

Kúpos csiga továbbfejlesztett matematikai modellezése és gyártásgeometriai elemzése CAD Creo környezetben

Conical worm modelling and manufacturing geometry analysis with the CAD Creo design program

Dr. BALAJTI Zsuzsa¹, GUBA Dániel²

¹Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Matematikai Intézet

²Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar

^{1,2}Magyarország, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

¹zsuzsanna.ovarine.balajti@uni-miskolc.hu, ²guba@student.uni-miskolc.hu

Abstract

The article presents a complex manufacturing geometry investigation of the working surfaces of conical worms. The mathematical background of the research is based on a constructive geometric model, developed from an integrated mathematical model designed for the manufacturing geometry analysis of cylindrical and conical helicoid drive pairs. Simulation and visualization are implemented in the PTC Creo parametric design system, meeting modern industrial requirements. The investigation is conducted under a specific, technologically determined boundary condition, where the grinding wheel performs a feed motion parallel to the generatrix of the reference cone. During the production of the conical helicoid surface, the axial advance of the tool results in a continuous change in the centre distance between the tool and the workpiece due to the shape characteristics of the cone. The study provides a detailed analysis of the effect of this variable centre distance on the tool surface profile. This mathematically based procedure, executed in a CAD environment, allows for the precise tuning of manufacturing parameters, thereby minimizing geometric distortions. The results can be utilized in the design of conical worms and in optimizing manufacturing technologies for specified accuracy.

Keywords: constructive geometric model, conical worm, tool profile, manufacturing geometry

Kivonat

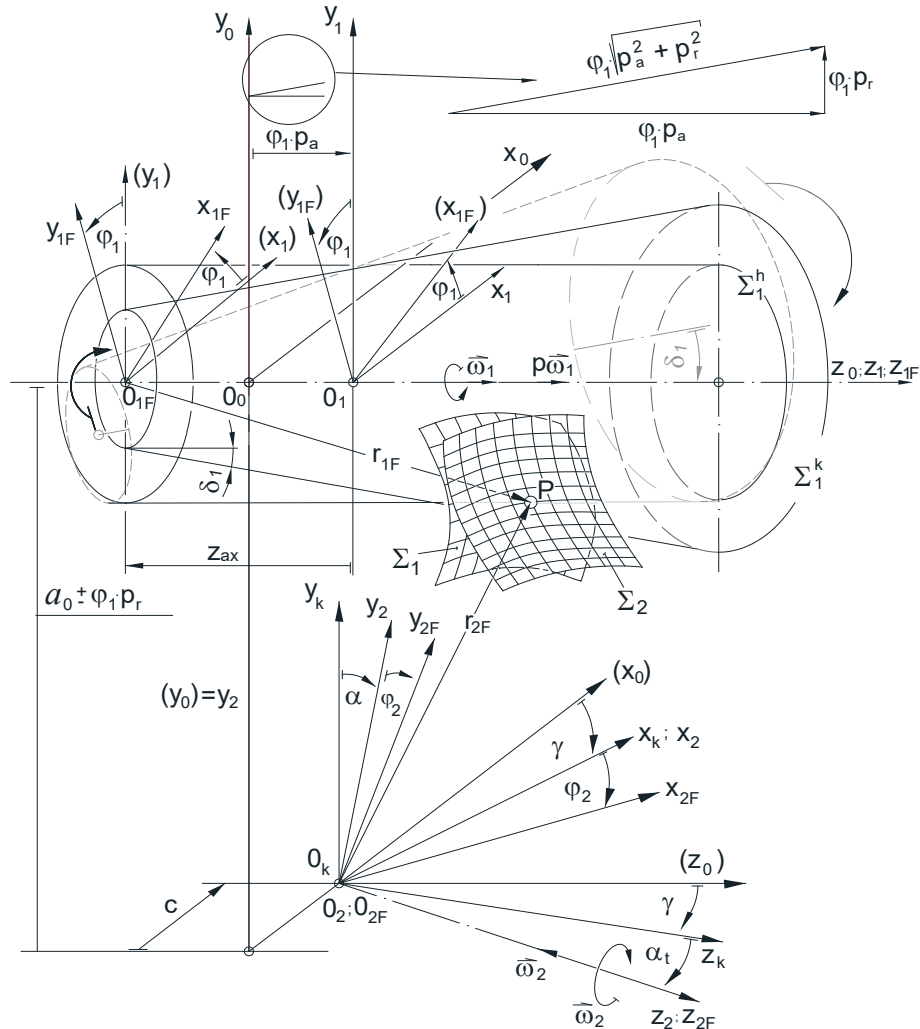
A cikk a kúpos csigák működő felületeinek bonyolult gyártásgeometriai vizsgálatát mutatja be. A kutatás matematikai háttere a hengeres és kúpos helikoid hajtópárok elemeinek gyártásgeometriai elemzésére kidolgozott integrált matematikai modelltől továbbfejlesztett konstruktív geometriai modellben történik. A szimuláció és a vizualizáció a modern ipari követelményeknek megfelelő PTC Creo parametrikus tervezőrendszerben valósul meg. A vizsgálat egy speciális, technológiailag determinált peremfeltétel mellett kerül elvégzésre, melyben a megmunkáló köszörűkorong a referencia kúp alkotójával párhuzamos mozgást végez. A kúpos helikoid felület megmunkálása során a szerszám tengelymenti előrehaladása a kúp alakosságából adódóan folyamatos tengelytáv-változást eredményez a szerszám és a munkadarab között. A tanulmány részletesen elemzi e változó tengelytáv hatását a szerszámfelület profiljára. A kidolgozott matematikai alapú, CAD környezetben végzett eljárás lehetővé teszi a gyártási paraméterek precíz hangolását, minimalizálva a geometriai torzulásokat. Az eredmények hasznosíthatók a kúpos csigák tervezése és a meghatározott pontosságú gyártás technológiájának optimalizálása során.

