTeq szoftvert, melynek alkalmazásával nagy lehetőségek nyílnak különféle fogazott hajtópárok tervezésére, CAD modellezésére és kapcsolódás elemzésére. A publikáció célkitűzése a szoftver adta lehetőségek bemutatása meghatározott fogazatkonstrukciók tervezésén és modellezésén keresztül. A hajtópárok tervezése után fogazatkapcsolódási vizsgálatok (TCA) elvégzése szükséges a tényleges termékgyártás előtt.

Kulcsszavak: fogaskerék, kúpkerek, csigahajtás, GearTeq, CAD

Abstract. The GearTeq software has been bought at the Department of Mechanical Engineering, University of Debrecen. This program opened many possibilities for designing, CAD modelling and connection analysis of various toothed gear pairs. The aim of the publication is the introduction of the software's possibilities via designing and modelling of defined toothed constructions. After the designing of gear pairs completions of tooth connection analyses (TCA) are necessary before the real product manufacturing.

Keywords: toothed gear, bevel gear, worm gear drive, GearTeq, CAD

Bevezetés

A GearTeq szoftver a SolidWorks háromdimenziós, összetett modellező szoftver kiegészítő modulja. A hajtás geometriai paraméterek meghatározása után drótváz modellezéssel megjeleníti a GearTeq a tervezett hajtópárt. Ekkor lehetőség van legördülésvizsgálatokat végezni és leellenőrizni a beállított geometriai paramétereket. Ha minden tulajdonság megfelelő, akkor a tervezett hajtópár kimenthető a SolidWorks tervezőrendszer részére CAD-modellek formájában. Ekkor létrehozható a két vagy több kapcsolódó fogazott elem 3D modellje és a komplett szerelési összeállítás.

A GearTeq szoftver tulajdonságai

A szoftver megfelelő alkalmazásához a gépészmérnök-felhasználónak tudni kell a szükséges fogazásgeometriai, matematikai és gyártástechnológiai ismereteket,

* Доктор філософії у галузі механічної інженерії, доцент, заступник завідувача кафедри, Кафедра механічної інженерії, Інженерно-технічний факультет, Дебреценський університет. * PhD, egyetemi docens, tanszékvezető-helyettes, Gépészmérnöki Tanszék, Műszaki Kar, Debreceni Egyetem. * Ph.D. in Mechanical Engineering, associate professor, deputy head of department, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Debrecen. E-mail: bodzassandor@eng.unideb.hu

** A kutatás és a tanulmány a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Program és az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatásával készült. A projekt az Európai Unió támogatásával az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

melyek szakirodalmakban megtalálhatóak [3–20], ahhoz, hogy kapcsolódáshelyes hajtópárokat tudjon tervezni.

Az alábbi hajtópárok tervezésére van lehetőség többek között:

- hengeres fogaskerékpárok (egyenes, ferde és ívelt fogiránnyal),
- kúpkerékpárok (egyenes, ferde, Gleason-féle és egyéb térgörbe szerinti fogiránnyal),
- hengeres csigahajtópárok tervezése (különböző fogprofilokkal),
- lánckerekek tervezése,
- bordás tengelyek tervezése,
- ékszíjtárcsák tervezése,
- belső fogazatok tervezése (külső és belső fogazatú kerékpárok),
- elliptikus fogazott hajtások tervezése,
- bolygórendszerű fogazatok tervezése (különböző síkbeli elrendezésekkel),
- kiterő tengelyhelyzetű hajtópárok tervezése stb.

A szoftver a kettős burkolás elve alapján [4, 7, 8, 11, 12] is képes dolgozni, azaz a hajtóelem fogfelületének, a hajtó és a hajtott elem közötti kinematikai viszonyok és mozgásparaméterek ismeretében meghatározza a hajtott elem fogfelületét numerikus úton.

A szoftver kifejlesztése nagy teret nyitott a fogazattervezés és a gyors, kapcsolódáshelyes CAD-modellizálás területein.

A SolidWorks-be kimentett CAD-modelleken lehetőség van ütközési vizsgálatokat és fogazatkapcsolódási szimulációkat végezni. Ezek a modellek felhasználhatók a különböző TCA (Tooth Contact Analysis) vizsgálatokhoz.

