

Réz(II)-komplexek szintézise Schiff-bázisokkal és α -dioximokkal valamint ezek fizikai-kémiai vizsgálata

Synthesis of copper(II)-complexes with Schiff bases and α -dioximes, and their physical-chemical study

FISCHER Melinda

melinda.fischer@stud.ubbcluj.ro

„Babeş-Bolyai” Tudományegyetem, Kémia és Vegyészmérnöki Kar,
Kolozsvár, Arany J. u. 11

Vezető tanára: ifj. Várhelyi Csaba

Kivonat

Kutatásunk során a réz(II)-komplexek szintézisével foglalkoztunk, ugyanis ezek fontos szerepet játszanak a gyógyszerkémiaiban vagy az ipar más területein, gombaölő, rákellenes vagy daganatellenes hatásaik miatt. A legtöbb hangsúlyt a Schiff-bázisokkal illetve α -dioximokkal való szintéziseikre fektettük. Így tehát az előállított vegyülettípusok a következők: $[Cu(2\text{-oktanon})_2(\text{diamin})(\text{amin})_2]$, $[Cu(\text{fenil-metil-dioxim})_2(\text{amin})_2]$. Rövid irodalmi áttekintés után a következő módszerek segítségével vizsgáltuk a vegyületek különböző kémiai sajátosságait: közép és távoli IR, ESR, UV-VIS, por-röntgen diffrakció (XRD) és a termoanalitikai (TG-DTG-DTA) vizsgálatok.

Kulcsszavak: réz-komplexek, Schiff-bázisok, dioximok, hidrazonok, ESR, spektroszkópia

1. BEVEZETŐ

A réz az egyik legismertebb átmenetifém, ugyanis nagyon fontos a növények, állatok vagy akár az emberek életműködése szempontjából. Emellett az iparban is nagy szerepet kap, ugyanis nagyon jól vezeti az elektromos áramot meg a hőt, és jó katalitikus tulajdonságai vannak. Az emberi szervezetben a réz Cu^{2+} illetve Cu^+ formában van jelen, ami előnyös sok enzimátikus folyamat szempontjából, ami csak növeli a réz jelentőségét. Ezen tulajdonságok miatt számtalan Schiff-bázisokkal és α -dioximokkal képzett réz-komplexeket állítottak elő.

A Schiff-bázisok egy primer amin és aldehid/keton reakciójából alakulnak ki, antibakteriális valamint vírusölő hatással rendelkeznek, de az irodalomban találhatóak olyan származékok is, amelyek szerkezetükből kifolyólag daganatellenes aktivitásokat mutatnak. A hidrazinok szerkezetében található diamin funkció miatt nagyon ismertek, jó donor tulajdonságuk van a fémekkel szemben, jellemzően polimer típusú komplexeket alkotnak ezekkel. Az ilyen típusú ligandumoknak pedig szintén antibakteriális és gombaölő tulajdonságaik vannak.

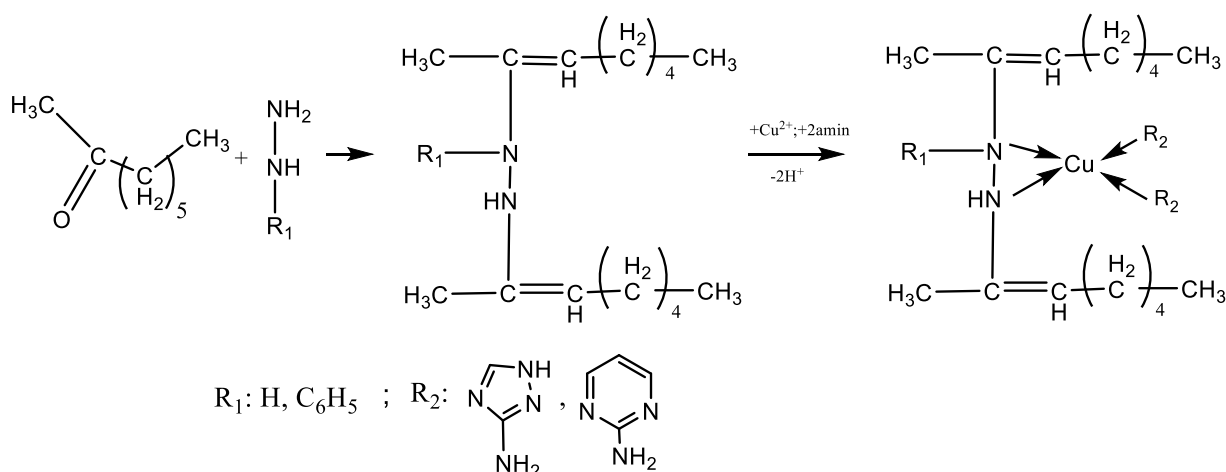
A dioximok általános szerkezete az $R_1R_2=NOH$, ahol az R_1 egy szerves oldallánc míg R_2 lehet akár hidrogén is. Ezek a vegyületek igen elterjedtek, mert viszonylag egyszerű az előállításuk, illetve szerkezeti jellemzői miatt könnyű koordinációs vegyületeket lehet létrehozni belőlük. Lehetőség van rá, hogy felhasználják a színezékek terén; antibakteriális, gombaölő, rákellenes gyógyszerek előállításakor, valamint a nukleáris medicina területein, hogy képeket alkossanak különböző emberi szervekről. Így tehát a dioximokat a jövő szempontjából kulcsfontosságú gyógyszerkémiai vegyületeknek is tekinthetjük.

Kutatómunkánk során Schiff-bázisok és α -dioxim származékok szintézisével és ezek vizsgálatával foglalkoztunk.

2. KÍSÉRLETI ELJÁRÁS

2.1 [Cu(2-oktanon)₂(hidrazin)(amin)₂] és a [Cu(2-oktanon)₂(Ph-hidrazin)(amin)₂] típusú vegyületek szintézise

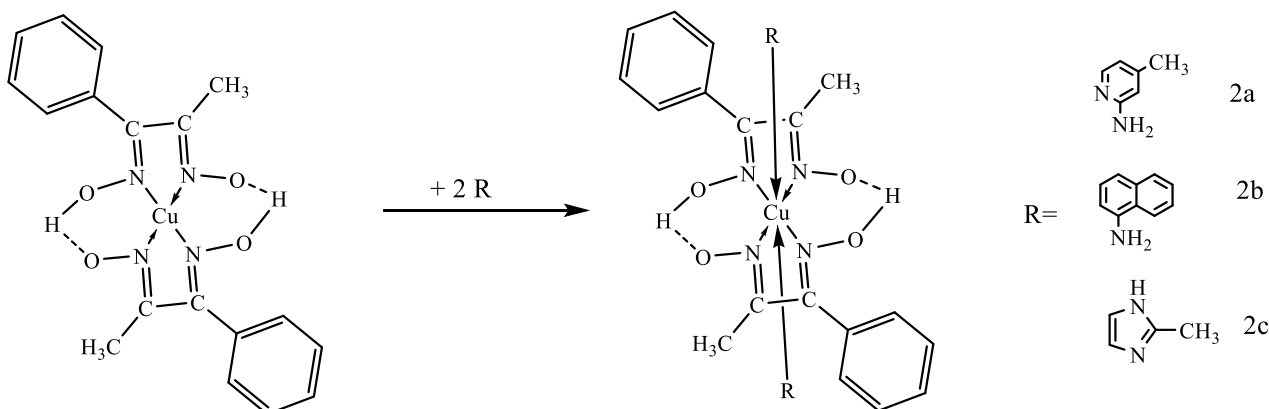
A reakcióelegyet, amely tartalmazza a 2-oktanont és a hidrazint metanolban oldva, vízfürdőre helyezve odatesszük formi. Egy-két óra elteltével az elegyhez adjuk a Cu(OAc)₂ vizes oldatát. Az így kapott reakcióelegyhez metanolban oldott 1H-1,2,4-triazol-amint adagolunk és visszahelyezzük a vízfürdőre kevertetés mellett melegedni még két-három órát. Az így kapott elegyet állni hagyjuk egy-két napig, míg kiválik a csapadék, majd szűrjük, metanollal mossuk, és levegőn szárítjuk. Terméknek egy világos zöld színű, kristályos anyagot kapunk. A fenil-hidrazinnal történő szintézist ugyanezzel a módszerrel végeztük, a különbség az, hogy 2-amino-pirimidint adagoltunk az utolsó előtti lépésben a reakcióelegyhez (1. ábra).



1. ábra. [Cu(2-oktanon)₂(diamin)(amin)₂] előállítási reakciója

2.2 [Cu(fenil-metil-dioxim)₂(amin)₂] típusú vegyületek szintézise

A reakció két lépésben történik, a fenil-metil-dioxim metanolos oldatához Cu(OAc)₂ vizes oldatát adagoljuk. Ezekután hozzáadjuk a kívánt amint. Kevertetés után a reakcióelegyhez hozzáadjuk az amint, esetünkben a 2-amino-4-metil-piridin (2. ábra 2a), naftil-1-amin (2. ábra 2b) illetve 2-metil-imidazol (2. ábra 2c) metanolos oldatát. A lejátszódó reakciók a következők:



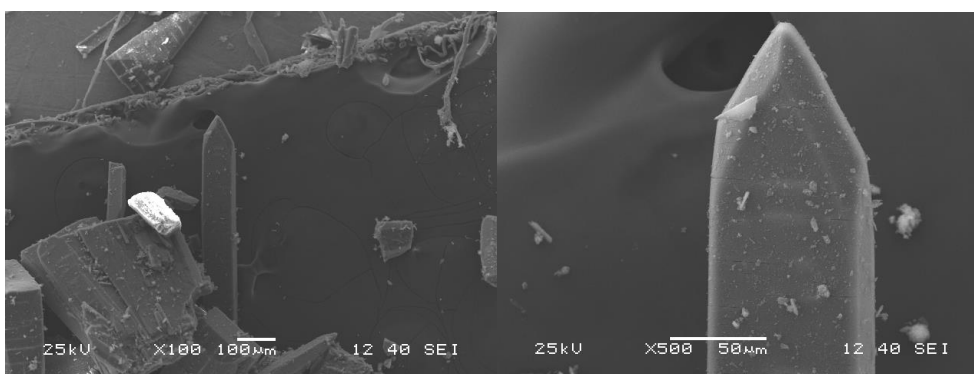
2. ábra. [Cu(fenil-metil-dioxim)₂(amin)₂] típusú vegyületek szintézise

3. EREDMÉNYEK

Az előállított vegyületek szerkezetét különböző mérésekkel vizsgáltuk.

1. Táblázat Anyagok molekulatömege és mikroszkópikus jellemzése

Sz.	Vegyület	Molekulatömeg (g/mol)	Mikroszkópikus jellemzés
1.	[Cu(2-oktanon) ₂ (hidrazin)(1H-1,2,4-triazol-amin) ₂]	482,13	Zöld, háromszög alapú hasábok
2.	[Cu(2-oktanon) ₂ (Ph-hidrazin)(2-amino-pirimidin) ₂]	581,28	Sötét khaki zöld, háromszög alapú hasábok
3.	[Cu(fenil-metil-dioxim) ₂ (2-amino-4-metil-piridin) ₂]	634,19	Sötét vöröses barna, háromszög alapú hasábok
4.	[Cu(fenil-metil-dioxim) ₂ (naftil-1-amin) ₂]	704,28	Fekete, háromszög alapú hasábok
5.	[Cu(fenil-metil-dioxim) ₂ (2-metil-imidazol) ₂]	582,12	Fekete, szabálytalan formájú kristályok



3. ábra. 2b vegyület SEM felvétele

3.1. Infravörös-spektroszkópai vizsgálatok

Ezeket a méréseket Bruker Alpha FTIR és PIKE-GladiATR készülékek segítségével mértük szobahőmérsékleten. A méréseket a közepes (4000-600 cm⁻¹) illetve távoli (600-100 cm⁻¹) tartományban vettük fel. A 2.Táblázat tartalmazza ezeknek a méréseknek az eredményeit, valamint az 4.ábrán látható is egy kirajzolt spektrum.

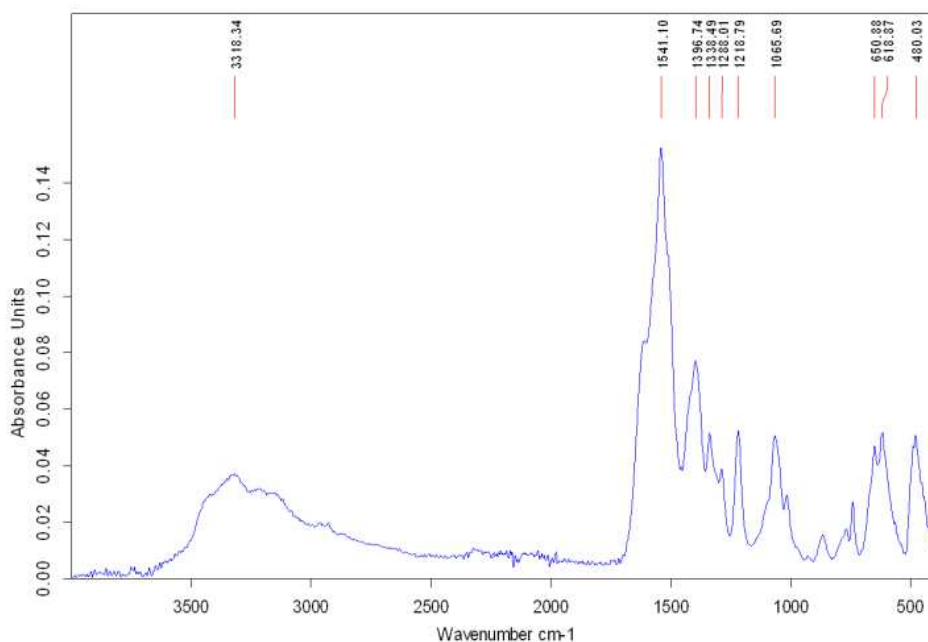
2. Táblázat Az IR mérésekből származó eredmények

1		2		3		4		5	
Rezgés típusa	Hullám-szám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Hullám szám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Hullám szám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Hullám szám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Hullám szám (cm ⁻¹)
ν_{N-H}	3318 k	ν_{N-H}	3386 gy	ν_{N-H}	3205 gy	ν_{N-H}	3780 gy	ν_{N-H}	3206 gy
$\nu_{C=N}$	1541 ie	ν_{C-H}	2924 gy	ν_{C-H}	3059-2814 gy	ν_{C-H}	3065-2815 gy	ν_{C-H}	3057 gy
δ_{CH2}	1397 e	$\nu_{C=C}$	1655 e	$\nu_{C=N}$	1545 k	$\nu_{C=N}$	1544 k	$\nu_{C=N}$	1537 k
δ_{CH3}	1338 k	$\nu_{C=N}$	1537 gy	δ_{CH2}	1440.52 k	δ_{CH2}	1440 k	δ_{CH2}	1441 k
τ_{OH}	1066 k	δ_{CH2}	1372 ie	δ_{CH3}	1325 gy	δ_{CH3}	1325 gy	δ_{CH3}	1325 gy
γ_{C-H}	651 k	δ_{CH3}	1347 e	ν_{NOH}	1145.87 e	ν_{NOH}	1242 k	ν_{NOH}	1118 e

1		2		3		4		5	
Rezgés típusa	Hullám-szám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Hullám szám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Hullám szám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Hullám szám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Hullám szám (cm ⁻¹)
ν_{Cu-N}	480 k	τ_{OH}	1066.51 gy	τ_{OH}	1076 e	τ_{OH}	1076 e	τ_{OH}	1076 e
δ_{N-Cu-N}	343 gy	γ_{C-H}	665 k	γ_{C-H}	658 k	γ_{C-H}	694 ie	γ_{C-H}	660 k
ν_{Cu-N}	505 e	ν_{Cu-N}	484-506 k	ν_{Cu-N}	474 k	ν_{Cu-N}	474 k	ν_{Cu-N}	476 gy
δ_{N-Cu-N}	343 gy	δ_{N-Cu-N}	343 gy	δ_{N-Cu-N}	380 k	δ_{N-Cu-N}	374 k	δ_{N-Cu-N}	370 k
ν_{Cu-N}	505 e	ν_{Cu-N}	505 e	ν_{Cu-N}	509 k	ν_{Cu-N}	511 k	ν_{Cu-N}	515 k
$\delta_{Nam-Cu-Nam}$	343 gy	$\delta_{Nam-Cu-Nam}$	343 gy	$\delta_{Nam-Cu-Nam}$	266 gy	$\delta_{Nam-Cu-Nam}$	266 gy	$\delta_{Nam-Cu-Nam}$	255 gy
				γ_{N-O}	147 k	γ_{N-O}	147 k	γ_{N-O}	143 k

* A gy (gyenge), k (közepes), e (erős), ie (igen erős) rövidítések a spektrum csúcsainak intenzitására vonatkoznak

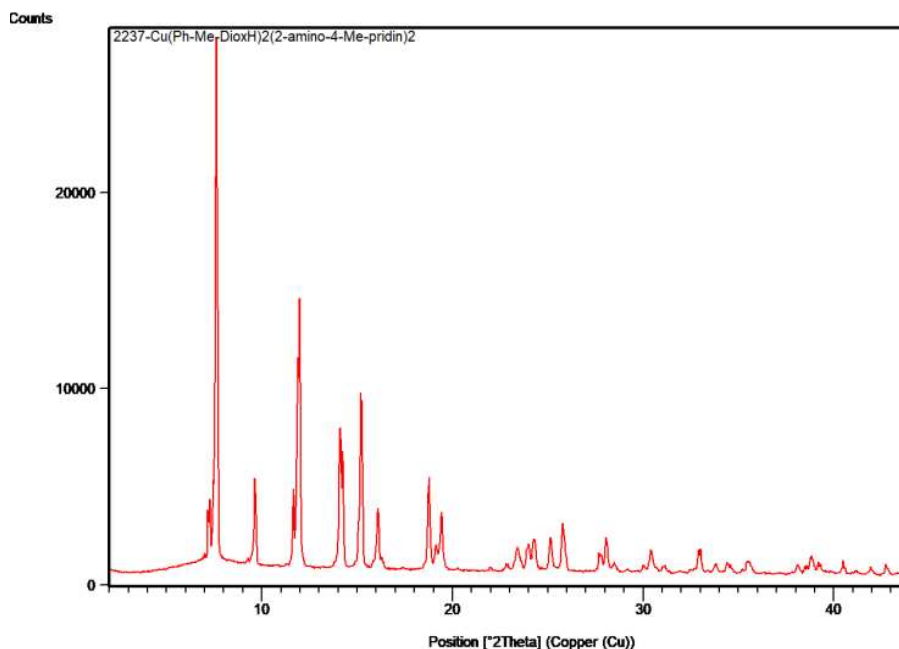
Az infravörös spektroszkópia csúcsai közül a legfontosabbak a ν_{NOH} vegyértékrezgések, amelyek jellemzőek a dioxim vegyületekre és éles csúcsokként jelennek meg, valamint fontosak még a Cu-N és a C=N kötés jelenlétére utaló vegyértékrezgések is.



4. ábra. A $[Cu(2\text{-oktanon})_2(\text{hidrazin})(1H\text{-}1,2,4\text{-triazol-amin})_2]$ vegyület közép infravörös tartományban felvett spektruma

3.2. Porröntgen-diffrakciós mérések (XRD)

A mérésekhez PANalytical X'Pert Pro röntgendiffraktométert használtunk, X'Celeration detektorral, valamint réz elektródot és nikkelt hálót. Az 5. ábrán pedig megtekinthető a $[Cu(\text{fenil-metil-dioxim})_2(2\text{-amino-4-metil-piridin})_2]$ komplex spektruma, aminek a nagy csúcsaiból arra lehet következtetni, hogy kristályos anyagról van szó.