Kulcsszavak: konstruktív geometriai modell, kúpos csiga, szerszám profil, gyártásgeometria

1. BEVEZETÉS

A korszerű mérnöki tervezés és gyártás számítógépes támogatása feltétele a termelési hatékonyság növelésének és a termék minőség javításának [1, 2]. A csigahajtópárok gyártásának fejlesztésére számos, a kutatómunkánkhoz kapcsolódó oktatást támogató [3], méretezését célul kitűző [4], számítógépes [5-6], illetve kinematikai modellezés útján elemző [7] dokumentáció készült. A kúpos és hengeres csigahajtópárok

elemeinek gyártásgeometriájának fejlesztésére kidolgozott nemzetközi elismertségű integrált matematikai kinematikai modell a referencia henger és kúp közös alkotón történő elhelyezésével készült [8]. Az integrált matematikai kinematikai modellt alkalmazva számos tanulmány készült a kúpos csiga [9], illetve kúpos csigamaró megmunkálása esetén [10] a változó tengelytáv és a köszörűkorong profil közti összefüggésre. Ebben a modellben a kúpos csigák tengelyének szögelfordítással történő gyártása sebességingadozáshoz, illetve menetemelkedési fluktuációhoz vezet [11]. A menetemelkedési hiba kiküszöbölésére alkalmas egyik lehetséges megoldás a továbbfejlesztett konstruktív geometriai modell [12], amelyet az 1. ábra szemléltet.



