

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



**CSAVARFELÜLETEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK INTELLIGENS
GYÁRTÓRENDSZERE
ÉS GEOMETRIAILAG HELYES MEGMUNKÁLÁSA**

PhD ÉRTEKEZÉS

KÉSZÍTETTE
MÁNDY ZOLTÁN
egyetemi tanársegéd

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA,
GÉPÉSZETI ANYAGTUDOMÁNY,
GYÁRTÁSI RENDSZEREK ÉS FOLYAMATOK ALPROGRAM

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ
VADÁSZNÉ PROF. DR. BOGNÁR GABRIELLA
egyetemi tanár
MTA doktora

TÉMATERÜLET VEZETŐ
PROF. DR. KUNDRÁK JÁNOS
professor emeritus
MTA doktora

TÉMACSOPORT VEZETŐ
DR. MAROS ZSOLT PhD
egyetemi docens

TÉMAVEZETŐ
ÓVÁRINÉ DR. HABIL. BALAJTI ZSUZSANNA
egyetemi docens

MISKOLC, 2022.

TARTALOM

TARTALOM	2
MEGEMLÉKEZÉS	4
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	5
JELÖLÉSEK JEGYZÉKE	7
1. BEVEZETÉS	10
1.1. A kutatás előzményei	10
1.2. A disszertáció célja	11
1.3. Megoldandó feladatok	11
2. A SZAKIRODALOM ELEMZÉSE	13
2.1. A csigahajtások történelmének áttekintése	13
2.2. A fogazásmélet fejlődése	14
2.2.1. A hengeres csavarfelületek szakirodalmi áttekintése	16
2.2.2. A kúpos csavarfelületek szakirodalmi áttekintése	21
2.2.3. Szerszámfelületek	22
2.3. A korszerű gyártórendszerek története	22
2.3.1. A Holonikus gyártásról	23
2.3.2. A holonikus gyártórendszerek történeti áttekintése	23
2.4. Nem-euklideszi geometriák történeti előzményeinek áttekintése	26
3. CSAVARFELÜLETEK ELŐÁLLÍTÁSA INTELLIGENS, „HOLONIKUS” GYÁRTÓRENDSZERBEN	28
3.1. A holonikus gyártórendszer általános jellemzői	28
3.2. A CIM rendszerek továbbfejlesztése	28
3.3. Struktúrák és elvek	32
3.3.1. Intelligens egységek együttműködése	33
3.3.2. Optimalás egy speciális esete	34
3.4. A szakértői rendszerek alkalmazása csavarfelületek előállítására	36
4. A GYÁRTÓRENDSZER MATEMATIKAI ADAPTÁLHATÓSÁGA	38
4.1. A neurális hálókról	38
4.2. A rendszeren belüli „tanulás”	38
4.3. A neuronok felépítése	38
4.4. A neurális hálózat topológiája	40
4.5. A többrétegű perceptron (MLP)	43
4.6. Az optimalizálás	44
4.6.1. Az optimalizálás lehetősége	45
4.7. A folyamatos korongszabályozásról	46
5. KÚPOS CSAVARFELÜLET CSÚCSELÁLLÍTÁSSAL TÖRTÉNŐ MEGMUNKÁLÁSÁNAK KONSTRUKTÍV GEOMETRIAI ELEMZÉSE ÉS A MENETEMELKEDÉSI PROBLÉMA KIKÜSZÖBÖLÉSE	48
5.1. A menesztőcsap tengelypontjainak mozgáspályái	50
5.2. A megmunkálás során fellépő menesztés problematikája	52
5.3. A menesztés konstruktív geometriai modellje	55
5.4. A forgáshenger alakú menesztőcsap mozgásátadásának vizsgálata	56
5.5. A forgáskúp alakú menesztőcsap mozgásátadásának vizsgálata	61
5.5.1. A menetemelkedési fluktuáció vizsgálata a menesztőcsap és a főorsó távolságának függvényében	63

5.5.2. A menetemelkedési fluktuáció vizsgálata a forgáskúp alakú menesztő-csap félnyílásszögének függvényében.....	64
5.6. A geometriailag helyes megmunkáláshoz szükséges menesztőcsap profil	66
5.6.1. A számítógépes program készítése	69
5.6.2. A matematikailag helyesen kialakított menesztőcsap modellje.....	70
6. KÚPFELÜLET MENTÉN ELHELYEZKEDŐ MŰKÖDŐ FELÜLETNEK FORGÁSTESEST ALAKÚ SZERSZÁMMAL VALÓ MEGMUNKÁLÁSÁNAK KINEMATIKAI ANALÍZISE	72
6.1. A transzformációs mátrixok az új konstruktív geometriai modellben.....	75
6.2. A meglévő működő korongszabályozó berendezés fejlesztett változatának bemutatása.....	82
6.3. A kúpos csigát megmunkáló köszörűkorong.....	83
7. AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGALÁSA.....	88
8. TOVÁBBFEJLESZTÉSI IRÁNYOK, LEHETŐSÉGEK.....	90
9. SUMMARY	91
10. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN	93
11. IRODALOMJEGYZÉK	95
MELLÉKLETEK	101

MEGEMLÉKEZÉS

Ezen a helyen emlékezem meg köszönetem jeléül néhai Dudás Illés Professzor Úrról, aki konzultációival, a kutatási háttér biztosításával elindított szakmai és tudományos pályámon. **Dudás Illés** mind a **hazai**, mind a **nemzetközi szakmai és társadalmi közélet elismert szaktekinétye**, aki a Miskolci Egyetem elvégzése után 17 éven át a Diósgyőri Gépgyárban dolgozott önálló tervezőként, majd a Gyártástechnológiai és Fejlesztési Osztály vezetőjeként, ahol jelentős konstrukciós és technológiai fejlesztési eredményeket ért el. Ezt követően a Konstrukciós Főosztályon hajtóművek konstrukciós kialakításának és korszerű gyártásának minősítési módszerének kutatása során **Garamvölgyi Tivadar, Drobní József és Ankli János** társszerzőkkel a **„Berendezés és eljárás főmetszetben ívelt profilú csigahajtópár geometriailag helyes gyártására alkalmas köszörűkorong profilozására”** címmel szabadalmat jelentetett be. További tudományos, kutató munkája során a **„Számjegyvezérlésű köszörűkorong-profilozó berendezés és eljárás annak vezérlésére”** címmel önállóan jelentett be szabadalmat a spiróid csigahajtás fejlesztése terén. Innen indult közös tudományos kutatómunkája **Dr. Dudás László** korábbi Informatikai Intézet vezetőjével, a **Surface Constructor**” szoftver megalkotójával.

Dudás Illés szabadalmaiban a hengeres és kúpos csavarfelületek, valamint szerszámaik gyártásgeometriájának vizsgálatára kifejlesztett általános matematikai kinematikai modellje képezi az időközben Angliában és Amerikában is megjelent **„The Theory & Practice of Worm Gear Drives”** című könyve alapját, amelyet maga **Professzor Faydor L. Litvin**, a chicagói Illionisi Egyetem professzora ajánl a könyv előszavában.

Számos nemzetközi és hazai szervezet tagja, illetve vezetője, közülük kiemelendő a MTA Anyagtudományi és Technológiai Bizottság Gyártórendszerek Albizottságának korábbi elnöke, a Magyar Professzorok Világtanácsának tudományos titkári tisztsége, ill. a Magyar Professzorok Nemzetközi Szövetségének és az Elnökségnek alapító tagja. Emellett több hazai és nemzetközi szakmai folyóirat szerkesztő bizottságának tagja.

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karán a **Sályi István Doktori Iskola alapító tagja** és egyben **vezetője** a **„Gépészeti anyagtudomány, gyártási rendszerek és folyamatok” alprogramnak**. A csigahajtás témájában iskolateremtő tevékenysége folytán számos doktorandusza védte meg PhD dolgozatát és egy habilitált Óváriné Balajti Zsuzsa személyében. Bodzás Sándor és jómagam közreműködése, valamint Dudás Illés Szabolcs társszerzősége vezetett oda, hogy a **„Konkáv menetprofilú spiróid csigahajtópár és eljárás annak köszörüléssel történő előállítására”** című fejlesztés szabadalmat kapott.

Tudományos munkája eredményeként olyan összefoglaló munka jött létre **PROMAT** néven, mely az általa alapított, a DifiCAD Mérnökiroda keretén belül működő, Csigá Tudományos Kutatócsoportot disszertációk megvalósításának eredményéhez vezette. Tiszteletbeli professzori címet kapott a Kolozsvári Műszaki Egyetemen a Harkovi Műszaki Egyetem és többek között a Szent István Egyetemen. Szakmai kitüntetései közül kiemelendő a Kiváló Újító, az MTA Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testület „Gróf Lónyai Menyhért díj” Emlékérem, a Kari Jubileumi Aranyérem, a Pro Universitate et Scientia Magyar Professzorok Világtanácsa, az Erdélyi Magyar Tudományos Társaság fejlesztéséért 10 éves jubileumi érem, a Széchenyi Professzori Ösztöndíj, az MTA – MSZH Szabadalmi Nívódíj, az Akadémiai Díj, a Bálint Lajos Pro Scientia Technologic Technológiatudományért Érem, a Miskolci Egyetemért Érdemérem, a Magyar Köztársasági Érdemrend Tisztikeresztje Polgári Tagozatának kitüntetése és legvégül a MAB Emlékérem.

Megtiszteltetés volt Professzor úr mellett dolgozni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányaimat a hagyományos egyetemi gépészmérnöki képzésben végeztem gépgyártástechnológusi szakirányon és a szerkezetek üzemeltetése kiegészítő szakirányon. A Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén 2009-ben szereztem gépészmérnöki diplomámat. Ezután az egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén kezdtem el mérnöktanárként dolgozni, majd a 2010/2011-es évtől a **Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola** levelező PhD hallgatójaként kezdtem el a felsőoktatási tevékenységemet Nyíregyházán, a Gépészmérnöki Tanszéken, majd 2011-től a Miskolci Egyetem Egészségügyi Karán folytattam min a mai napig.

A PhD témám tárgya egy CNC vezérlésű köszörűkorong-szabályozó gép, amely egy központi számítógéppel, illetve mérőgépekkel együtt ötvözi a csavarfelületek előállításának eljárását egy komplex intelligens gyártórendszert alkotva.

Kutatási háttérrel a gépen Prof. Dr. **Dudás Illés**[†] egyetemi tanár, a Miskolci Egyetemmel együttműködési megállapodásban működtetett **DIFICAD Mérnökiroda Kft.** cégénél biztosított, melyet a tervei szerint kihelyezett tanszéki kutatóhelyé átminősített formában szeretett volna tovább működtetni.

A Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén **Dr. Dudás Illés** vezetésével alakult a „Tudományos Csiga Iskola”, melyhez kötődő munkák alkották a disszertációk előzményét, nevezetesen **Dr. Bányai Károly**, **Dr. Dudás László**, **Óváriné Dr. habil. Balajti Zsuzsanna**, valamint **Dr. Csóka János**, **Monostoriné Hörcsik Renáta** és **Dr. Bodzás Sándor** munkái. Ezúton köszönöm mindannyiuk támogatását, segítségét. Továbbá a teljesség igénye nélkül, nemzetközi és hazai szinten munkájuk kapcsán kötődnek a „Csiga Tudományos Iskolához” **Prof. Dr. Faydor L. Litvin (University of Chicago)** és **Dr. Alfonso Fuentes (University of Cartagena)**, valamint **Dr. Bercsey Tibor**, **Dr. Horák Péter**, **Prof. Dr. Horváth Mátyás** és **Dr. Hegyháti József**, akiknek a tudományos munkájukból a legtöbbet használtam fel a disszertációm elkészítése munkám során.

Elsősorban köszönöm **Dr. Dudás Illés**[†] professzor úr témámhoz vezető segítségét és a számtalan konzultációs lehetőséget, illetve a sokszor igen költségigényes kísérletek elvégzésének a lehetőségét, melyet a saját terhére ő maga finanszírozott. Továbbá megköszönöm **Óváriné Dr. habil. Balajti Zsuzsanna** egyetemi docens Asszony témavezető segítségét, támogatását, aki a konstruktív geometria és Monge-projekció hazai és a nemzetközi tudományos élet elismert szaktekintélye. Mindezekon felül külön köszönöm **Dr. Bányai Károly** egyetemi adjunktus által biztosított konzultációs lehetőségeket.

A kis miskolci „Tudományos Csiga Iskola” további tagjainak szintén köszönettel tartozom, nevezetesen **Dr. Bodzás Sándornak**, aki a közelmúltban védte meg a kiváló eredménnyel PhD értekezését, **Dr. Bányai Károly** adjunktusnak, gyakorlati szaktanácsaiért és **Monostoriné Hörcsik Renáta** tanársegéd Asszonynak, akinek óráin még egyetemi hallgatóként is tanulhattam mérés technikát. Továbbá köszönettel tartozom, **Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella** elnök Asszonynak, a Sályi István Iskola vezetőjének és **Prof. Dr. Tisza Miklós**[†] egyetemi tanárnak a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola volt vezetőjének, illetve **Prof. Dr. Páczelt István** akadémikusnak az előrevivő észrevételeikért és a támogatásáért.

Ezúton köszönöm meg egykori egyetemi diploma konzulensemnek, **Dr. Cser István**[†] egyetemi docensnek önzetlen segítségét, aki a GLEDA, GTIPROG és a TAUPROG szoftverek oktatásával kellő alapot adott a mai kor szoftvereinek elsajátításához, és az „intelligens gyártórendszer” elnevezés indokoltságára rávilágított azzal, hogy a CIM, a CAM, a CAQ mind egyaránt megvalósul, hiszen a köszörűgép, a korongszabályozó, az evolvens

profil vizsgáló mérőgépekkel, illetve a HeliCAM, HeliCAD, HeliCAQ szoftverekkel egy egész gyártórendszer valósulhat meg.

Továbbá itt köszönöm meg **Családomnak**, elsősorban **Édesanyámnak**, illetve **Édesapámnak**, hogy élete végéig biztosította a nyugodt, alkotó családi hátteret. Sajnos, hogy Ő már nem érhettem meg a disszertáció megszületését.

Végezetül, de nem utolsó sorban, köszönni **Prof. Dr. Dudás Illésné**, Ügyvezető Igazgató Asszony segítő anyagi támogatását is, aki, biztosított minden technikai infrastruktúrát, a nyugodt, alkotó munka megteremtéséhez **az Invest-Trade Kft.-től**, amelynek területén kapott helyet a DIFI-CAD Kft. Mérnökiroda.

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

a, b, c (mm)	A szerszámhoz kötött álló koordináta-rendszer O_2 origójának koordinátái a K_0 álló koordináta-rendszerben
C	Érintkezési pont
a	Köszörűkorong és csigatengely távolsága
b_1 (mm)	A csiga fogazott hossza
d_1 (mm)	A csiga osztóhenger átmérője
d_{a1} (mm)	A csiga fejhenger átmérője
d_{g1} (mm)	A csiga gördülőhenger átmérője
d_{f1} (mm)	A csiga lábhenger átmérője
d_s (mm)	A maró osztóhenger átmérője
$d_{al.min}$ (mm)	A kúpos csiga legkisebb fejkörátmérő (spiroid csiga)
$d_{al.max}$ (mm)	A kúpos csiga legnagyobb fejkörátmérő (spiroid csiga)
$d_{al.min}$ (mm)	A kúpos csiga legkisebb lábkörátmérő (spiroid csiga)
$d_{fl.max}$ (mm)	A kúpos csiga legnagyobb lábkörátmérő (spiroid csiga)
h_{f1} (mm)	A csiga lábmagassága
h_{al} (mm)	A csiga fejmagassága
e	Ellipszispálya
$i_{2,1}$	Áttétel megmunkálás elemzéséhez [$i_{2,1}=(\varphi_2/\varphi_1)$]
k	Körpálya
K (mm)	A profilsugár középpont távolsága a csiga tengelyvonalától
K_0	Álló-, a megmunkáló szerszám-gép koordináta-rendszere
K_1	Lineáris mozgást végző gépasztalhoz kötött koordináta-rendszer
K_{1F}	A csavarfelülethez rögzített forgó koordináta-rendszer
K_2	A szerszámhoz rögzített álló koordináta-rendszer
K_{20}	A szerszámot generáló görbe koordináta-rendszere
K_{2F}	A szerszámhoz/kerékhez rögzített forgó koordináta-rendszer
K_k	Segéd koordináta-rendszer
K_s	A csavarfelületet generáló görbe koordináta-rendszere
m (mm)	Modul
m_{trans}	Mozgás-átadás pályája
$M_{1F,2F}$	A K_{2F} koordináta-rendszerről a K_{1F} koordináta-rendszerre átvivő transzformációs mátrix
$M_{2F,1F}$	A K_{1F} koordináta-rendszerről a K_{2F} koordináta-rendszerre átvivő transzformációs mátrix
$M_{2F,20}$	A K_{20} és a K_{2F} koordináta-rendszerek közötti transzformációs mátrix
$n^{(1)}$	A csavarfelület normálvektora
$n^{(2)}$	A szerszámfelület normálvektora
n_1 (min^{-1})	A csiga fordulatszáma

n_2	(min^{-1})	A csigakerék (spiroid kerék) fordulatszám
\mathbf{n}_{1F}		A csavarfelület normálvektora a K_{1F} koordináta-rendszerben
\mathbf{n}_{2F}		A szerszámfelület normálvektora a K_{2F} koordináta-rendszerben
$O_{0, 1, 2, K, 1F, 2F}$		Az indexnek megfelelő koordináta-rendszerek kezdőpontjai
p		Csavarparaméter
p_a		Axiális irányú emelkedési paraméter
p_h		Maró homlokfelület emelkedési paraméter
p_r		Radiális irányú emelkedési paraméter
p_t		Tangenciális irányú emelkedési paraméter
p_x	(mm)	Csiga axiális osztása
p_z	(mm)	Menetemelkedés
\mathbf{P}_{1k}		A „kinematikai leképezés mátrixa”, a direkt eljárásnál (hengeres csiga, kúpos csiga, szerszám, általános modellben)
r_D	(mm)	A csiga torokkör sugara (konvolut)
\mathbf{r}_{gsz}		A szerszámfelület generálógörbéje
\mathbf{r}_{2F}		A szerszámfelület futópontjának helyvektora
r_a	(mm)	A csiga alapkör sugara
r_k	(mm)	A menesztőcsap T_k tengelypontja által bejárt körpálya sugara
R_{sz}	(mm)	A szerszám sugara
R_{spir}	(mm)	A mozgásátadás körpályájának sugara a kúpos csiga megmunkálása esetén
S_1	(mm)	A csiga fogvastagsága
S_{1F}	(mm)	A csiga foglábvastagsága
S_{2F}	(mm)	A csigakerék foglábvastagsága
\mathbf{t}		Érintővektor
\mathbf{t}_0		Kezdő érintővektor
T_e		A menesztőcsap tengelypontja az elállított menesztővilla síkjában
T_k		A menesztőcsap tengelypontja a tokmány homloklapján
x, y		Descartes koordináták
x_1, x_2, x_3		Homogén koordináták
x_2	(mm)	Fajlagos szerszámelállítás, profileltolás tényező
x_m, y_m	(mm)	A mért pontok koordinátái
$\mathbf{v}_{1F}^{(1,2)}$	(m min^{-1})	A csavarfelület és a szerszám felület közötti relatív sebesség vektora a K_{1F} koordináta-rendszerben
$\mathbf{v}_{2F}^{(1,2)}$	(m min^{-1})	A csavarfelület és a szerszám felület közötti relatív sebesség vektora a K_{2F} koordináta-rendszerben
\mathbf{v}_k	(m min^{-1})	A csiga kerületi sebessége
\mathbf{v}_{mch}	(m min^{-1})	A gép kerületi sebessége
z_1		A csiga bekezdéseinek száma, fogszám
z_2		A csigakerék fogszáma
z_{ax}	(mm)	A csavarfelület axiális eltolása a megmunkálási helyzetbe

α (°)	Alkotószög - a szerszámnak a csavarfelület profiljára való döntésének szöge - a jellegzetes metszetben, pl.: evolvens csavarfelület köszörülése sík homlokfelületű koronggal
β (°)	Alkotószög a torok, illetve alaphenger sugár magasságában levő alkotósíkban (spiroid csiga)
β_j, β_b (°)	A kúpos csiga jobb és bal fogprofiljának profilszöge
γ (°)	A csiga osztófelületének emelkedési szöge
δ_1 (°)	A kúpos csiga referenciakúpjának félnyílásszöge
δ_{ax} (°)	Profilérintő szög
ρ_k (mm)	Köszörűkorong tengelymetszetbeli profil-sugár
ρ_{ax} (mm)	A körívprofilú csiga fogprofiljának sugara a tengelymetszetben
u (mm)	A csavarfelület belső felület-paraméterei (ahol: $\eta = u \cdot \cos\beta$)
η (mm)	
ϑ (°)	
ϑ_1 (°)	
η	A hajtómű hatásfoka
φ_1 (°)	A csavarfelület elfordulás-szöge, mozgás-, burkolás paramétere
$\omega_{(1)}$	A menesztőcsap és menesztővilla érintkezési pontjának alaphelyzetbeli szögsebessége
$\omega_{(2)}$	A menesztőcsap és menesztővilla érintkezési pontjának az elforgatott alaphelyzetbeli szögsebessége
ω_{mch}	A gép szögsebessége
ω_{wp}	A munkadarab szögsebessége

1. BEVEZETÉS

A mai technikai fejlettség szintjén a gyártmányok, a technológia és a gyártóeszközök tervezését a számítógéppel segített, vagy teljesen automatizált rendszerek veszik át. A gépipar számos területén használják a különféle csigahajtópárokat akár mozgatóorsó vagy fogazószerszám formájában, aminek következtében foglalkoznak a tervezésükkel, gyártásukkal és nem utolsósorban a minősítésükkel.