5. ábra. $[Cu(\text{fenil-metil-dioxim})_2(2\text{-amino-4-metil-piridin})_2]$ komplex XRD spektruma

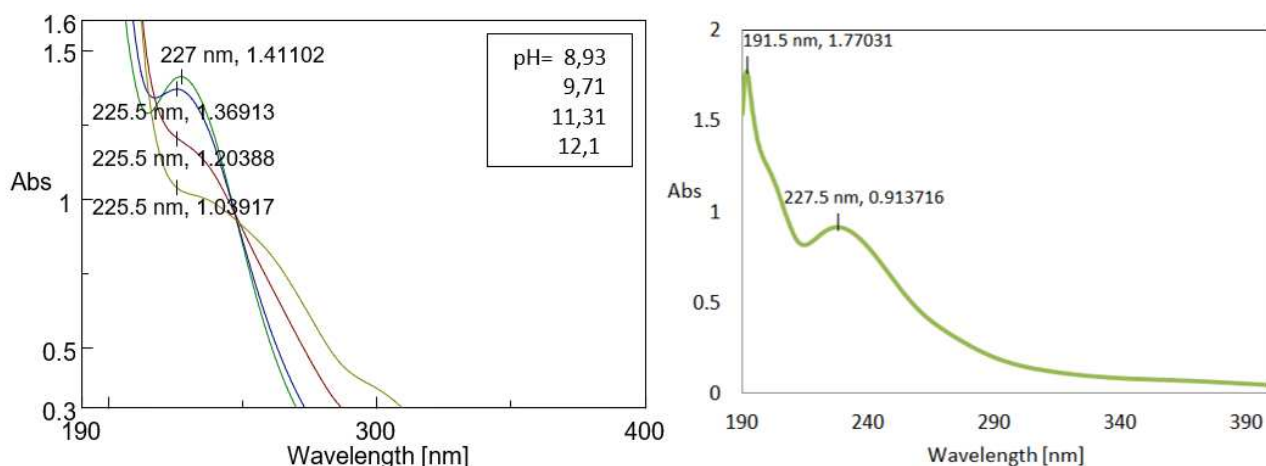
3.3 UV-VIS spektroszkópiás mérések

Ezen spektroszkópiás mérés során Sörensen puffer oldatok segítségével meg tudtuk határozni a K_a savassági állandóját a $[Cu(\text{fenil-metil-dioxim})_2(2\text{-amino-4-metil-piridin})_2]$ komplexnek a következő képletek segítségével: $pK_a = \text{pH} + \lg \frac{A - A_{\max}}{A_{\min} - A}$ és $K_a = 10^{-pK_a}$, ahol az A - bizonyos pH értékre az abszorbancia. A kapott

érték pedig $K_a = 3,89 \cdot 10^{-12}$ lett. Emellett pedig az $A = \varepsilon \cdot c \cdot l$ képlet segítségével meg tudtuk határozni a moláris extinkciós koefficienseit a vizsgált komplexnek, ami $\varepsilon_1 = 36548,64 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ és $\varepsilon_2 = 70812,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ lett. Az előző képletben l a mintatartó mérete cm-ben kifejezve, míg c az oldat koncentrációja. A 3. Táblázat tartalmazza a $[Cu(\text{fenil-metil-dioxim})_2(2\text{-amino-4-metil-piridin})_2]$ vegyület abszorpciós maximumait és a hullámhossz értékeit a pH függvényében.

3. Táblázat. $[Cu(\text{fenil-metil-dioxim})_2(2\text{-amino-4-metil-piridin})_2]$ vegyület abszorpciós maximumai és hullámhossz értékei

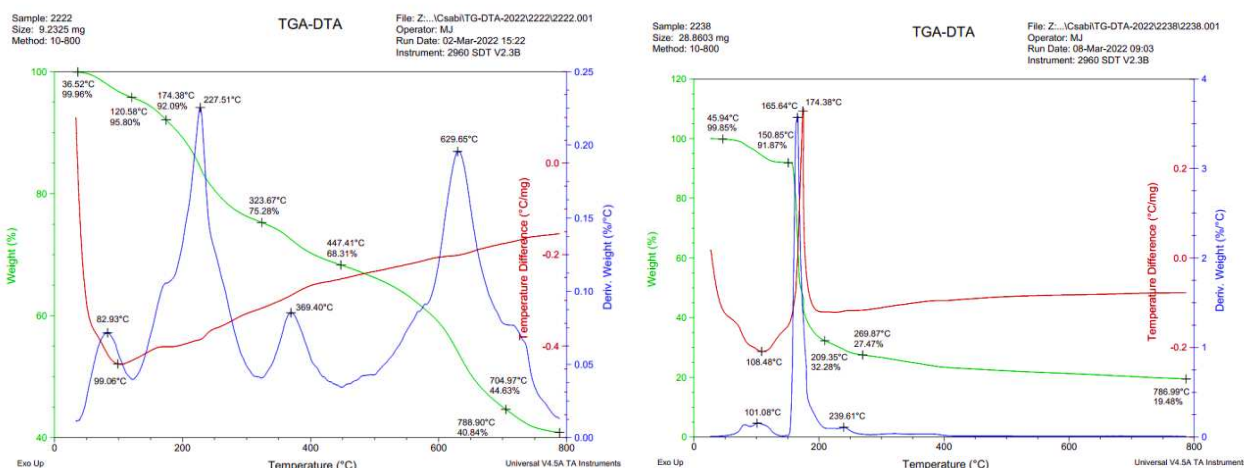
pH	A_{\max}	λ (nm)
8,93	1,411	227
9,71	1,369	225,5
11,71	1,204	225,5
12,1	1,039	225,5



6. ábra. $[\text{Cu}(\text{fenil-metil-dioxim})_2(2\text{-amino-4-metil-piridin})_2]$ komplex UV-VIS spektruma pH függvényében, valamint $2,5 \cdot 10^{-5}$ mol/L koncentrációjú oldatban

3.4 Termoanalitikai mérések (TG-DTG-DTA)

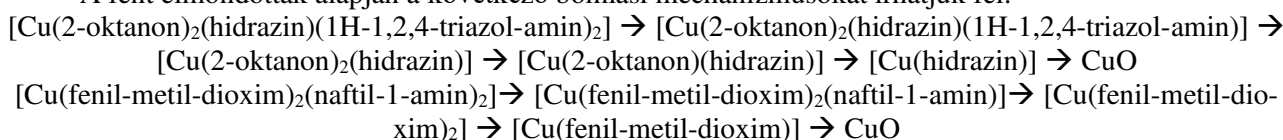
A termogravimetriás méréseket $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ fűtési sebességgel N_2 atmoszférába végeztük. A kapott görbékben nyomon követhetjük a réz-komplexek bomlási mechanizmusát és ezáltal következtetni tudunk a vegyületek stabilitására. Az 7. ábra pedig bemutatja a $[\text{Cu}(\text{fenil-metil-dioxim})_2(2\text{-amino-4-metil-piridin})_2]$ és a $[\text{Cu}(2\text{-oktanon})_2(\text{hidrazin})(1\text{H-1,2,4-triazol-amin})_2]$ komplexek TG-DTG-DTA spektrumát.



7. ábra. A $[\text{Cu}(2\text{-oktanon})_2(\text{hidrazin})(1\text{H-1,2,4-triazol-amin})_2]$ és $[\text{Cu}(\text{fenil-metil-dioxim})_2(\text{naftil-1-amin})_2]$ vegyületek TG-DTG-DTA spektrumai

A $[\text{Cu}(2\text{-oktanon})_2(\text{hidrazin})(1\text{H-1,2,4-triazol-amin})_2]$ esetében $400\text{ }^\circ\text{C}$ körülig távozik a két amin, ezek után pedig bekövetkezik az oktanonos rész bomlása. A $[\text{Cu}(\text{fenil-metil-dioxim})_2(\text{naftil-1-amin})_2]$ komplex esetében $150\text{ }^\circ\text{C}$ körül egy endoterm folyamat révén megkezdődik az aminok távozása, utána pedig robbanás-szerűen bomlik a komplex, a dioximokban levő oxigének miatt, amit egy erős exoterm csúcs is jelez.

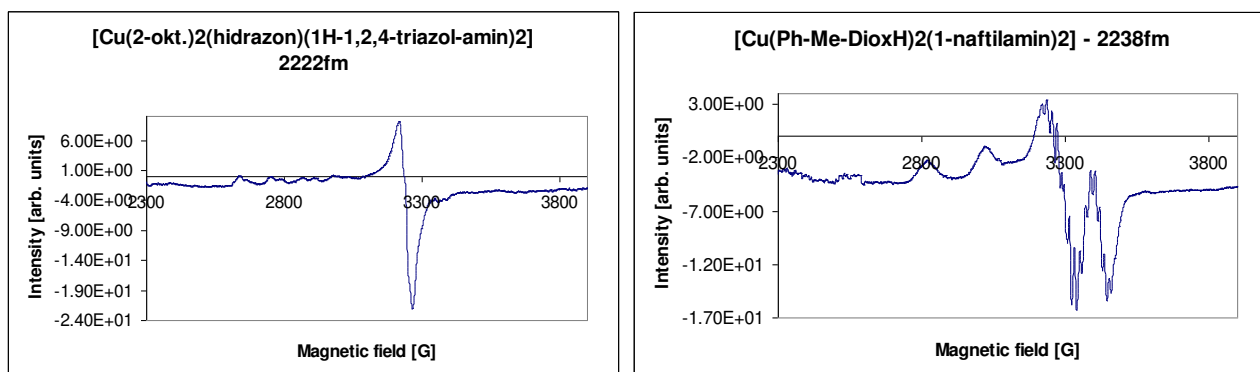
A fent elmondottak alapján a következő bomlási mechanizmusokat írhatjuk fel:



3.5 ESR mérések

Az ESR mérések során felvettük a komplexek spektrumait oldat, fagyasztott oldat és szilárd formában a Bruker ELEXSYS 500 műszer segítségével. Szimulációk segítségével megállapíthatók a Cu-N csatolások

természete és száma. A 8. ábrán két fagyasztott oldat formájában felvett spektrum látható. További szimulációs számítások alapján meghatározhatóak lesznek a g giromágneses tényezők értékei is.



8. ábra. $[Cu(2-oktanon)_2(hidrazin)(1H-1,2,4-triazol-amin)_2]$ és $[Cu(fenil-metil-dioxim)_2(naftil-1-amin)_2]$ vegyületek ESR spektrumai

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A fent bemutatott módszerek segítségével tanulmányoztuk a komplexeink tulajdonságait, melyekkel stabilitásukra, kristályosságukra és főbb jellemzőikre tudunk következtetni.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm az ELTE Márton Áron Szakkollégiumának, hogy lehetőséget adott arra, hogy a „Hunyadi János” két hetes részképzős ösztöndíj segítségével, létrejöjjön ez a dolgozatom.

6. BIBLIOGRÁFIA

- [1] Harris E.D., Cellular copper transport and metabolism, Annu. Rev. Nutr., 2000.
- [2] White A. R., Duncan C., Copper complexes as therapeutic agents, Metallomics, 4(2), 2012, 127–138.
- [3] DHAR D. N., SAXENA P. N., KUMAR S., Applications of metal complexes of Schiff bases-A review, 2009.
- [4] Varshney A. L., Jain P. C., Srivastava A.K., Complexes of copper(II) with substituted hydrazines, Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, 42(1), 1980, 47-50.
- [5] Kumar S. V., Chandra S., Synthesis, spectroscopic, anticancer, antibacterial and antifungal studies of Ni(II) and Cu(II) complexes with hydrazine carboxamide, 2-[3-methyl-2-thienyl methylene], Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 135, 2015, 356-363.
- [6] Mohamed A. M., Adli A. S., Dioximes: Synthesis and biomedical applications, Bioorganic Chemistry, 82, 2019, 145-155.
- [7] ifj. Várhelyi Cs., Kacsó F., Szerves kémiai laboratóriumi gyakorlatok, I. kötet, Ábel kiadó, 2012.

Marás esztergapadon – Hengeres felületű alkatrészek kialakításának elemzése

Milling on turning lathe – The analysis of cylindrical surface cutting

BIRÓ Csaba

kitkut_csabi@yahoo.com

Sapientia EMTE, Marosvásárhely Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki szak

Vezető tanára: Dr. Máté Márton

Kivonat

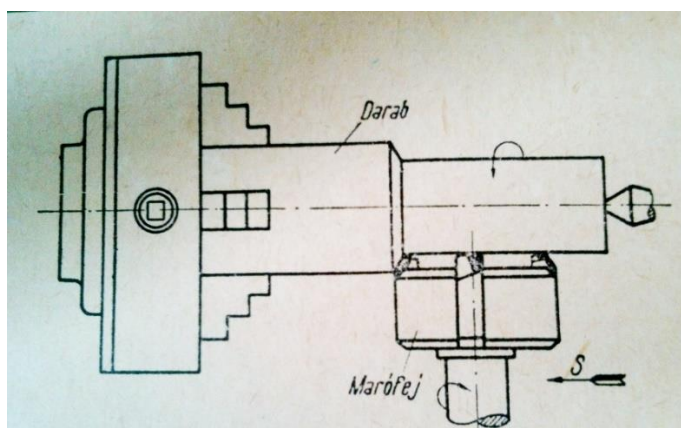
Manapság a fémmegmunkálás területén igen elterjedt a számvezérlésű úgynevezett CNC- gépeken történő megmunkálás. Valóban, ez a technológia a legfejlettebb és a legtöbb lehetőséget kínálja a gyártóknak a formagenerálás területén. Azonban ne feledkezzünk el a jól bevált, hagyományos mechanikus vezérlésű szerzőgépekről sem. Felruházzhatjuk e gépeket olyan készülékekkel, amelyek segítségével megnövelhető a kihasználtsági tényezőjük. Számos esetben lehet hasznos a javasolt megoldás: a modern, számvezérlésű gépünk javításra szorul, a kemény forgácsolási körülmények miatt kímélni akarjuk a CNC-gépet, stb. Jelen dolgozat a hagyományos esztergán történő hengeres felületek marási lehetőségeit tárgyalja. Az eljárás lényegét késtartó helyére tervezett marókészülék segítségével való megmunkálás képezi. A kitűzött célok a matematikai modell felállítása, és ennek Mathcad környezetben való kiértékelése. A matematikai modell magába foglalja a koordináta-transzformációkat valamint a generált felületek egyenleteit. Ezek segítségével választjuk ki a hengeres felület esztergán történő marásához az optimális marószerszámot, tanulmányozzuk a szerszám élei által leírt görbéket és felületeket, a megfelelő forgácsolási paraméterek meghatározása érdekében. Olyan marókészüléket tervezünk, amely felszerelhető az esztergapad keresztzánjára.

Kulcsszavak: forgásfelület, marás, eszterga, pályagörbe, mikrojeometria

1. Hengeres felületek esztergán való marásának elve

Figyelembe véve a hengeres felületek hagyományos esztergán, illetve marón történő megmunkálásának előnyeit és hátrányait arra a következtetésre jutunk, hogy olyan forgácsolási eljárást kéne alkalmazni, amely ötvözi a marás és az esztergálás előnyeit.

Az egyik lehetséges módszer az hagyományos eszterga felruházzása egy marókészülékkel. Mivel a marókészülék átvinné az esztergakés szerepét ezért az eszterga késtartójára nincs szükség a külső hengeres felület megmunkálása esetén. Tehát a marókészüléket úgy kell megtervezni, hogy fel lehessen azt szerelni az eszterga keresztzánjára. Így amikor szükséges a késtartó szán használata akkor annak visszaszerelése is megoldható lenne indokolt esetekben. A hengeres felületek esztergán történő marását esztergáló marásnak nevezzük.



1. ábra. Esztergáló marás elvi vázlatja [5]

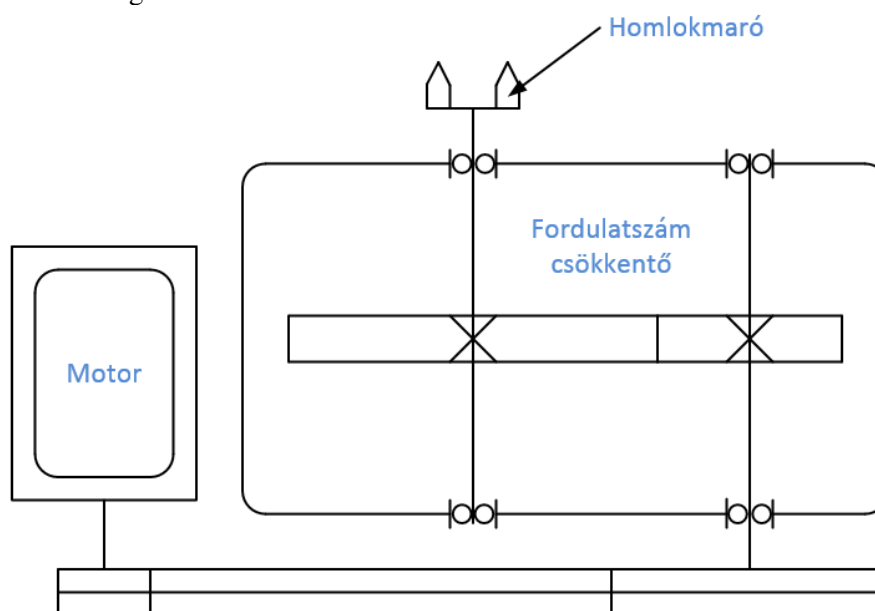
Az esztergáló marás előnyei:

- megnövelt termelékenység;
- nagyobb él tartam, az esztergakés helyett több élű szerszám (homlokmaró) használata;
- növelhető a forgácsolási sebesség;
- kedvezőbb forgácsolási viszonyok;
- széria és sorozatgyártásra is alkalmas;
- szükség esetén használható a modern CNC gépek javításának vagy karbantartásának idején;
- nagyobb a gép kihasználtsága;
- modern homlokmaró szerszám használatának a lehetősége;
- jobb felületi minőség.

2. A marókészülék elvi felépítése és a lehetséges műszaki paraméterek:

A marókészülék főbb szerkezeti elemei:

- 3 fázisú 2 pólusú aszinkron motor;
- egylépcsős fordulatszám csökkentő;
- szerszám befogó.



2. ábra. A marókészülék kinematikai vázlata

Az aszinkron motor főbb paraméterei [6]:

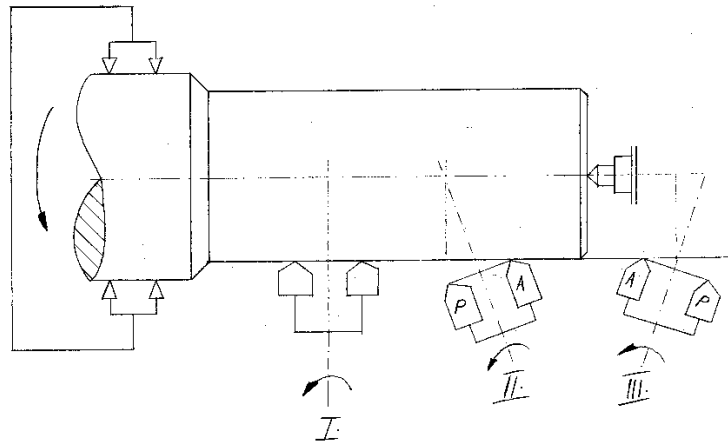
- névleges teljesítmény: $P_N = 2.2 \text{ Kw}$;
- névleges fordulat: $n_N = 2820 \text{ ford/perc}$.

Az egylépcsős fordulatszám-csökkentő paraméterei:

- bemenő teljesítmény: $P_{be} = 2.2 \text{ Kw}$;
- bemenő fordulatszám: $n_{be} = 2820 \text{ ford/perc}$;
- a hajtás áttétele: $u=1,5$;
- kimenő fordulatszám: $n_{ki} = 1880 \text{ ford/perc}$.