1. ábra. Koordináta-rendszerek kapcsolata kúpos és hengeres csiga hajtópárok elemeinek gyártásgeometriai fejlesztésére kimunkált konstruktív geometriai modellben [12]

A modell koordináta-rendszerei:

- $K_0(x_0, y_0, z_0)$ álló koordináta-rendszer, a megmunkáló szerszám gép koordináta-rendszere
- $K_1(x_1, y_1, z_1)$ a lineáris mozgást végző gépasztalhoz kötött koordináta-rendszer
- $K_{1F}(x_{1F}, y_{1F}, z_{1F})$ a csavarfelület csavarmozgást végző koordináta-rendszere
- $K_2(x_2, y_2, z_2)$ a szerszám álló koordináta-rendszere
- $K_{2F}(x_{2F}, y_{2F}, z_{2F})$ a szerszámhoz kötött forgó koordináta-rendszer
- $K_k(x_k, y_k, z_k)$ segéd koordináta-rendszer
- $K_{SZ1}(\xi, \eta, \zeta)$ a generálgörbe koordináta-rendszere

A modellben alkalmazott jelölések:

- a a szerszám koordináta-rendszer O_2 kezdőpontjának y koordinátája a K_0 álló koordináta-rendszerben
- c a szerszám koordináta-rendszer O_2 kezdőpontjának x koordinátája a K_0 álló koordináta-rendszerben
- z_{ax} a csiga álló koordináta-rendszer origójának $z_1=z_{1F}$ koordinátája a forgó koordináta-rendszerben
- φ_1 a csavarfelület elfordulásának szöge (mozgás-paraméter)
- φ_2 a szerszám (maró v. köszörűkorong) elfordulásának szöge (mozgás-paraméter)

γ	a szerszámnak a bedöntése
α	a szerszámnak a csavarfelület profiljára való döntésének a szöge,
δ_l	a kúpos csiga félnyílásszöge
p_a	az axiális irányú csavarparaméter
p_r	radiális irányú csavarparaméter

A csigák működő felületének megmunkálása során a Σ_1 csavarfelület csavarmozgást, a Σ_2 szerszámfelület forgó mozgást végez. A kúpos csigák megmunkálásakor a csiga és a szerszám közötti tengelytávolság az

$$a = a_o \pm p_r \cdot \varphi_l \quad (1)$$

összefüggés szerint változik.

A továbbiakban bemutatásra kerülő vizsgálat a továbbfejlesztett konstruktív gyártásgeometriai modellben a tengelytáv-változás köszörűkorong-profilra gyakorolt hatását elemzi CAD Creo környezetben történő modellezéssel.

2. A SZÁMÍTÓGÉPES MODELLEZÉS

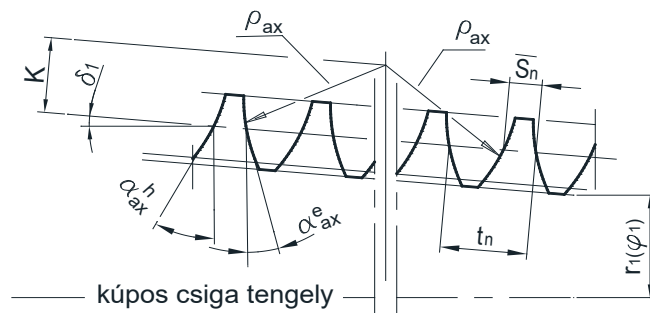
A szerszámgeometria meghatározása a működési feltételek egzakt matematikai leírásán és a kiterjedt gyártásgeometriai ismereteken alapul [6, 13, 14]. A csavarfelületek precíz megmunkálása megfelelően szabályozott, nagy pontossággal előállított köszörűkoronggal számos értékes kutatás tárgya [9, 10, 15]. A korongmozgás során az állandó menetemelkedésű kúpos csiga torzításmentes profiljának megmunkálásához a korongprofil meghatározását a változó tengelytáv és átmérőviszony okozta geometriai feltételekhez kell igazítani [8].

2.1. A kúpos csiga modellezése

Az ésszerű határokon belül változtatható bemenő paraméterek biztosítják a modell rugalmasságát és általános alkalmazhatóságát más állandó emelkedésű kúpos csigák esetében.