A TCA-elemzés célja a kapcsolódó hajtópárok adott terhelés hatására történő mechanikai paramétereinek kimutatása és elemzése (feszültségeloszlások, deformáció eloszlások, stb.). Ebből adódóan szimulációval elemezhető a kapcsolódási zónában keletkező valamely mechanikai jellemző eloszlása, ahol a terhelésátadás megtörténik a kapcsolódó fogak között.

Egy fogazott hajtópár tervezésekor lehetőség van a szakirodalmak ajánlásainak figyelembevételével mellett gyakorlatilag minden geometriai paramétert felülírni, ezáltal egyedi hajtópárgeometriák is előállíthatók. Hibák esetén értesítést ad a program a felhasználónak.

Több tervezési szabványt is ismer a program, azaz kiválasztható a számunkra szükséges geometria előállítási folyamata adott hajtópár esetére.

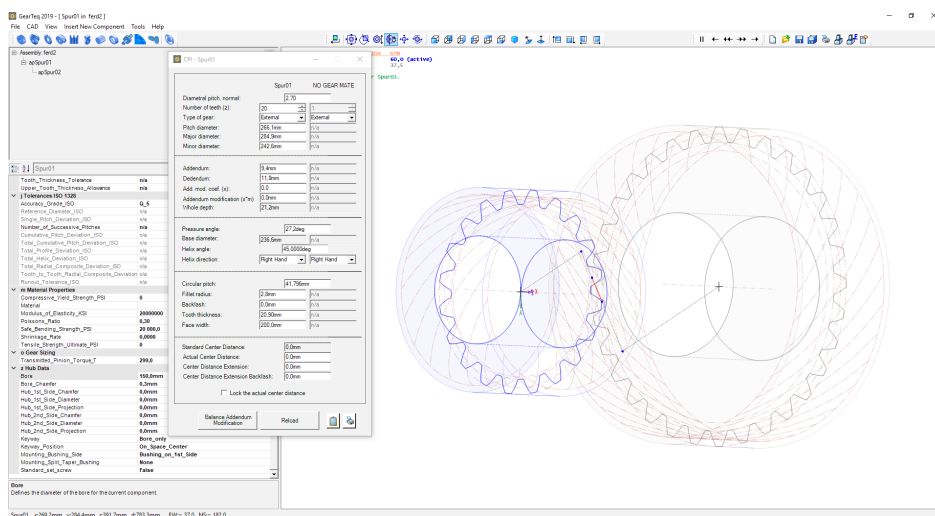
A tervezett hajtópárok fogfelületei és profil pontjai kimenthetők txt vagy xls formátumokba további felhasználások végett.

Hengeres fogaskerékpárok tervezése és modellezése

A tervezés során [1–3, 5–9, 11–16, 18] lehetőség van különböző modulok és fogszámok definiálása mellett a fogirányok módosítására (egyenes, ferde és ívelt) is.

Az 1. ábrán egy ívelt fogirányú hengeres fogaskerékpár tervezése látható (1. táblázat). A tervezés után a 2. és 3. ábrák az összeállított CAD-modelleket mutatják.

1. ábra Ívelt fogaztú hengeres fogaskerékpár tervezése GearTeq szoftverrel



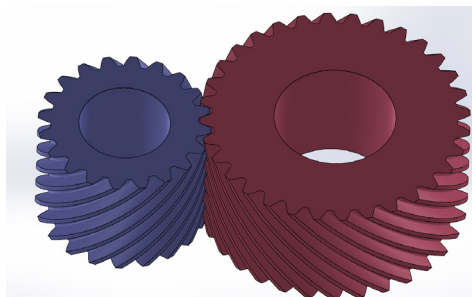
Forrás: a szerző saját szerkesztése

1. táblázat A tervezett ívelt fogirányú hengeres fogaskerék-hajtás geometriai paramétere

Paraméterek	Hajtó kerék	Hajtott kerék
Axiálmetszeti modul (m_{ax})	15 mm	
Fogsorszám (z_1, z_2)	20	32
Csavarvonal emelkedési szög (β_0)	45°	
Emelkedés iránya	bal	
Alapprofilszög (α_0)	20°	
Fogtő lekerekítési sugár (r_1, r_2)	2,8 mm	