Három lehetséges pozícióban lehet elhelyezni a marókészüléket a munkadarab forgástengelyéhez képest:

- I. A homlokmaró forgástengelye merőleges a munkadarab forgástengelyére. Ebben az esetben a maró mindkét oldalán levő él aktív így a forgácsleválasztás során az első él nagyol a második él pedig simít, egy műveletben történik a nagyolás és a simítás is.
- II. A maró forgástengelye nem merőleges a munkadarab forgástengelyére, ki van döntve egy bizonyos szöggel. Ebben az esetben csak az egyik oldalon található élek forgácsolnak egy időpillanatban.
- III. A maró forgástengelye az előző pozícióhoz képest ellentétes irányba helyezkedik el a munkadarab forgástengelyéhez, képest.



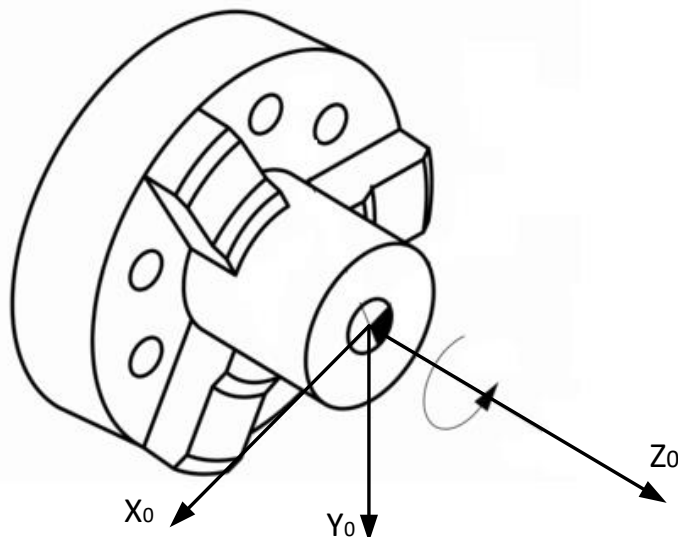
3. ábra. A marókészülék lehetséges helyzete

Jelen dolgozatban az első esetet tanulmányozom, amikor a maró forgástengelye merőleges a munkadarab forgástengelyére. Ebben az esetben a homlokmaró egy azon időben nagyol és simít a forgácsolás során, tehát a maró mindkét oldalán levő él aktív. A marókészülék egyenes vonalú mellékmozgását az eszterga hosszanti előtolását létrehozó előtolómű biztosítja. A marókészülék a keresztszánra van felszerelve.

3. A matematikai modell felépítése

3.1 A kinematikai koordináta rendszerek meghatározása

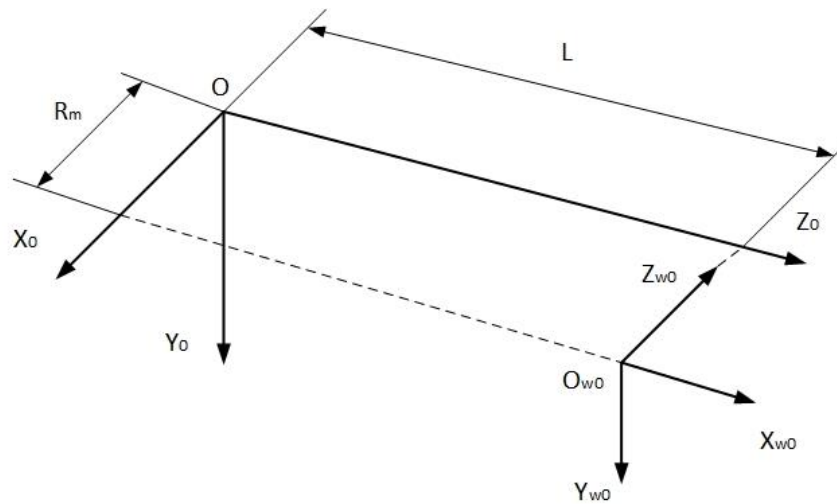
A matematikai modell felépítésének alapja a kinematikai koordináta-rendszerek meghatározása. Első lépésként meghatározzuk az $OX_0Y_0Z_0$ szerszámgéphez kötött koordináta rendszert (4. ábra). Ez egy rögzített, referencia koordináta rendszer. Az OX_0 tengely iránya egybeesik a keresztszán elmozdulási irányával értelme pedig megegyezik a radiális forgácsoló erő értelmével. Az OY_0 tengely iránya és értelme megegyezik a főmozgás érintőjének az irányával és értelmével. Az OZ_0 tengely iránya egybeesik a főorsó geometriai tengelyével, értelmét pedig úgy határozzuk meg hogy a koordináta rendszer jobbsodrású legyen (4. ábra).



4. ábra. A szerszámgéphez kötött koordináta rendszer

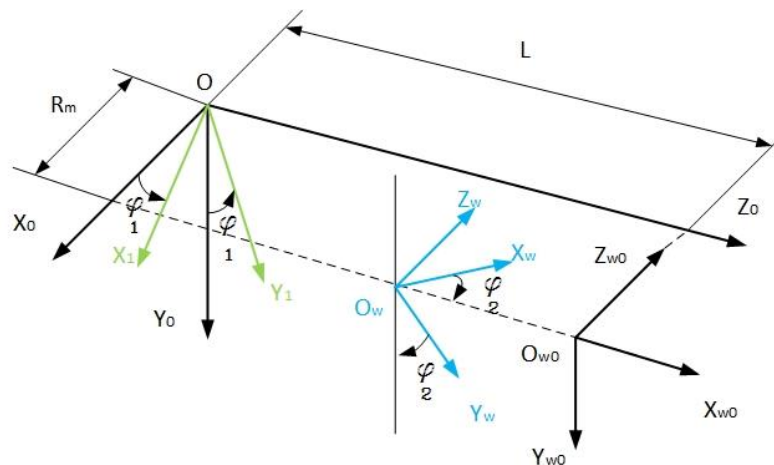
Miután felvettük a szerszámgéphez kötött koordináta rendszert meghatározzuk a szerszámhoz (maró) kötött koordináta-rendszert kezdeti pillanatban melyet $O_{w0} X_{w0} Y_{w0} Z_{w0}$ -val jelölünk.

Az $O_{w0}X_{w0}$ tengely iránya és értelme megegyezik az OZ_0 tengely irányával és értelmével, az $O_{w0}Y_{w0}$ tengely iránya és értelme egybeesik az OY_0 tengely irányával és értelmével. Az $O_{w0}Z_{w0}$ tengely iránya és értelme megegyezik az OX_0 tengely irányával és értelmével ez a maró forgástengelye (5. ábra). A munkadarab hosszát jelöljük L -lel, a sugarát pedig R_m -mel.



5. ábra. A koordináta-rendszerek helyzete kezdeti állapotban

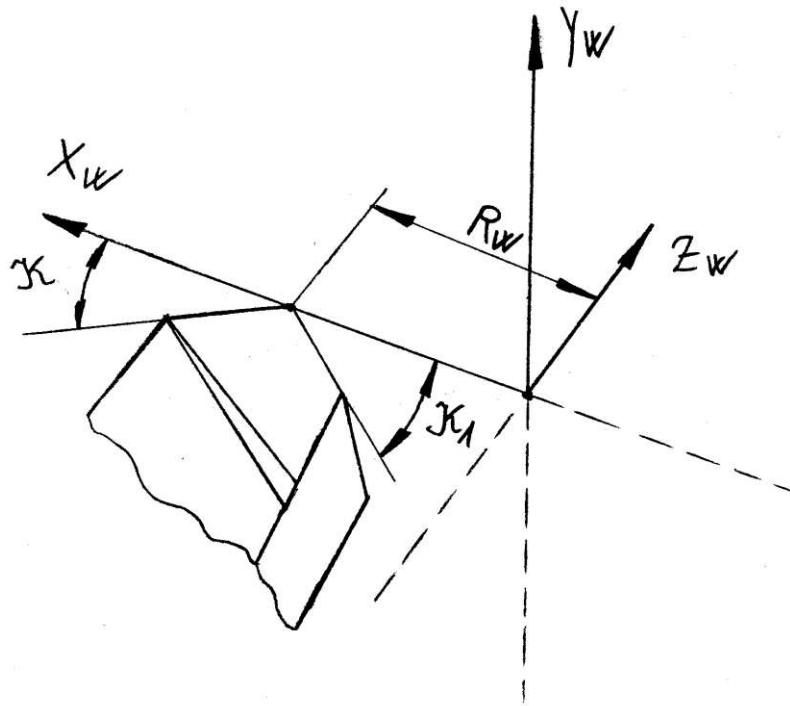
Továbbá szükség van egy $OX_1Y_1Z_1$ koordináta rendszer felvételére, amely a munkadarabhoz kötött ezért ezt munkadarab koordináta-rendszernek nevezzük. Kezdeti állapotban, mielőtt a forgácsolás elkezdődne a munkadarabhoz kötött $OX_1Y_1Z_1$ koordináta rendszer egybeesik a szerszámgéphez kötött álló $OX_0Y_0Z_0$ koordináta-rendszerrel. Ahhoz, hogy forgácsolás során a hengeres felület létrejöhessen, a munkadarabnak el kell fordulnia a saját tengelye körül miközben a maró is elfordul a saját tengelye körül és el is mozdul egy az OZ_0 tengellyel párhuzamos tengely mentén. A munkadarab elfordulási szögét jelöljük φ_1 -el. A maró elfordulási szögét a saját tengelye körül jelöli a φ_2 szög. A maró koordináta rendszerének a helyzetét a forgácsolás tetszőleges pillanatában jelöli az $O_w X_w Y_w Z_w$ koordináta rendszer. A koordináta rendszerek helyzetét a forgácsolás időpillanatában szemlélteti a (6. ábra).



6. ábra. A koordináta rendszerek helyzete a forgácsolás időpillanatában

4.2 A forgácsoló él egyenletei

A matematikai modell esetén egy jobbos homlokmaró által leírt felületgörbéket tanulmányozok. Ahhoz hogy föl tudjuk írni a maró fogai által generált felület egyenletét meg kell határozni a maró főél- és mellékél-egyenleteit (7. ábra).



7. ábra. A fő él és a mellék él jobbos maró esetén

K - a fő él elhelyezési szög.

K_1 - a mellék él elhelyezési szög.

\mathbf{u} - egységvektor.

$R_w=R_{w0}$ – a maró sugara.

4.2.1 A fő él parametrikus egyenletei:

$$X_w(u) := R_{w0} + u \cdot \cos(K) \quad (4)$$

$$Y_w(u) := 0$$

$$Z_w(u) := -u \cdot \sin(K)$$

4.2.2 A mellék él parametrikus egyenletei:

$$X_w_m(u) := R_{w0} - u \cdot \cos(K_1) \quad (5)$$

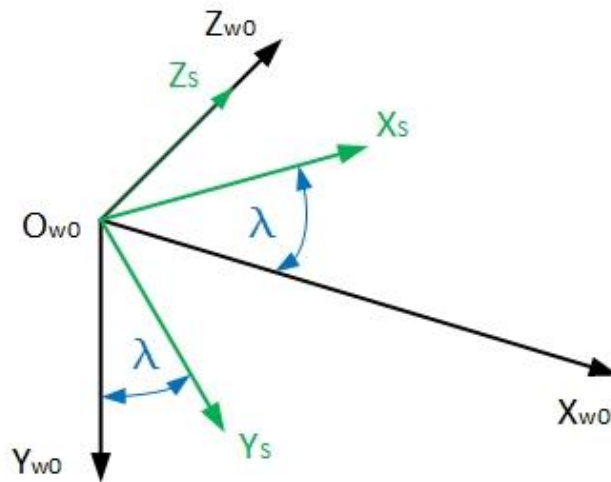
$$Y_w_m(u) := 0$$

$$Z_w_m(u) := -u \cdot \sin(K_1)$$

4.2.3 Az általános helyzetű él egyenletei a maró testéhez viszonyítva:

Fölírjuk az általános helyzetű él egyenleteit a maró koordináta rendszeréhez képest, amelyet $O_{w0} X_{w0} Y_{w0} Z_{w0}$ jelölünk. Meghatározunk egy $O_S X_S Y_S Z_S$ segéd koordináta-rendszert, amely az általános helyzetű élhez kötött (8. ábra). Az általános helyzetű fő él és mellék él egyenletei a segéd koordináta rendszerben megegyeznek az előbbi (1) és (2) egyenletekkel. Tehát az általános helyzetű fő és mellék él egyenleteit a szerszám testéhez viszonyítva a segéd- és a maró koordináta-rendszerek közötti transzformációs egyenletből kapjuk meg:

$$\mathbf{r}_W = \mathbf{M}_{WS} \cdot \mathbf{r}_S \quad (6)$$



8. ábra. A koordináta rendszerek helyzete

M_{WS} - a transzformációs mátrix a segéd koordináta rendszerből a maró koordináta rendszerébe:

$$M_{WS} = \begin{vmatrix} \cos(\lambda) & \sin(\lambda) & 0 & 0 \\ -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (7)$$

r_s - az fő él parametrikus egyenletei mátrix formában:

$$r_s = \begin{vmatrix} R_{W0} + u \cdot \cos(K) \\ 0 \\ -u \cdot \sin(K) \\ 1 \end{vmatrix} \quad (8)$$

Összeszorozva a (7) és a (8) as mátrixokat megkapjuk a tetszőleges helyzetű fő él egyenleteit mátrix formában a maró testéhez viszonyítva r_w :

$$r_w = \begin{vmatrix} \cos(\lambda) & \sin(\lambda) & 0 & 0 \\ -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} R_{W0} + u \cdot \cos(K) \\ 0 \\ -u \cdot \sin(K) \\ 1 \end{vmatrix} \quad (9)$$

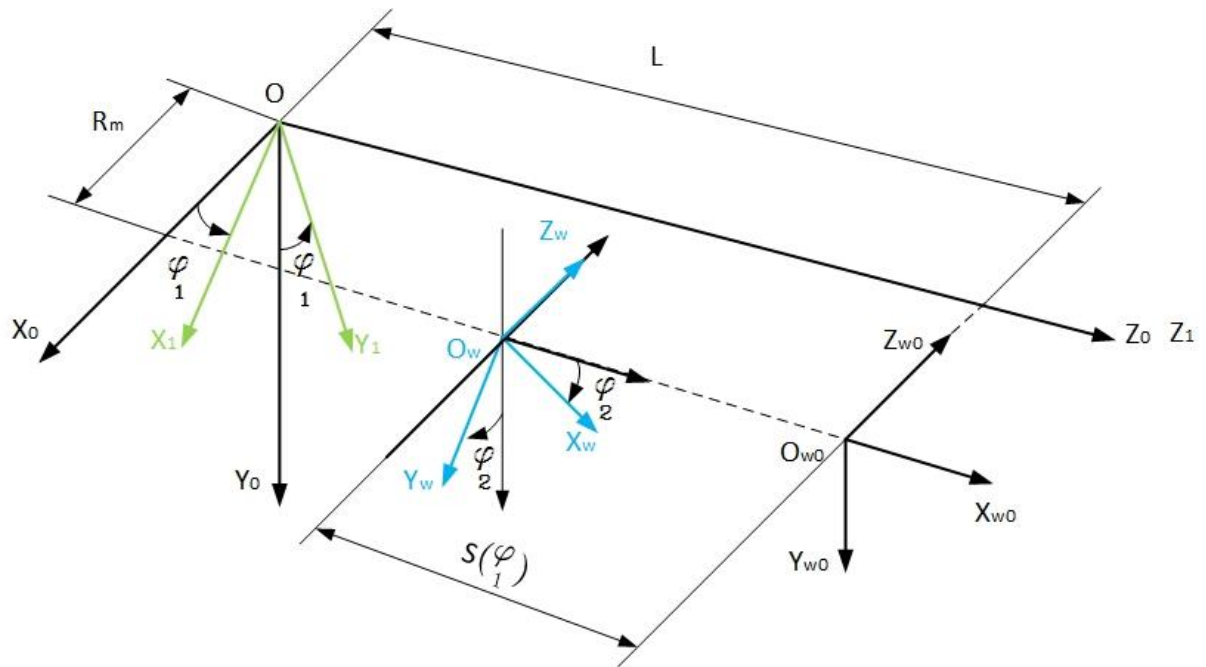
$$r_w = \begin{vmatrix} [R_{W0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \cos(\lambda) \\ [R_{W0} + u \cdot \cos(K)] \cdot -\sin(\lambda) \\ -u \cdot \sin(K) \\ 1 \end{vmatrix} \quad (10)$$

4.3 A generált felület egyenletei:

Ahhoz, hogy a maró fogai által leírt felületi görbéket megkapjuk a munkadarab koordináta rendszerében előbb a maró koordináta rendszeréből a szerszámgéphez kötött koordináta rendszerbe, majd a szerszámgép koordináta rendszeréből a munkadarab koordináta rendszerébe megyünk át. Ehhez föl kell írunk a következő transzformációs mátrixokat:

- M_{m0} transzformációs mátrixot a szerszámgéphez kötött és a munkadarab koordináta rendszerek között (9. ábra).

$$M_{m0} = \begin{vmatrix} \cos(\varphi_1) & \sin(\varphi_1) & 0 & 0 \\ -\sin(\varphi_1) & \cos(\varphi_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (11)$$



9. ábra. A koordináta rendszerek helyzete egy adott forgácsolási pillanatban

- M_{ow} transzformációs mátrixot a szerszám és a szerszámgéphez kötött koordináta rendszerek között (9. ábra).

$$M_{ow} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & -1 & R_m \\ \sin(\varphi_2) & \cos(\varphi_2) & 0 & 0 \\ \cos(\varphi_2) & -\sin(\varphi_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L - S(\varphi_1) \end{vmatrix} \quad (12)$$

- az általános helyzetű fő él egyenleteit r_w , a (10)-es oszlopban írtuk fel.

jelölések:

$\boldsymbol{\varepsilon}_1$ – a munkadarab elfordulási szöge.

$\boldsymbol{\varepsilon}_2$ – a maró elfordulási szöge.

Mivel a marókészülék az esztergapad keresztjánjára van rögzítve, a szerszám hosszanti előtolását az eszterga- előtolómű biztosítja. Esztergálás során az előtolást a munkadarab elfordulásához képest határozzuk meg, ezért mm/fordulat-ban adjuk meg. Ebből arra a következtetésre jutunk, hogy a maró hosszanti előtolása függ a munkadarab $\boldsymbol{\varepsilon}_1$ elfordulási szögétől, ezért a következőképpen adjuk meg.

$S(\boldsymbol{\varepsilon}_1)$ – a maró hosszanti előtolása.