A modellezett, jobbemelkedésű kúpos csiga referencia kúpjának δ_l félnyílás-szöge 5° , a bekezdések száma 3, az axiális osztás 18 mm, a menetemelkedés 113 mm. A profil egy tengelymetszetben körív, ahol a **K**, mint a körív középpontjának és az osztókúp alkotójának a távolsága 20,92 mm, a ρ_{ax} sugara 50 mm, a fogmagasság 20,33mm.

Az állandó emelkedésű kúpos csiga parametrikus modellezése során alkalmazott tengelymetszeti körív profil geometriai paraméterei a 2. ábrán látható módon értelmezendők.

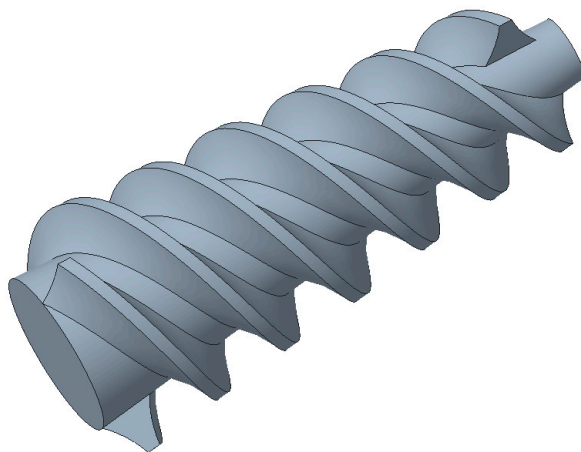


2. ábra A kúpos csiga tengelymetszeti körív profilja

A kúpos csiga előre hajtás oldali csavarfelületének a paraméteres egyenletrendszere homogén koordinátákkal a következő módon adható meg

$$\left. \begin{aligned} x_{IF} &= -\eta \cdot \sin \vartheta \\ y_{IF} &= \eta \cdot \cos \vartheta + p_r \cdot \vartheta \\ z_{IF} &= p_a \cdot \vartheta + \sqrt{\rho_{ax}^2 - (K_e - \eta)^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

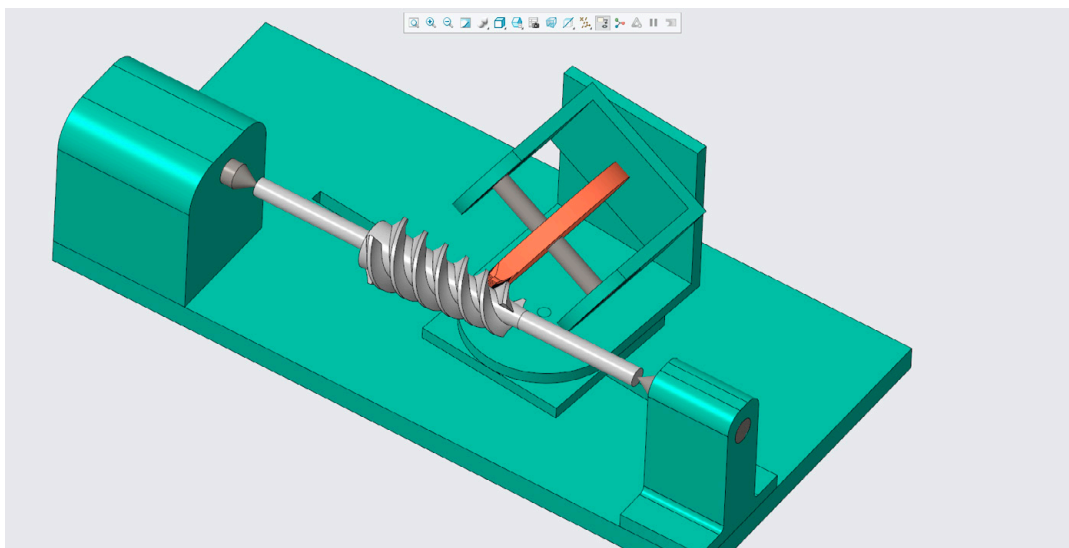
A vizsgálat tárgyát képező kúpos csigának a CAD Creo parametrikus tervező szoftverrel készített modellje a 3. ábrán látható.