Már az 1970-es években kiemelt cél volt a Diósgyőri Gépgyár (DIGÉP) területén működő dróthúzógépeinek a hajtóművére vonatkozóan csökkenteni a zajszintet, súlyt, bekerülési költséget, ugyanakkor növelni a hatásfokot, fajlagos teljesítményt egyidejűleg a kinematikailag bonyolult szerkezet egyszerűsítésével. A DIGÉP-ben a csigahajtómű fejlesztés során több különféle típus készült el, úgymint lokalizált hordképpel a konvolut-, a gördülő elemes-, és a tengelymetszetében körív profilozott csigahajtómű. Mindent egybevetve a körív profilú csigahajtópár kimunkálása tűnt célravezetőnek. Ebben a témakörben a gyártás, a hajtópárok gyártásgeometriai fejlesztése, a hajtómű minőség-ellenőrzése és minősítése, valamint a szerszámozás területén folytatott kutatásokban elért eredményeket a disszertációm előkészítéséhez és megírásához felhasználhattam [44]. Az optimális hidrodinamikai viszonyokkal bíró, napjainkban is korszerű, komoly teherbírású és kiemelkedő hatásfokú hajtópárokkal a hajtóművekben előforduló energiavesztés szignifikánsan csökkenthető. A teljesítményvesztés szempontjából ugyanis fontos - ami valamennyi hajtástípusra fennáll -, hogy a fogazat geometriájának jellemzői közül azok kerüljenek megvalósulásra, melyek előnyös kapcsolódási viszonyokat eredményeznek. Mindezekkel együtt, az újabb kutatások a figyelmünket a spiroid hajtások felé irányították.

1.1. A kutatás előzményei

A kutatásaimat megalapozták a Dudás Illés által vezetett és OTKA [159-161] projektek, valamint az MTA – Tanszéki Kutatócsoport munkái, melyek közül az ez utóbbiban folyó munkát egyetemi hallgatóként meg is figyelhettem.

1. "Fogazott hajtópárok és hajtások optimalása, kapcsolódás elméletének és tribológiájának továbbfejlesztése "(OTKA - Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok - T 000655 BME-ME, Témavezető: **Bercsey T., Dudás I.**). A kutatás időtartama: 1991-94. A teherbírás és a veszteség szempontjából optimális fogazatok tervezése témában a BME Gépszerkeztani Intézet és a csavarfelületű fogazott elemek gyártásgeometriájának, megmunkálásának és ellenőrzésének kidolgozására a ME Gépgyártástechnológiai Tanszéke közös kutatást végzett.
2. "Optimális kapcsolódás kialakulásának feltételrendszere" című kutatás 1996 és '99 között. OTKA T 019093. (Témavezető: **Dudás I.**)
3. "Gépipari technológiák komplex analízise, különös tekintettel a bonyolult geometriai alakzatok gyártásgeometriájára és a számítógéppel segített gyártástechnológia kutatási területeire", MTA ME Gépgyártástechnológiai Kutatócsoport. A kutatás időtartama: 1996-98. (Témavezető: **Dudás I.**)
4. "3D-s mérési rendszer kifejlesztése a CCD kamerák használatával" 1995 és '97 között Magyar-Japán kutatási projekt Monbusho támogatással. (Témavezető: **Dudás I.**)
5. "CCD kamerás mérési rendszerek kifejlesztése a gépipari minőségbiztosítás területén" 1998 és 2001 között, OTKA 026566 számon. (Témavezető: **Dudás I.**)
6. "Új geometriájú spiroid hajtások kutatása, gyártásgeometria kidolgozása" címmel 2001 és 2005 között, OTKA T038288 számon. (Témavezető: **Dudás I.**)

7. „A gyártásgeometria és a kapcsolódás jellemzőinek komplex vizsgálata korszerű csigahajtások esetében” címmel 2006 és 2008 között, OTKA K 63377 számon, eredményezte **Dr. Bányai Károly, Óvári Dr. habil. Balajti Zsuzsa, Dr. Dudás László és Dr. Csóka János**, valamint **Dr. Pay Gábor** PhD doktori disszertációit.
8. Dudás I., Bodzás S., Dudás I. Sz., **Mándy Z.**: Konkáv menetprofilú spiroid csigahajtópár és eljárás annak köszörüléssel történő előállítására, társszerzőséggel szabadalmi bejelentés 2012. július 04.-én. Szabadalmi iktatószám: P1200405. A szerzők részvételének %-os megosztása a következő: Dr. Dudás Illés: 50 %, Bodzás Sándor: 20 %, Dudás Illés Szabolcs: 20 %, **Mándy Zoltán: 10%**.

A fentebb felsorolt munkáknak alapján körvonalazódnak a 3. - 6. fejezetek témakörei.

1.2. A disszertáció célja

Az integrált gyártórendszerek kutatása igencsak új iránynak mondható. Ezen belül, a spiroid hajtások elempárjainak gyártásgeometriája terén az eddigiekben megismert publikációk sajátossága, hogy a csavarfelületek kutatása során kettéválnak az elvi, illetve gyakorlati problémákat taglaló munkák. Igen csekély a konkrét gyártásra is gondot fordító elméleti kutatók száma [110, 135, 136, 137, 148, 149, 150], illetve adott problémákat a vonatkozó elmélet területén is analizáló gyakorlati szakember is kevés. [68, 91, 77, 152].

A helikoid felületek elméleti származtatása a legtöbbször egy egyenes szakasz csavarmozgásával történik. Ugyanakkor burkoló felületsorral érintkező görbe is felléphet generáló elemként. Ezen folyamat megfordításával határozzák meg a megmunkáló szerszámot. Ugyanakkor a gyakorlati problémákkal foglalkozó írásokban a gyártási problémák kerülnek felvetésre, majd megadják és minősítik a megoldást nem érintve az elméleti elemzést [71, 24].

Napjainkban már elvárható, hogy a 3D-s számítógépes koordináta mérőgépekhez hasonló, magas szintű CNC vezérlésű fogazógépek és technológiák alapján véve megváltoztassák az alkalmazott fogazási technikákat, illetve technológiát.

1.3. Megoldandó feladatok

1. Az osztott intelligencia sokrétű megoldandó problémát hordoz magában, mint például a **CIM-CAD-CAM-CAQ** kapcsolatköre például a kúpos csiga hajtások vizsgálatára, illetve a kúpos csiga pontos gyártásra vonatkozóan.

Ennek előnyei:

- a mai gyártástechnológiai problémákra ígéretes megoldás,
- megfelelő koncepció a 21. században felmerült problémákra, úgymint az intelligens gyártórendszerbe integrálásra.

2. Az intelligens gyártórendszer költséghatékony működése szempontjából egy új, lehetséges koncepció megalkotása.

3. A kúpos csavarfelületek menetköszörűgéppel történő megmunkálásának és menesztésének matematikai modellezése, a fellépő menetemelkedési fluktuáció vizsgálata a hengeres és ellenkúpos menesztőcsap összehasonlítása során, továbbá a kúpos menesztőcsap helyzet- és alakgeometriájának a menetemelkedési fluktuációra gyakorolt hatásának elemzése.

4. A kúpos csavarfelület tengelyelállítással történő gyártásához a menesztéskor használatos menesztőcsap profiljának matematikailag egzakt meghatározása pontsor helyett explicit egyenlet formájában menetemelkedési fluktuáció kiküszöbölésére.

5. A kedvező kapcsolódási viszonyokon kívül a köszörülés-technológia geometriailag helyes kialakításával biztosítani kell, hogy minden köszörűkorong szabályozás után a köszörűkorong átmérőjének változása ne befolyásolja a csiga alakját, azaz mindig a matematikailag helyes kúpos csavarfelületet állítsa elő, továbbá a csigakerekeket lefejtő szerszámot a majdan

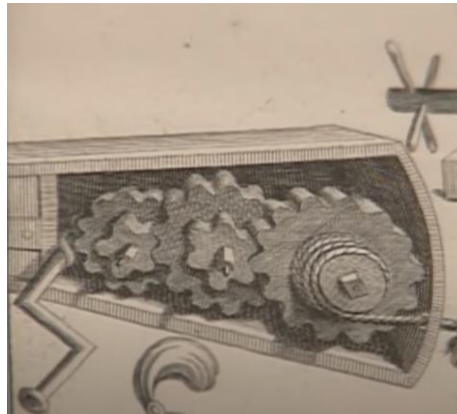
működő csigával azonosra kell köszörülni. A köszörűkorong működő felületének változását függvénnyel leírni NC alkalmazáshoz.

2. A SZAKIRODALOM ELEMZÉSE

Szakirodalmi elemzésem alapjául a meglévő szakkönyvtárában található állandó értéket képviselő könyvek szolgáltak, melyeket a szakmában járatos kollégák segítségével és az interneten végzett kutatásaimmal kibővítettem.

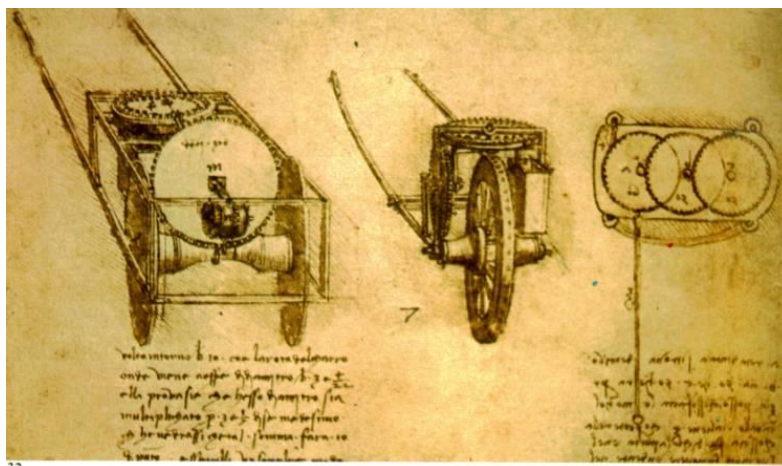
2.1. A csigahajtások történelmének áttekintése

Az első pun háború idején lett Szirakuza császára II. *Hieron*, saját erejét hajóflottaépítéssel akarta növelni. Akkor az átlagos hajók 20-30 tonnásak voltak, de a legnagyobbak sem voltak 40-50 tonnánál nagyobbak. Komoly kihívást jelentett az ekkora hajóknak a szárazdokkból vízre bocsátása. Hieron császár felkérésének Archimédész eleget tett, és egy titokban tartott emelőgépet készített, amely segítségével néhány rabszolga végrehajthatta a vízrebocsátást.



2.1.1. ábra Archimédész híressé vált barulkonja (Reuleaux)

Archimédész híres kijelentése erre vonatkozott, miszerint: „*Adjatok nekem egy biztos pontot és kiemelem sarkaiból a világot!*”. Az Alexandriában élő **Pappus** nagy gyűjteményes munkát írt i.u. 3. évszázadban, amelynek 8. könyvében részletesen írt a barulkonról, mint Archimédész találmányáról. Ezután a csigahajtásról a római építész **Vitruvius** írt a „*De Architectura*” című művében i. e. 30-16,-ban.



2.1.2. ábra Leonardo da Vinci hodometer rajza Vitruvius leírása alapján, melynek forrása a Codex Atlanticus

A római bérkocsikra felszerelt „hodometer” mérföldenként egy-egy kavicsot ejtett egy kisebb rekeszbe. Az út végén megszámolva a kavicsokat számították a viteldíjat, ezáltal ez az ókori „taxameter” kizárta az esetleges vitákat (2.2. ábra). Vitruvius máig meglévő eredeti írásában a

kocsitengelyre egy ütőfogat szerelve kapcsolódott a több fogú homlokkerékkel nagy áttétel elérésére.

Az első eredeti, csigahajtásokról készített rajzok, melyek már műszaki szempontból is értelmezhetőek, Leonardo da Vinci vázlatai között maradtak fenn, ahol a csigakerekek és csigák között még globoid csiga is szerepel. Alapjában véve **Archimédesz óta a csigahajtással nemhogy tudós, de még technikus sem foglalkozott.**

A csigahajtás méretezésének igényét a villamosmotorokkal való hajtás megjelenése váltotta ki. *Matematikában és geometriában járatos technikusok tisztán szintetikus geometriai alapokon kísérelték meg kidolgozni a csigák geometriáját.* A szintetikus geometriai, gondolkodásra ösztönző megközelítés ma is használatos, amelyet a funkcionális szemlélet mindeddig nem váltott fel. **Szeniczai Lajos** [144] munkájának újdonsága csigahajtópárok geometriájának működése szerinti vizsgálata, tekintet nélkül a csiga metszetében lévő profilra. **Wildhaber** „Helical Gearing” című művében leírt egyeduralkodó geometriai szemléletéről úgy képzelték, hogy az evolvens csiga meg fogja hozni a csigahajtás problematikájának megoldását [152]. Ezért az evolvens fogazás a praktikussága okán sokáig foglalkoztatta a német technikusokat.

Buckingham szerint az első globoid csigahajtást az angliai **Hindley** készítette 1765-ben. Amerikában elsőként 1873-ban **Hughes** és **Philips**, majd Franciaországban **Crozet-Fourneyron** készítettek globoid hajtóművet 1884-ben. A hengeres kerékkel kapcsolódó egyenes fogfelületű globoid csigát először 1922-ben **Wildhaber** használta műszerskálák pontos mozgatására, majd később ezen Wildhaber-féle hajtóműveket kidolgozták nagyobb terhelésekre is.

Litvin a **Handschub**bal közösen írt, „Development of Gear Technology and Theory of Gearing” című munkájában írt a fogaskerekek történetének jelentősebb eseményeiről és személyiségeiről. A korábbi szokások és a különböző tudományok előrehaladás eredményezte, hogy Európában, Angliában, így Németországban, sőt Oroszországban és nem utolsósorban Magyarországon is legfőképpen a **hengeres csigahajtás** terjedt el.

A **globoid csigahajtás** leginkább az USA-ban, illetve a volt Szovjetunióban terjedt el, illetve Németországban és Magyarországon is sokan foglalkoztak vele. A **spiroid csigahajtás** is a különleges csigahajtások körébe sorolható, és Amerikában lett szabadalmaztatva, ugyanakkor komoly sikereket értek el a kutatásuk terén Oroszországban, Németországban, Bulgáriában, valamint Magyarországon is.

A csigahajtások kutatásának jelentős fejlődése a XIX. és a XX. században zajlott.

2.2. A fogazáselmélet fejlődése

Néhány területen évszázadokig tartott a síkbeli fogaskerekek fogazás elméleti kutatása és az eredmények rendszerezése. A fogazott mechanizmusok elméletének két legfontosabb területéről, úgymint a fogazott elemek kapcsolódásáról, és ezek gyártásgeometriának tárgyalásáról az első írásokat a XIX. századnak a közepén jelentették meg [73, 121]. A francia **Olivier** kutatásai hosszú ideig egyedülállóak voltak ezen a területen. Az 1842-ben megjelentetett művében *szétválasztotta a fogfelületek kapcsolódásának elméletében a szintetikus és analitikus módszereket. Az ő felfogása szerint "a fogkapcsolódás kérdése teljes egészében az ábrázoló geometriához tartozik".* Az orosz Gohman megítélése szerint azonban "a fogazáselmélet a matematikai tudományág egy különleges része", ahol a matematika más területeivel szemben a kutatónak szinte "tapogatózva kell haladnia minden egyes lépésnél újabb támpontot keresve".

A két tudós általános megállapításai ellenére a mai térbeli fogazáselméletet megfogalmazták. Ugyanakkor a térbeli fogazáselmélet terén az alapok a francia géométer **Theodore Olivier** [121] és **H. I. Gohman** [74] orosz tudós munkáiban lettek lefektetve.

A térbeli felületkapcsolódás elemzésére az analitikus modellt elsőként Gohman dolgozta ki a burkolófelületek matematikai módszerének kimunkálásával együtt.

A fogazáselméletben ötvöződik a differenciálgeometria, a gyártás, tervezéssel, a mérés technikával és nem jelentéktelen mértékben a számítógépes módszerek tudományterületeivel. A fogaskerék technológiájának fejlesztésében alkalmazva a számítógépes módszereket a fogazás modern elméletére módosítva terjesztették ki annak módszertanát az ipari alkalmazásával [84, 85].