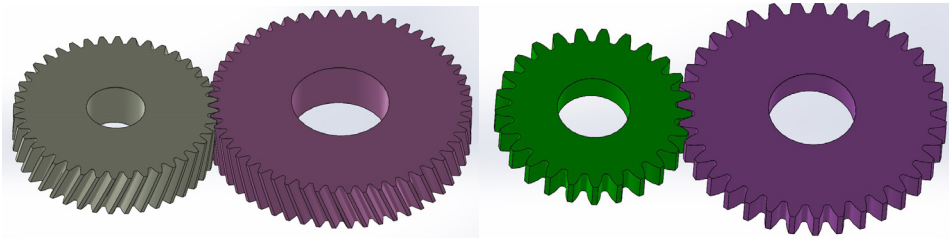
Forrás: a szerző saját szerkesztése

2. ábra CAD-modellek előállítás SolidWorks szoftverrel



Forrás: a szerző saját szerkesztése

3. ábra *Tervezett és modellezett hengeres fogaskerékhajtások*



a) $m_x=10 \text{ mm}$, $z_1=40$, $z_2=52$, $\beta_0=20^\circ$

b) $m_x=10 \text{ mm}$, $z_1=25$, $z_2=35$

Forrás: a szerző saját szerkesztése

Hengeres fogaskerékpár – fogasléc tervezése és modellezése

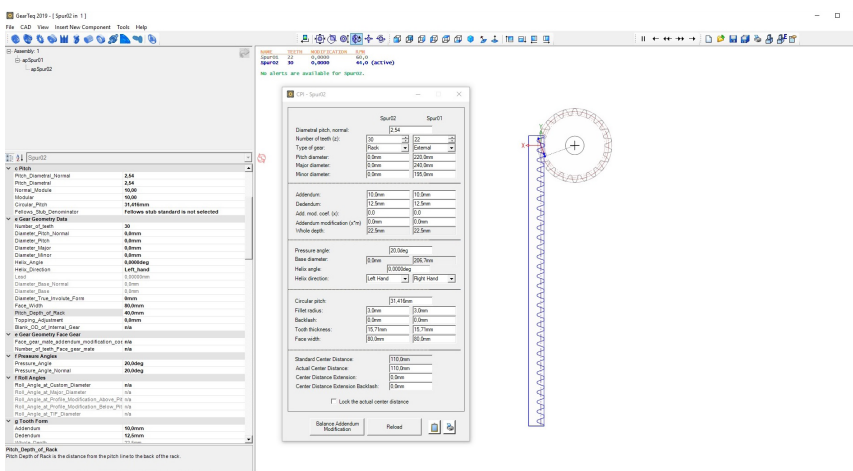
Lehetőség van különböző modulok és fogszámok definiálására a tervezés során [5, 6, 11, 12, 14–16, 18]. Az 4. ábrán egy hengeres fogaskerék – fogaslécpár tervezése látható (2. táblázat). A tervezés után az 5. ábra az összeállított CAD-modelleket mutatja.

2. táblázat *A tervezett fogaskerék – fogasléc hajtás geometriai paramétereit*

Paraméterek	Fogaskerék	Fogasléc
<i>Axiálmetszeti modul (m_x)</i>	10 mm	
<i>Fogszám (z_1, z_2)</i>	22	30
<i>Alapprofilszög (α_f)</i>	20°	
<i>Fogtő lekerekítési sugár (r_1, r_2)</i>	3 mm	