3. ábra A kúpos csiga parametrikus modellje

2.2. A megmunkálás geometriai elrendezése

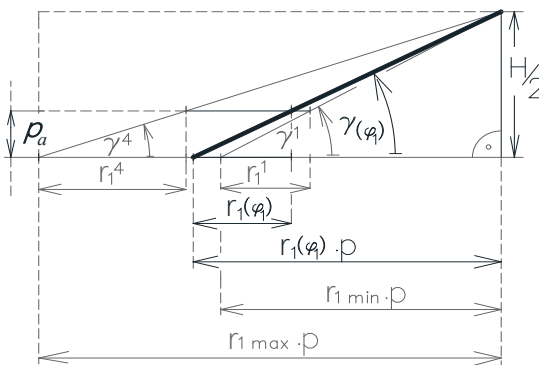
A kúpos csiga és az azt megmunkáló köszörűkorong egymáshoz viszonyított elrendezését a konstruktív gyártásgeometriai modellben meghatározott környezetben a CAD Creo tervező programmal készített számítógépes összeszerelési modell szemlélteti a 4. ábrán látható módon.



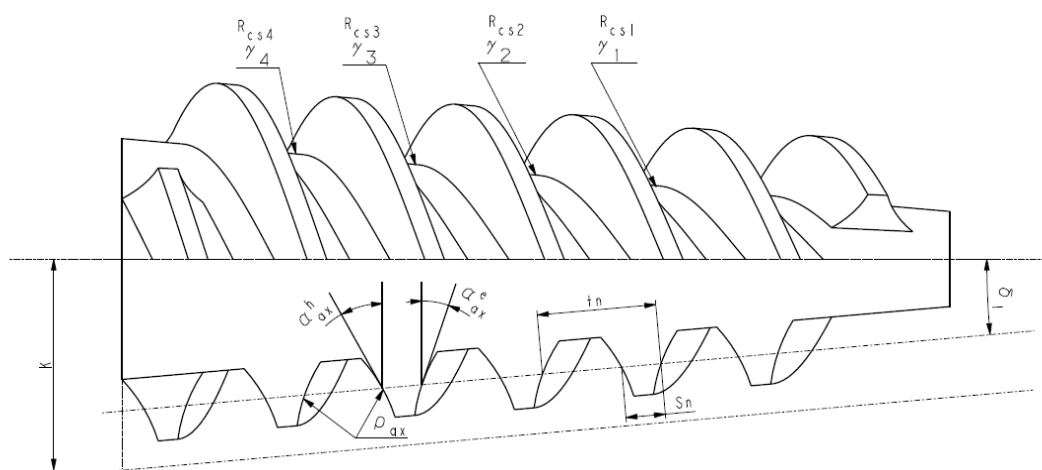
4. ábra A kúpos csiga köszörűkoronggal történő simító megmunkálásának elvi elrendezése

2.3. A kúpos csigát megmunkáló köszörűkorong kialakítása

A kúpos csigát megmunkáló köszörűkorong működő felületét, profilját a tengelytáv változása és ennek következtében módosult bedöntési szög befolyásolja [8, 9, 11]. A szerszámnak a referencia kúp alkotójával párhuzamos mozgáspálya miatt a változó a tengelytávot meghatározó változó r_1 sugár és az ebből kifolyólag változó γ bedöntési szög közti összefüggést a 5. ábra szemlélteti.

5. ábra A változó r_1 sugár és γ bedöntési szög közti geometriai összefüggés

A kúpos csiga megmunkálása során vizsgált koronghelyzeteket a 6. ábra szemlélteti, a hozzájuk tartozó konkrét beállítási adatokat pedig az 1. táblázat foglalja össze.