Az *ábrázoló geometria módszereivel* járultak hozzá a fogazáselmélet továbbfejlődéséhez többek között **Distelli** [31], **Stübler** [141], **Altmann** [3] és **Crain** a „Schraubenräder mit geradlinigen Eingriffsflächen Werkstattstechnik” című művében [28].

A vektor-csavar fogalmát **R. Ball** írja le először a „Theory of Screws” című művében 1900-ban. **Distelli** az elsők között alkalmazta az általános csavarmozgást kitérő tengelyű fogaskerékpárok fogfelületeinek meghatározására az 1904-ben megjelent „Über instantane Schraubengeschwindigkeiten und die Verzahnung der Hyperboloidräder” című munkájában az egyenes vonalú felületekre vonatkozóan [31] a vonal mentén érintkező fogfelületek gyártását fogalmazta meg. **Willis** [154] a „Principles of Mechanism” művében leírtakkal, **Buckingham** [26], **Wildhaber** [152] és **Dudley** [68] a „Gear handbook” című könyvében összefoglaltakkal nemzetközileg elismerté váltak ezen a szakterületen. A síkgörbék érintkezési törvényét Willis határozta meg 1841-ben.

Wildhabernek a „Helical Gearing” című munkájában a kapcsolódás elméletét fejlesztette tovább a kinematikai módszer felhasználásával, melyet **Capelle** [27] kutatási eredményei nagyszerűen bővített tovább.

Számtalan kutató ütközött a matematikai komplikáltsága miatt nehézségekbe az adott fogfelülethez kapcsolódó felületet matematikai meghatározása során. A zárt burkoló felületek párok kutatása során pl. **Hoschek** a „Zur Ermittlung von Hüllflächen in der räumlichen” című művében [84]. **Müller** a „Zur Ermittlung von Hüllflächen in der räumlichen Kinematik Monh für Mathematik” című művében talált egyedi módszert a síkbeli fogazatok egyes fajtái burkolójának meghatározásához [117].

A kapcsolódás elméleti kérdéseinek vizsgálatai *leegyszerűsíthetők a kinematikai módszerrel*, mely alapján pl. **Litvin** és a fogazás elméletének az orosz iskolája további jeles képviselője volt még **Kolchin** [89] és **Krivenko** [91] is, akik célravezető megoldásokat munkáltak ki a kapcsolódás és érintkezés kritériumaira, valamint a görbületi viszonyoknak és az interferencia-jelenségeknek a megállapítására.

A csavarfelületekről szóló munkáik alapján említendőek még **Wittig** [155], **Zalgaller** [156], aki a burkolófelületek elméletével, **Buckingham** [26], aki az evolvens csigahajtással foglalkozott.

A gyártástechnológiai kutatások, azaz a megmunkálások gyártásgeometriájának kinematikai feldolgozásának alapkérdéseit kiemelkedően **Weinhold** [151], **Perepelica** [92] világították meg.

Ezen szakterületen kiemelkedő eredményeket elérő hazai kutatók közül megemlíthetőek **Szeniczai L.** [144], **Drahoš I.** [33-35], **Lévai I.** [96-98], **Tajnafoői J.** [145], **Magyar J.** [110], **Bercsey T.** [14-21], **Drobni J.** [36-38], **Dudás Illés** [39-49], **Pay G.** [123,125], **Dudás László** [65-67] és **Máté M.** [75, 78, 113, 146]. **Szeniczai** határozta meg a "konjugált felületepár" fogalmát a kapcsolódó, kölcsönös burkolás gondolatának felvetésével [144]. **Magyar J.** [110] világította meg a külföldi szakirodalom előtt a csavarfelületű elemek kapcsolódási problémáit. **Tajnafoői J.** rendszerbe foglalta a fogazás technológiai elméletét a mozgásleképzés paraméterein keresztül [145]. **Drahoš I.** a szerszámgeometria elméletével foglalkozott, kitérve a csavarfelületek és a hipoid kúpkerék gyártásgeometriai analízisére. **Lévai I.** a térbeli hajtások sokaságának analíziséről írt. Vizsgálta a kitérő tengelyű

vonalfelületű hajtópárok fogazásmélettét, a hipoid hajtások tervezésének bonyolult kérdéskörét [96-98].

Bercsey T. az egyenes fogfelülettel rendelkező globoid csiga és hiperbolikus kerék kapcsolódását, illetve a toroid hajtásokat analizálta kinematikai módszerrel bizonyítva más térbeli hajtásokra vonatkozó alkalmazhatóságát [14-21].

Németországban az evolvens fogazásra alapuló csigahajtópárok változataként **Bilz** a „Ein Beitrag zur Entwicklung des Globoidschneckengetriebes zu einem leistungsfähigen„ című munkájában kifejlesztette a hengeres kerekű globoid csigahajtópárok csoportjába illeszthető "TU-ME" globoid hajtást [22], amelynek elméleti analizisét **Drahos I.** végezte el.

A globoid csigahajtások kutatásával, illetve köszörülhető globoid csigahajtás kidolgozásával kandidátusi disszertációjában **Drobni J.** foglalkozott [37]. E szakterületen ért el kitűnő eredményeket **Siposs I.** [138] munkájával, illetve **Páy G.** a belső csigahajtások fejlesztésével [123], **Máté M.** [75, 78, 113, 146] a különböző típusú hajtópárok kutatásával, valamint **Dudás László** újszerű köszörűgép konstrukciójával és az *Elérés modell* létrehozásával, a kinematikai módszernek egy, a kapcsolódó fogfelületek számítására alkalmas opciójával. A Surface Constructor szoftverével több aspektusból is támogatja különböző hajtások elempárjaihoz szerszámfelület származtatását, kapcsolódó fogfelületét, mechanizmusok tervezését [65, 66, 67].

Dudás Illés kidolgozta és szabadalmaztatta a tengelymetszetben **körív profilú csigát**, valamint a konkáv profilú **spiroid hajtást**, annak gyártási eljárásával és elméletével [51, M1].

Dudás Illés a hengeres és kúpos csiga hajtások vizsgálatára, elemeinek gyártásgeometriai fejlesztésére általános matematikai modellt dolgozott ki. Nemzetközi szinten is elismert, kimagasló értéket képvisel angol nyelven megjelent könyve, melyben a csigahajtópárok kapcsolódásáról, hordképelemzéséről, elemeinek gyártásáról kiváló részletességgel írt [44]. Foglalkozott a pillanatnyi érintkezési vonalak tribológiai szempontból kedvező tartományával, az érintkezési vonal adott pontjához tartozó érintő és a relatív sebesség által bezárt szögterület alapján.

Balajti Zsuzsa a tengelymetszetben körív profilú hengeres csiga hajtás hordképe és a fogprofil geometriai paramétereinek közti összefüggéseket tárta fel a hordképet meghatározó a csomópontok helyzetétől függően habitációs tézisfűzetében [7]. Az ívelt csiga tribológiáját vizsgálta **Horák Péter** [79-81]. **Simon Vilmos** a hengeres és a globoid csigahajtások geometriai viszonyainak vizsgálatával, illetve a súrlódási veszteséggel foglalkozott, valamint a teherbírás szempontjából optimalizálta az áramlás és hőtechnikai kenés-modell sémáján [135-137]. **Pay Jenő** és **Pay Gábor** a belső csiga hajtások kutatásával és fejlesztésével foglalkozott munkáiban [123, 124, 125]. **Balajti Zsuzsa** a kúpos és hengeres csiga hajtópárok gyártásgeometriai modelljének projektív térmodellel való kapcsolatát tárta fel [7, 9], valamint a gyártási pontosság növelésére kidolgozta a kétkamerás mérés rekonstruálhatóságának biztosítására a kamerapozíciók és a Monge-tégla pontjainak megfeleltetését [8], annak vizsgálati módszerét.

2.2.1. A hengeres csavarfelületek szakirodalmi áttekintése

A hengeres csavarfelület alkotója szerint lehet egyenes alkotójú és göbe alkotójú felület. A nem vonalfelületű helikoid hajtások egyik szignifikáns osztályát képezik a ZK típusú felületek, amelyeket megmunkáló szerszámok meridiánvonala egyenes, amint az olvasható **Litvin** [99-108,133], **Maros-Killmann-Rohonyi** [111], **Niemann** és **Winter** [118] munkáiban. A szerszám egyenes alkotójának relatív helyzete a helikoid felülethez képest meghatározza az adott típust a ZK csoporton belül. A megmunkáló szerszám és a munkadarab kinematikája meghatározza csavarfelület profilját.

2.2.1.1. A vonalfelületű hengeres csigahajtások áttekintése

A XX. század elejétől a vonalfelületű csigahajtások terén számos kutató ért el eredményeket. Európában, USA-ban és Ázsiában egyaránt foglalkoztak – és értek el eredményeket – e hajtások [17, 22, 24, 34, 41, 81, 90, 117, 145] gyártásgeometriai kialakításuknak a kutatásával, illetve minősítésével.

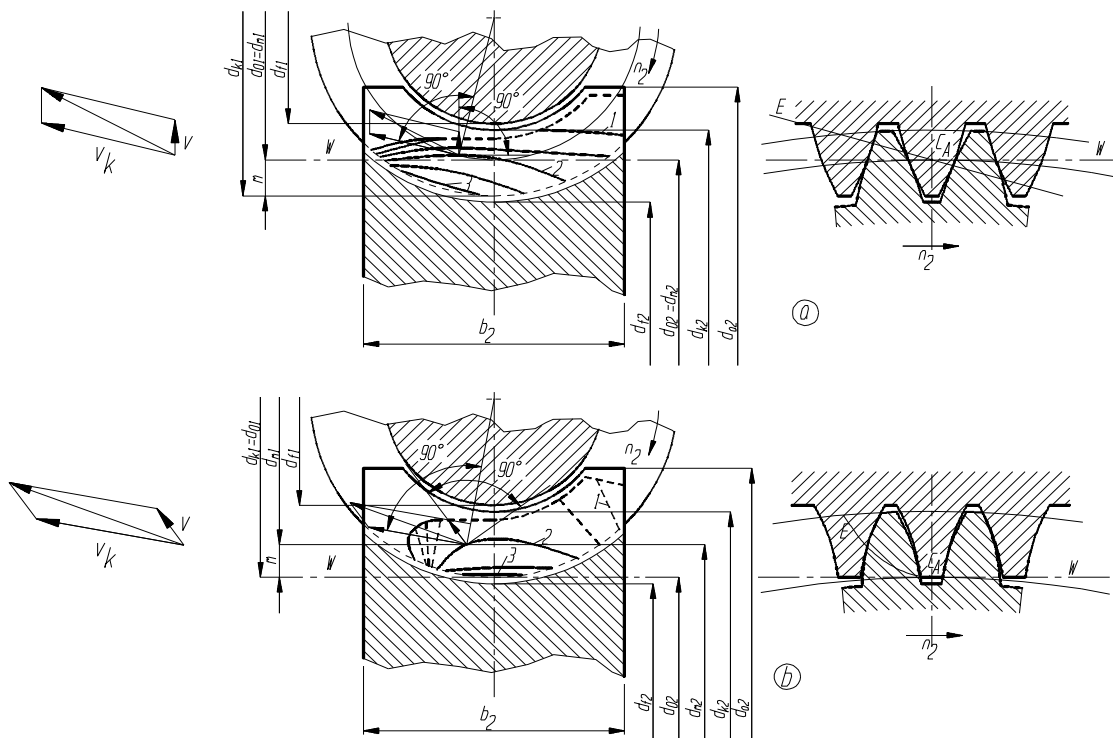
Magyarországon korábban elsősorban az egyenes alkotójú csavarfelületekkel foglalkoztak a kutatók. Az 1945-ös éveket követő ipari fellendülés igényének megfelelően a Szakirodalmunkat gazdagították **Drahos I.** [32-35], **Drobni J.**, **Szarka Z.** [38], és **Tajnafői J.**, aki kandidátusi értekezésében [145] a fogazásmérettel szoros kapcsolatban álló mozgásleképzések alapelveit is tisztázta rámutatva az alámetszések technológiai okaira.

2.2.1.2. Az ívelt profilú hengeres csigahajtások áttekintése

A hengeres csavarfelületek szignifikáns csoportja a körív profilú szerszámmal megmunkált csiga. A megmunkáló szerszám és a csiga kinematikai viszonyaitól függően a körív profil elhelyezhető a csiga működő felületének tengely- vagy normálmetszetében, vagy a csigatengellyel párhuzamos valamely síkban [36, 46, 130], de akár körív tengelymetszetű tárcsa alakú szerszámmal történő megmunkálása esetén [44].

Az archimedesi, konvolut, evolvens egyenes alkotójú csigák és a kapcsolódó kerek fogfelületei kevésbé alkalmasak arra, hogy a köztük szükséges olajfilm kialakulhasson. Az olajfilm kialakulásához az a megfelelő, ha a hajtás érintkezési pontjában a relatív sebesség és a közös felületi normális irányának hajlásszöge minél inkább megközelíti a merőleget. A körív profilú csigák ennek jóval kedvezőbb feltételeit tudják adni. Az angol **David Brown** cége gyártotta az első ilyen típusú hajtópárt, mely csiga axiális metszetben domborúan ívelt, így a kapcsolódó kerék homorúan ívelt profilú.

A hidrodinamikai viszonyok alapján **Niemann G.** vizsgálatai alapján megállapította, hogy a körív profilú csigák kedvezőek e szempontból [118, 119, 120], melynek magyarázatára a [118] alapján 2.3. ábrán feltüntetésre kerültek az egyenes alkotójú evolvens és ívelt profilú (Cavex) hengeres csigák karakterisztikus görbéi. A csiga csúszósebességének vektora közel párhuzamos az 1, 2 és 3 jelű érintkező görbék érintőivel.

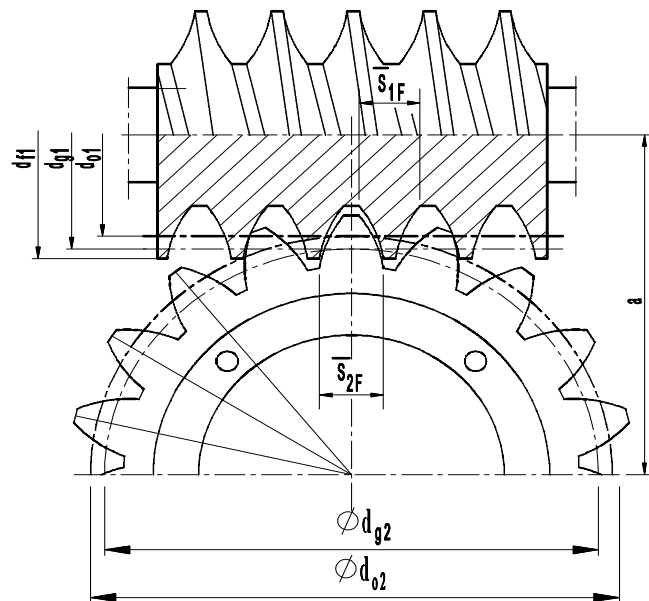


2.2.1.1.1. ábra Fogkapcsolódás és fogoldalak érintkezési vonalai, E kapcsolóvonal a főmetszetben a) ábra evolvens csigahajtás, b) ábra ívelt profilú (Cavex) csigahajtás esetén.

A fő paraméterek azonosak [4, 19, 158].

Niemann G. szabadalma alapján dolgozta ki a német Flender cég a Cavex típusú csigahajtásokat. Az érintkezési pontban a pillanatnyi érintkezési görbe érintője közel merőleges a relatív sebesség vektorára, a fogak közötti relatív sebesség irányában az ék alakú hézagnak köszönhetően folytonos hordképes olajfilm alakulhat ki a hidrodinamikai kenéshez. Az érintkezési vonalra merőleges v sebesség a pillanatnyi érintkezési vonal adott pontjának vándorlási sebessége. Ezen sebesség minél nagyobb, annál kedvezőbb a kapcsolódás és a megfelelő hidrodinamikai nyomás. A 2.2.1.1.1. ábra szerint egyszerre 2-3 kerékfog kapcsolódik. Az érintkezési görbe egy fognál a fog kapcsolatba lépésétől a kilépésig az 1, 2, majd 3 sorrendben változik a fogoldalakon. További előnye az ívelt profilú hajtópárnának, hogy az érintkező fogfelületek görbületi sugarai a felületi normálisnak ugyanazon oldalán vannak, ezért egy homorú felület domború felülettel érintkezik, ami miatt az érintkező felületen kicsiny lesz a fellépő Hertz - feszültség. Mindezért az ívelt profilú csigahajtás nagy terhelés átvitelére képes. A kis fajlagos fogoldal nyomás eredményeképpen könnyen alakul ki a hordképes olajfilm, azonban pontatlan szerelésre, hőtágulásra és mechanikai deformációkra érzékeny egy nem lokalizált hordkép esetén.

Az ívelt profilú csigahajtásoknál elérhető a kiemelkedően nagy fogláb vastagság a csigán, amit az \bar{s}_{1F} jelöl. és a csigakeréken, amit az \bar{s}_{2F} jelöl, éppen a csigafog alak és az ívelési sugár középpont célszerű elhelyezkedése folytán. Az egyenes alkotójú csigák és csigakerekek fogláb vastagsága kisebb (2.2.1.1.2. ábra).



2.2.1.1.2. ábra A fogkialakítás elve, a gördülővonal helyzete [44]

A 2.2.1.1.2. ábra alapján az alábbiakban foglalható össze a fogkialakítás elve:

- A csigafogak profilja konkáv az egyenes vagy domború profil helyett,
- A gördülő görbe (d_{g1}) a csiga fejkörének átmérője közelében, illetve azon kívül van a fogmagasság közepe (d_{o1}) középtátmérő helyett, ugyanis az x_2 fajlagos szerszámelállítás értéke nagy ($0,8 \leq x_2 \leq 1,5$). [44]

A technológiai tényezők jelentősen befolyásolhatják, javíthatják, illetve kedvezőtlen esetben ronthatják a konstrukciós tényezők hatásfok növelő hatását, mivel a kapcsolódó felületek alakpontosságát és érdességét a technológiai tényezők meghatározzák. A csigahajtások hatásfokát és élettartamát döntően befolyásolja a fog alakja és a fogazat felületminősége.

2.2.1.3. Az ívelt profilú csigák megmunkálásának történeti fejlődése

A jelentős nagyságú teljesítmények átvitelére alkalmas csigahajtoművek csigáit a gyártóművek már szinte mindenhol köszörülik, melynek következtében a menetemelkedés és az osztás pontossága nő, és a megmunkált felület érdessége mérséklődik. A korlátozott alakpontosságú megmunkáló szerszám és a közelítő eljárásból megmunkálási hiba, profil torzulás következik be és ennek következtében mind a hajtás hatásfoka és teherbírása csökkenhet.