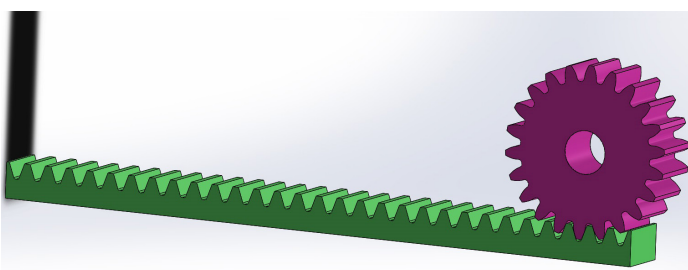
Forrás: a szerző saját szerkesztése

4. ábra *Fogaskerék–fogasléc pár tervezése GearTeq szoftverrel*



Forrás: a szerző saját szerkesztése

5. ábra CAD-modellek előállítás SolidWorks szoftverrel

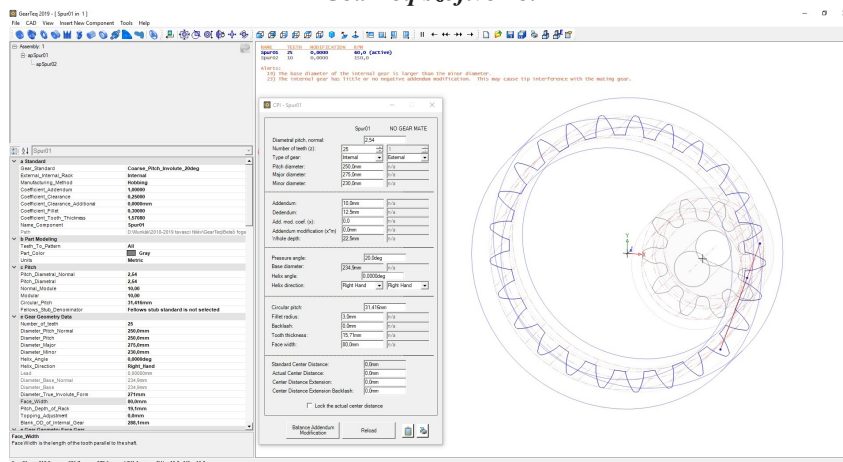


Forrás: a szerző saját szerkesztése

Belső fogazatú hengeres – külső fogazatú hengeres fogaskerékpárok tervezése és modellezése

A 6. ábrán egy belső fogazatú hengeres – külső fogazatú hengeres fogaskerékpár tervezése látható (3. táblázat). A tervezés után a 7. ábra az összeállított CAD modelleket mutatja [5, 6, 11, 12, 14, 18].

6. ábra **Belső fogazatú hengeres – külső fogazatú hengeres fogaskerékpárok tervezése GearTeq szoftverrel**



Forrás: a szerző saját szerkesztése

3. táblázat **A belső fogazatú tervezett hajtópár geometriai paramétere**

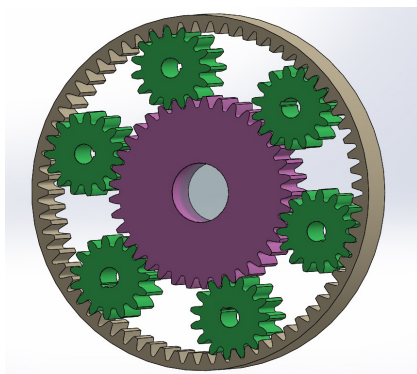
Paraméterek	Belső fogazatú kerék	Külső fogazatú kerék
Axiálmetszeti modul (m_{ax})	10 mm	
Fogsám (z_1, z_2)	25	10
Alapprofilszög (α_f)	20°	
Fogtő lekerekítési sugár (r_f, r_2)	3 mm	

Forrás: a szerző saját szerkesztése

4. táblázat *A tervezett bolygómű hajtás geometriai paramétereit*

Paraméterek	Belső fogazatú kerék	Napkerék	Bolygókerék
Axiálmetszeti modul (m_{ax})	5 mm		
Fogsám (z_1, z_2)	67	37	15
Alapprofilszög (α_ρ)	20°		
Fogtő lekerekítési sugár (r_1, r_2)	1,5 mm		

Forrás: a szerző saját szerkesztése

9. ábra *CAD-modellek előállítására SolidWorks szoftverrel*

Forrás: a szerző saját szerkesztése

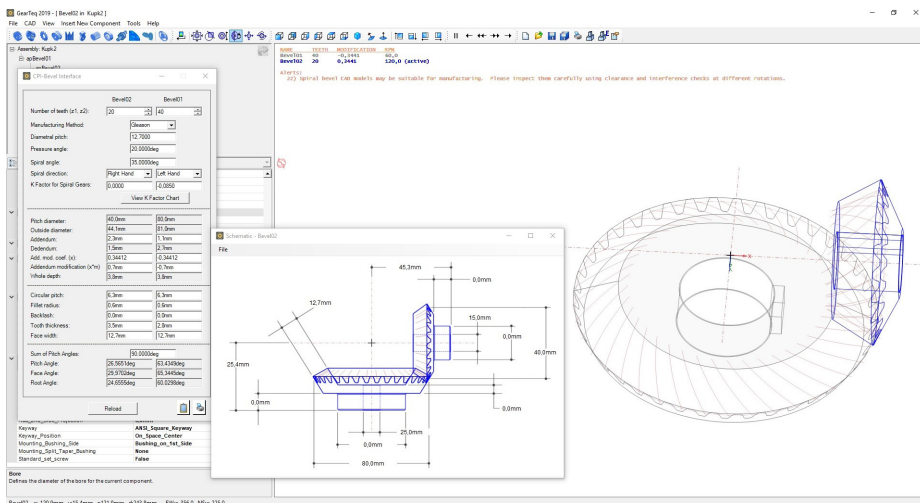
Kúpkerék-hajtások tervezése és modellezése