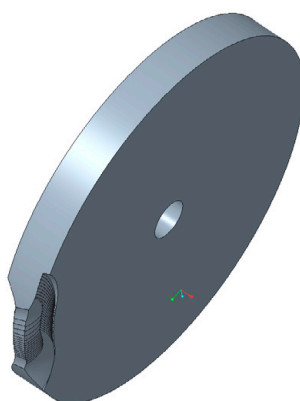
6. ábra A kúpos csigán vizsgált megmunkáló köszörűkorong helyzetek

A megmunkáló korong bedöntés szöge a vizsgált helyzetekben

1. táblázat

A vizsgálati pont sorszáma	1	2	3	4
A csiga osztókúpjának aktuális r_1 sugara [mm]	32,0265	35,2786	38,6719	41,9208
A korong aktuális γ bedöntési szöge ($^\circ$)	$\gamma=29,337484$	$\gamma=27,031773$	$\gamma=24,953816$	$\gamma=23,237766$

A 7. ábra a kúpos csavarfelületet megmunkáló köszörűkorong aktív felületének Boole-műveletekkel történő generálását, annak egy részletét szemlélteti. A modell a referencia kúp alkotójával párhuzamos pályán mozgó és változó bedöntési szöggel pozícionált szerszám létrehozását mutatja be.

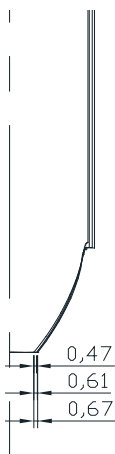


7. ábra Korong profil generálása Boole-műveletekkel

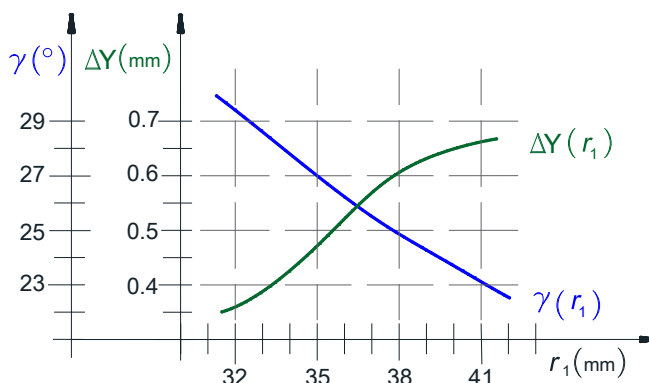
A modellezés során a köszörűkorong elméleti profilja a **származtató felület**, azaz a csigaprofil **burkolójaként** készült. A 290 mm sugarú és 20 mm szélességű alaphengerből a kúpos csiga menetfelülete a relatív mozgás során – mintegy **negatív mintaként** – fokozatosan kimetszette a szerszám profilját. Ez a Boole-műveleten alapuló leválasztási eljárás biztosítja, hogy a korong és a munkadarab között az adott helyzetben elméletileg pontos, vonalszerű érintkezés jöjjön létre.

A 8. ábra a kúpos csigát megmunkáló köszörűkorong modell útján előállított profilgörbéit szemlélteti, egymásra helyezve. A profilok a φ_1 mozgásparaméter függvényében változó r_1 sugár és γ bedöntési szög figyelembevételével kerültek meghatározásra.

A 9. ábra a köszörűkorong profilváltozásának mértékét és a bedöntési szög módosulását szemlélteti a referenciakúp változó sugarának függvényében.