Összeszorozva az előbbi transzformációs mátrixokat megkapjuk a maró élei által leírt felületi görbék egyenleteit:

$$r_m = M_{mo} \cdot M_{ow} \cdot r_w \quad (13)$$

$$r_m = \begin{vmatrix} \cos(\varphi_1) & \sin(\varphi_1) & 0 & 0 \\ -\sin(\varphi_1) & \cos(\varphi_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 0 & -1 & R_m \\ \sin(\varphi_2) & \cos(\varphi_2) & 0 & 0 \\ \cos(\varphi_2) & -\sin(\varphi_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L - S(\varphi_1) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} [R_{w0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \cos(\lambda) \\ [R_{w0} + u \cdot \cos(K)] \cdot -\sin(\lambda) \\ -u \cdot \sin(K) \\ 1 \end{vmatrix} \quad (14)$$

$$M_{ow} \cdot r_w = \begin{vmatrix} u \cdot \sin(K) + R_m \\ [R_{w0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \cos(\lambda) \cdot \sin\varphi_2 - [R_{w0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \sin(\lambda) \cdot \cos\varphi_2 \\ [R_{w0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \cos(\lambda) \cdot \cos\varphi_2 + [R_{w0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \sin(\lambda) \cdot \sin\varphi_2 \\ L - S(\varphi_1) \end{vmatrix} \quad (15)$$

A maró élei által leírt felületi görbék egyenletei mátrix formában:

$$r_m = \left\| \begin{array}{c} [u \cdot \sin(K) + R_m] \cdot \cos(\varphi_1) + \{[R_{W0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \cos(\lambda) \cdot \sin\varphi_2 - [R_{W0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \sin(\lambda) \cdot \cos\varphi_2\} \cdot \sin(\varphi_1) \\ [u \cdot \sin(K) + R_m] \cdot -\sin(\varphi_1) + \{[R_{W0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \cos(\lambda) \cdot \sin\varphi_2 - [R_{W0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \sin(\lambda) \cdot \cos\varphi_2\} \cdot \cos(\varphi_1) \\ [R_{W0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \cos(\lambda) \cdot \cos\varphi_2 + [R_{W0} + u \cdot \cos(K)] \cdot \sin(\lambda) \cdot \sin\varphi_2 \\ L - S(\varphi_1) \end{array} \right\| \quad (16)$$

4.4 A maró élei által leírt felületsereg tanulmányozása:

Miután fölírtuk a transzformációs mátrixokat és a tetszőleges helyzetű él egyenleteit, ezeket felhasználva a Mathcad program segítségével, le lehet szimulálni egy adott átmérőjű maró élei által leírt felületeket. A program úgy van megírva, hogy lehetőség van változtatni mind a homlokmaró mind a megmunkálandó munkadarab méreteit tetszés szerint. Ugyanakkor lehetőség van a forgácsolási paraméterek változtatására is (fordulatszám, fogankénti előtolás, hosszanti előtolás, fogásmélység, forgácsolási sebesség, az áttételi arány a maró és a munkadarab forgómozgása között).

4.4.1 A program bemenő adatai:

$R_m := 17.5$	- a munkadarab sugara [mm];
$K := 45 \cdot \frac{\pi}{180}$	- a fő él elhelyezési szög [rad];
$K_1 := 20 \cdot \frac{\pi}{180}$	- a mellékél elhelyezési szög [rad];
$L := 300$	- a megmunkálandó felület hossza [mm];
$R_w := 16$	- a maró sugara [mm];
$dw := 2 \cdot R_w$	- a maró átmérő [mm];
$Z_w := 3$	- a maró fogszáma;
$t := 2$	- a fogásmélység [mm].

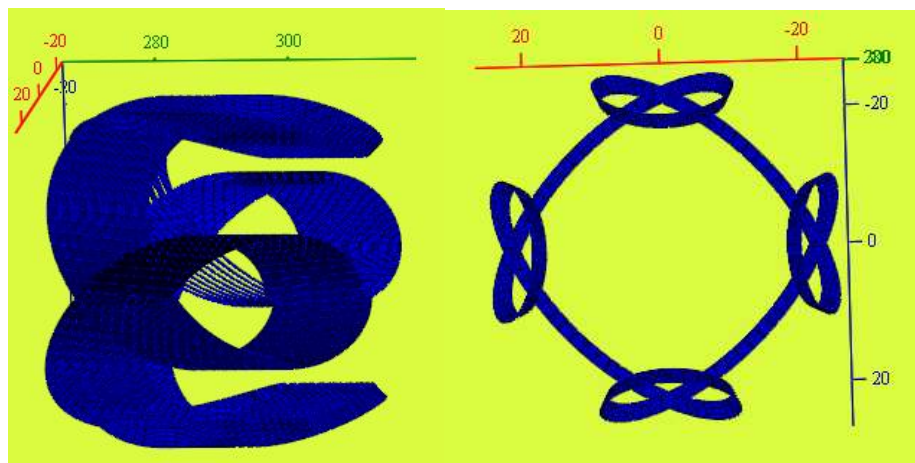
A függvényeket valamint az állandókat a következő módon adjuk meg:

$S_z := 0.12$	- a fogankénti előtolás maró esetén [mm/fog];
$S(\varphi_2) := \frac{\varphi_2^2}{2 \cdot \pi} \cdot S_z \cdot Z_w$	- a maró előtolása mm-ben az elfordulási szög szerint;
$v := 120$	- a maró forgácsolási sebessége [m/perc];
$n_2 := \frac{v \cdot 500}{\pi \cdot R_w}$	- a maró fordulatszáma [fordulat/perc];
$n_2 = 1193.662$	
$q := \frac{1}{6}$	- fordulatszám-arányossági tényező;
$n_1 := n_2 \cdot q$	
$n_1 = 198.944$	- a munkadarab fordulatszáma [fordulat/perc];
$\mathcal{Q} := n_2 \cdot S_z \cdot Z_w$	- a maró percenkénti előtolása [mm/perc];
$\mathcal{Q} = 429.718$	
$s_1 := \frac{\mathcal{Q}}{n_1}$	- az eszterga fordulatonkénti előtolása [mm/fordulat].
$s_1 = 2.16$	

4.4.2 A maró élei által generált felületek:

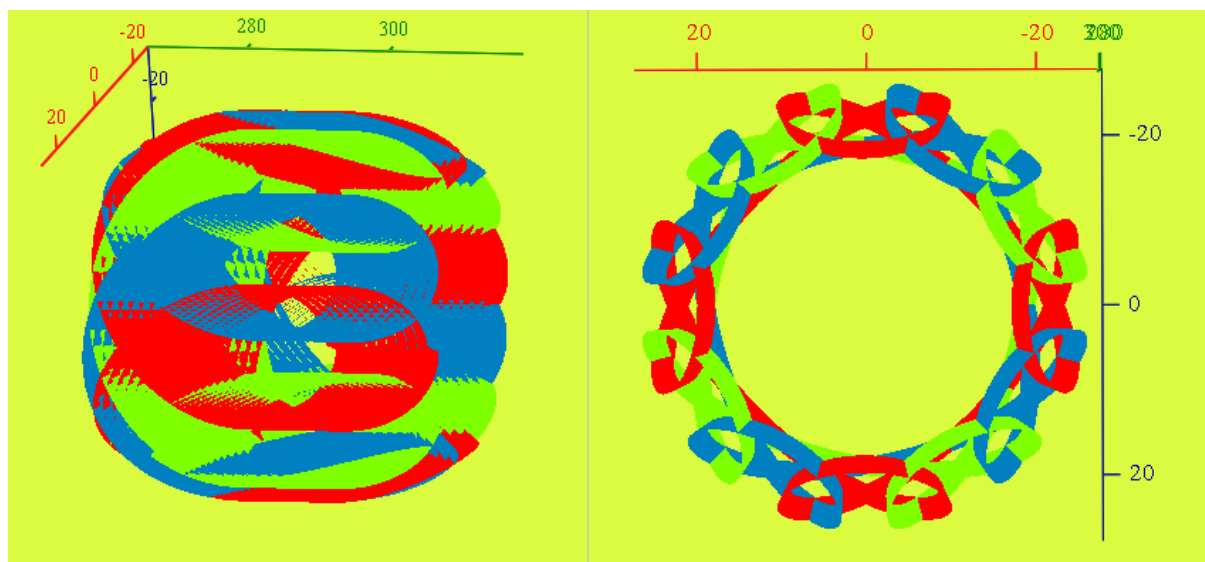
A q - arányossági tényező jelen esetben a maró és a munkadarab fordulatszáma között teremt kapcsolatot. A maró fordulatszáma jóval nagyobb kell, hogy legyen, mint a munkadarab fordulat, ahhoz hogy megfelelő legyen a maró élei által forgácsleválasztás. Ezért az arányossági tényező jelen esetben $q = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{6}$ ami azt jelenti, hogy a munkadarab egy fordulatára a maró 6 fordulatot tesz meg.

A (9. ábra) egy 35 mm átmérőjű 3 foggal rendelkező homlokmaró egy foga által leírt felületet szemlélteti, $q=1/4$ áttételi arány esetében. Az OZ_0 tengely zöld színnel jelölt, az OX_0 tengely piros és az OY_0 pedig kék. A bal oldali ábrán a munkadarabra írt felület oldalnézetét, míg a jobb oldali ábrán a homloknézetét láthatjuk. Az ábrán jól látható hogy a maró éle egy általánosított, térbeli hurkolt ciklois felületet ír le a munkadarabra.



9. ábra. A maró egy foga által leírt felületi görbék

A (10. ábra) azt az esetet szemlélteti, amikor a maró összes foga forgácsol, jelen esetben három. A szerszám fogai által leírt felületeket különböző színek jelölik.



10. ábra. A maró fogai által leírt felületek

4.4.3 A maró élei által generált felületek vizsgálata:

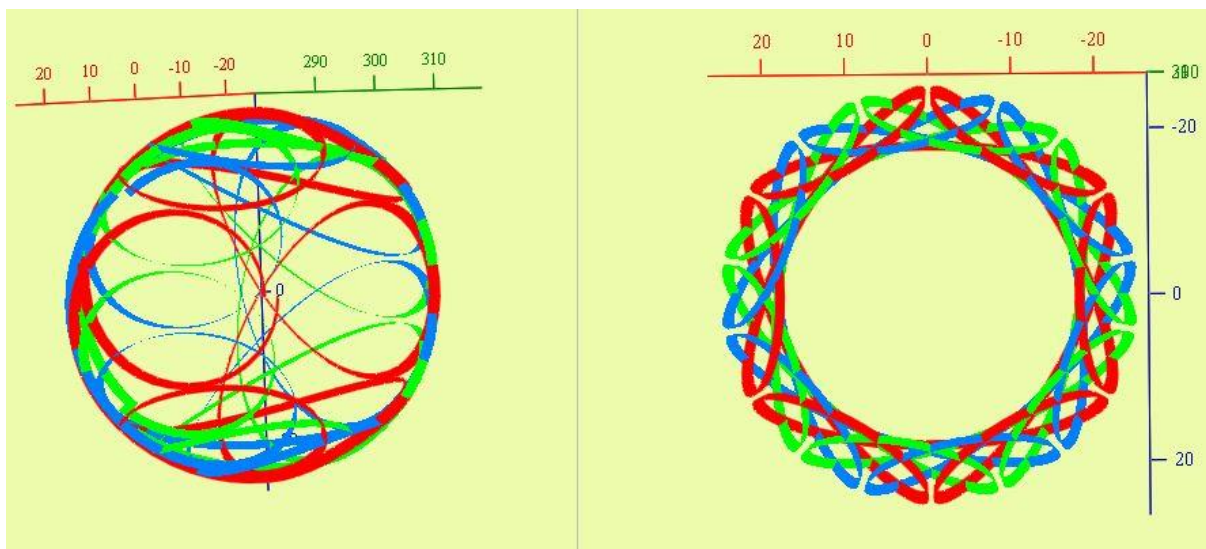
A továbbiakban vizsgálom a maró által leírt felületek evolúcióját illetve a felületi érdességek evolúcióját. Ennek érdekében a következő eseteket tárgyalom.

I. eset

Változtatom a maró fogszámot úgy, hogy a maró átmérő ($D_w = 32$ mm) és a többi bemenő adat konstans marad. A munkadarab átmérője ($D_m = 35$ mm) amely szintén konstans. A „Sandvik.coromant.com online” katalógusból választottam különböző átmérőjű hengeres szárú keményfém lapkás marókat, amelyek a következő fogszámmal rendelkeznek:

D_w maró átmérő [mm]	Z_w fogsám
32	3
40	3
50	4
63	5
80	6

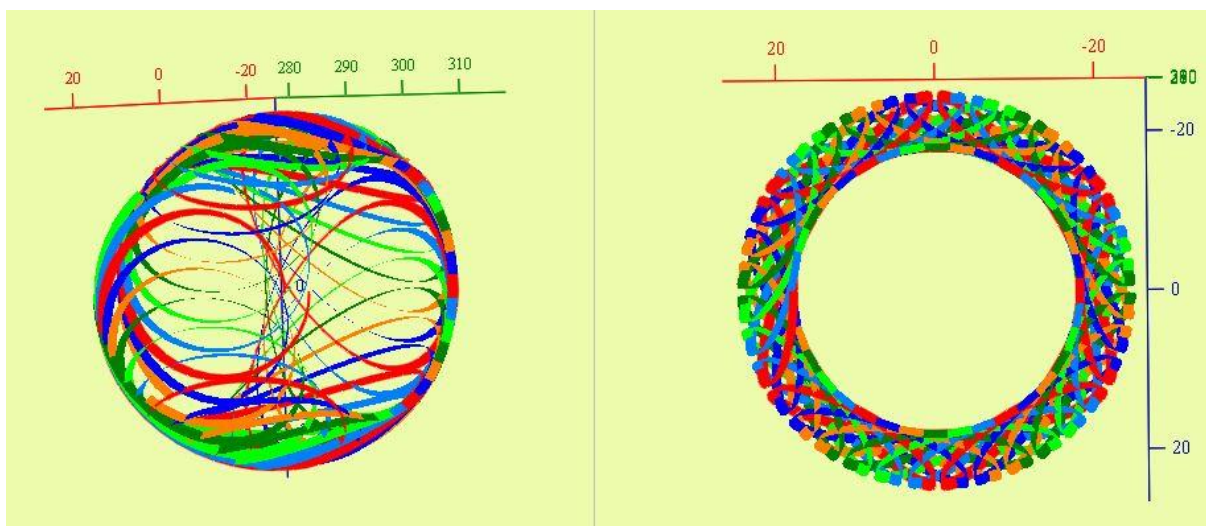
A programba növelve a fogsám-értékeket konstans átmérő mellett a következő felületek jöttek létre. A belső kontúr az élék által leírt kontúr.



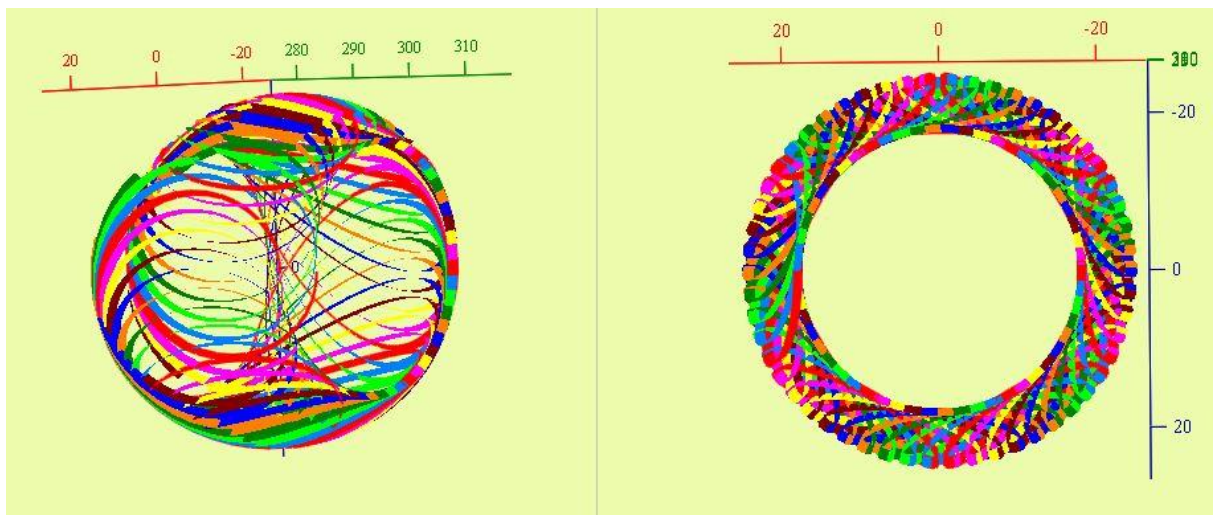
11. ábra. A $D_w=32\text{mm}$, $Z_w=3$ maró által leírt felületi görbék

A 11. ábrán jobb oldalt látszik, hogy a 32 mm-es átmérővel és 3 foggal rendelkező maró fogai által leírt görbék szögletes felületet hoznak létre a munkadarabon, tehát nem tökéletes a hengeres felület (belső kontúr).

Növelve a maró fogainak a számát konstans átmérő mellett a burkoló görbék közti távolság csökken, melynek következtében a felület egyre jobban közelít a hengeres felülethez. A maró élei egy sáv szélesség mentén forgácsolnak, és ezek a sávok egyre jobban közelítenek egymáshoz így a belső kontúr a felületek egyre jobban megközelítik a hengeres felületet. Ez a tény a következő ábrákon megfigyelhető.



12. ábra. A $D_w=32$, $Z_w=6$ maró által leírt felületek



13. ábra. A $D_w=32\text{ mm}$, $Z_w=9$ maró által leírt felületek

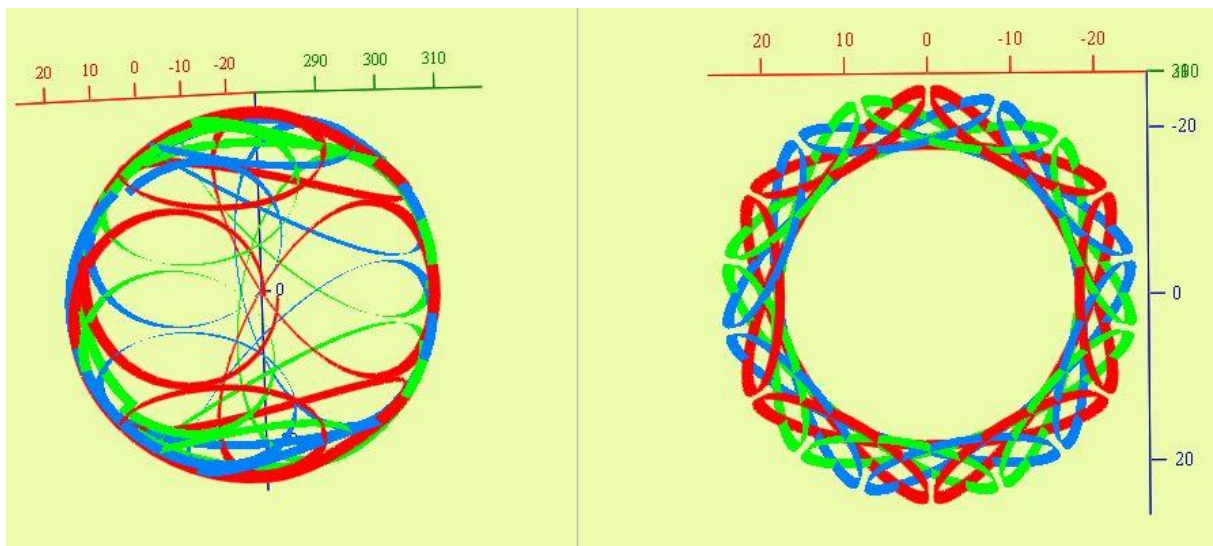
A 12. és 13. ábrákon is jól megfigyelhető, hogy a pályák közti hézag csökken a maró fogszámának növelésével konstans átmérő mellett.

Következtetés: Adott átmérőjű munkadarab esztergáló marása esetén a konstans maró átmérő mellett növelve a szerszám fogainak a számát az élek által leírt felületek annál jobban közelítenek az ideális hengeres felülethez. Ellenkező esetben az élek által leírt felületek távolodnak egymástól, ezért a leírt felület nagymértékben eltér a hengeres felülettől, szögletes felülethez jutunk.