2.2.1.3.1. Alakköszörülési eljárások

- a) **Niemann első**, Németországban [118] **szabadalmaztatott módszere** esetén a megmunkálás toroid alakú tárcsa típusú köszörűkoronggal történik. A megmunkáló korong tengelymetszetben körív profilú, az oldalprofil ρ_k sugarának nagysága közelít a csiga középhenger sugarához ($\rho_k \approx d_{o1}/2$). A köszörűkorong és a munkadarab tengelyének hajlásszöge azonos nagyságú az osztóhengeren mérhető γ_0 emelkedési szöggel. A korong tengelyének és a hozzá kitérő csiga tengelynek a normál transzverzálisra a fogárok normál metszeti szelvényének szimmetriatengelyében van [36].

Csak olyan gépen lehetséges beállítani a normál transzverzálisat köszörüléshez, melyen a korong a tengelyvonala irányában eltolható (pl. Klingelberg-gépen).

Az alakpontosság csökkenését igyekeznek igénynek megfelelő mértékben mérsékelni egy mikroprocesszor vezérlésű korrigáló berendezéssel [138, 150].

- b) **A másik köszörülési eljárásnak a matematikai kimunkálása Litvin F. L.** nevéhez köthetik speciális korongfelfogásával [99], ahol a korong és a csiga működő felülete közötti érintkezési görbe azonos a köszörűkorong tengelymetszeti síkgörbe profiljával. Ennek alapja az, hogy a csavarfelületnek a tárcsaszerű szerszámmal való megmunkálása során két kapcsolási tengely van. *A két kapcsolási tengely transzverzálisai normálisok seregét alkotják a szerszám és a csiga érintkezési pontjaiban. Az egyik kapcsolási tengely maga a köszörűkorong tengelyvonala, a másik kapcsolási tengely pedig meghatározott távolságra van a csiga tengelyvonalától, ugyanakkor a csiga és a szerszám tengelyvonalának normál transzverzálisát metszi.* Az eredmény ekkor egy „archimedesi csőfelület”. A megmunkálás közben gondot kell fordítani a szerszámkopás utáni újraélezésénél arra, hogy a γ_0 menetemelkedésnek megfelelően beállított korong lehúzási síkban elhelyezett lehúzót a szerszámhoz közelítve a korongot szabályozzuk, ezután a K távolság megváltozik, majd a lehúzót a korong irányába mozdítva ugyanannyival a korong tengelynek is tartania kell a munkadarabhoz. Az egyébiránt igen pontos köszörülési eljárás kizárólag olyan gépen végezhető, melyen tengelyirányban számottevően elállítható a köszörűorsó. A már említett irodalmakon túl körív profilú csigahajtásokkal foglalkozott **Krivenko** a Szovjetunióban [91], illetve **Kornberger** Lengyelországban.

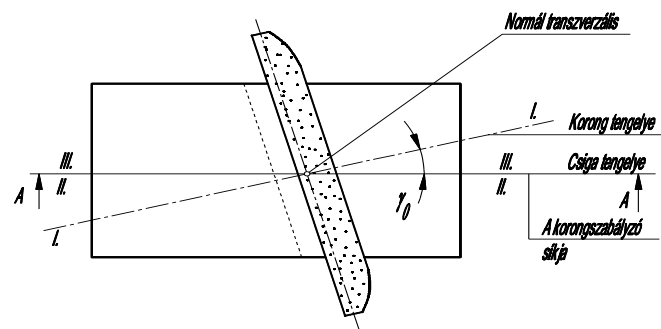
Magyarországon és máshol is a körív profilú csigahajtásra vonatkozásában kevés számú publikációt tettek közzé. Az irodalmi szűkszávság oka többek között az is, hogy a speciális gyártási eljárást szabadalmakkal védik. A marországi kutatók közül kiemelendő többek között **Drobni J.** [36] munkái, a minősítés vonatkozásában **Bányai K.** [1] munkája, illetve **Horák Péter** [79] disszertációja.

c) A harmadik köszörülési eljárás a tengelymetszetben körív profilú hengeres csiga gyártásgeometriájának [62] vonatkozásában adó megoldás Dudás Illés [54] nevéhez kötődik.

2.2.1.3.2. A csiga befejező megmunkálásának elemzése és megoldása

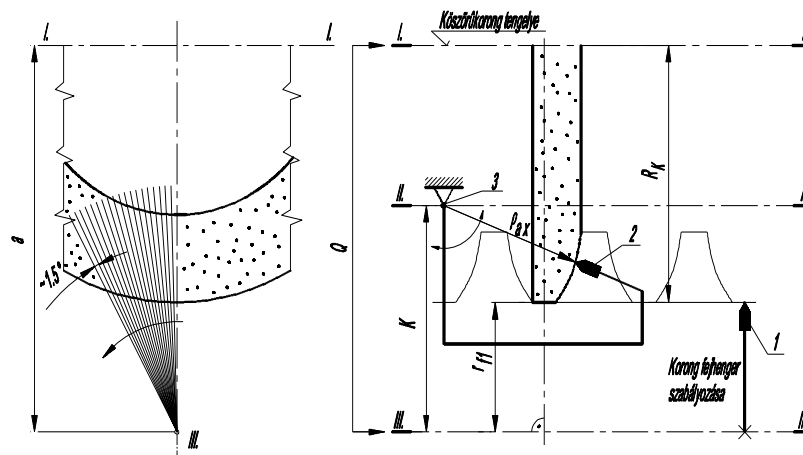
A csigák menetvágása esztergán történik, ami az egzakt csavarfelületet állítja elő. Amikor ezt a csavarfelületet egy korong alakú szerszámmal köszörüljük, akkor pl. nagy emelkedésű csigák esetén a korongnak az esztergakés élétől különböző éritkezési vonala okozhat elmunkálást. Az ezúton megmunkált csiga nem lesz geometriailag helyes.

Következésképpen a feladat az, hogy a korong profilját úgy meghatározzuk meg, hogy a csigafelület axiális metszetben az előírt profilú legyen. Ehhez a köszörűkorongnak a teljes menetszelvényből hiányzó részeit leforgácsoló részét el kell távolítani. Egy olyan profilú gyémánt csiga, mint amelyet köszörülni szeretnénk, egyszerűen kialakítaná a megfelelő köszörűkorong profilt, és ezzel úgymond lemorzsolható lenne a korongnak mindazon része, mely a hiányzó profilt hozza létre. Azonban ilyen szerszám költséges, ennek hiányában a módszer kiváltására szolgál a Dudás Illés által megtervezett és javasolt köszörűkorong-szabályozó, azaz lefejtő berendezés. A lefejtő szabályozó készülék a tervezett csiga alkotó porfilkörét a meghatározott helyzetekben legördíti a köszörűkorong felületén.



2.2.1.3.2.1. ábra A köszörűkorong bedöntése $\gamma = \gamma_0$ osztóhengeri emelkedési szöggel [44]

A korongot γ_0 közepes emelkedési szöggel bedöntve, míg a korongszabályozó, azaz lefejtő berendezést a főorsó tengelyvonalában, a csiga tengelyén helyezük el a 2.2.3.2.1. és 2.2.2.1.3.2.2. ábra szerint értelmezve.



2.2.1.3.2.2. ábra A **Dudás-féle** lefejtő-szabályozó készülék működésének koncepciója a korongszabályozó készüléknek a fősítkban elhelyezésével [46]

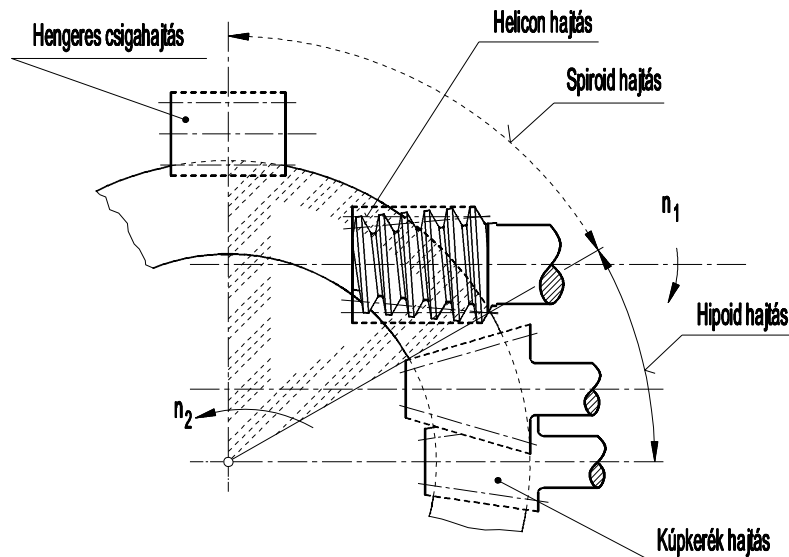
Nagy menetemelkedésű csiga megmunkálásakor az alámetszés elkerüléséhez kisebb szög beállítása indokolt ($\gamma > \gamma_0$). A köszörűkorong I-I és a csiga III-III tengelye közti távolság az ismert adatokkal a 2.5. ábra alapján a következők szerint számítható

$$a = K + R_K - h_{sz} \quad (2.1.)$$

Az ismertett eljárás során a csigáról való visszafejtés elve biztosítja, hogy a csigafelületről a burkolás révén alakítható ki a megmunkáló szerszám, azaz a köszörűkorong felülete.

2.2.2. A kúpos csavarfelületek szakirodalmi áttekintése

A spiroid hajtások konstrukciója során más hajtásokhoz, mint például a hengeres csigahajtáshoz képest rendkívül nagy kapcsolószámot lehet elérni. Áttekintve a kitérő tengelyű fogazott hajtások területét, az eddig megvalósult nagy teherbírású hajtásoknak meglehetősen kevésbé ismert, és nem nagy múltal rendelkező típusa a spiroid hajtás. **F. Bohle** az **Illionis Tool Works** (USA) főkonstruktoraként elsóvlt, aki ismertette, hogy a spiroid hajtás [25] a hengeres és hipoid csigahajtások közötti tengelyek elhelyezési viszonyainak a határai között alkalmazhatók a 2.7. ábra szerint. A hajtópár egy tányérkerékből és - általános esetben - egy ezzel kapcsolódó kúpos csigából áll. Ha a csiga félkúpszöge (δ_1) nullával egyenlő, akkor a hengeres csiga és tányérkerék kapcsolódása valósul meg. **Bohle** a „Spiroid Gears and Their Characteristics” című cikkében a hajtópár paramétereiről nem ír, csupán néhány technológiai és alkalmazási területet, továbbá az üzemi tapasztalatait értékeli. Az eddig legyártott hajtópárok jellemző áttételi tartománya $i=10-110$, de speciálisan megválasztott paraméterekkel akár $i=359$ áttételű hajtópár is létrehozható (kinematikai hajtás kis modullal).



2.7. ábra Hajtás típusok a tengely elrendezés szerint

F. Bohle cikkének [25] megjelenését követően számos fejlett országban megkezdődött a spiroid hajtópárok tulajdonságainak elemzése. A hajtópárok kapcsolódási viszonyainak elemzése mellett a gyártástechnológiai problémák feltárása fokozott jelentőséggel bír, mert csak megbízható, termelékeny fogazási eljárással lehet gazdaságosan biztosítani az elméleti vizsgálatok alapján feltárt kedvező fogazásgeometriai alapparaméterek melletti helyes kapcsolódást [12].

A kinematikai viszonyokat analizálta egyszerre a technológiai fejlesztéssel **Saary, O.** [131] művében a spiroid hajtások esetén. A spiroid hajtások üzemi adatait a kutatási eredményeivel az **Illinois Tool Works** részéről **Dudley** [68] adta ki kézikönyvben. Táblázatok megadásával segíti, hogy a tervezők mind a spiroid hajtások terhelését, mind hatásfokát, valamint áttételi

tartományát, továbbá térszükségletét összevessék más terjedelmű hajtásokkal, ami azóta is alapirodalomnak számít a spiroid hajtásokra vonatkozóan. A spiroid hajtások terhelés átvitele és a lehetséges áttételi tartományhasonló a hipoid hajtásokhoz és más nagyteljesítményű csigahajtásokhoz, azonban a teljesítményhez képest a fajlagos térszükséglete kisebb.

Az 1960-as években kezdődő spiroid hajtások fejlesztéséhez a munka egységesítésére 1977-ben jelöléseket és elnevezéseket tartalmazó szabvány készült (GOSZT 22850-77). A kutatások először az archimedesi, majd ezt követően az evolvens vonalfelületű spiroid csigákkal [89, 101], ezek technológiai, kinematikai, üzemközbeni viselkedésével [91, 157] foglalkoztak.

A spiroid hajtások fogazásának geometriájával a bolgár **Abadziev** és **Minkow** foglalkozott az egyenes alkotójú spiroid hajtások kinematikai és geometriai viszonyainak részletkérdéseire vonatkozóan. Több kutató foglalkozott a spiroid és más hajtástípusok összehasonlításával, [89, 91], de ezen a téren további nyitott kérdések várnak vizsgálatra, különösen a kapcsolódás kvalitatív elemzését illetően [49]. Magyarországon a spiroid hajtásokkal a BME-n **Hegyháti J.** [77], a Miskolci Egyetemen **Lévai I.** [98], valamint ezek gyártásgeometriájával és szerszámaival **Dudás Illés** [58, 59, 61], **Dudás László** [67] és **Bányai K.** [12] foglalkozott, mely eredményeként a legyártott spiroid hajtópárokat összehasonlíthatták a hengeres csigahajtópárokkal. Ebben a munkában jó együttműködés alakult ki a BME Gép szerkezeti Intézete, valamint a Miskolci Egyetemnek a Gépgyártástechnológiai Tanszéke között (az OTKA T 00655 kertében 1995-ben, ahol témavezető volt **Bercsey Tibor** és **Dudás Illés**).

2.2.3. Szerszámfelületek

A fogazatok szakirodalma többnyire csak említi a hajtópárok elemeinek gyártásához szükséges geometriai szempontból egzaktan meghatározott szerszámok tervezését, előállítását.

A fogazott elemek szerszámozására vonatkozóan Magyarországon **Bali J.** [11], **Bakondi K.** [4], **Drahoš I.** [33], **Sasi Nagy I.** [134], **Dudás Illés** [40] munkáin túl nem túl sok publikáció került kiadásra. A fogazatok előállításakor egyre inkább előtérbe kerülnek a szuperkemény köszörűkorongok egy szemcsesorral, illetve a bevonatolt, illetve keményfémből előállított szerszámok.

A helikoid felületek gyártásának mondhatni legfontosabb szerszáma a megfelelő pontossággal készített szabályozott köszörűkorong, illetve maró [4, 6, 46, 51, 75]. E szerszámok geometriailag korrekt előállításához a működési viszonyoknak **matematikai elemzésére van szükség, azaz kellően kimdolgozott gyártásgeometriai ismeret és vele gyártási eljárás nélkülözhetetlen [92-94, 112].**

2.3. A korszerű gyártórendszerek története

Az osztott intelligenciájú, holonikus gyártás koncepciója rendkívül intelligens, elosztott, autonóm és rugalmas, valamint egymással együttműködő egységek rendszerét foglalja össze. Abból indul ki az elképzelés, hogy a mai környezetbeli körülmények erőse változékonyak, ezért új, és az eddigieknél jóval rugalmasabb, a nagyon gyors reagálás képességével rendelkező vállalatokra van már szükség a versenyképesség fenntartásához.

A holonikus gyártás alapjait a japánok vezették be, kezdeményezve annak az 1992-ben indult világméretű együttműködét, amelynek elnevezése az Intelligens Gyártórendszerek (Intelligent Manufacturing System, IMS). A projekt célja összehangolni az ezen a területen dolgozó szakemberek munkáját. A „holon” szó először a „The Ghost in the machine” c. könyvben olvasható [1].

A Miskolci Egyetemen is komoly múltja van, az ezen irányú kutatásoknak. Az 1980-as években több tanszék is bekapcsolódott és ért el eredményeket az Integrált Anyag és Adatfeldolgozó Rendszerek (IAAR) kidolgozásában.[50]

2.3.1. A Holonikus gyártásról

Napjaink gyártási környezete egyre összetettebb, a gyártórendszereket érő hatások miatt a bizonytalansági faktor megnőtt, melynek okai a következők:

- az új feladatok gyors egymásutánisága,
- a közvetlen környezetben bekövetkező események hatása,
- a gyártási rendszerekben működő és a hozzájuk kapcsolódó kommunikációs csatornák számának növekedése (feedback),
- fogyasztói igények sokrétűsége,
- az egyedi gyártás előtérbe kerülése,
- az információs technológia gyors fejlődése [54] az Országos Doktori Tanács honlapján levő témakiírás szerint.

A fent említett jelenségek már manapság is érzékelhető hatással vannak a gyártórendszerek struktúrájára, illetve működésére. A következő évtizedekben forradalmi változások várhatóak a gyártórendszerek fejlődésében, melynek során előtérbe kerülnek a kisebb méretű, de jóval nagyobb rugalmasságú, autonóm, egymással együttműködő gyártóegységek. A jelenlegi, erősen hierarchikus felépítésű rendszerek helyébe innovatívabb, rugalmasabb működést biztosító osztott struktúrájú szervezetek kerülnek. Ezidáig a Számítógéppel Integrált Gyártás (CIM) koncepciója révén keresték a megoldást a dinamikus változó környezet kihívásaira. A hagyományos CIM rendszerek felépítése általában erősen hierarchikus szerkezetű. Manapság kiderült, hogy az ilyen struktúra nem minden esetben alkalmas a felsorolt problémák kezelésére [1]. A CIM-et telepítő cégek nagy befektetés mellett, hosszú kifutási idejű és az erős centralizáció miatt általában rendkívül merev gyártási struktúra mellett kötelezik el magukat. A magas szintű automatizáltság mellett a rendszereket jellemző merevség lehetetlenné teszi számukra az alkalmazkodást a folyamatosan változó környezethez, ami gátat szab az eredményes működésnek és fejlődésnek.

A probléma megoldásának érdekében intenzív kutatások folynak új gyártási struktúrák kialakítására. Az egyik ilyen új kutatási koncepció a holonikus gyártórendszerek, amelyek autonóm, intelligens, rugalmas, elosztott, egymással kooperáló egységekből, ún. holonokból állnak.

A szakirodalomban történő elmélyülést már a PhD felvételre való jelentkezéskor elkezdtem és a következő megállapításokat tettem:

- a téma határterület a gyártás, konstrukció és az informatika között,
- a gyakorlat elsősorban az USA-ban és Japánban van jelen.

2.3.2. A holonikus gyártórendszerek történeti áttekintése

A nemzetközi szakirodalom tekintetében is kevés alkotás áll a rendelkezésre, de néhányat kiemelnék ezek közül. „Dynamic composition of holonic processes to satisfy timing constraints with minimal costs” mely szerzője Fu-Shiung Hsieh, jelentősége abban állt, hogy ez a cikke foglalkozik a Petri-netekkel való adaptálással a holonikus gyártórendszer esetén. A Petri-netek-, illetve a neurális hálózatoknak nagy jövője van a kutatásaimban. Az ő cikkei, bár igen előre mutatnak, nehezen értelmezhetőek, mivel hiányzik a konkrét gyártórendszer, melyre ő Petri hálót képzel el. A következő cikkek az Elsevier „Computers in Industry”, c. nemzetközi folyóiratból származnak.