8. ábra *A korong profilok közti profilváltozás mértékei mm-ben*



9. ábra *Korong profilok közti profilváltozás és bedöntési szög függvényei*

3. ÖSSZEGZÉS

Jelen cikkben a kúpos csiga felületét megmunkáló köszörűkorong aktív felületének vizsgálatát mutattuk be a tengelytáv és a bedöntési szög egyidejű változását alapul véve. A szerszám mozgás- és alakgeometriájára épülő Creo CAD-alapú modellezési eljárás lehetővé teszi a gyártási pontosság és az újr szabályozási gyakoriság közötti összefüggések elemzését, valamint az optimális egyensúly meghatározását. A bemutatott módszer elméleti alapot szolgáltat a változó geometriájú csavarfelületek precíziós megmunkálásához és a szerszámkorrekciós algoritmusok fejlesztéséhez.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Tolvaly-Rosca F., Máté M., Hodgyai N. *Kettős burkolás megközelítése és szimulálása CAD módszerrel*, XXIX. Nemzetközi Gépészeti Konferencia OGÉT 2021, Kolozsvár, Románia, 167-170. old.
- [2] Szente J., Bihari Z.: *Interaktív mérnöki kommunikáció és a tervezést támogató CAD rendszerek*, „Korszerű anyag-, nano- és gépészeti technológiákhoz kapcsolódó műszaki képzési területeken kompetencia alapú, komplex digitális tananyag modulok létrehozása és online hozzáférésük megvalósítása” TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0001, 170 oldal
- [3] Dezső G., Szigeti F. *A műszaki szimulációs módszerek helye a mérnökképzésben*, Műszaki Tudományos Közlemények (HU) 6, 2017, ISSN 2393 – 1280, 63-71. old.
- [4] Felhő, Cs., Szentesi, A., Tóth, G. *Geometrical Dimensioning of Worm Drives*, Proceeding of the 11th International Conference on Tools: ICT-2004, Miskolc, Hungary, University of Miskolc, pp.: 177-182.
- [5] Bercsey, T., Horák, P. *Modelling of the contact and tribological relations of spatial gear pairs*, International Conference on Gears, München, ISBN: 3-18-091665-6, pp.: 91-105.
- [6] Dudás, L. *The effect of worm profile on contact lines*. microCAD, XXIV. International Scientific Conference 2010, ISBN:978 963 661 919 0, Miskolc, Hungary, pp. 39-44
- [7] Kelemen, Cs., Máté, M.: *An Analysis of Manufacturing Precision of Involute Worms Using a Kinematical Model*, Műszaki Tudományos Közlemények, 2021, Vol. 14. pp.: 44–50.
- [8] Dudás, I. *The Theory & Practice of Worm Gear Drives*, Kogan Page US. Sterling, USA, 2000. p.: 314.
- [9] Mándy Z. *Csavarfelületek előállításának intelligens gyártórendszere és geometriailag helyes megmunkálása*, PhD disszertáció, Miskolc, 2022, 106 oldal
- [10] Bodzás, S. *Kúpos csiga-, tányérkerék-, és szerszám felületek kapcsolódásának elemzése*, PhD disszertáció, Miskolci Egyetem, Miskolc, Magyarország, 2016, 120 old.
- [11] Balajti Zs., Mándy Z. *Proposed solution to eliminate pitch fluctuation in case of conical screw surface machining by apex adjustment*, PROCEDIA MANUFACTURING 2021, 2351-9789, 55. pp.: 266-273.
- [12] Balajti, Zs. *Generalization Process of the Integrated Mathematical Model Created for the Development of the Production Geometry of Complicated Surfaces*, Symmetry, 2024, 16, 1618. <https://www.mdpi.com/2073-8994/16/12/1618>
- [13] F. Litvin, A. Fuentes *Gear geometry and Applied Theory*, New York, Cambridge University Press, ISBN-13 978-0-511-23000-4 p.:818. <http://uigearlab.com/wp-content/uploads/gear-geometry-and-applied-theory.pdf>
- [14] Tomori Z. *Profileltolás-tényezők optimális megválasztása evolvens fogazatú hengeres fogaskerekhez*, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, Miskolc, Magyarország, 2019; 93 old.
- [15] Ábel, J. *Csigakerékpárok gyártásgeometriájának számítógépes konstruktív geometriai és analitikus fejlesztése*. PhD értekezés, Miskolci Egyetem, Miskolc, Magyarország, 2023; 99. old.