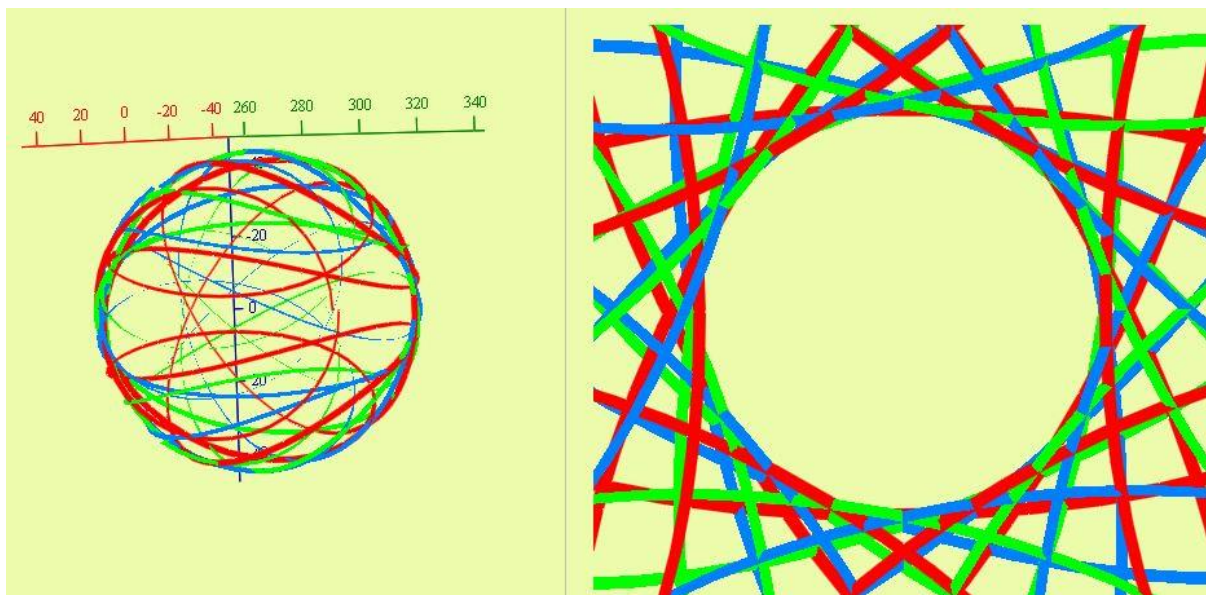
II. eset

Ebben az esetben csak a maró átmérőjét növelem a fogszám is és a többi paraméter konstans marad. A fogszám: $Z_w = 3$.

Növelve a maró átmérőjét azonos fogszám mellett arra a következtetésre jutunk, hogy növekszik a burkolt belső felület szögletességének mértéke és az átfedés csökken.



14. ábra. A $D_w=32\text{ mm}$ maró által leírt felületek konstans fogszám esetén



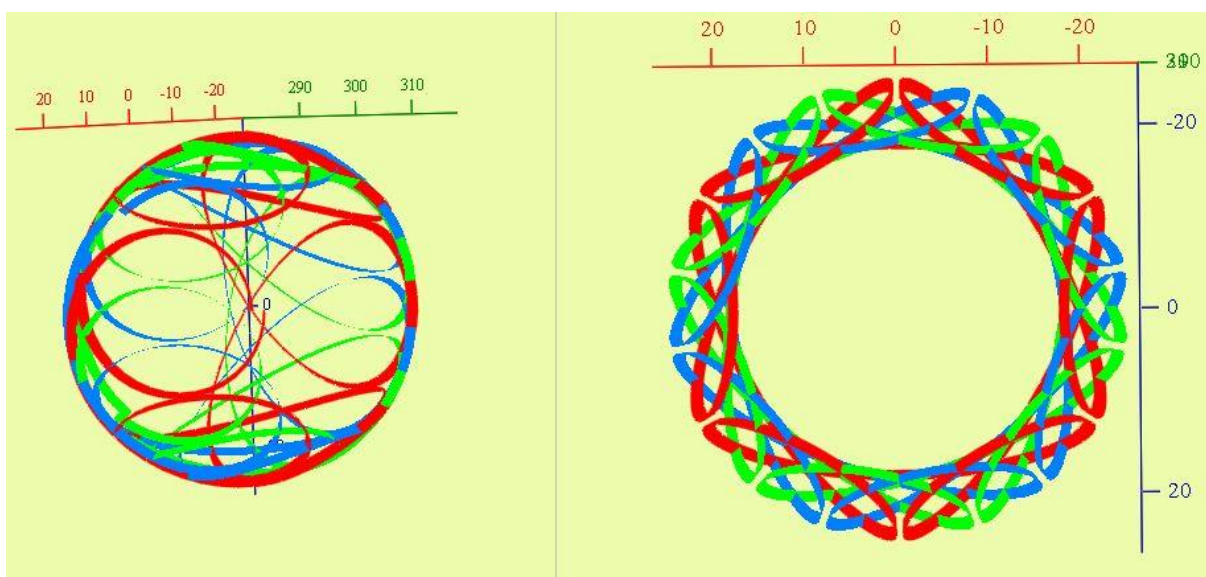
15. ábra. A $D_w=80$ mm maró által leírt felületek

Az előző két ábra szemlélteti a burkoló felületek evolúcióját abban az esetben, ha növeltük a maró átmérőjét ugyanolyan fogszám mellett.

Következtetés: Abban az esetben, ha a maró átmérője nagyobb mint a megmunkálandó darab átmérője, konstans fogszám mellett, az élek kevesebb ideig vannak forgácsolási helyzetben, ennek következtében kevésbé burkolják az élek által leírt felületek a hengeres felületet.

III. eset

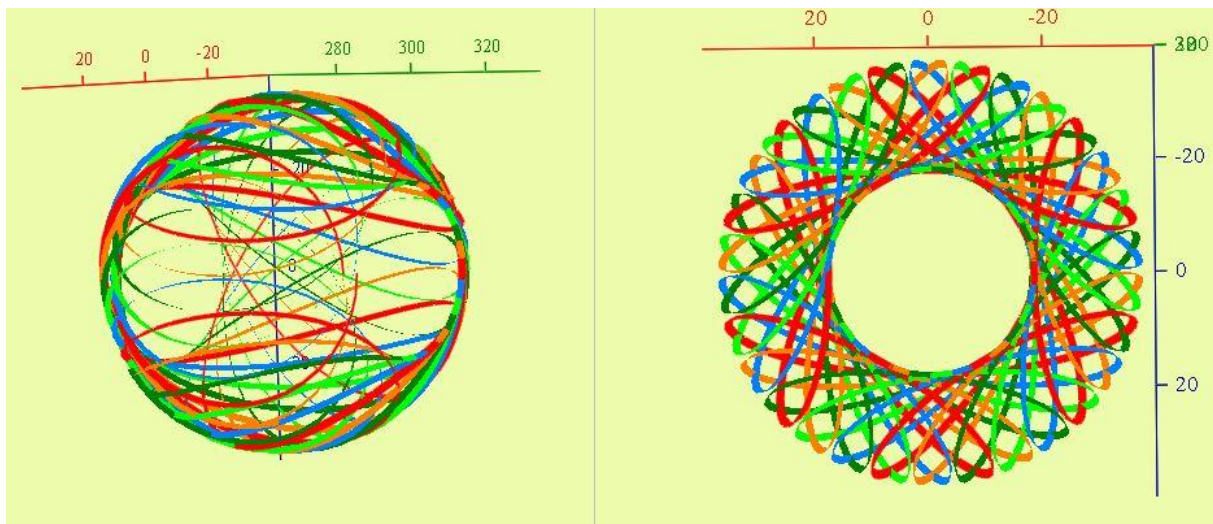
Változtatom a maró átmérőjét és a fogszámot úgy, hogy a többi bemenő adat konstans maradjon. A munkadarab átmérője $D_m=35$ mm, amely szintén konstans. A programba behelyettesítve az adott típusú homlokmaróhoz tartozó átmérő és fogszám értékeket a következő felületekhez jutunk:



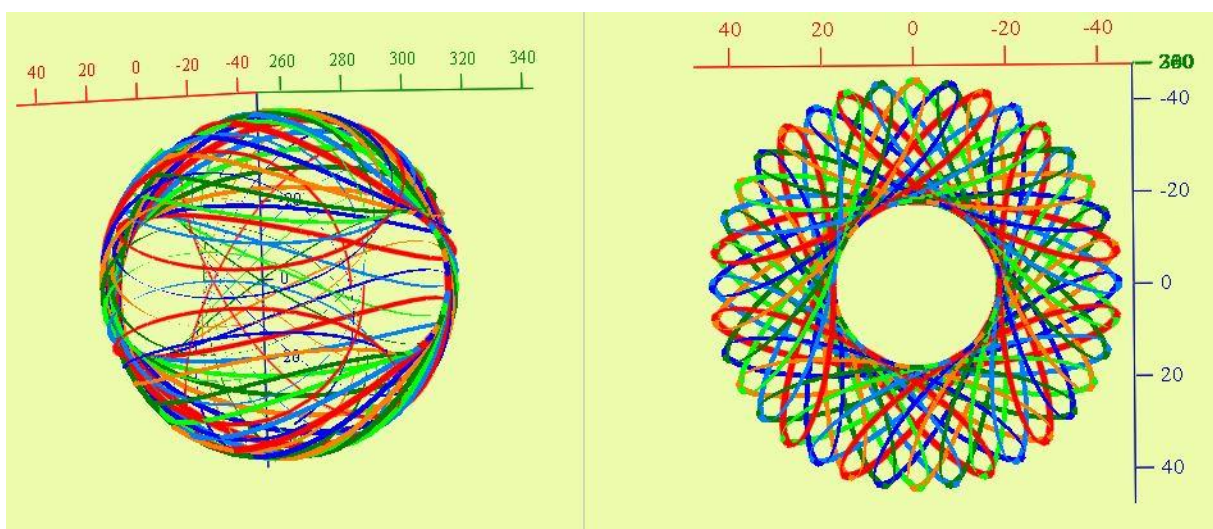
16. ábra. A $D_w=32$ mm maró által leírt felületi görbék

A 25. ábrán látszik, hogy a 32 mm-es átmérővel rendelkező maró fogai szögletes felületet hoznak létre a munkadarabon (belső kontúr), tehát nem tökéletes a burkolt felület.

A kiválasztott marók esetében minél nagyobb az szerszám átmérő és a hozzá tartozó fogszám marók élei által leírt felületek közti távolság annál jobban csökken, tehát ezek elfogadhatóan közelítik meg az ideális hengeres felületet. A nagy átmérőjű maró élei által leírt hurkok, egyre közelítenek egymáshoz, ezért a generált felület szögletessége csökken, ez a következő ábrákon jól megfigyelhető.



17. ábra. A $D_w=63$ mm maró által leírt felületek



18. ábra. A $D_w=80$ mm maró által leírt felületek

A 26. és 27. ábrákon is jól megfigyelhető, hogy a pályák közti hézag növekszik a maró átmérő és a fogszám növelésével.

Következtetés: Adott átmérőjű munkadarab esztergáló marása esetén a szerszám élei által forgácsolt felület akkor közelíti meg e hengeres felületet ha a maró átmérője kisebb mint a megmunkálandó munkadarab átmérője, és a fogak száma a lehető legnagyobb az adott átmérőjű szerszám esetén. Ellenkező esetben ezek távolodnak egymástól, ezért a burkoló felület nagymértékben eltér a hengeres felülettől. Ha a munkadarabnál nagyobb átmérőjű maróval forgácsolok növelnem kell a fogszámot ahhoz, hogy az élfelületek a legjobban megközelítsék az ideális hengeres felületet.

IV. eset

Jelen esetben változtatom az eszterga és ezzel együtt a maró szerszám hosszanti előtolását, mivel a marókészülék az eszterga késtartójának a helyére van szerelve.

Konstans adatok :

- a munkadarab átmérője (35mm);
- a maró átmérője (32mm);
- a maró fogszáma (3);
- a fogankénti előtolás (0,12 mm/fog).

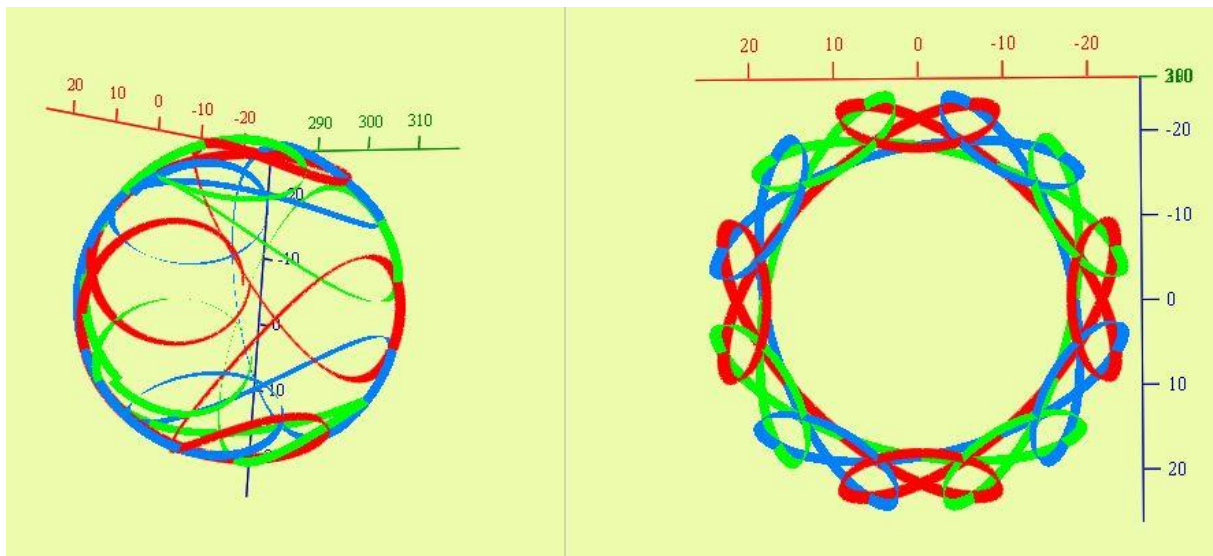
A homlokmaró szerszám hosszanti előtolását megkapjuk, ha a maró percnkénti előtolását elosztjuk a munkadarab fordulatszámával:

$$S_1 = \frac{\zeta_2}{n_1} \quad [\text{mm/fordulat}] \quad (17)$$

Ahhoz hogy változtatni tudjam a hosszanti előtolást változtatnom kell a maró forgácsolási sebességét, ezáltal változik a maró fordulatszám és a maró percnkénti előtolása (ζ_2).

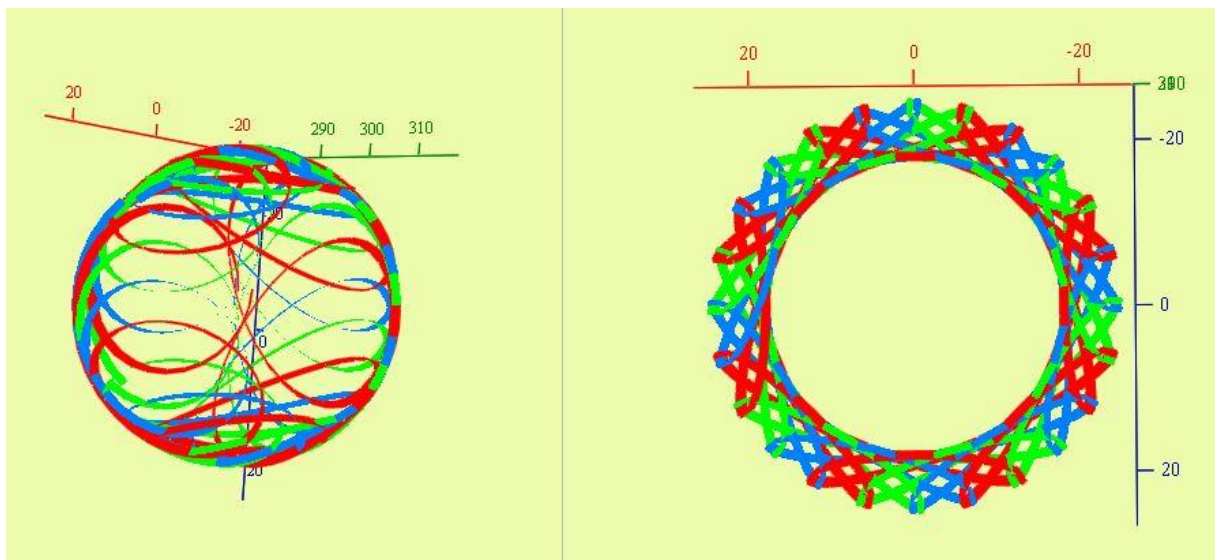
Abban az esetben, ha a munkadarab (n_1) fordulatszámát szeretném változtatni szükséges az arányossági tényező (q) változtatása.

Az elkövetkezőkben csak a q arányossági tényezőt változtatom és vizsgálom a felületi görbék evolúcióját. Kezdetben az arányossági tényező értéke: $q=1/4$, ami azt jelenti, hogy az eszterga főorsójának egy fordulata alatt a maró tengelye 4 fordulatot tesz meg.



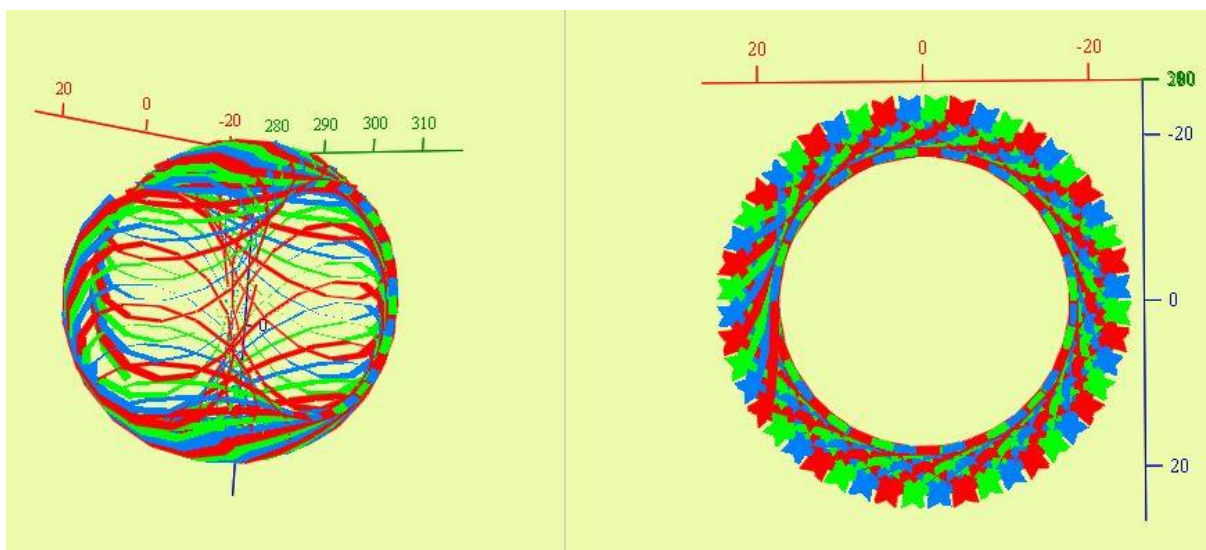
19. ábra. Kezdeti arányossági tényező esetén maró által leírt felületek, $q=1/4$

Fokozatosan csökkentve az arányossági tényezőt csökken a munkadarab fordulatszáma (n_1), ennek következtében növekszik a hosszanti előtolás értéke (S_1), konstans maró fordulatszám mellett (n_2).



20. ábra. A részfelületekevolúciója csökkentve az arányossági tényezőt $q=1/8$

Megfigyelhető, hogy az arányossági tényező további csökkenésével ($q = \frac{1}{10}, \frac{1}{12}, \frac{1}{16}, \frac{1}{20}$) a maró élei által leírt felületek egyre jobban fedik egymást, ezért egyre tökéletesebb hengeres forgásfelületet burkolnak.



21. ábra. A felületekevolúciója csökkentve az arányossági tényezőt $q=1/16$

Következtetés

Konstans maró átmérő, fogszám és fordulatszám mellett, csökkentve az arányossági tényezőt a szerszám élei által leírt felületek egyre jobban megközelítik a kívánt hengeres felületet. A szomszédos részfelületek között jó az átfedés, ezzel csökken a felületi érdesség.