A **Fu-Shiung Hsieh** által írott „Holarchy formation and optimization in holonic manufacturing systems with contract net” c. műve [83] szintén a Petri-netek viszonyáról szól. Próbálja őket ötvözni az elemi holonokkal, elsősorban a kompozit holonra való tekintettel.

Pascal Blanc, Isabel Demongodinb, Pierre Castagna „A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application” c. műve az elemi holonok a termelő -, forrás-, és rendelő holonok közötti kapcsolatokat tisztázza [23].

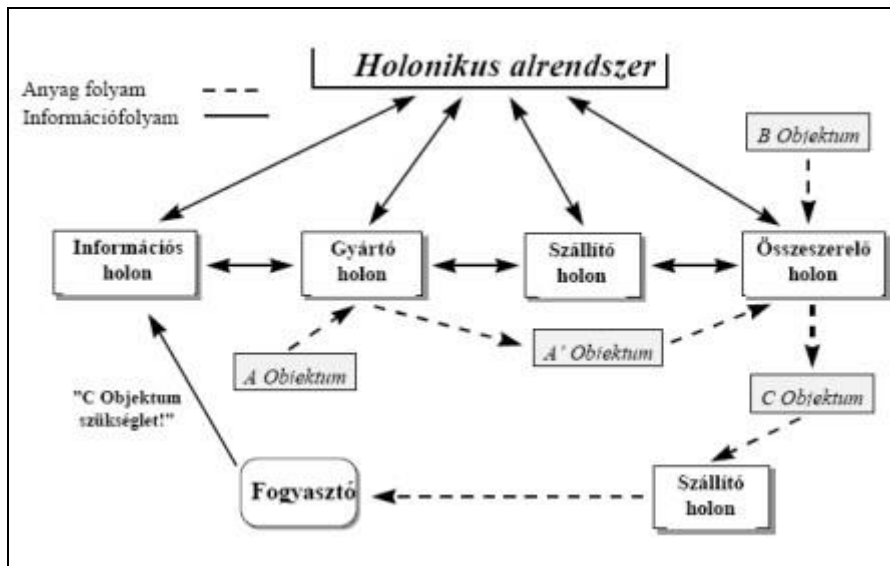
A következő mű a „Virtual factory approach for implementation of holonic control in industrial applications: A case study in die-casting industry” [115] melyek szerzői: **Mert Bal, Majid Hashemipour**, szintén sokat publikáltak az elmúlt időben, ez a mű kiindulási pontot adott 2010 novemberében a Doktoranduszok Fórumán tartott előadásomon és megjelentetett cikkemhez. Összefüggései és ábrái sokat segítettek a témakör elmélyítésében. A cikk egy virtuális holonikus gyártóüzemet mutat be 3D –s ábrákkal, mely a gyártástól a szerelésig mindent modellez. A gyártóüzem lehetséges elrendezési tervét is rögzíti.

A **John Mathews** által írott „Organizational foundations of intelligent manufacturing systems -the holonic viewpoint” című cikk a 3 fő szerkezeti elemet, az autonómiát, a rendszer függetlenséget és a rekurzivitást közli. A függetlenséget, a rugalmasságot és a hatékonyságot, illetve az öntanuló képességet és az ön-reparáló képességet is ide sorolja [116].

A következő cikk Paul Valckenaers, Henrik van Brussel, Jo Wyns, Luc Bongaerts, Patrik Peters: Designing holonic manufacturing systems, a holonikus gyártórendszerek irodalmának alapjainak elsajátításához nyújt segítséget, az elemi holonokon át egészen a bonyolultabb rendszerekig. **Arthur Koestlertől** egészen az elemi holonokig, egy lehetséges autokatalizist előrebocsátó lehetőségen át vezeti az érdeklődőt.

A. Márkus, T. Kis Vánca, L. Monostori „A Market Approach to Holonic Manufacturing” c. publikációja kiemelten fontos, hiszen elsősorban marketing és gazdasági szempontból vizsgálja a gyártórendszer tervezését. A menedzsmentet szintén mint holont képes értelmezni, akár a gyártórendszert. Három fő szegmensként jeleníti meg a külvilágot, a menedzsmentet és a gépeket.

Az alaplát a holonikus gyártásban, a magyar szakirodalom terén Dr. Monostori Lászlótól és Kádár Botondtól származik, címe Holonikus gyártás, fraktál vállalat [88]. Felépíti a holonikus rendszer struktúráját elméleti szinten, definiálja a két alapvető tulajdonságot a holarchiát és a kooperációt, érinti a belső algoritmusok közül az autonómiát, bevezetve az ön-javítást és ön-adaptációt. Modellezi a holonikus alrendszert [88]. A **Leila Rannanjarvi, Tapio Heikkil** szerzőpáros által írott „Software development for holonic manufacturing systems” c. cikk jelentősége elsősorban abban áll, hogy a szerzők kitérnek a holonok között kialakuló együttműködésre és a tárgyalásra egymás között. A magyar nyelvű szakirodalomban **Dudás Illés** konkrét gyár, illetve gyártórendszer tervezésével foglalkozik [49, 50] és további két elismert szerzőre **Monostori Lászlóra** és **Kádár Botondra** korlátozódnak, akik az MTA-SZTAKI –ban végzik kutatásaikat [88].



2.3.2.1. ábra A holonikus alrendszer [147]

Tóth Tibor „Számítógépes Vállalatirányítás” c. segédlete is érinti a holonikus gyártórendszert, a fraktál vállalatokkal együtt. Ezen publikáció ötvözte a gyártás, gyártórendszerek, informatika és a logisztika között megfelelően felépített modellekkel. Dr. Tóth Tibor „Tervezési elvek, modellek és módszerek a számítógéppel integrált gyártásban” c. könyve a gyártásinformatikai oldalról érinti azt, hogy a rugalmas gyártórendszerek (FMS) már az 1980-as évektől kezdve hanyatlásnak indult. Ennek okai elsősorban a költségek növekedésében, illetve megbízhatósági problémákban és automatizálási gondokban keresendők [147].

Kiemelten fontos, hogy az alá-illetve fölérendelt holonok milyen kapcsolatban állnak egymással, hogy milyen autonómiával rendelkeznek a z alárendelt holonok a gyártórendszeren belül, mivel esetleges meghibásodásuk esetén a központi holonnak , egy helyettesítő gépet kell üzembe állítania [88].

- A holonikus gyártórendszerben értelmezhető az öntanulás illetve az önszabályozó képesség is.
- A gyártórendszer esetleges optimalása szintén kutatási feladat.
- A gyártórendszer modellezése matematikai úton kevésbé publikált és megoldandó feladat.
- A gyártórendszer modellezése neurális hálózatokkal, illetve véges gráfokkal is elvégzendő.

A legmegfelelőbb matematikai irányzat csak az elmúlt időszakban kristályosodott ki. A matematikai neurális hálókat fel lehet építeni a holonikus gyártórendszer modellezése céljából. Erre már felépítettem egy neurális hálót. Ezek biztosítják a kutatás elméleti hátterét. A [2] szerinti szakirodalom is érinti már a neurális hálózat gyártórendszerre történő adaptálhatóságát. A gyártórendszer modellezése a Nyíregyházi Főiskolán megtalálható Plant Simulation gyártástervező szoftverrel történik.

Célkitűzés még továbbá, hogy

- a megköszörült alkatrészeket meg is tudjuk mérni a rendelkezésre álló eszköz infrastruktúrával.
- a disszertációban megfelelően felépítem a gyártórendszer neurális hálózatát, jelölve az összes lehetséges adat-és információfolyam lehetőségét.

A disszertációban elsősorban a felsorolt irányokkal foglalkozom, de kitérek a csavarfelületek gyártásgeometriájának fejlesztésére is.

A PhD munkában a Fu-Shiung Hsieh: Design of reconfiguration mechanism for holonic manufacturing systems based on formal models című cikkben a 10 darab stratégiai kérdéskör tisztázása és annak betartása további céloom, amit már egy korábbi cikkemben ismerttettem [82]. Az optimalás lehetőségét szintén előkészítettem a gyártórendszer esetén, ami a továbbiakban kifejtésre kerül.

A neurális hálózatokkal való modellezés egy lehetséges tézist eredményezhet mivel ezidáig nem született rá publikáció ilyen megvilágításban a hazai és nemzetközi folyóiratokban, továbbá lehetséges tézis megfogalmazása a neurális hálókkal történő adaptálhatóságot illetően is.

2.4. Nem-euklideszi geometriák történeti előzményeinek áttekintése

Először az ókorban tapasztalati úton szerzett ismeretek alapján absztrakcióval alkottak meg geometriai fogalmakat és ismerték fel az ezek közti összefüggéseket. Empirikus úton szerzett geometriai ismereteket hagytak ránk többek között a babilóniaiak, a kínaiak és egyiptomiak is. A geometria közvetlen gyakorlati alkalmazása miatt az elemi algebra mellett mondhatni elsőként kialakult ága a matematikának. Tudománnyá azonban az axiomaticus módszerrel történő tárgyalásának alapjait **Euklidész** tette le a 13 könyvből álló, „Elemek” című összefoglaló művében időszerűségünk előtt 300 körül. Az **Euklidész** által megfogalmazott axiómarendszert jelenlegi állapotába **Hilbert** munkája által került. A matematika több geometriai modellt kínál a fizikai, kémiai jelenségek absztrakt leírására, és minden esetben éppen azt kell alkalmazni, amely a vizsgált jelenség esetén a leginkább megközelíti a valóságot. A XVIII. században már G. **Monge** francia matematikus ábrázoló geometria könyvében már voltak projektív geometriai elemek is. Az axiomaticus felépítés terén jelentős munkával járult hozzá a geometriákhoz Ch. von **Staudt** az erlangeni egyetem tanára, míg az algebrai irányzat képviselője M. **Chasles** (1793-1880) volt, és **Galois**-val megjelent az algebrai csoportelmélet is. A projektív geometria az euklideszi geometriát teljes egészében magába foglalja Félix Klein “Erlangeni Programja”(1872)) szerint. Az euklideszi síkot legtöbbször a **Descartes-féle derékszögű koordináta-rendszerrel jellemezzük analitikusan**, melyben minden ponthoz egy valós számpár tartozik, és fordítva, azaz a hozzárendelés **kölcsönösen egyértelmű** a valós számpárok és a sík pontjai között, illetve az egyenesek számhármasokkal jellemezhetők a következőkben ismertetett megállapodások szerint:

1. A sík pontjai és egy-egy rendezett valós számpár kölcsönösen egyértelmű leképezése

$$P \Leftrightarrow (x, y) \quad x, y \in R, \quad (2.4.1.)$$

ahol x és y minden valós értéket felvehet, mint a pont koordinátái.

A $P(x, y)$ és $Q(x', y')$ pont akkor és csak akkor azonos, ha $x=x'$ és $y=y'$.

2. Minden egyeneshez hozzárendelt az (u_1, u_2, u_3) számhármas, melyre

$$u_1^2 + u_2^2 \geq 1 \quad (2.4.2.)$$

Az u_1, u_2, u_3 minden valós értéket felvéve tartozik hozzá egy egyenes.

Két egyenes, az $u(u_1, u_2, u_3)$ és $v(v_1, v_2, v_3)$ akkor és csak akkor megegyező, ha

$$\text{Rang} \begin{pmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \end{pmatrix} \quad (2.4.3.)$$

Az egyenesek és a számhármasok közti hozzárendelés már nem kölcsönösen egyértelmű. Az összes számhármashoz egy egyenes tartozik, és egy egyeneshez minden zérustól különböző konstans arányosság erejéig rendelhető számhármas.

3. Egy $P(x, y)$ pont akkor és csak akkor illeszkedik egy $u(u_1, u_2, u_3)$ egyenesre, ha

koordinátáikra teljesül

$$u_1 \cdot x + u_2 \cdot y + u_3 = 0 \quad (2.4.4.)$$

A koordináta-transzformáció során az 1. és 2. alapján a pontokhoz és egyenesekhez rendelünk új, azonban az eddigiektől nem feltétlenül különböző koordinátákat úgy, hogy az illeszkedés és nem illeszkedés továbbra is fennálljon.

Homogén koordináták

Egy térbeli P pont (x, y, z) Descartes koordinátáiból képezhetők a pont homogén koordinátáit

$$x = x_1/x_4 \quad y = x_2/x_4 \quad z = x_3/x_4 \quad \text{ahol } x_4 \neq 0 \quad (2.4.5.)$$

Az így meghatározható (x_1, x_2, x_3, x_4) számnégyeseket és ezek $\lambda \neq 0$ konstansszorosait rendelve a P ponthoz, már rendelkeznek a kívánt homogén tulajdonsággal, azaz zérustól különböző konstansszorzó erejéig jellemzik a pontot.

Az euklideszi teret a végtelen távoli síkkal kiegészítve a projektív síkmodellhez jutunk, mely esetén a végtelentávoli pontok negyedik koordinátájára teljesül az $x_4 = 0$ feltétel.

A helikoid hajtópárok gyártásgeometriai fejlesztésére kimunkált általános matematikai-kinematikai modell [44] és a projektív térmodell vonatkozásaival **Balajti** Zsuzsa foglalkozott [7,9].

3. CSAVARFELÜLETEK ELŐÁLLÍTÁSA INTELLIGENS, „HOLONIKUS” GYÁRTÓRENDSZERBEN

Napjainkban kiemelt feladat a gyártórendszerek felépítésnek modellezése, amelynek az intelligencia szint szerinti osztályozás az automatizáltságának a fokától függ (CÍM-FMS-HMS). A gyártórendszerek felépítése terén végzett kutatások egyik részfeladata a kúpos csigák megmunkálásának konstruktív geometriai elemzése és matematikailag helyes kialakításával.

3.1. A holonikus gyártórendszer általános jellemzői

A holonikus gyártórendszerek tartalmazzák a megmunkálási tevékenységek minden részét a rendeléstől, a tervezésen, a gyártáson át a marketingig. Ez egy változó rendszer, mely önálló, együttműködő építő holonokból van építve. A holonikus gyártórendszer benne lévő hierarchiákkal újra szerveződésre képességgel rendelkező, a környezetben vagy a gyártandó termékekben történő változásokat gyorsan adaptálják. Ezért a holonikus gyártórendszerek alkalmazása esetén a változások költségfedezete drasztikusan csökkenthető. A holonikus gyártórendszerekben elszeparálható egy információfolyam és egy anyagfolyam egyaránt [49].

A holonikus gyártórendszerekben rendelkezésre áll a lehetőség a következő előnyök szolgáltatására:

- A holonikus gyártórendszerek rendelkeznek a gyors ön rekonfigurációval, válaszul a változásra és a bizonytalanságra, mely elválaszthatatlan a 21. század megmunkálási infrastrukturális környezetében.
- Az emberek szerepe jelentősen számításba van véve a holonikus gyártórendszerek architektúrájában, így a vállalatok használhatják az emberek intellektuális képességét és tudását, illetve rugalmasságát.
- Az emberi lény valamint a gépi intelligencia holonokká való formálása és az azokhoz tartozó együttműködő viselkedés rendelkezésre állhatóvá teszi a „virtuális vállalatok” kialakítását, mind a vállalat határain belül és kívül is.[2] [54] www.doktori.hu témakiírás

3.2. A CIM rendszerek továbbfejlesztése

A számítógépes termelésirányítást kezdetben a számítógéppel integrált gyártás (CIM) jelentette, ezek egyben tartalmazták a PPS-t is, de a modernizálódó világ magasabb fokú automatizáltságot követelt [2], ahol:

CNC: A számjegyzérlést,

PLC: A programozható vezérlést,

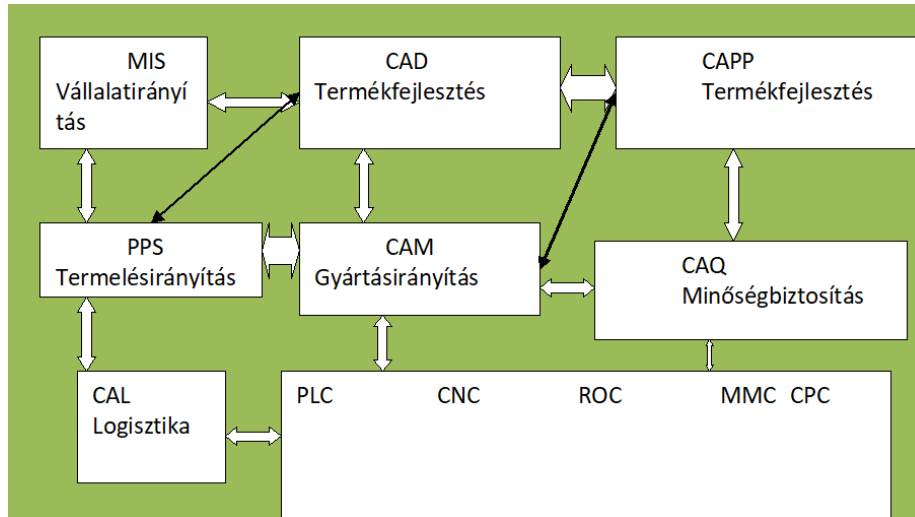
ROC: A robotvezérlést,

MMC: A mérőgép vezérlést,

CPC: A számítógépes folyamat irányítást jelentik.

Ennek következtében jelent meg a rugalmas gyártórendszer (FMS) mely már tartalmazott több PC-t is és egyre jobban adaptálódott a változó környezethez is.

Ennek fejlesztését képezi a Holonikus Gyártórendszer (HMS), mely már egyfajta Master Slave kapcsolatot kialakítva főlé-és alárendelt egységeket (holon) alkotva. Ez már tartalmaz központi számítógépet és az alárendelt egységek is „intelligensek” mert önálló szenzorokkal és saját számítógéppel vannak ellátva. Óriási a jelentősége és a differencia az előző két rendszerhez képest, hogy elemei képesek az öntanulásra, ön-szerveződésre, elemei autonómiát és co-operációt valósítanak meg egymás között.



3.2.1 ábra A CIM szerkezete [49]

A mai korban a számítógépes irányítás nagyban könnyíti az alárendelt gépegységek munkáját is, hiszen a központi gép leállása esetén is tudnak funkcionálni. Így az egységeknek nem kell feltétlen megvárni -és ezzel késleltetni a gyártási folyamatot- a központi gép karbantartását, mert tudnak önmagukban is működni.

Tehát a kialakulásuk és fejlődésük szerinti tényleges sorrend, csak mozaikszavakban: CÍM-FMS-HMS. A holonikus gyártórendszer esetén optimalizálás tárgyát képezheti például a központi- és az alárendelt holonok közötti kommunikáció, vagy a közöttük lévő terheltegi elosztás. A 3.2.1 ábra azt mutatja meg, hogy a hajtóműház minden főbb elemének pl: csiga, hajtóműház, csapágy kiválasztás gyártását egy-egy központi számítógép kontrollálja, amelyeket a vállalati fő számítógép irányít. Erről a helyről kerül továbbításra, hogy pl: melyik típus kerül a gyártásba és abból hány darabot kell gyártani, továbbá a gyártási határidők képzése is itt történik. Ezután főleg csak a bonyolult felülepár csiga-csigakerék gyártására koncentrálnak. Ezt követően következik a bonyolult felülepár menetfelületeinek befejező eljárása, a köszörülés. Adott menetprofiloknál ennek pontos megvalósítása speciális köszörűgépet és nagyon összehangolt gyártórendszert igényel.