5. táblázat *A tervezett Gleason-féle kúpkerék-hajtás geometriai paramétereit*

Paraméterek	Hajtó kerék	Hajtott kerék
Axiálmetszeti modul (m_{ax})	2 mm	
Fogsám (z_1, z_2)	20	40
Alapprofilszög (α_ρ)	20°	
Spirál szög	35°	
Fogtő lekerekítési sugár (r_1, r_2)	0,6 mm	
Tengelyszög (Σ)	90°	

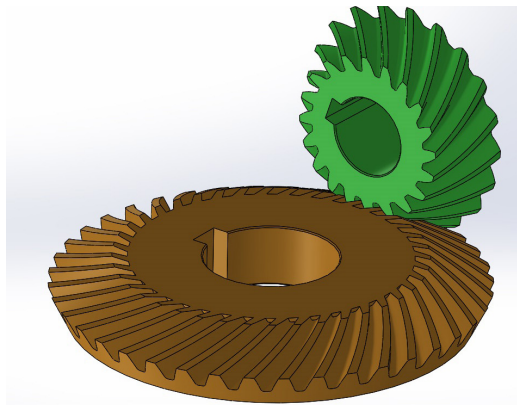
Forrás: a szerző saját szerkesztése

10. ábra Gleason-féle ívelt fogazati kúpkérpár tervezése GearTeq szoftverrel



Forrás: a szerző saját szerkesztése

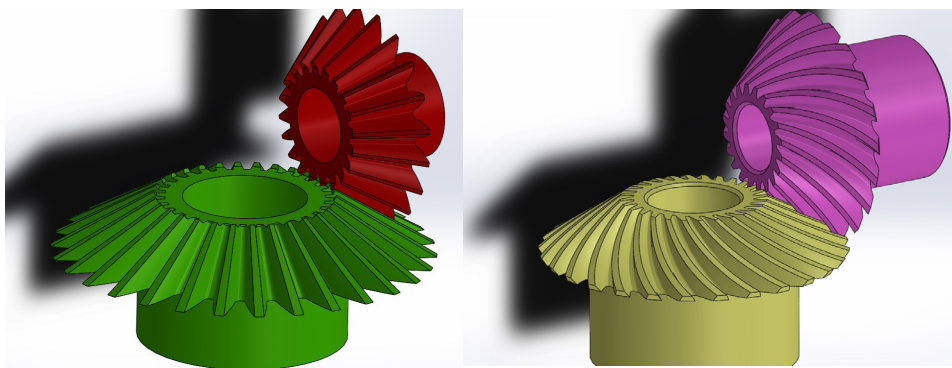
11. ábra CAD-modellek előállítás SolidWorks szoftverrel



Forrás: a szerző saját szerkesztése

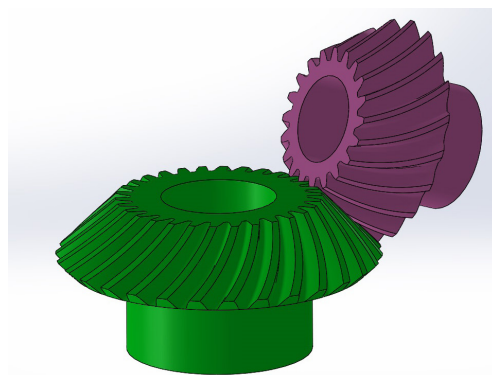
Kúpkérpárhajtások a kúpszögök, a modul és a fogszámok megadása után különböző fogirányokkal tervezhetők (egyenes, ferde és ívelt). Lehetőség van különböző tengelyhelyzetek beállítására is [5–12, 14, 16, 18, 19].

A 10. ábrán egy ívelt fogú kúpkérpárhajtás tervezése látható (5. táblázat). A tervezés után a 11. és 12. ábra az összeállított CAD-modelleket mutatja.