A grafikai elemzésből levonhatjuk, hogy ha a maró fogszáma növekszik állandó áttételi arány mellett, akkor a szerszám élei által leírt felület szögletessége csökken.

Abban az esetben, ha megnöveljük a maró fordulatszámát a munkadarab fordulatahoz képest, ami azt jelenti, hogy a maró fogankénti előtolása csökken, akkor az élek által burkolt felület szögletessége is csökken.

3. További fejlesztési lehetőségek

Figyelembe véve mindazt, amit az eddigi illusztrációkból ki lehet mutatni, és el kell fogadni, hogy az esztergapadon való marás egyelőre nagyoló megmunkálásra, főleg nehezen forgácsolható anyagok megmunkálására alkalmazott forgácsolási eljárás. Maró használata esetén a várható szerszámkopás kisebb, mint a folyamatosan fogásban levő esztergakés esetén. Tehát hengeres felületek esztergálással történő nagyoló megmunkálása esetén előnyösebb marókészüléket használni az esztergakés helyett.

A továbbiakban célom a matematikai modell kibővítése, illetve a homlokmaró által leírt felületek mikro érdességeinek a tanulmányozása, radiális illetve tengelyszelvényben.

4. Szakirodalom

- [1] <http://www.uni-miskolc.hu/~wwwfemsz/forg3.htm> (letöltés dátuma: 2016.04.01)
- [2] Ducsay, J. Forgácsolási eljárások, Tankönyvmester kiadó, Budapest 2008.
- [3] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Mar%C3%A1s> (letöltés dátuma: 2016.04.02)
- [4] http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/5_0227_035_101115.pdf (letöltés dátuma: 2016.04.02)
- [5] Igaz, J. Forgácsoló megmunkálás II/1, Nemzeti tankönyvkiadó, Budapest.
- [6] Máté, M. Kinematika. Erdélyi Múzeum Egyesület, Kolozsvár, 2010.
- [7] Bálint, L. A forgácsoló megmunkálás tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1967.
- [8] Hollanda Dénes., Tolvaly-Rosca Ferenc. Forgácsolás és szereszámgépeken genereált felületek elmélete. Laboratóriumi gyakorlatok 2006.
- [9] Hollanda, D., Máté, M. Așchiere și scule. Editura Univ. „Petru Maior”, Tg. Mureș, 2004.

A vasúti ívek szabályozásának gyakorlata

The practice of retracting railway curves

Drd. GOCICA Marius

marius.gocica@gmail.com

Kolozsvári Műszaki Egyetem

Vezető tanár: Dr. KÖLLŐ Gábor

Kivonat

Az eredetileg szabályos geometriájú vágány a vasúti forgalom igénybevétele következtében és részben a hőmérséklet-ingadozások hatására torzulásokat szenved. Ha ezek a deformációk nincsenek rendszeresen mérve, rögzítve és nem utolsósorban korlátozva, további torzulásokhoz vezethetnek, amely egy öngeneráló romlási folyamatnak felel meg. E torzulások javítása, illetve a pályáívek szabályozása a Pályafenntartási Részlegek állandó jellegű feladata és ebben a tevékenységben a Pályageometria Mérési Laboratórium fontos szerepet játszik.

Kulcsszavak: pályageometria, vasúti pálya, érintőszög eljárás, húrmagasság, ívtorzulás

1. BEVEZETÉS

Az újan bevezetett munkamódszerek és a pálya szabályozására használt számítási eljárások előnyösen felhasználhatók a forgalom hatására eltorzult íves vágányok fenntartására annak érdekében, hogy a vonatforgalom az adott pályaszektorra tervezett sebességgel történjen.

Ahhoz, hogy a vasúti íveken történő vonatközlekedés megfelelő körülmények között történjen, különösen nagyobb sebesség esetében, a pályáíveknek a következő feltételeknek kell megfelelniük:

- Az egyenes vonal és a körív csatlakozását egy átmenetívven keresztül kell megoldani, melynek meghatározó görbületátmeneti geometriája folytonos és egyenletes kell legyen az átmenetív teljes hosszában.
- A körív görbülete (a körív sugarának reciproka értéke) és az egyenes vonal zérus görbület közötti tranzíciót egy olyan típusú átmenetívvel kell megoldani, melynek görbülete folytonosan és egyenletesen változik az átmenetív hosszán;
- Körívben korlátozni kell a görbület hirtelen változását;
- Több sugarú körív esetén az egyik görbületről a másikba való kapcsolódás átmenetívek által történjen;

2. AZ ÉRINTŐSZÖG ELJÁRÁS

A forgalom hatására az íves vágány helyzete eltorzul. Ebből kifolyólag, a kényelem és biztonság megőrzése érdekében, az íveket bizonyos időközönként szabályozni kell.

Az ívek szabályozása az a művelet, amely az ív kellően nagy számú pontjaiban meghatározzuk az oldalirányú elmozdulásokat, annak érdekében, hogy ezeknek az oldalirányú elmozdulásoknak a terepen történő alkalmazása után egy deformációmentes ívet kapjunk. Gyakorlatban, az eltorzult íves vágányok szabályozására használt módszer az érintőszög eljárás, vagy a kevésbé helyes elnevezésű szögeképeljárás.

Tegyük fel, hogy a (Δ) egyenes vonal és egy (C) pályáív az (O) pontban találkoznak. A (C) pályáív érintője az (M) pontban és a (Δ) egyenes a (φ_M) szöget képezik. Az (M) pont helyzetét a (C) ívben az (O) ponttól mérve az (l) ívhossz határozza meg.

Íves vasúti pálya alapvető geometriai meghatározója a görbület változását kifejező görbületfüggvény:

$$f_c(l) = 1/\rho \quad (1)$$

Tudva hogy :

$$d\varphi = dl/\rho(2)$$

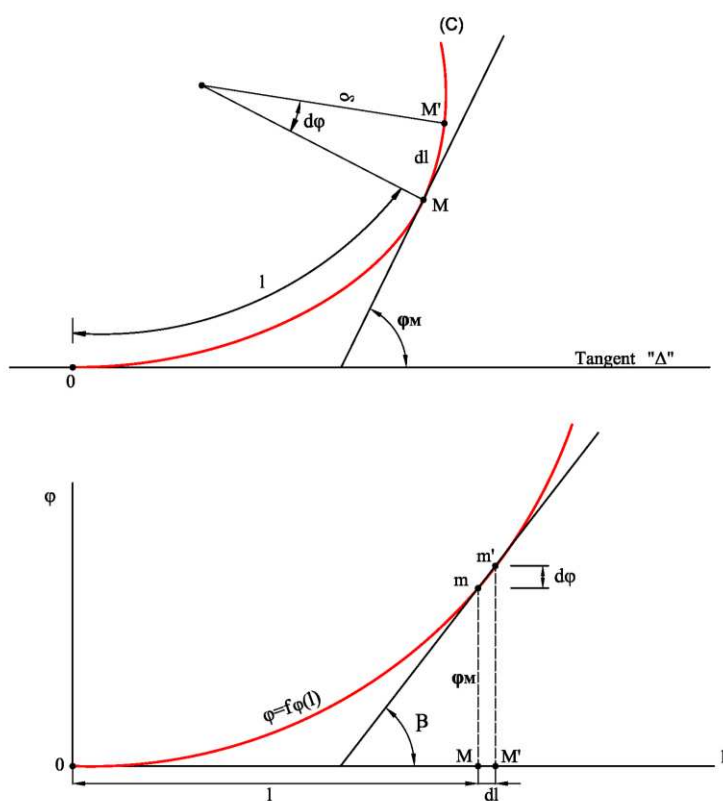
Megkapjuk:

$$d\varphi = f_c(l)dl \quad (3)$$

Illetve:

$$\varphi = \int f_c(l)dl = f_\varphi(l) \quad (4)$$

Miután megkaptuk a (φ) szög változását meghatározó függvényt, grafikusán ábrázolhatjuk a fOl tengelyek rendszerében, a diagrammot pedig érintőszögeképnek nevezzük.



1. ábra. A szögdiagram szerkesztési elve

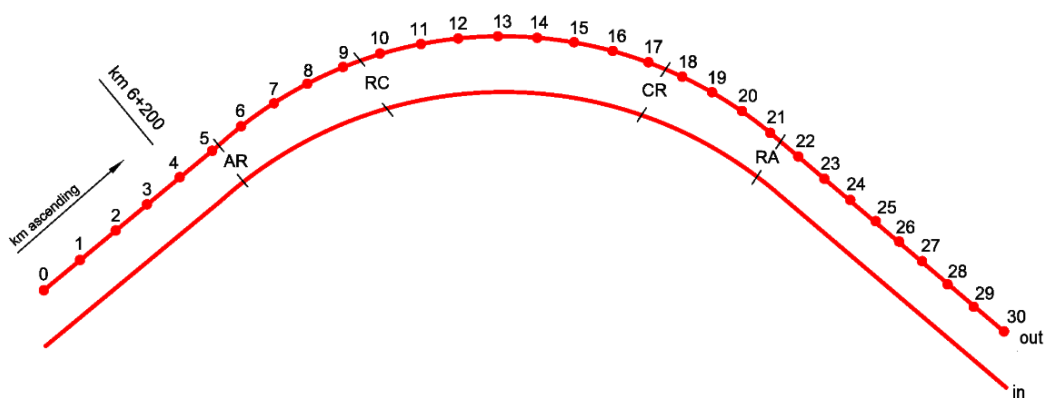
Ennek a módszernek, amely magát az eltorzult ívet használja alapvonalként, az a jellemzője, hogy a mért húrmagasságok először egymás után összegezve vannak, majd a részösszegeket egy szögdiagram elkészítéséhez használjuk fel. A diagramban feltüntetjük úgy az eltorzult ívet, mint a tervezett ív képét is, ekképpen lehetővé téve grafikus vagy analitikus úton meghatározni az eltolások irányát és értékét. Az előbb említettek értelmében a módszert szögeképeljárásnak is nevezik.

3. AZ ÍV HÚRMAGASSÁGAINAK MÉRÉSI MÓDSZERE

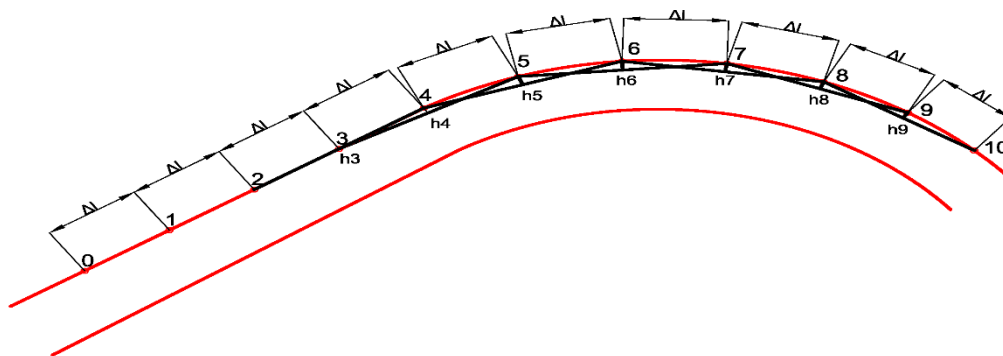
A vasúti ívek szabályozásának gyakorlata egy sor olyan műveletet foglal magában, amelyeket mind terepen, mind számítások által kell elvégezni, ekképpen meghatározva a deformált ív eltolásának nagyságát és

irányát. A kijavított ív ellenőrzése végett, az utolsó művelet keretén belül, a húrmagasság helyszíni ellenőrzésére kerül sor. Az előbb említett műveletek a következők:

- Az eltorzult ív húrmagasságainak mérése
- Az eltorzult ívet befogó pálya szintmérése annak érdekében, hogy könnyebben meg lehessen határozni a túlemelési rámpa helyzetét
- Az ív szabályozására használt számítási eljárás alkalmazása megtalálva az optimális szabályozási megoldást a terepen mért értékek figyelembevételével
- Az eltolási értékek meghatározása
- Az újonnan szabályozott ív geometriai konfigurációjának megvalósítása terepen, gépesített karbantartó berendezésekkel
- A geometriai elemek helyszíni ellenőrzése húrmagasság méréssel.



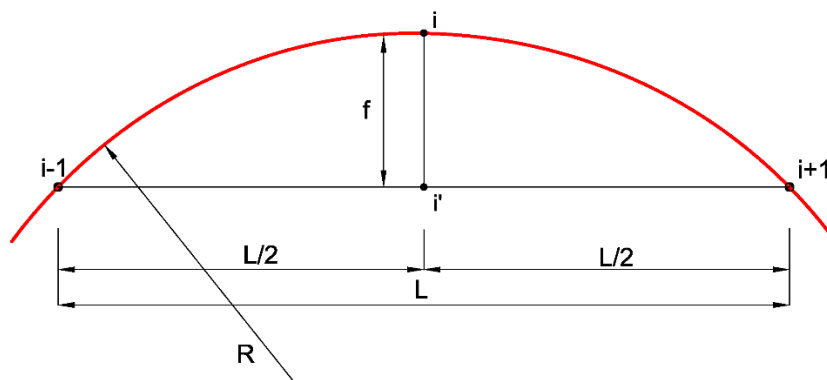
2. ábra. Mérési helyek kijelölése



3. ábra., Húrmagasságok mérése

Az ívgörbület egyenletes változása egy progresszív vasúti ívben a húrmagasságok egyenletes változását is jelenti a megfelelő ívben. A körív esetén a görbület állandó és mivel a vasúti ív húrmagassága közvetlenül kapcsolódik az ív sugarához, tekintettel arra, hogy a húr hossza kicsi (20 vagy 10 m) a görbe sugarához képest, az ív minden pontjában meg lehet határozni a húrmagasság értékét a következő képletekkel:

$$f = \frac{L^2}{8 \times R} (m) \text{ vagy } f = \frac{1000 \times L^2}{8 \times R} (mm) \quad (5)$$



4. ábra. Húrmagasság és körív sugara közötti kapcsolat

4. MÉRÉSI ESZKÖZÖK

A vasúti ív húrmagasság mérése több eszközzel is elvégezhető. Az eszközök nem ugyanazzal a húrhosszal mérnek, ellenben számításainkban a húrmagasságot az ív sugarától függően két szempontból értelmezzük:

- -10 m-es húrra vonatkozó értékek a 250 m-nél kisebb sugarú íveknél
- -20 m-es húrra vonatkozó értékek 250 m-nél nagyobb sugarú íveknél

A kézi húrmérés módszer a legelterjedtebb országunkban. Az ív külső sínszálának futóélén egymástól egyenlő (általában 10 m) távolságra kijelöljük a mérési helyeket és minden esetben a mérési helyet megelőző és követő pontokon átmenő (20 m-es) húrhoz képest megmérjük az ívmagasságot. Az ekképpen rögzített méréseket használjuk fel az eltolási értékek meghatározásához.



5. ábra. Hagyományos húrmérési módszer

Az optikai húrmérés módszere egy ELT 820 nevű eszközt használ a húrmagasságok leolvasására, amely egy állványból, egy Dresi optikai teleszkópból és egy szintezőből van kialakítva. A húrmagasság mérése egy hosszabb húrhoz (50m - 100m) viszonyítva mérik, utólag matematikai számítással 20 vagy 10 m-es húrnak megfelelő húrmagasságra alakítják és használják egy bizonyos számítási módszer keretén belül.



6. ábra. Optikai húrmérés módszere

A PT-12-01 elektronikus pályamérő szerkezet, a pálya következő geometriai paramétereit méri:

- - nyomtáv
- - pálya transzverzális szintje
- - pályatorzió
- - pálya síkbeli helyzete mindkét sín irányában

A terepi méréseket követően a pálya síkbeli helyzete mellett megtalálhatóak a mért ívek geometriai elemei és a húrmagasságok értéke a 10 m-es húrhoz, illetve a 20 m-es húrhoz viszonyítva.



7. ábra. PT-12-01 elektronikus pályamérő szerkezet

Az AM TMC-146 elektronikus pályamérő nehéz vasúti jármű, amely méri és rögzíti a pálya és a magasfeszültségi vonal paramétereit, valamint videófelvételeket is készít, miközben akár 140 km/h sebességgel halad a pályán. A TMC mérőrendszereivel végzett mérések felváltják az időszakos kézi ívméréseket mint például a szint, nyomtáv, húrmagasság, a sín függőleges és vízszintes kopása stb., de csak abban az esetben, ha a végzett mérési periódus egybeesik az előírt kézi mérési periódussal.

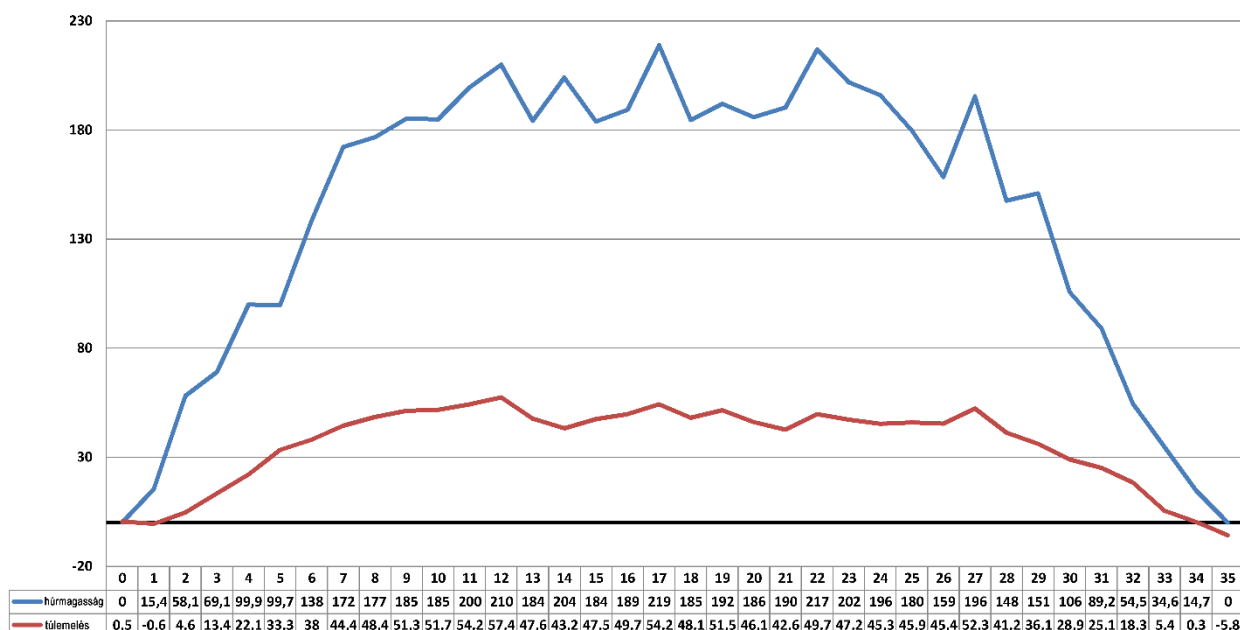


8. ábra. AM TMC-146 elektronikus pályamérő nehéz vasúti jármű

5. ESETTANULMÁNY

Az esettanulmány a PT-12-01 elektronikus pályamérő eszközzel mért vasúti ív húrmagasságait veszi figyelembe. Az ív egy jobbra eltérő ív, az átmenetív típusa a harmadfokú parabola és az adatok mérése (rögzítése) egy 350 m hosszúságú pályaszakaszon történt. A mért vasúti ívnek megfelelő pályaszakaszon a vasút forgalom 50 km/h sebességgel történt. Az ívet olyan módon volt szükséges szabályozni (javítani), hogy egy 60 km/h sebességnek feleljen meg.