Ezért állítható, hogy a legyártott alkatrészek háromkoordinátás mérőgépen történő bemérése egy további jó célkitűzés lehet. A gyártásban résztvevő elemek funkcióit és egymás közötti viszonyrendszerét úgy prezentálom, mintha egy rugalmas gyártócellát adnának, így nem foglalkozunk a rendszer más elemeivel való összefüggésekre és egyéb funkcióira, csak a csavarfelületek gyártásával és mérésével, kapcsolatos funkciókkal tudunk törődni. Az 3.2.2. ábrán a struktúra elemeit téglalapokkal vázoltam, míg a közöttük lévő kapcsolatokat nyílhegyben végződő folytonos vonalakkal mutattam be. Az elemeket négyzetbe tett számokkal, míg az információs csatornákat körbe írt számokkal azonosítottam be. Az egyes elemek funkciói az információs viszonyrendszerek vonatkozásában a következők:

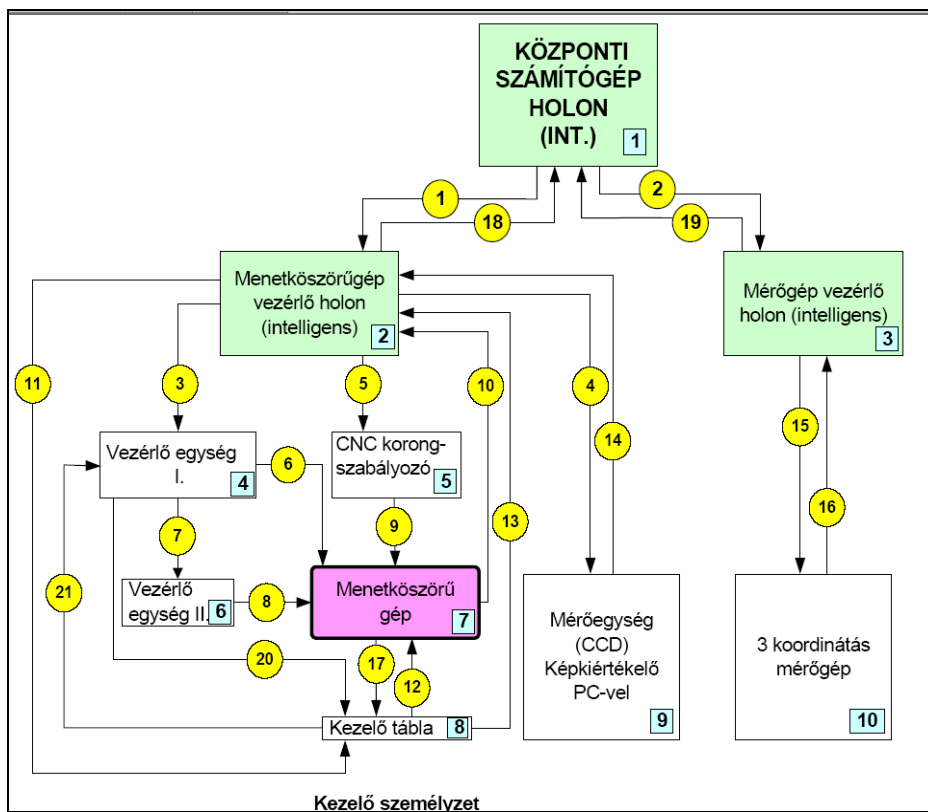
1. A Központi számítógépi holon:

A matematikai modell esetén az aktuális paraméterek felhasználásával előállítja az egyenletét az elméleti felületnek

- Előmegmunkálást végez:
 - A menetköszörű gép egységhez (7)
 - A CNC korongszabályozó kontrolljához (5)
 - A 3 koordinátás mérőgép részéhez (10)
 - A CCD kamerával rendelkező mérőegység esetéhez (9)
- A köszörűkorong lehúzásának minimalizálása alapján optimalizálja a menetköszörű gép (7) és a lefejtő gép mozgásait,

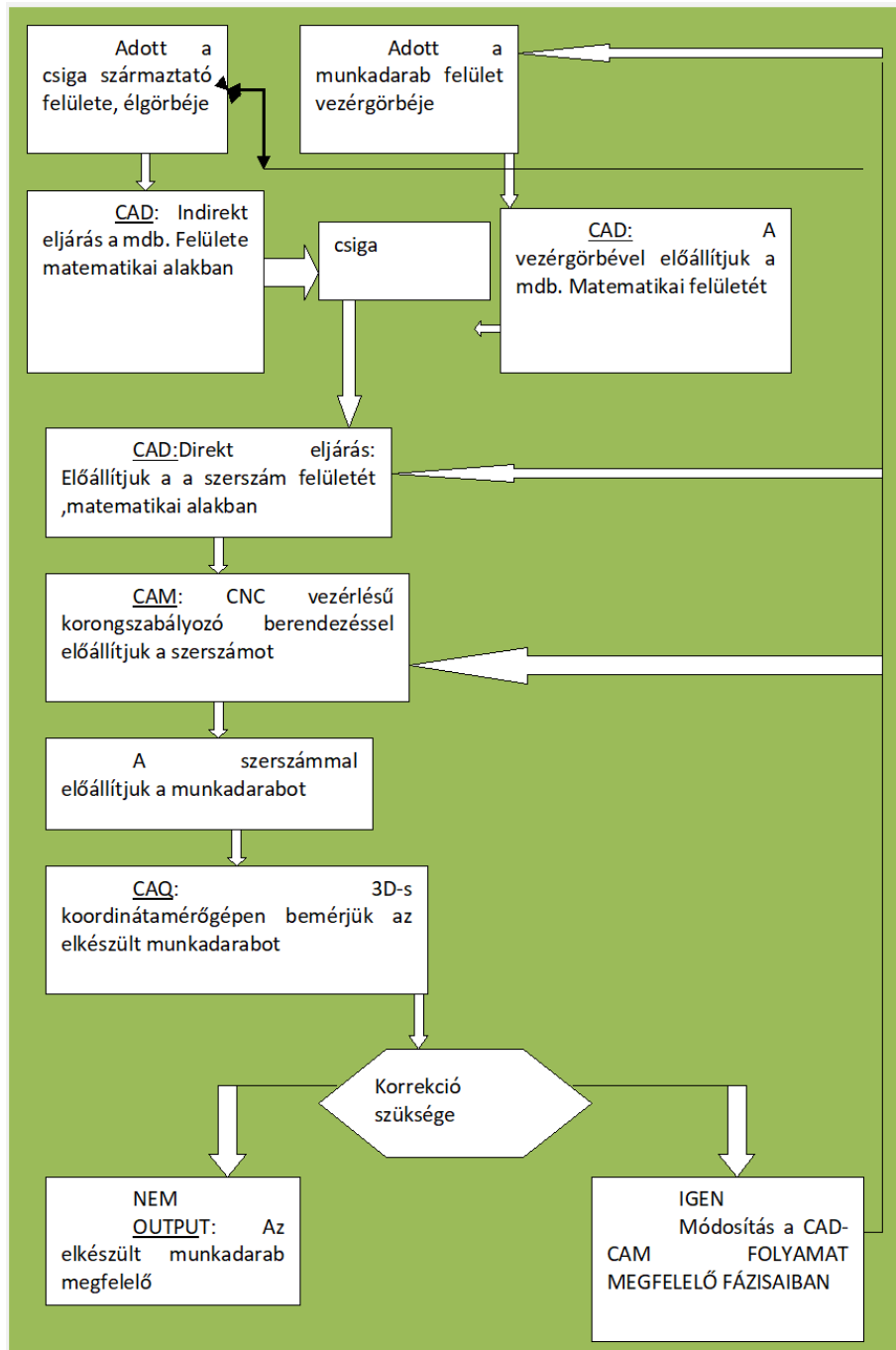
- Összegyűjti a 3 koordinátás mérőgép (10) és a CCD kamerával és a képkéértékelő szoftverrel rendelkező mérőegység (9) által adott eredményeket, szükség esetén korrekciót készít a menetkösörű gép (7) és a lefejtő berendezés vezérlő egységéhez (4)
2. **A Menetkösörűgép vezérlő holonról:** (2)
- A központi számítógépi holontól (1) eredő adatok alapján vezérli a menetkösörűgép (7) és a CNC korongszabályozó berendezés mozgását,
 - A korongkopást felügyelő CCD kamerával és a képkéértékelő programmal rendelkező mérőegységtől (9) adódó információkat összehasonlítja a központi számítógépi holontól (1) kapott adatokkal és eltérés alapján korrekciót hajt végre.
3. **A Mérőgép vezérlő holonról** (3)
- A központi számítógépi holontól (1) kapott információk alapján a kellő pontokra irányítja a tapintó- szerkezetet,
 - A mért pontok meghatározását követően az eredményeket a központi számítógépi holon felé viszi tovább [54].

Az előzőekben bemutatott funkciók ezen esetekben mindenféleképpen intelligens berendezést kívánnak meg. A központi számítógépi holon (1) által végzett előfeldolgozások egy része leadható a többi vezérlő (holon) felé, ha azok megfelelő intelligenciával bírnak.



3.2.2 ábra Computer Integrated Manufacturing System (CIM) [54]

A csavarfelületek előállítása CIM rendszerben a 3.2.3. ábrán jól követhető.



3.2.3.Ábra: Csavarfelületek előállítása CIM-ben

Csavarfelületek előállítása CIM-rendszerben [62][54]

Plant Simulation szoftver [18]

A szoftver jellemzői mellyel lehetséges átfutási időket számítani a gyártórendszeren belül: A Nyíregyházi Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén készítettem gyártási példa program futtatást, amelynél a terjedelmi korlátok miatt a következő megfigyelést tettem [126].

A gyártási idő és teljesítmény meghatározása és optimalizálása:

1. Méretezés meghatározása.
2. Teljesítménykorlátok meghatározása.
3. A hibák bekövetkezésének elemzése.

4. Emberi erőforrás igények felmérése.
5. A létesítmény működéséről információ gyűjtése.
6. Lehetséges vezérlési stratégiák meghatározása
7. Különböző alternatívák kipróbálása.

3.3. Struktúrák és elvek

A főbb alapszabályok közlése történik itt meg. A HMS (Innentől HMS: Holonic Manufacturing Systems) holon szerkezete 3 elemi holonból épül fel: rendelő holon, termelő holon és a forrás holon. Egyenként felelősek a gyártás ellenőrzéséért, a technológiai tervezésért és egy az anyagmozgatásért.

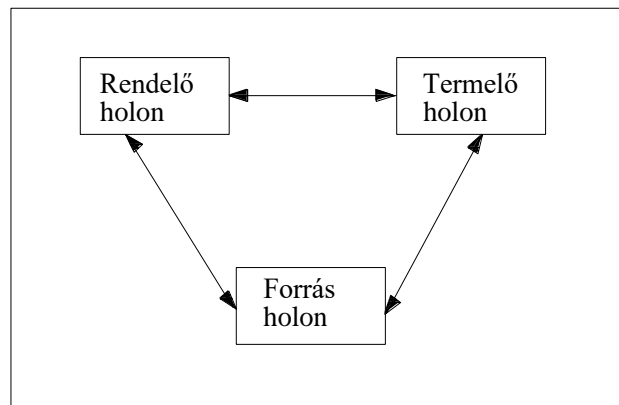
Az elemi holonokról

A holonikus gyártásban 3 darab független főszabály létezik:-A forrás aspektus irányítani fogja a gépet optimális sebességgel és maximális kapacitással A termelés (gyártás) azonos technológiai aspektusokkal jár, amelyeket ismertetni kell a jó minőség elérése érdekében. A harmadik a logisztikai és a marketing a vevő elvárásai, illetve a kívánt határidő alapján történik. Minden holonikus gyártórendszer magába foglalja a forrás holonokat, termék holonokat és a rendelő holonokat.[83]

A forrás holon adja a fizikai részt a gyártórendszerben és az információt a folyamat részeiről. Ez továbbítja a termék kapacitást és a funkcionalitást a közelben lévő holonoknak. Ez biztosítja a módszerét a termelői forrásoknak és a tudását a procedúrának, hogy megszervezze, használja és ellenőrizze e folyamatokat. A forrás holon egy absztraktja a terméknek.

Összehasonlítva a hagyományos szabályozási architektúrával, mint például a PAC a holonikus gyártórendszerek nem szeparálódnak el a gyártó-szabályozó rendszerektől. A holonikus gyártórendszerek mindkettőt tartalmazzák. A fizikai gyártórendszerek egyesülnek a forrás holonon belül.[83]

Holonikus gyártórendszer



3.3.1. ábra A holonikus gyártórendszer elemi és alapvető részeinek vázlata

A termelő holon: Tartalmazza a bevezető információkat, a rendszerbe, a felhasználói elvárásokat, a tervezést, minőséget, illetve a folyamatot. Tulajdonképpen a termelő holon egy információs szerver más holonok kölcsönhatásában a holonikus rendszerben. A termelői holon tartalmazza a funkcionalitást, melyet a tervezés, művelettervezés és minőségbiztosítás takar [83].

A rendelő holon: képviseli a feladatot a gyártásban. Azért felel, hogy a munka korrekten és időben történjen. Ez szervezi meg a fizikai folyamatokat és azok végrehajtását, az összes

logisztikai utat. Készítheti a vevői kéréseket és a javítási forrásokat is. Ahogyan azt a 3.3.1. ábra mutatja. Ezen három típusa a holonoknak ad információt a gyártórendszerről. A termelői holonok és a forrás holonok kommunikálnak a logisztikai úttal a forrás holon és a rendelői holonok védik a folyamatot [83].

A szűk keresztmetszet a központi számítógépi holon lesz, ha minden feladatot átvállal. Az autonómia a hierarchia miatt sérülhet, az együttműködés a holonok között erősebb lesz. A holonikus gyártórendszer magasabb intelligenciájú a CIM -től (Computer Integrated Manufacturing) a struktúrája miatt is. A rugalmas gyártórendszer öntanulást nem tud realizálni. A rendszerben *katalizátorként* operálhat az emberi tényező is. Úgy képzelhető el, hogy az ember a túlórájáért keresetkiegészítést kap, ezáltal is serkentve őt a többletmunkára.

A MEGJELENŐ KAPCSOLATTÍPUSOK GYÁRTÓRENDSZEREN BELÜL

- **Autonómia:** Adott egységnek azon jellemzője, amelynek a segítségével önmaga által létrehozott terveket és stratégiákat alkalmazhat, illetve végrehajt.
- **Együttműködés:** Az a folyamat, amelynek során a holonok egy halmaza együttesen elfogadható tervet dolgoz ki, és végrehajtja azt.

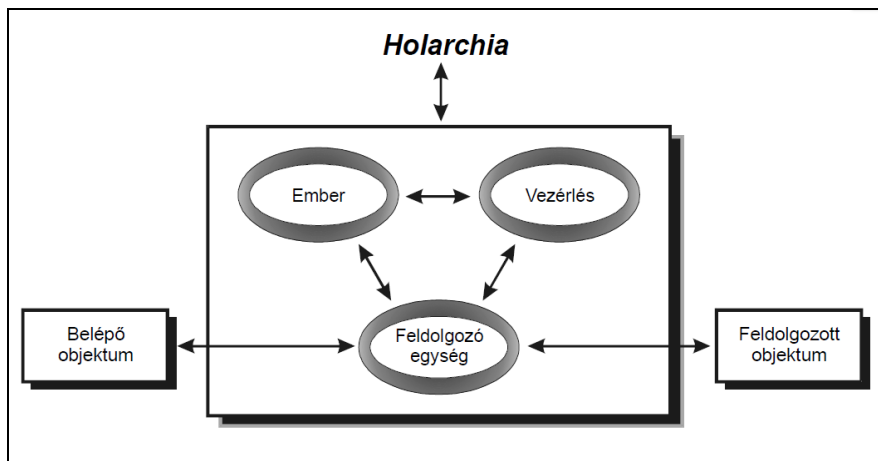
Autonómia a képesség egy gazdálkodó egység létrehozására és ellenőrzésére végrehajtása saját tervek és / vagy stratégiák. A Holon saját magát szabályozza (bár nem önálló), és reagál a környezet változásaira, és a változások táplálják vissza a rendszerbe.[88]

3.3.1. Intelligens egységek együttműködése

Minden Holon automatikusan határozza meg a karakterét és helyzetét kölcsönhatás révén a többi holonnal. Így a Holon várhatóan arra képes, hogy organizálja a dinamikus kommunikációt más holonokkal (feletteseivel, vagy alárendeltjeivel), ahol a parancs hierarchiák rögzítettek, holonok léphetnek be az ideiglenesen irányító hierarchiába, ha a rendszer célja, hogy a Holon tudja azt, ilyen módon lehet elérni könnyebben és hatékonyabban a célját. [88]

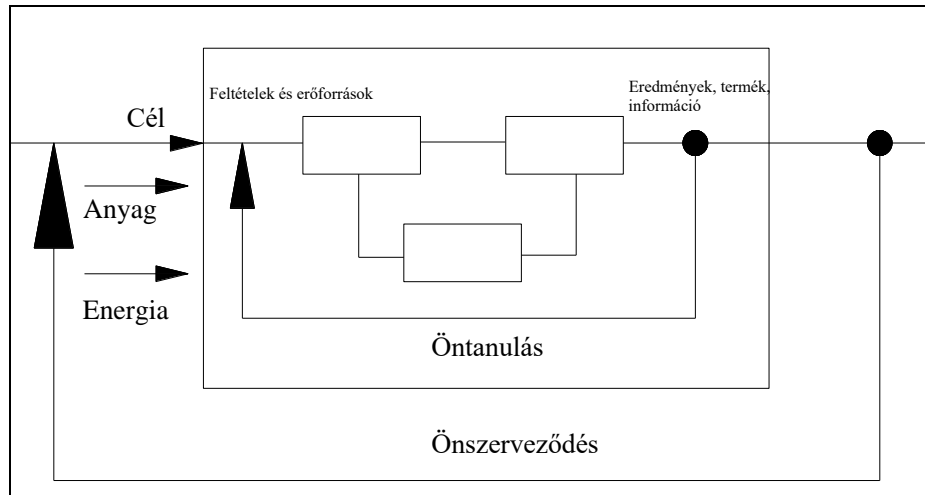
A holarchia esetköréről

A holarchia (3.3.1.1. ábra) a rendszerben realizálható, hogy a holonok co-operatívan egymással tudjanak együtt dolgozni a célok és a teljes rendszer az összhang megteremtése érdekében. A holarchia determinálja az alapvető szabályokat az együttműködésben a holonokkal és ezáltal korlátozza az autonómiáját a rendszernek. A holarchia az architektúra, melyet a holonok szerveznek, és együttműködnek egymással. A holarchiában a holonok dolgoznak dinamikusan együtt egymással azért, hogy alkalmazkodjanak a kitűzött célok és a környezet létrehozása érdekében.[88]



3.3.1.1. ábra: A Holarchia kapcsolatköre [83,88]

A 3.3.1.2. ábrán vázolható az elképzelés lényege. A bemenő csatlakozások eredményei értékelésénél a holonon belül a bemenő erőforrások és az eredmények között visszacsatolás (feedback) lehet, amely az a 3.3.2. ábrán látható öntanulás formájában valósítható meg. Viszont a holonon kívül az eltérések miatt a bemenő anyagok, energia, majdan a kimenő energia között az önszerveződés alakulhat ki. Az adott belső holon, amelyben benne van, a 3 db téglalap, jelölhet akár embereket is a holonon belül, hiszen intelligenciát foglal magába. Példaként említhetjük a kézi szerelősort is. Vizsgálható kérdéskör az is például, hogy van-e belső környezet a holonon belül, vagy sem.