12. ábra *Tervezett és modellezett kúpkerék-hajtások*

a) $m_{ax}=10, z_1=20, z_2=30, \Sigma=90^\circ$

b) $m_{ax}=10, z_1=20, z_2=28, \beta_0=30^\circ, \Sigma=90^\circ$



c) $m_{ax}=5, z_1=20, z_2=30, \beta_0=25^\circ, \Sigma=70^\circ$

Forrás: a szerző saját szerkesztése

Csigahajtások tervezése és modellezése

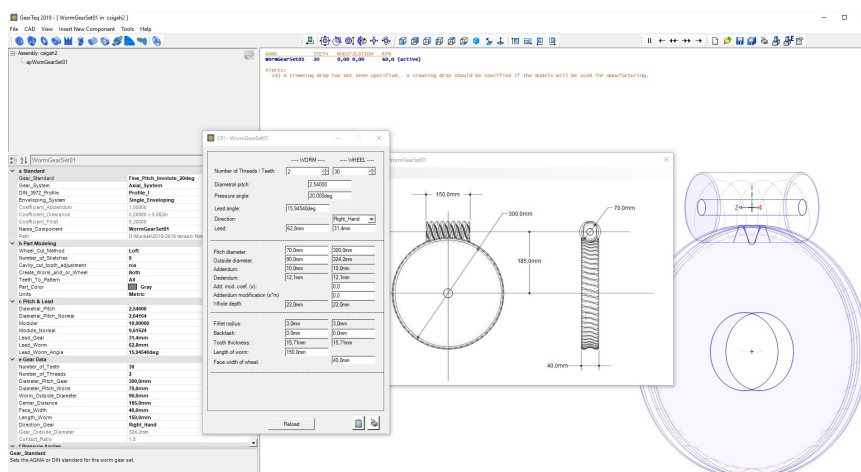
Hengeres csigahajtások tervezhetők a szoftver alkalmazásával a szükséges csiga bekezdési szám, kerékfogszám és modul megadása után figyelembe véve a szakirodalmakban megtalálható geometriai méretezési és gyártástechnológiai módszereket [3–8, 11–13, 16, 20] (6. táblázat, 13., 14., 15. ábra).

6. táblázat *A tervezett hengeres csigahajtás geometriai paramétereit*

Paraméterek	Csiga	Csigakerék
Axiálmetszeti modul (m_{ax})	10 mm	
Fogszám (z_1, z_2)	2	30
Alapprofilszög (α_0)	20°	
Típus	Archimedesi	

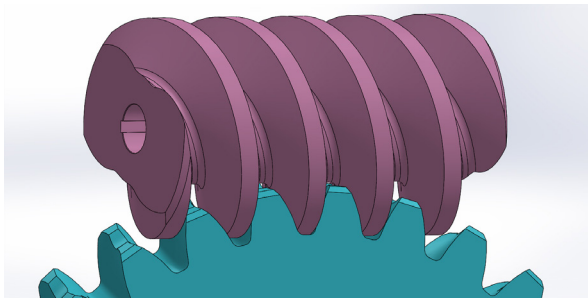
Forrás: a szerző saját szerkesztése

13. ábra Hengeres csigahajtás tervezése GearTeq szoftverrel



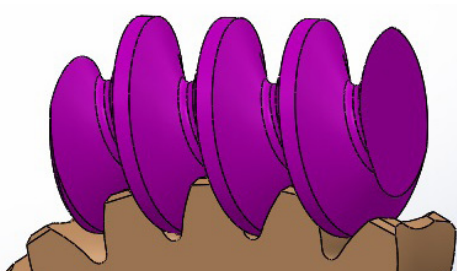
Forrás: a szerző saját szerkesztése

14. ábra CAD-modellek előállítása SolidWorks szoftverrel

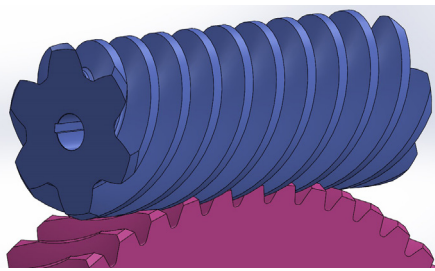


Forrás: a szerző saját szerkesztése

15. ábra Tervezett és modellezett hengeres csigahajtások



$$a) m_{ax} = 10, z_1 = 1, z_2 = 25$$



$$b) m_{ax} = 10, z_1 = 6, z_2 = 60$$

Forrás: a szerző saját szerkesztése

Összefoglalás

A GearTeq szoftverrel különböző típusú és geometriájú fogazott hajtópárok tervezhetők. A tervezéshez ismerni kell a tervezendő hajtópár geometriai jellemzőit és a hajtópár előállításához szükséges gyártástechnológiai folyamatokat.