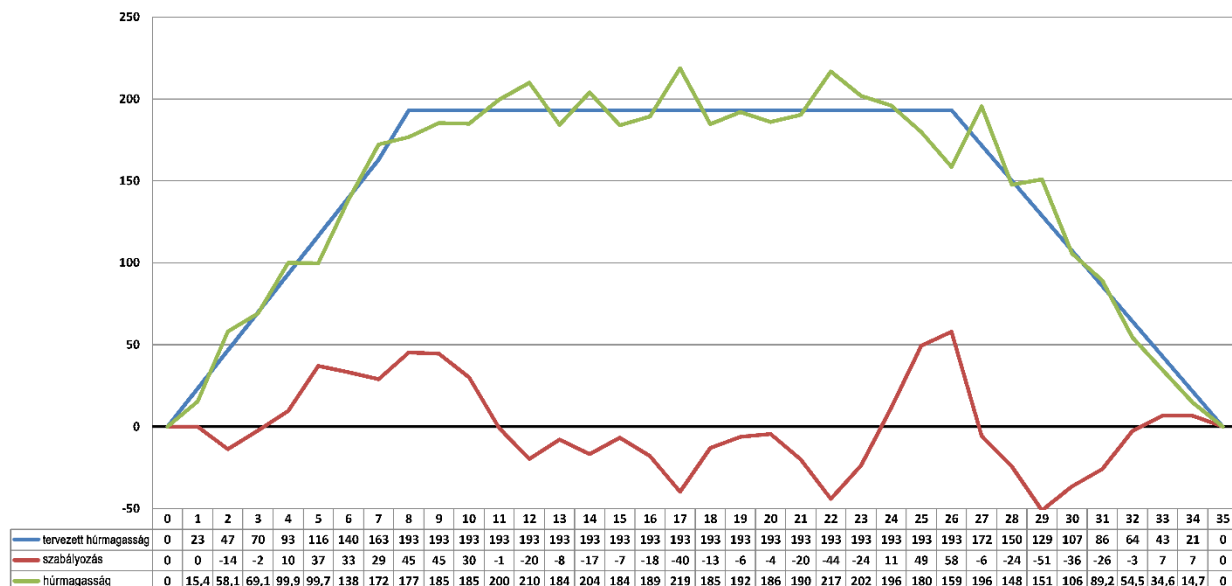
Az elektronikus pályamérő eszközzel végzett mérést követően, 10 méterenként rögzítve voltak az ív húrmagasság és túlemlés értékei amint a következő ábrában látható.



9. ábra. Mért húrmagasság és túlemlés diagramja

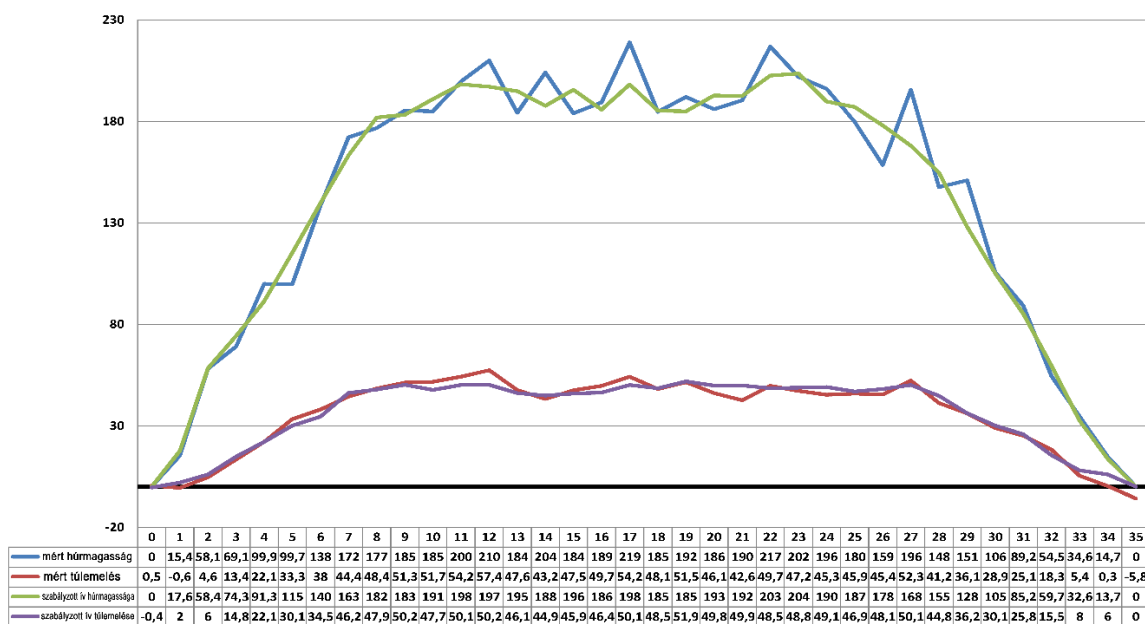
Az adatok feldolgozása az érintőszög eljárással történt és ez esetben a „kitűzési alapvonal” a meglévő pálya eltorzult vonala volt, a kitűzési ordinátákat pedig az eltorzult pálya, valamint a tervezett szabályos pálya érintőszögeinek ismeretében határoztuk meg. Ha ennek a számításnak a befejezése után újra elemezzük az

adatokat, akkor az alábbi ábrán látható a deformált ív és a tervezett ív húrmagasság diagramja, valamint az összegvonal ábrázolása.



10. ábra. Mért és tervezett húrmagasság diagramja

A számított korrekciókat továbbítottuk a pályakarbantartási részlegnek és az elemzett pályaszakasz Plas-ser & Theurer típusú vasúti vágányszabályozó gépel volt kijavítva. A terepmunka elvégzése után a teljes ívet újramértük ugyanazzal a technológiával – a PT-12-01 elektronikus pályamérő eszközzel. Az összehasonlító eredményeket a következő ábra mutatja be.



11. ábra. Javítás utáni húrmagasság és túlemlés összehasonlító diagram

6. KÖVETKEZTETÉSEK

Megjegyzendő, hogy jelenleg a vasút geometriai elemeinek mérésére különböző módszerek állnak rendelkezésünkre, amelyek célja a pálya geometriájának nyomon követése. Ugyanakkor, a forgalmi feltételek javulásához vezető torzulások kiküszöbölésére számos technológiák állnak rendelkezésünkre.

Ennek a terepen alkalmazott geometriának tökéletesnek kell lennie, de bármennyire is igyekszünk egy vasútvonalat helyesen kivitelezni vagy a legszigorúbb követelményeknek megfelelően karbantartani, mindig lesznek apró geometriai pontatlanságok. Az öngeneráló pályarongálódási folyamat miatt ezek az apró hibák idővel súlyosbodnak, ezért szükséges a pályageometria alakulásának folyamatos nyomon követése és időben történő beavatkozás, ha ezek a pontatlanságok meghaladják a szabályok által megengedett értékeket.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Herman Al., Kazinnczy L., Köllő G., Căi ferate. Elemente geometrice, Ed. MIRTON Temesvár, ISBN 978-973-52-1015-1, 2011.
- [2] Megyeri J., Vasútépítéstan, MÁV Vezérigazgatóság, 1991.
- [3] Instructia de norme si tolerante pentru constructia si intretinerea caii – nr. 314/1989
- [4] Indrumator tehnic pentru retrasarea curbilor - 1951
- [5] VDMA.663500.198 CE - Carucior de masurat calea PT-12-01. Cartea de exploatare - 2019
- [6] Instructiuni de lucru in exploatarea caruciorului de masurat calea, model PT-12-01 – 2020
- [7] TRACK GEOMETRY ASSESSMENT TROLLEYS - <https://tvema.com>

Feszített vasbeton gerendákon álló 30 méteres híd a Szamos folyón

Bridge over the Somes River standing on 30 meters length prestressed beams

KESZLER Erik-László

ekeszler77@gmail.com

Kolozsvári Műszaki Egyetem

Vezető tanára: Vladimir Marusceac

Kivonat

A dolgozat központi témája a Kolozsvári Szamos folyón levő feszített vasbeton híd optimalizálása.

Mivel a kivitelezett híd egyforma magasságú feszített vasbeton gerendákon áll, újraterveztem a hidat 3 darab 2,30 m magasságú feszített vasbeton központi gerendán és 4 darab 1.80 m magasságú feszített vasbeton szélgerendán.

A kutatáshoz szükséges számításokat a sap2000 tervezési program segítségével végeztem el.

Kulcsszavak: feszített vasbeton, sap 2000, vasbeton gerenda

1. FESZÍTETT VASBETON SZERKEZETI ELEMEK

1.1. Általános információk

A feszített vasbeton elemek a nagy szilárdságú beton és a kiváló minőségű acél kombinációja alapján jön létre, az acélmerevítés megfeszítésével és ily módon nyomóerő bevitelével a betonba, mielőtt a külső terhelést a szerkezeti elemre gyakorolnánk.

Ez az ellentétes előjelű erőfeszítések kombinációja a két alkotó anyag sokkal előnyösebb felhasználásához és a szerkezet teljesítményének növeléséhez vezet.

A szerkezet viselkedésének javítása a két hatáskategória – az előfeszítés és az ellentétes előjelű külső terhelés – által előidézett egyseges erőfeszítések miatt lehetséges.

1.2. Az előfeszítés előnyei:

- a betonkeresztmetszet teljes kihasználása az erőfeszítések átvételekor
- az előtömörítés lehetővé teszi a lehajlások és az elemek teherbíró képességének szabályozását
- a beton és a vasalás jobb minősége, mint a vasbeton elemeknél, fontos műszaki és gazdasági előnyökhöz vezet
- említésre méltó előny a szelvények nagyobb merevsége az üzemi terhelések alatt, az ütés- és kifáradásállóság, a vasalás megfeszítésével összeállított darabos (boltozatos) előregyártás lehetősége.

1.3. Az előfeszítés hátrányai:

- a zsaluzás bonyolultabb, a munkaerő- és önköltségi ár növekedését igényli
- szigorúbb ellenőrzésre van szükség a gyártás / kivitelezés során
- a tervezési folyamat bonyolultabb

2. A VIZSGÁLT SZERKEZET GEOMETRIAI JELLEMZŐI

L=30 m gerendák hossza

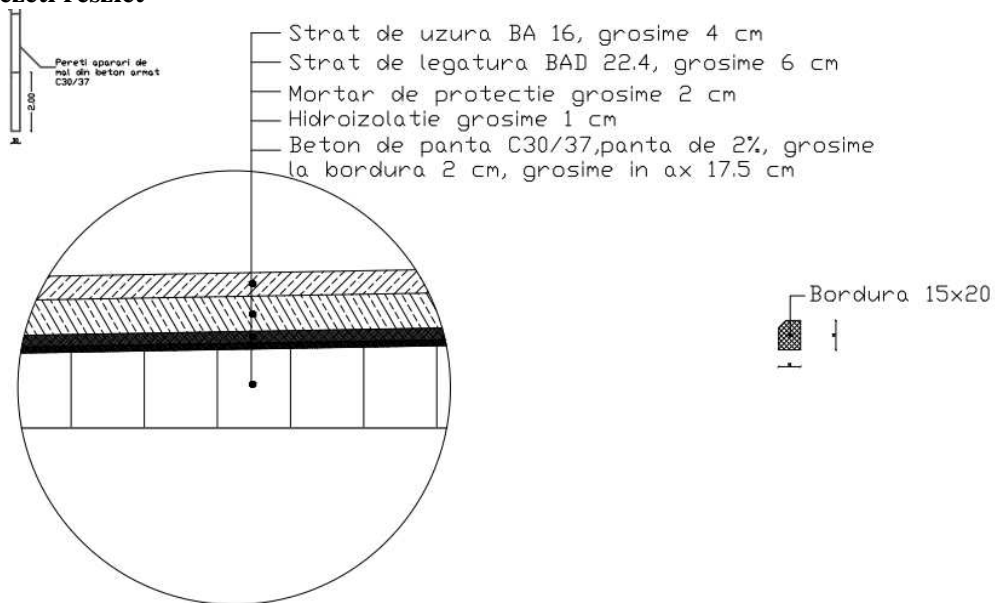
Lc=29.4 m A gerendák számítási hossza / fesztáva

Hgr= 1.8 m – 4 darab szel gerenda magassága

Hgr= 2.3 m – 3 darab középgerenda magassága

A felhasznált gerendák keresztmetszete T profil. Összesen 7 darab feszített vasbeton gerenda lett felhasználva.

Útszerkezeti részlet

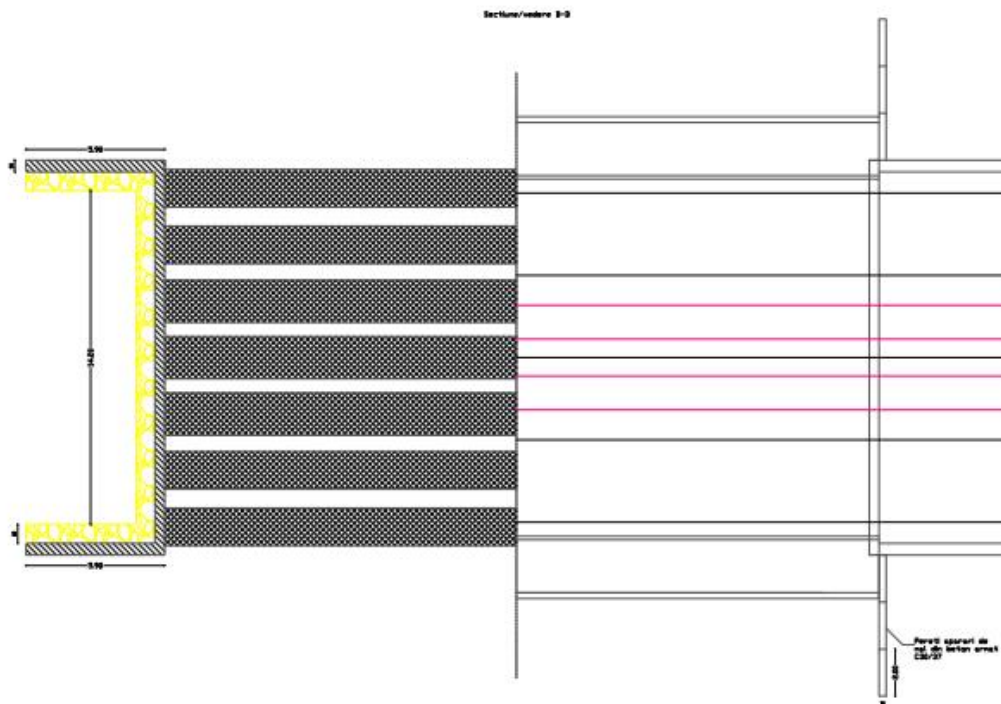


Detaliu structura rutiera

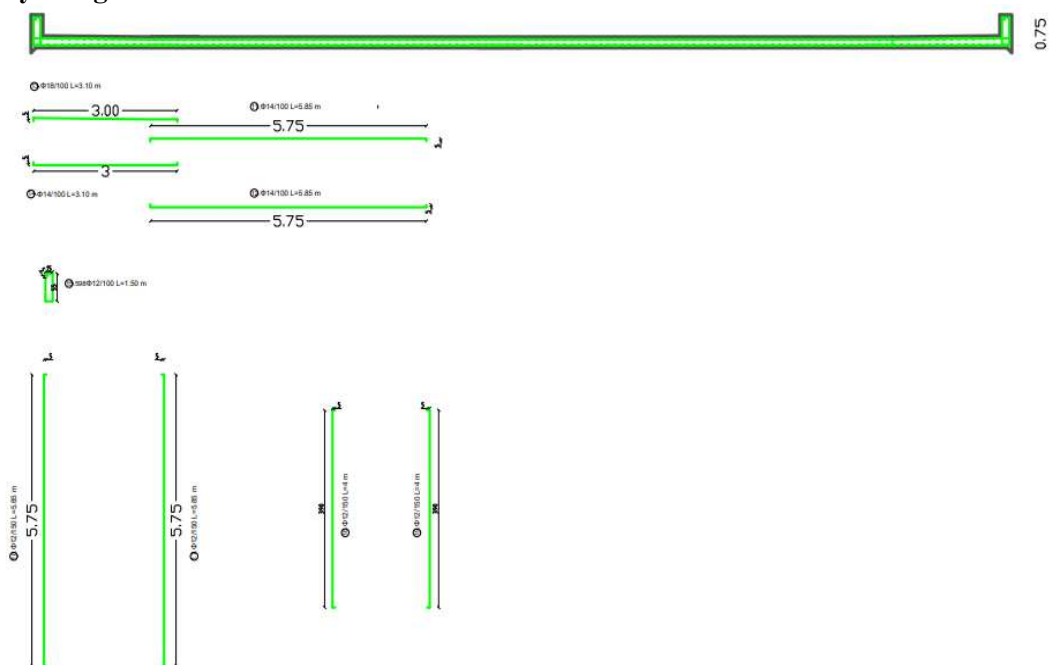
Fordítás:

- Strat de uzura = aszfalt kopóréteg
- Strat de legatura = kötőréteg
- Mortar de protectie = védőhabarcs
- Hidroizolatie = vízszigetelő réteg
- Beton de panta = kitöltő beton

Felülnézet



Híd pálya megerősítése



3. KÖVETKEZTETÉSEK

A bemutatott híd méretezési számításainak elvégzése után arra a következtetésre jutottunk, hogy az alacsonyabb keresztmetszetmagasságú peremgerendák felhasználásával gazdaságosabb megoldással kivitelezhető, azaz 1,80 méter a középső gerendák magasságát képviselő 2,30 méterhez képest. Tekintettel arra, hogy a hídon két, keresztmetszetileg a híd középső területén elhelyezkedő, villamos közlekedést szolgáló vasútvonal található, a villamosforgalomból adódó terhelések miatt a középső gerendák keresztmetszete megtartásra került, magassága 2,30 méter. A gerendákban jelentkező erő kifejtések meghatározásához az SAP 2000 szerkezetszámító szoftvert és az Eurocode LM1 és LM4 által megadott terheléseket használtam.

VÁLOGATOTT IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- 1) Onet Kiss Proiectarea structurilor din beton SR EN 1992 1
- 2) The Design of Prestressed Concrete Bridges, Concepts and Principles, by Robert Benaim
- 3) Prestressed concrete bridges, by Nigel R. Hewson

Általánosított léccerék kapcsolódás számítógépes vizsgálata

Computer aided proofing of generalized rack-wheel meshing

LÁSZLÓ Sándor

Sapientia EMTE, Marosvásárhely Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki szak

Vezető tanára: Dr. Máté Márton

Kivonat

A dolgozatban egy szimulációs-grafikus módszert mutatunk be, amellyel pontosan meghatározható a forgácsolás során lefejtendő felületek alakja. A módszer igen hatékonyan segíti a fogaskerekek fogprofiljának alakulásának vizsgálatát. A módszer lényege a testmodellek folyamatos, előre eltervezett és pontosan leírt relatív mozgás alatti ütköztetése, majd pedig a generált test létrehozása az AutoCad programcsomagban létező testkivonás-művelet alkalmazásával.

Az alkalmazott CAD módszer, az úgynevezett "kivonásos" módszer abban áll, hogy mint a valóságban a kész kivág a munkadarabból anyagot, úgy számítógépen kivonunk egy testből a forgácsoló szerszámmal hasonló testet. Míg a valóságban ez folytonosan történik, addig a számítógépen csak diszkrétizáltan, véges számú relatív helyzetben lesz végrehajtva a kivonás. A keletkezett testmodell felülete a diszkrét léptetés miatt nem lesz sima, de ha a legördülési folyamat vezérparaméterét kis értékre választjuk, akkor ez a hiba elhanyagolható. A felosztás finomságát csak a mai számítógépek számítási kapacitása határozza meg, mivel minél kisebb ennek értéke, annál több műveletet kell végrehajtson a számítógép.