3.3.1.2. ábra A belső holon és az elképzelések [saját szerkesztés]

A 10 fő stratégia és szabály

1. Mindenek feletti stabilitás normál működés esetén.
2. Új komponens, vagy gép esetén is gyors reakció.
3. Ön-adaptáció arra az esetre, ha meghibásodna egy központi komponense a gépnek.
4. A vezérlő- rendszer gyors válasza arra az esetre, ha eltávolítunk egy forrást.
5. A vezérlő- rendszer gyors reakciója, ha egy gépegység tönkremegy.
6. A rendszer reagálásra képes tönkremenetel esetén is.
7. A rendszer reagál, ha gyors a vevői megrendelés.
8. A rendszer stabilitása, ha megnövekszik a megrendelés állomány.
9. A rendszer stabilitása arra az esetre is, ha az elrendezési terv, vagy bármi más megváltozna.
10. A rendszer stabilitása, ha és amennyiben váratlanul megnövekedne a tönkrement gépek száma [82].

Ezen stratégiai szabályok megvalósítása, illetve a gyártórendszer alapjai főleg Japánban, illetve az Amerikai Egyesült Államokban van jelen.

3.3.2. Optimalás egy speciális esete

A számítások a meglévő (M3 melléklet) gyártórendszerben a köszörülési paraméterek - költség optimalásra alumínium- oxid (korund) anyag esetén:

A KM -250- es Csepel-menetkőszörűgépen Dudás Illés és Cser István Gépgyártástechnológia IV. című könyv 245. oldal alapján [54]

A célfüggvény: 1. K: a megmunkálási folyamat költsége

$K_{\text{megmunkálási}}$: minimum, ahol:

Technológia: nagyolás +simítás

Ideje: nagyolási idő (lassú), simítási folyamat (gyors)

T: szerszáméltartam

t_1 : megmunkálási idő

C_M : a gép időegységre vetített költsége (beleértve a dolgozó, energia, hely, karbantartás, vállalati általános költségek)

I. eset: Menetkőszörűgép

$t_1=5$ perc,

$C_m=30.000$ Ft/h,

$K_{sz}=30.000$ Ft a korong ára,

$t_{cs}=20$ min a korongcsere ideje, mert jelen esetben balanszírozni nem kell,

L: megmunkálási hossz=70 mm,

v: vágósebesség=30 m/min,

n: fordulatszám=10.000 1/ford,

f: előtolás=0,2 mm/fordulat, $f=10$ mm/perc,

7-8 perc alatt lemegy a fogás,

T: szerszáméltartam=1000 min,

a fogmagasság: 5 mm,

átmérő: 150 mm.

$$K = C_m \cdot (t_1 + C_T \cdot \frac{t_1}{T}) = 30.000 Ft \cdot (5 \text{ min} + 21 \cdot \frac{5 \text{ min}}{1000 \text{ min}}) = 153.150 Ft$$

$$C_T = \frac{K_{sz}}{C_m} + t_{cs} = \frac{30.000}{30.000} + 20 \text{ min} = 21 \text{ min}$$

továbbá:

K_{sz} : 1 éltartamra eső szerszámköltség,

t_{cs} : 1 élre vonatkoztatott szerszámcsere idő.

Az egyszerűsítés az optimum helyét nem befolyásolja.

A megmunkálási idő t

L: hossz (mm)

n: fordulatszám (1/ford)

f: előtolás (mm/ford)

$$t = \frac{1}{n \cdot f} \cdot (1 + \frac{t_{cs}}{T})$$

A szerszáméltartam összefüggése:

A megmunkálási paraméterek és a szerszám elhasználódása (kopás, éltartam) közötti összefüggést jellemzi. Szerepel az optimális modell célfüggvényében.

Kopásmódok: kráteres, hát, csúcs, mellékél kopás, abrazív, diffúziós, stb.

Domináns kopás: jellege és az intenzitása szerint az adott gyártási formára jellemző kopásfajta [54]. Cél a kopás pillanatnyi értékének meghatározása:

$$\Delta = C_T \cdot a^{x_\Delta} \cdot f^{y_\Delta} \cdot v^{z_\Delta} \cdot t^{u_\Delta} = 21 \cdot 0,01^{0,09} \cdot 0,20^{0,04} \cdot 30^{0,01} \cdot 5^{0,09} = 21 \cdot 0,66 \cdot 0,94 \cdot 1,03 \cdot 1,16 = 15,56$$

ahol: Δ : kopás

$C_\Delta, x_\Delta, y_\Delta, z_\Delta$: a megmunkálási körülményekre jellemző állandó és kitevők:

a kitevők számértéke:

$$x_{\Delta} = 0,09,$$

$$y_{\Delta} = 0,04,$$

$$z_{\Delta} = 0,01,$$

$$u_{\Delta} = 0,9$$

a: fogásmélység,

f: előtolás,

v: forgácsolási sebesség,

t: forgácsolásban eltöltött idő.

Taylor –éltartam egyenlete:

$$C_v = v_c \cdot T^m$$

Bővített Taylor éltartam egyenlet:

Az adott kopásérték mellett, az ipari tapasztalat szerint sokszor ezt használják.

Lényeges az érvényességi tartomány kezelése is.

$$T = \frac{C_T}{v^{x_T} \cdot f^{y_T} \cdot a^{z_T}} = \frac{21}{30^{0,01} \cdot 0,2^{0,04} \cdot 0,01^{0,09}} = 33,33 \text{ min}$$

Az optimalás további algoritmus: 251.o.

$$T^m = \frac{C_v}{v \cdot f^{y_v} \cdot a^{x_v}} = \frac{C_v}{\frac{\pi \cdot d}{1000} \cdot n \cdot f^{y_v} \cdot a^{x_v}} = \frac{C_v^x}{a^{x_v} f^{y_v} \cdot n}$$

ez alapján számítható paraméteresen:

$$n_{opt} = \left[\frac{C_v^x}{H_1^{y_v} \cdot a^{x_v} \cdot T_{sz1}^m} \right]^{\frac{1}{y_v \cdot N_1 + 1}}$$

$$f_{opt} = H_1 \cdot v_{opt}^{N_1}$$

Összegzés: az adott köszörülési technológiára vonatkozóan meghatároztam a technológia költség igényét, melynek összege: 153.150 Ft

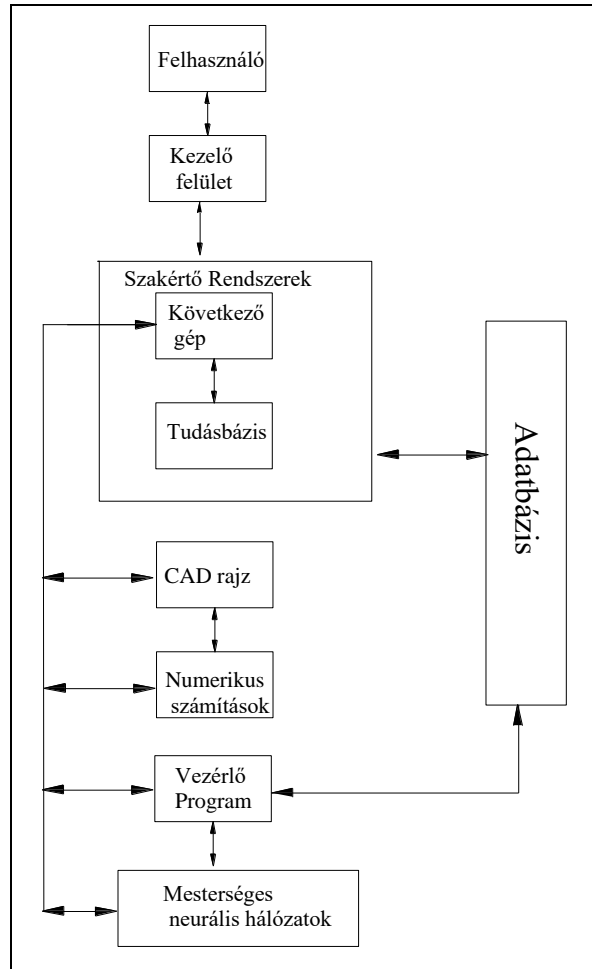
Az adott technológia optimális éltartama: 33 perc

A szakember dönti el, hogy a korong lehúzását 2 és 5 között végezzük általánosságban. Ezen lehúzások száma függ a köszörűkorong anyagminőségétől, típusától és átmérőjétől, illetve a megmunkáló szerszámgép típusától, teljesítményétől, stb..

3.4. A szakértői rendszerek alkalmazása csavarfelületek előállítására

Az Intelligens Integrált Rendszerek egyik központi egysége a szakértői rendszer, mely az adott speciális szakterületen képes tudásbázisával a folyamatot vezérlő embert segíteni, illetve extrém esetben akár helyettesíteni, ahogy ezt a 3.4.1. ábra vázolja [54].

Az Intelligens Integrált Rendszerek a belül elhelyezkedő szakértői rendszerekkel együtt működésének lehetőségeit mutatjuk be a helikoid hajtópárok konstrukciója és gyártása szakterületén.



3.4.1. ábra. A szakértői rendszer Dudás Illés-Cser István -féle modellje [54]

4. A GYÁRTÓRENDSZER MATEMATIKAI ADAPTÁLHATÓSÁGA

A matematikai tudomány egyre szignifikánsabban fejlődő részét manapság a neurális hálózatok adják. A célkitűzés a következő, találni egy megfelelő kapcsolatot ezen rendszerek és a holonikus gyártórendszerek között. Előzőekben már említést tettünk a holonikus gyártórendszerek halmazelméleti megközelítéséről [2].

4.1. A neurális hálóról

A holonikus gyártórendszerek felfoghatóak úgy, mint neurális hálózatok sorozata. Ezen belül pedig elsősorban, mint egy hierarchikus módon szerveződő neurális háló, a rendszerek egymásra való épülése miatt. A holonikus gyártórendszer alapegysége a holon. A neurális háló alapegysége a neuron, emiatt a 2 rendszer összevetése kézenfekvő. A holonikus alárendelt egységei a holonok önálló intelligenciával rendelkeznek. A neurális hálók minden tagja szintén intelligens, önszabályozó, önszervező és öntanulásra is képes, mely bizonyítéka annak, hogy párhuzamot vonjunk e két rendszer között. Az intelligens egységek egymás közötti kommunikációja biztosítja a rendszer zavartalan működését, még a központ holon (vagy központi neuron) esetleges meghibásodása esetén is [Mándy: M-11] A matematikai módszerekkel a tanulás leírása egy rendkívül bonyolult és igen összetett eljárás. Ennek az alapjait közlöm a gyártórendszer szempontjából. Körülbelül 50 éve javarészt a biológiai kutatómunkák eredményeképp merült fel az a gondolat hogy természetes „biológiai” neurális hálózatok mintájára is előállíthatóak számítógépes rendszerek [2]. A neurális rendszerek összekapcsolhatóak is szignifikánsan hasonlóak a biológiai neurális szisztémákkal sok egymással is összekötötésben álló elemi műveletvégző egységből jönnek létre, melyek párhuzamos működésük miatt bonyolult feladatok igen gyors megoldásra is képessé válhatnak.

Párhuzamos összekötötéssel és tanulási képességekkel rendelkeznek. A neurális kapcsolatkörök nagyméretű párhuzamossága a nagysebességű működés egyik biztosítója. Neurális hálónak nevezzük azt a hardver vagy szoftver megvalósítású párhuzamos osztott működésre képes információ feldolgozó eszközt amely:

Azonos lokális feldolgozást végző műveleti elem neuron többnyire rendezett topológiájú összekapcsolt rendszeréből áll. Ismeri a tanulási algoritmust. Ismeri a megtanult információ ún. előhívási algoritmusát [2].

4.2 A rendszeren belüli „tanulás”

A tanulás két típusát különböztethetjük meg:

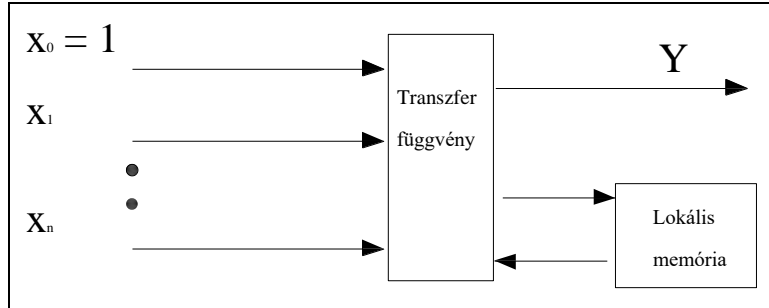
1. **Ellenőrzött tanulás:** a hálózat összetartozó értékpárjai mintapont párként állnak a rendelkezésre. A háló feladata az, hogy megtanulja a mintapárok által reprezentált bemenet- kimenet absztrakciót.
2. **Nem ellenőrzött tanulás:** nem állnak rendelkezésre az adott bemenethez tartozó válaszok. A hálózatnak a bemenetnek és a kimenetnek alapján kell valamilyen magatartást kialakítania, a környezetből nincs azonban semmilyen visszajelzés, ami a hálózat viselkedésének a helyességére utalna.

4.3 A neuronok felépítése

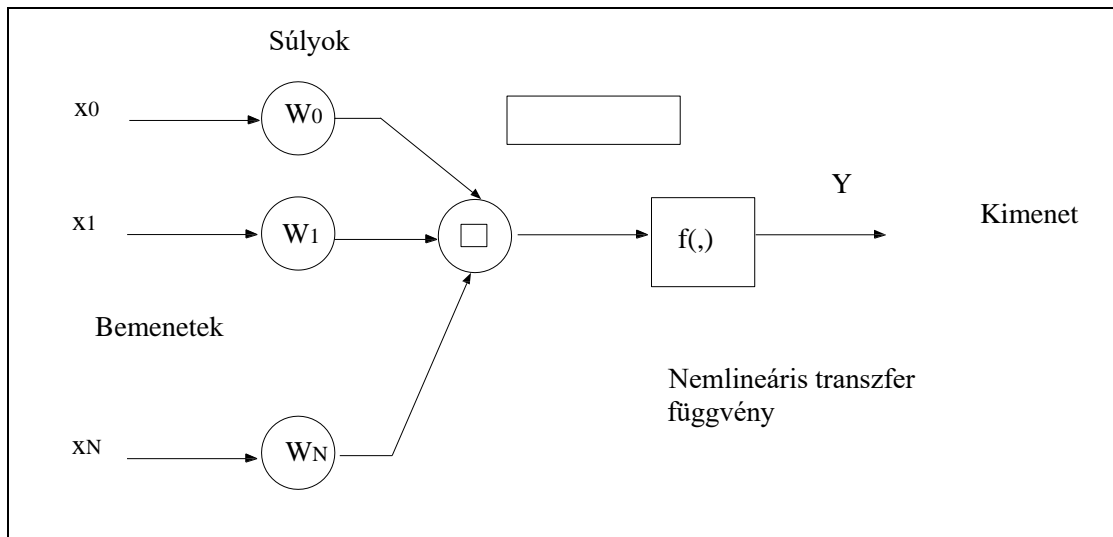
Egy neuron, vagy műveleti elem általánosan, ún. processzáló elem sokszor több bemenetű és egy kimenetű eszköz, amelyben a bemenetek és a kimenetek között általában nemlineáris leképezés valósul meg. A nemlineáris függvényt aktiváló, vagy aktivációs függvénynek hívjuk. A neuronok rendelkeznek változó értékeket hordozó bemenetekkel, illetve rendelkeznek állandó értéket hordozó bemenetekkel ilyen például a 4.3.1. ábrán az x_0 . A neuron működését az alábbi formában adhatjuk meg:

$$y(k)=f(x(k), x(k-1), \dots x(k-M), y(k-1), \dots y(k-L)) \quad (4.3.1.)$$

ahol $x(k)=[x_0(k), x_1(k), \dots x_N(k)]^T$. Az N változó –és egyetlen konstans bemenetet egy $N+1$ elemű x vektorba fogtuk össze. Itt a neuron egy $f: R \rightarrow R$ leképezést valósít meg [2]. A 4.3.1. ábra egy egyenrangú bemenetekkel rendelkező memória nélküli neuron (perceptron) felépítését szemléletesen mutatja be.



4.3.1. ábra Transzfer-Lokális memória [2]



4.3.2 ábra: A nemlineáris transzfer függvény [2]

A műveleti elemek legáltalánosabb és egyben legelterjedtebb formája az egyenrangú bemenetekkel rendelkező memória nélküli neuron, melynek a felépítése a 4.3.2. ábrán látható [2]. A holonikus gyártórendszerben is léteznek bemenetek (input), illetve kimenetek (output). Például gyártórendszeren belül lehet bemenet a nyersanyag, energia, félkész termékek és információk. Kimenatként elsősorban az információ, illetve a gyártott termék található.

Az ismertetett neuron esetén az x_i skalár bemenetek $w_i(i=0,1,2,\dots)$ súlyozással kerülnek összegzésre, majd a súlyozott összeg egy $f(.)$ nemlineáris elemre kerül.