A tervezett hajtópárok CAD-modelljei a SolidWorks tervezőszoftverben előállíthatók, melyeken a továbbiakban TCA-vizsgálatok végezhetők, a fogazatkapcsolódáskor fellépő mechanikai tulajdonságok (normál feszültség, normál alakváltozás, normál deformáció, stb.) elemzése és optimalizálása céljából.

A publikációban bemutattuk a program által adott lehetőségeket különböző típusú és geometriájú hajtópárok tervezése során (hengeres fogaskerék, kúpkerék, csiga stb.).

Ez az összetett, különleges fogazott hajtópártervező program a Debreceni Egyetem Gépészmérnöki Tanszékén található meg, ahol oktatásra, tervezésre és tudományos munkák elősegítésére használják.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. BODZÁS, SÁNDOR (2017): Computer aided designing and modelling of x-zero gear drive. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, vol. 8. no. 1. 93–97. [1]
2. BODZÁS, SÁNDOR (2018): Tooth Contact Analysis of Spur Gear Pairs Having Normal Straight Teeth in the Function of the Module. *Acta Facultatis Technicae Zvolen*, vol. 23. no. 2. 91–103., 13. [2]
3. DUDÁS ILLÉS (2007): *Csigahajtások elmélete és gyártása*. Budapest. [4]
4. DUDÁS ILLÉS (2011): *Gépgyártástechnológia III*. Budapest. [3]
5. DUDLEY, DARLE W. (ed., 1962): *Gear Handbook. The design, manufacture and application of gears*. New York–Toronto–London. [5]
6. ERNEY GYÖRGY (1983): *Fogaskerekek*. Budapest. [6]
7. FAYDOR L. LITVIN (1972): *A fogaskerék kapcsolás elmélete*. Ford. Zsóvár Tihamérné. Budapest. [12]
8. GOLDFARB, VENIAMIN – BARMINA, NATALYA (eds., 2016): Theory and Practice of Gearing and Transmission. *Mechanisms and Machine Science Book 34*. [8]
9. GOLDFARB, VENIAMIN – TRUBACHEV, EVGENI – BARMINA, NATALYA (eds., 2018): Advanced Gear Engineering. *Mechanisms and Machine Science Book 51*. [7]
10. GUPTA, KAPIL – JAIN, NEELESH KUMAR – LAUBSCHER, ROLF (2017): *Advanced Gear Manufacturing and Finishing. Classical and Modern Processes*. [9]
11. KLINGELNBERG, JAN (ed., 2016): *Bevel Gear, Fundamentals and Applications*. Berlin–Heidelberg. [10]
12. LITVIN, FAYDOR L. – FUENTES, ALFONSO (eds., 2004): *Gear Geometry and Applied Theory*. Cambridge. [11]
13. MAROS DEZSŐ – KILLMANN VIKTOR – ROHONYI VILMOS (1970): *Csigahajtások*. Budapest. [13]
14. ROHONYI VILMOS (1980): *Fogaskerék-hajtások*. Budapest. [14]
15. STADTFELD, HERMANN J. (2014): *Gleason bevel gear technology: the science of gear engineering and modern manufacturing methods for angular transmissions*. Rochester, N.Y. [19]

16. SZENICZEI LAJOS – ERNEY GYÖRGY (1965): *A fogaskerékgyártás zsebkönyve*. Budapest. [15]
17. SZENICZEI LAJOS (1957): *Csigahajtóművek*. Budapest. [20]
18. TERPLÁN ZÉNÓ (1975): *Gépelemek IV*. Budapest. [16]
19. TERPLÁN ZÉNÓ (1979): *Fogaskerékbolygóművek*. Budapest. [17]
20. VÖRÖS IMRE (1958): *Gépelemek III. Fogaskerekek*. Budapest. [18]