Az előbbieken felvázolt módszert a hengeres evolvens fogaskerék és a vele kapcsolódó fogasléc általános relatív helyzetére elemezzük. A módszernek az a lényege, hogy a fogaskerék fogasléc hajtópárt hiperboloid hajtásként tekintem, majd ennek sajátos eseteit a következő sorrendben emelem ki:

- egyenes fogú léccel lefejtett egyenes fogú fogaskerék;
- egyenes fogú léccel lefejtett ferde fogú fogaskerék;
- ferde fogú léccel lefejtett ferde fogú kerék úgy, hogy a kerék tengelye merőleges vagy pedig kitérő a léccel haladási irányára.

A generálás kiértékelését a bonyolult számításokat elkerülendő, numerikusan végeztem el. A leszimulált fogaskerekeket összehasonlítom és következtetést vonok le a hajtás általánosíthatóságáról.

Kulcsszavak: fogasléc, fogaskerék, kapcsolódás, burkolás, szimuláció

1. EVOLVENS FOGAZATRÓL ÁLTALÁNOSAN

A hengeres fogaskerekek fogainak hordozó felülete különböző profilgörbékkel készülhet. A leggyakrabban az evolvens fogprofilot használják, amit egy körön legördülő egyenes pontjai írnak le. Ez a fogprofil, mert sok szempontból előnyös: egyenes vágóélű szerszámmal, nagy pontossággal állítható elő és könnyen ellenőrizhető a fogazat, a fogaskerekek kapcsolódása a tengelytáv kisebb mértékű hibáira nem érzékeny, a kapcsolódó fogprofilok relatív csúszása a kopás szempontjából elhanyagolható.

Evolvensstől eltérő fogprofil általában akkor használnak, ha az valamilyen szempontból előnyösebb, mint az evolvens. Például a ciklois, amit körön legördülő kör segítségével származtatnak, azért előnyösebb, mint az evolvens, mert kisebb fogszámú fogaskerekek készítésére is alkalmas, és jelentősen megnövelhető a profil kapcsolószám. Csúcsos, nyújtott és hurkolt cikloist egyaránt használnak. Ciklois fogazattal készülnek az óramű fogaskerekek, a lánckerekek [2,3].

Körív fogprofil is előfordul a gyakorlatban. A Wildhaber-Novikov fogazatnál, ahol a fogak teherbírásának növelése érdekében homorú/domború körív alakú fogprofilokat párosítanak össze, ami az érintkezési feszültségek szempontjából kedvező. Ugyanakkor az ilyen fogazat profil kapcsolószáma nagyon kicsi, a folyamatos kapcsolódás csak ferde fogazatú kerekekkel valósítható meg, költséges a fogaskerekek gyártása, és a fogak kapcsolódása nagyon érzékeny a tengelytáv-hibára.

Az evolvens fogazatú fogaskerék fontos jellemzője az alapkör, amelyen az evolvens fogprofil származtató egyenes legördül. Ennek d_b átmérője az osztókör átmérőtől és a szerszám kapcsolószögétől függ:

$$d_b = d \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

Bizonyos kritikus fogszámánál kisebb fogszámú kerek fogzásánál a fogzó szerszám benyúlik az alapkörbe, ahol már nem alakíthat ki működő evolvens fogprofil. Ebben az esetben alámetszés keletkezik, ami gyengíti a fogtövet, és kapcsolódási zavarokat okoz [1]. Az alámetszés határához tartozó kritikus fogszám a szerszám kapcsolószögétől és a fogfejmagasságtól függ. $\alpha = 20^\circ$ esetén, egyenes fogú kerekéknél az alámetszés kritikus fogszáma 17, ferdefogú kerekéknél a fogferdeség növelésével ennek értéke 13-ig csökkenthető.

Az alámetszés elkerülhető, ha a gyártáskor a szerszámot a fogaskerék középpontjától radiális irányban annyira kihúzzák, ezt nevezzük pozitív profileltolásnak, hogy a a generáló lécs fejevonala a kapcsolószakaszt az alapkör és a kapcsolóegyenes érintési pontja fölött metsse. teljes működő fogprofil az alapkörön kívülre kerüljön. Ez azonban megváltoztatja a fog alakját: növeli a fogtő vastagságát, a fogprofil görbületi sugarát, és csökkenti a fogfej vastagságát, ami esetenként a fog kihegyesedéséhez vezethet.

Negatív a profileltolás, ha a szerszámot az osztókörtől a fogaskerék középpontja felé tolják el. Ekkor csökken a fogtő vastagság és a fogprofil görbületi sugara, ami a fog teherbírása szempontjából kedvezőtlen, ezért a negatív profileltolást lehetőleg kerülni kell.

A profileltolással készült fogaskerék átmérői is megváltoznak, fej és lábkör átmérője az x_m profileltolás kétszeresével növekszik, illetve negatív profileltolás esetén csökken:

$$\begin{cases} d_a = d + 2 \cdot m + 2 \cdot x_m \\ d_f = d - 2.5 \cdot m + 2 \cdot x_m \end{cases} \quad (3)$$

Az elemi fogazatú fogaskerek az osztóköron (osztóhengeren) gördülnek le egymáson, tengelytávolságuk az osztókör sugarak összegével azonos:

$$A_0 = \frac{d_1 + d_2}{2} = m \frac{z_1 + z_2}{2} \quad (4)$$

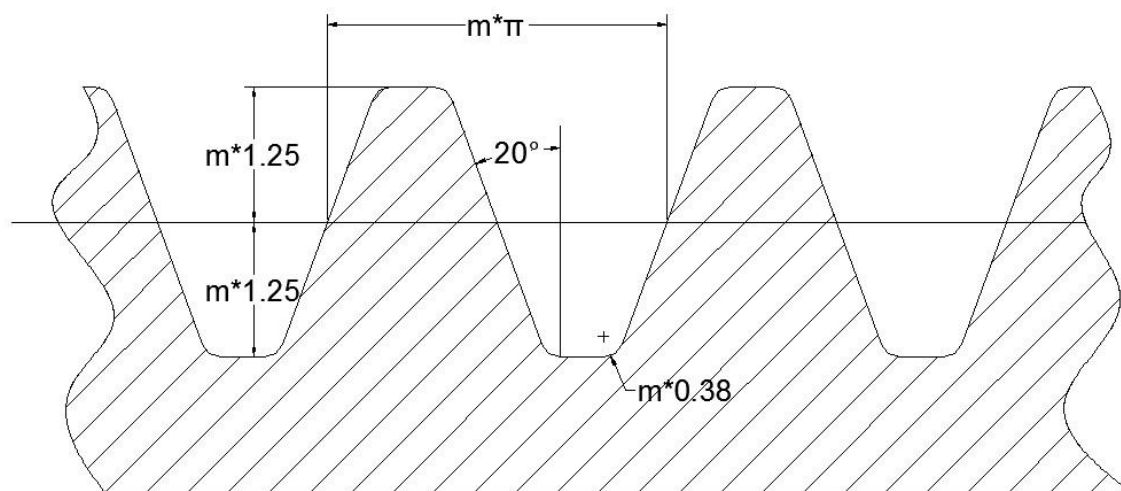
Amennyiben a fogaskerek profileltolással készülnek a kapcsolódó fogaskerek tengelytávolsága és kapcsolószöge megváltozik, kivéve ha a két keréken a profileltolás nagysága megegyezik, és előjelük ellentétes.

A lécs mint generáló elem a hajtásban

Az evolvens fogprofilú fogaskerék gyártása fogasléc alakú szerszámmal történhet a legelőnyösebb módon, mivel a kinematikai kapcsolat egyszerűsített módon megegyezik a körön legördített egyenessel. Tehát, ha a gyártandó kerék osztóköre a szerszám osztóvonalát csúszásmentesen legördítjük, akkor a fogasléc profil különböző helyzetzeihez tartozó burkológörbe a kapcsolódó kerék főgörbét adja.

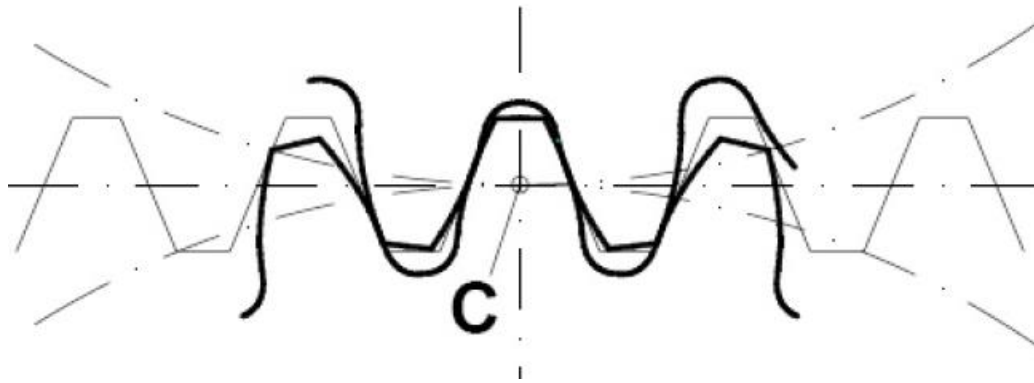
Ebben az esetben a fogasléc fogai egyszerű trapéz alakúak. Többek között emiatt terjedt el az evolvens fog használata, mivel a fogasléc alakú fogzó szerszámokat egyszerűen és nagy pontossággal lehet gyártani, különleges technológiát nem igénylő szerszámgépeken. Az evolvens fogazatok egységesítése céljából a szabványok a generáló fogasléc alakját és méreteit határozzák meg. A tényleges fogasléc méreteit a szabványos modullal való szorzás eredményeképp kapjuk meg.

Evolvens profilú hengeres kerek „Maag-féle” szerszám alapprofilja az alábbi ábrán látható:



1. ábra A lefejtő fogasléc

A szabvány által meghatározott evolvens alapprofil (fogasléc) a vele megegyező modulú fogaskerékekkel hézagmentesen kapcsolódik; és az ugyanilyen kialakítású kerek egymással is képesek helyesen kapcsolódnak.



2. ábra A matematikai fogasléc és a kapcsolódó profilok [1,2,3]

A léc és a kerék általános helyzete

A modern világban a mérnökök arra törekednek, hogy a gyártás előtt a lehető legpontosabban elkészítsék és tanulmányozzák a mechanizmusok működőképes modelljét. Ebből kiindulva jutottam arra a döntésre, hogy mi lenne, ha egy olyan kapcsolást kell megalkossunk, amiben szerepel egy ferde fogazatú fogasléc, amire egy σ szöggel elfordított fogaskerék kell kapcsolódjon. A fogaskerekek profilját az a burkológörbe határozza meg, amely a fogasléc vágóélét burkolja miközben csúszásmentesen legördül a gördülőkörön.

A léc és a kerék fogélszögek függvényében előálló lehetséges helyzeteit a 3. ábrán szemléltettük, Az t az egyezményt használjuk, hogy mind a léc, mind a kerék fogdőlés-szögének előjele pozitív, ha jobbra döntött és negatív ellenkező esetben. Ennek függvényében a léc és a kerék σ egyezményes helyzetszöge a virtuális σ_1 tengelyszög (Virtuális tengelyszögnek tekintjük a végtelen fogú kerékként tekintett léc tengelye és a fogaskerék tengelye által közre zárt szöget – ez a léc haladási irányára húzott merőleges és a fogaskerék tengelye által közre zárt szög.) pótszöge [1,6]. A 3a és 3b ábrákból egyaránt kiderül, hogy a virtuális tengelyszög a fogdőlésszögek algebrai összege, így felírható, hogy:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \beta_1 + \beta_2 \\ \sigma = 90^\circ - \sigma_1 = 90^\circ - (\beta_1 + \beta_2) \end{cases} \quad (5)$$

A 3. sz. ábrából kinúnik, hogy a léc S mértékű haladása esetében a fogasléc fogának β_1 dőlésszögű vezérvonalára merőleges irányban az elmozdulás

$$s_n = s \cdot \cos \beta_1 \quad (6)$$

Ez az elmozdulás számszerűen egyenlő kell legyen a csúszva legördült osztókörü ív kiterített normálvetületével. A 3. ábrán megfigyelhető, hogy mindkét esetre érvényes az alábbi összefüggés:

$$s_1 \cos \beta_1 = s_2 \cos \beta_2 = r_{d2} \varphi_2 \cos \beta_2 \quad (7)$$

Innen következik a kerék elfordulása és a fogasléc útja között paraméterkapcsolat:

$$s_1 = \frac{R_d \cdot \varphi_2 \cdot \cos \beta_2}{\cos \beta_1} \quad (8)$$

A modell matematikai leírása érdekében tekintsük a 3. ábrát. Három koordináta-rendszert használunk: az állványhoz kötött S_0 , a léchez kötött $S1$ és a megmunkálendő kerékhez kötött $S2$ rendszer. A kapcsolódás törvényének levezetéséhez tekintsük az osztóhengert és a léc gördülősíkját, mint a két egység relatív síkmozgásbeli axoid-felületét. A számítások és a modell egyszerűsítése végett a léc osztóvonalát befoglaló osztósíkot definiáljuk axoidként, így elemi fogazás esetét tárgyaljuk.

A fogasléc által a fogaskerék koordináta-rendszerébe létrehozott felületserег parametrikus egyenleteit a fogasléc parametrikus egyenleteire alkalmazott koordináta-transzformációval kapjuk, melynek mátrixegyenlete a következő:

$$\underline{\mathbf{r}}_2 = \mathbf{M}_{22^0} \mathbf{M}_{2^00} \mathbf{M}_{01} \underline{\mathbf{r}}_1 \quad (9)$$

A részmatrixok alakja a következő:

$$\mathbf{M}_{22^0} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10a)$$

$$\mathbf{M}_{2^0_0} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & R_d \\ -\sin \sigma & \cos \sigma & 0 & 0 \\ \cos \sigma & \sin \sigma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10b)$$

$$\mathbf{M}_{01} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{R_d \cdot \varphi_2 \cdot \cos \beta_2}{\cos \beta_1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10c)$$

A fogasléc fogfelületének egyenletei a léchez csatolt S_I rendszerben a lécsík származtatófelületének egyenletei:

A (11), (10a), (10b) és (10c) behelyettesítésével a (9) mátrixegyenletbe kapjuk a burkolt felületsereg egyenleteit:

$$S_{yt} = \frac{S_{yn}}{\cos \beta}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$$

$$v_{\tan} = \frac{v_n}{\cos \varepsilon}$$

$$v_{lec} = \frac{v_n}{\cos \beta}$$

$$v_{\tan} \cdot \cos \varepsilon = v_{lec} \cdot \cos \beta$$

SZIMULÁCIÓ

A szimuláció megvalósításához arra gondoltam, hogy mi lenne, ha AutoLisp programot írok erre, mert ennek segítségével AutoCad környezetben könnyen felépíthető és kiértékelhető a kapott testmodell. Azért is előnyös ez a módszer, mivel kevés a kezdeti bemeneti paraméter, amit a program indításakor kell megadni. A szimulációt a „kivonásos” módszer segítségével végeztem el, ami abban áll, hogy egy bizonyos előre meghatározott léptetési szöghöz kiszámítom a fogasléc hosszanti elmozdulásának új koordinátáit, majd ezután a fogasléc léptetését követően „kivonom” a kerekből a szerszámot (fogaslécet). A programot több alprogramra osztottam fel, amelyek könnyen átlátható egyszerű műveleteket hajt végre. Az eljárás lépései a következők:

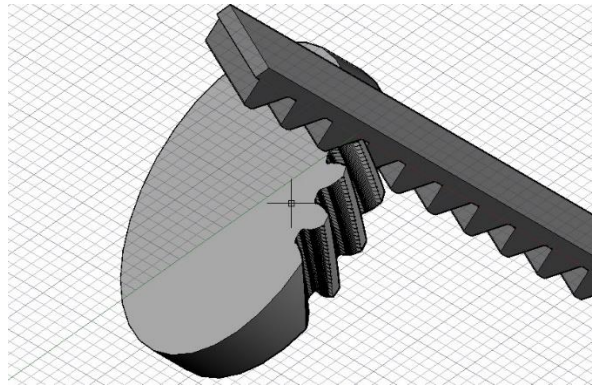
- inicializálás,
- a pontok koordinátáinak a kiszámítása,
- a fogasléc és a fogaskerék kirajzolása,
- ciklikusan kiszámítom az egységnyi forgatási szöghöz tartozó lécsík elmozdulást.

Ez az 'x' tengely menténi elmozdulást abban az esetben amikor a fogaskerék és a lécsík közötti szög értéke nulla:

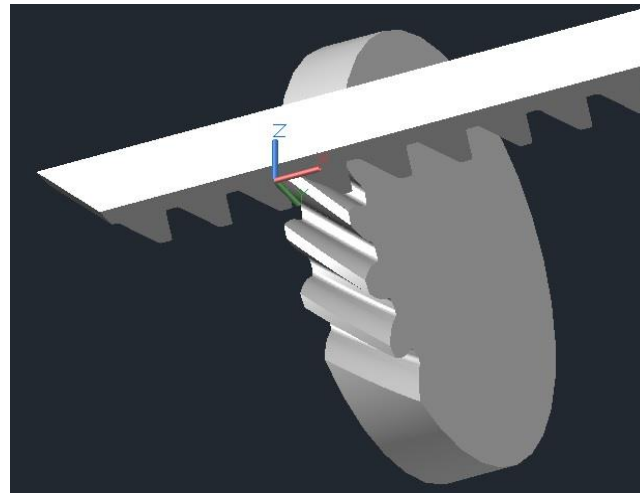
$$s = R_d \cdot \varphi$$

A fogasléc 'v' sebessége és a csatlakozó fogaskerék 'ω' szögsebessége között az alábbi összefüggés áll fenn:

$$v = \frac{d}{2} \cdot \omega = \frac{z \cdot m}{2} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$



Szimuláció 1



Szimuláció 2

KÖVETKEZTETÉSEK

Ez a kivonásos módszer könnyen átírható bármilyen más testmodell generálására.

Megfigyelhető, hogy viszonylag nagy léptetési értékre is, elég sima fogprofil felületet kapunk.

A módszerben számos továbbfejlesztési lehetőséget látok, amit az elkövetkezendő tudományos munkámban és szakdolgozatban szeretnék megvalósítani:

Gyártáskinetika pontatlanságának hibapotenciál-vizsgálata

Szerszámprofil hiba hatásvizsgálata

Irodalom

- [1] Hollanda D. Bazele aşchierii și a generării suprafețelor, Universitatea Petru Maior Târgu Mureș, Târgu Mureș, 1996.
- [2] Litvin, F.L. A fogaskerékkapcsolás elmélete. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1972.
- [3] Litvin, F.L., Fuentes, A. (trad. coord. Csibi, V.J.). Geometria angrenajelor și teorie aplicată. Dacia Könyvkiadó, Kolozsvár, 2009.
- [4] Máté, M. *Spirálfogazatu hengeres kerekek geometriája és gyártástechnológiája*. Magyar Tudományos Akadémia, Domus Hungarica egyéni kutatási ösztöndíj, B2011061 sz. pályázat, pályamunka.
- [5] Máté, M., Hollanda, D., Tolvaly-Rosca, F., Popa-Müller, I. *Az Archimédesz-féle spirális vezérgörbéjű fogazat hordképének lokalizációja a tangenciális eltolás megfelelő beállításával*. XXI-ik Nemzetközi Gépész Találkozó, Arad, 2013 ápr. 25-28, Konferenciakiadvány, ISSN 2068-1267, pp.265-268.
- [6] Máté, M., Hollanda, D. A forgácsolósebesség eloszlása hántolótárcsás fogaskerék-hántolás esetében. Műszaki Szemle, 60. sz., 2012, ISSN 1454-0746., pp.14-22.