A háló szummázó pontján a bemeneteknek a lineáris kombinációját kapjuk végeredményül

$$S = \sum_{i=0}^N w_i x_i = w^T x. \quad (4.3.2.)$$

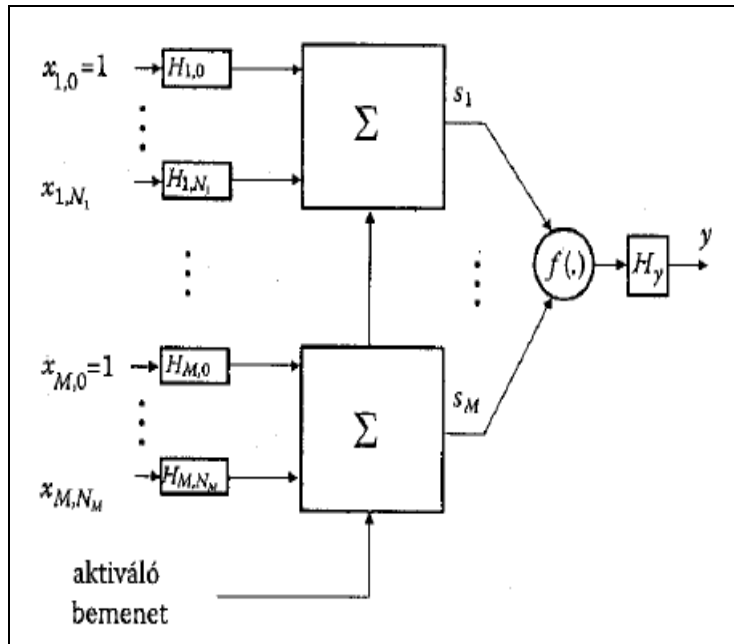
A memória nélküli neuronoknak a lineáris változata esetén a szummázó kimenete közvetlenül a neuron kimenetét is jelenti

$$y = s = w^T x. \quad (4.3.3.)$$

A következő példa már egy memóriával és tárolási funkcióval ellátott neuron struktúráját adja. Ebben az esetben a neuron struktúrája kötöttebb, mint az előző esetben. A memóriával és M bemenetű aktivációs függvénnyel rendelkező neuron esetére egy példa a 4.3.3. ábrán

látható, amely képes egy általános műveleti elemmel kialakítható legtöbb funkció kialakítására [2].

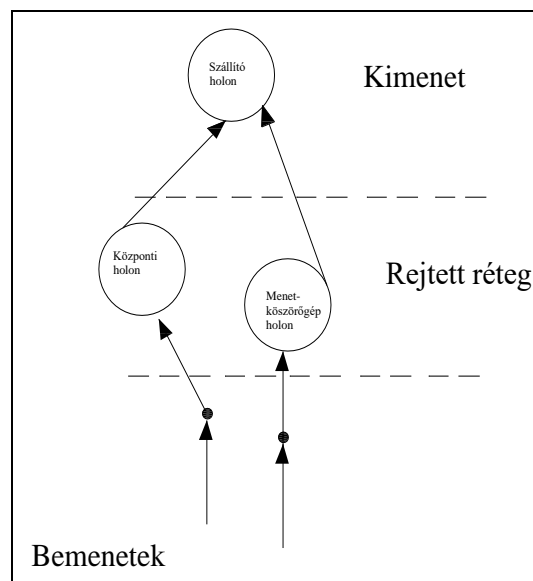
A tárolási funkció itt is a neuron bemenetén és a kimenetén felépített lineáris dinamikus rendszerekben valósul meg, hasonlóan a gyártórendszerekhez.



4.3.3 ábra FIR/IIR neuron struktúra [2]

4.4 A neurális hálózat topológiája

1. *Bemeneti neuronok:* Más neuronok továbbítására szolgálnak.
2. *Kimeneti Neuronok:* A környezet felé továbbítja az adatokat.
3. *Rejtett Neuronok:* A bemenet és a kimenet kizárólag más neuronokhoz kötődnek.



4.4.1 ábra: Rejtett rétegek holonon belül [2]

A neurális (holonikus) hálózat N bemenettel és M kimenettel rendelkezik. A súlyvektor szerepét a súlyokból képezett W mátrix veszi át és a kimeneten az y vektort kapjuk. Az alábbi összefüggés a nemlineáris aktivációs függvény esetét mutatja [2]

$$y=f(s)=f(Wx) \quad (4.4.1.)$$

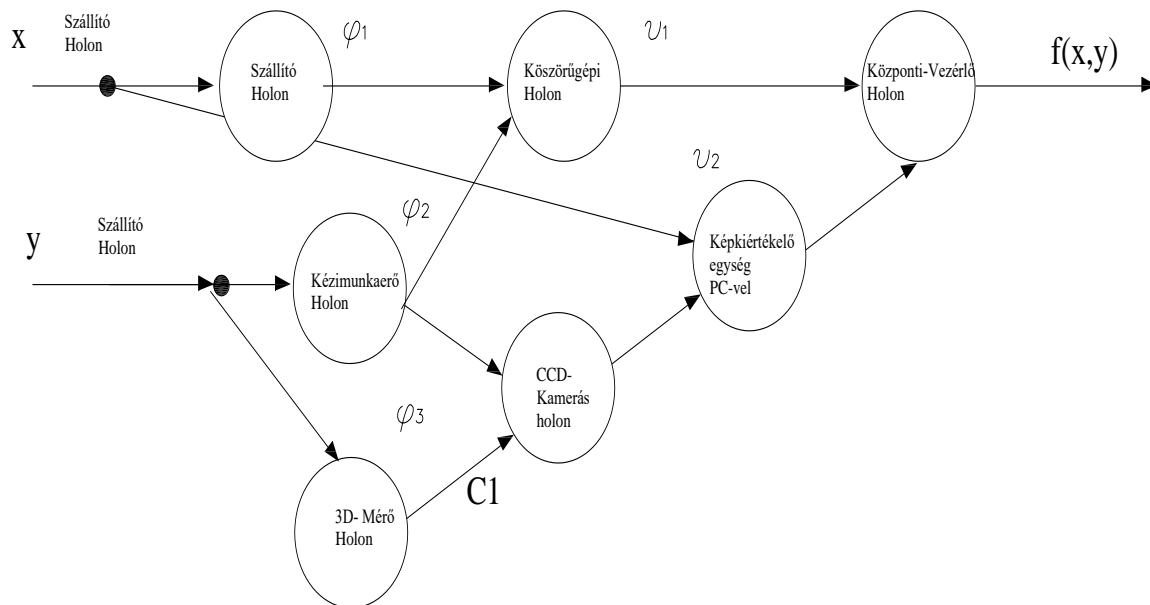
A neurális hálók összetételét nem csupán gráf reprezentációval határozhatjuk meg, hanem az egyes rétegek közötti összeköttetést mátrixok alkalmazásával is leírhatjuk. Az adott rétegek neuronjaihoz tartozó súlyok egy mátrixba foghatóak össze, ahol a mátrix egyes sorai az egyes neuronok súlyaiból képezett vektorok. $W^{(l)}$ az l -ő rétegben lévő neuronok súlyaiból, mint sorvektorból képezett mátrix. A többrétegű, előrecsatolt háló egyes rétegei által megvalósított leképezés, tehát ha az összeköttetések csak a mellette lévő rétegekben lévő neuronok között vannak, [2] a következő formában fejezhető ki

$$y^{(l)} = f(s^{(l)}) = f(W^{(l)}y^{(l-1)}) \quad (4.4.2.)$$

Egy két rejtett réteggel rendelkező hálózat bemeneti-kimeneti leképezése ennek megfelelően a következőképpen alakul

$$y=f(W^{(2)}f(W^{(1)}x)). \quad (4.4.3.)$$

Itt a $W^{(1)}$ illetve $W^{(2)}$ rendre az első és a második aktív (rejtett) réteg súlyait tartalmazó mátrix az $f(s)$ függvény összetevőjeként kell értelmezni. A következőekben pedig a holonikus gyártórendszer példáján keresztül a függvényeket szuperpozícióban használva a következő gráfot kapjuk: az x a félkésztermékek bemenő adatait szimbolizálja. Az y a nyersanyagot szimbolizálja, melyet embereknek, illetve mérőgépnek kell szemrevételeznie és megmérnie, hogy ezek után a képkiértékelő egységhez illetve már esetlegesen a Köszörűgép holonhoz kerülhessen. Példája a 4.4.2. ábrán látszik.



$$f(x, y) = \mathcal{G}_1(\varphi_1(x), \varphi_2(y)) + \mathcal{G}_2(c_1\varphi_3(y) + \varphi_2(y))$$

4.4.2. ábra A neurális háló adaptálása gyártórendszerre [Mándy, M:11]

Az említett függvény igazából egy neurális hálózati struktúrával megvalósítható leképezést takar, ahol a bemeneten használt lineáris puffer neuronok mellett összegző és kétbemenetű nemlineáris neuronokat alkalmazunk, a neuronok aktivációs függvényei viszont rendre az összefüggésben alkalmazott egyváltozós függvények.

A Regresszió bevezetése

Az osztályozási feladatok esetében a rendszer által képviselt leképezést

$$(x_1, d_1), (x_2, d_2), \dots, (x_l, d_l) \in R^N \times \{\pm 1\} \quad (4.4.4.)$$

tanító pontok alapján közelítünk, míg a regressziós feladatnál a meglévő álló összetartozó tanító mintapárok

$$(x_1, d_1), (x_2, d_2), \dots, (x_l, d_l) \in R^N \times R \quad (4.4.5.)$$

Ez egy általában zajos leképezés a

$$d_i = g(x_i) + n_i \quad (4.4.6.)$$

eredményeképpen kapható.

A Rosenblatt perceptronról

Olyan hálózatot jelent, mely képes arra, hogy megfelelő beállítás tanítás után- két lineárisan szeparálható bemeneti mintahalmazt szétválasszon. Következésképpen, hogy a bemeneti mintateret egy síkkal két diszjunkt tartományra tudjuk bontani úgy, hogy a két tartomány eltérő osztályba tartozó bemeneti mintapontokat tartalmazzon.

Az egyszerű perceptron felépítéséből látható, hogy ez egy lineáris kombinációt megvalósító hálózat, amelynek a kimenetén egy küszöbfüggvény nemlinearitás szerepel, azaz egy memória nélküli processzáló elem.

A küszöbfüggvény a lineáris kombináció következtésképpen kapott súlyozott összeg előjelét szolgáltatja kimeneti jelként [2].

$$y = f\left(\sum_{i=0}^N W_i x_i\right) = \text{sgn}\left(\sum_{i=0}^N W_i x_i\right) = \text{sgn}(s) \quad (4.4.7.)$$

ahol $\text{sgn}(\cdot)$ az előjel-függvény (szignum függvény).

A tanítás kifejlesztése során a megfelelő elválasztó terület definiálása a cél az intelligens gyártórendszerekénél, vagyis azon w súlyvektor kialakítása, amely mellett az egyik osztálybeli bemeneti adatokra a lineáris kombináció következménye pozitív, míg a másik osztálybeli pontokra negatív. Az elválasztó felületet azon bemeneti pontok határozhatják meg ahol $s = W^T x = 0$. Az elválasztó felület a bemeneti mintatérben tehát egy, az origón átmenő, a súlyvektorra (w) merőleges sík (hipersík).

A tanulási procedúra az, hogy egy $f(x, w)$ paraméteres függvényhalmazból ahol W a paramétertér, vegyünk ki egy függvényt oly módon, hogy az adott x_i bemenetre a kiválasztott karakterisztika $y_i = f(x_i, w)$ válasza valamely értelemben a lehető legjobban adja az ismeretlen leképezés azonos bemenetre adott d_i választát. A d_i válaszokat kívánt válaszoknak nevezzük (desired response). A függvény-halmaz szabad paramétereit tartalmazó w vektort a W paramétertér megfelelő pontjaként az elérhető mintapontok alapján kell megválasztani vagy meghatározni [2].

A perceptron tanulásának jellemzői

Bevezetésre kerülnek a következők: Jelölje $X^{(1)}$ azon bemeneti mintapontok halmazát, amelyek az (1) osztályba $X^{(2)}$ pedig azon mintapontok részét, melyek a (2) osztályba tartoznak, és tételezzük fel hogy mind a $X^{(1)}$ mind $X^{(2)}$ véges számú vektort tartalmaz.

Jelölje továbbá w^* egy olyan súlyvektort, amely mellett a hálózatot osztályoz, vagyis $W^{*T} x > 0$, ha $x \in X^{(1)}$ és $x^{*T} x < 0$, ha $x \in X^{(2)}$.

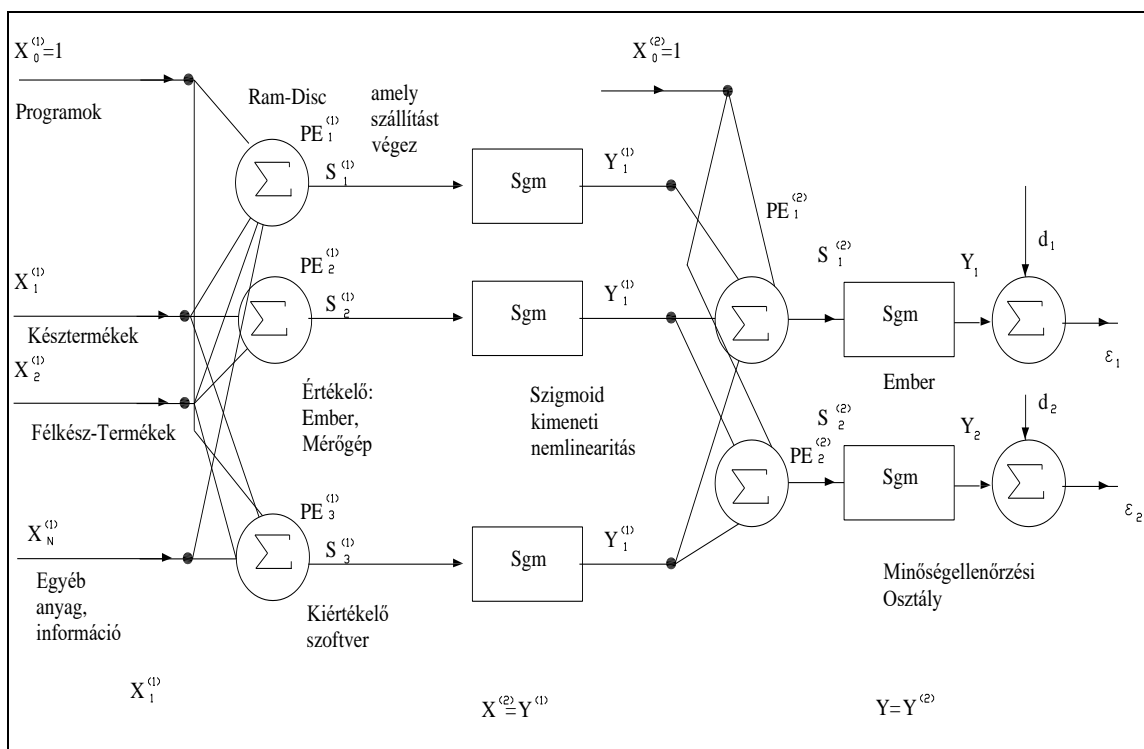
A hálózat tanítását a következő módozattal végezzük: egyenként vegyük az összes bemeneti mintapontot, határozzuk meg mindegyik lépésben a hálózat választát, és az alábbi összefüggés szerint modifikáljuk a súlyvektort: [2]

$$w(k)=w(k-1)+\alpha (d(k)-y(k))x(k)=w(k-1)+\alpha \varepsilon (k)x(k) \quad (4.4.8.)$$

4.5. A többrétegű perceptron (MLP)

A többrétegű perceptron (multi-layer perceptron a továbbiakban: MLP) a gyakorlati feladatok megoldásánál talán a legfrekvenciáltabban használt hálózat-architektúra a holonikus gyártórendszereknél. A 4.5.1 ábra két aktív réteggel rendelkező hálózatot mutat, amelyben az első aktív rétegben –a rejtett rétegben- három a második aktív rétegben -a kimeneti rétegben – két processzáló elem lelhető fel. A hálózat, valójában egy többrétegű előrecsatolt hálózat. Egy adott méretű, többrétegű szigmoid nemlinearitásokat tartalmazó hálózat -a súlyvektorok formájával után- tetszőleges folytonos nemlineáris függvény tetszőleges pontosságú maximalizálására képes. A súlyvektorok definiálása összetartozó $\{x_i, d_i\}$ tanítópont-párok használatával ellenőrzött tanuló eljárással történik [2].

A hálózat sematikus vázolásával a gyártórendszereknél vezessük be a következő jelöléseket: egy az L információfeldolgozást végző rétegből álló MLP-nél az egyes rétegeket felső indexszel ($l=1,2,\dots,L$) definiáljuk. A rétegeken belül processzáló elemekhez (PE) az i indexet adjuk, míg j a PE bemeneteit megkülönböztető index jelölésére szolgál - ez lesz egyben az adott súlyvektor komponenseinek az indexe is-. A neuronok bemeneteire kerülő jeleket x -szel a kimeneti jeleket y -nal jelöljük, azonosan használva a réteges és rétegen belüli indexeket. A kimenetekenél szétválasszuk a súlyozott összegző kimenetét a neuron nemlineáris kimenetétől. A lineáris kimenetet az eddigi jelölésekhez hasonlóan s -el jelöljük. Egy MLP tetszőleges számú rejtett réteget alkalmazhat, és mint ahogy az előzőekben láttuk, ahhoz hogy egyetemes approximátor tulajdonsággal rendelkezzen legalább egy szigmoid nemlinearitással (sgm) rendelkező rejtett réteget kell, magába foglaljon. A kimeneti réteg lehet lineáris-, de nemlineáris is. Az MLP bemutatásánál az általánosabb tárgyalás érdekében feltételezzük, hogy nemlineáris kimeneti réteget használunk, lásd 4.5.1 ábra [2]. Ezzel adaptáltuk a modellt holonikus gyártórendszerre.



4.5.1. ábra: A többrétegű perceptron adaptálása gyártórendszerre
Az MLP- rendszer

Ahogy az látszik a 4.5.1 ábrán, inputként négy-féle információforrás van a rendszerben. Programok, kész termékek, félkésztermékek, és egyéb információk. Ezeket több, ún. összegző (szummázó) neuron (holon) hívatott rendszerezni, szortírozni, nevezetesen a RAM-DISC egy értékelő, gép és esetlegesen egy kiértékelő szoftver.

Ezeket követi egy szigmoid kimeneti nemlinearitás, melyet terjedelmi okokból nem áll módunkban kifejteni. Ezek után szintén egy áganként összegző neuron iktatódik be. A sor legvégén pedig a Minőségellenőrzési Osztály áll.

A fenti elképzelésnek megfelelően az MLP bemenet-kimenet leképezése a következő lesz

$$y=f(W^{(L)}f(W^{(L-1)}\dots f(W^{(1)}x)) \quad (4.5.1.)$$

ahol $W^{(l)}$ l -edik réteg neuronjainak súlyvektorait összekapcsoló mátrix, $f(\cdot)$ pedig az egy réteghez tartozó neuronok kimenetein értelmezhető szigmoid függvényeket adja. Egy MLP a még a legáltalánosabb esetben is, amikor csak egy rejtett réteget tartalmaz, paramétereiben nemlineáris leképezést realizál [2].

A háló kimeneti négyzetes hibája a k -adik lépésben

$$\varepsilon^2(k) = \varepsilon_1^2(k) + \varepsilon_2^2(k) = (y_1(k) - d_1(k))^2 + (y_2(k) - d_2(k))^2 \quad (4.5.2.)$$

A súlymódosításhoz a megfelelő súlyok szerinti pillanatnyi deriváltak

$$\nabla_{ij}^{(1)}(k) = \frac{\partial \varepsilon^2(k)}{\partial w_{ij}^{(1)}(k)} \quad (4.5.3.)$$

A kimeneti rétegnél ($L=2$) a pillanatnyi derivált (gradiens) azonos a szigmoid nem-linearitást tartalmazó elemi neuronnál (holonnál) definiált deriválttal (gradiens), hiszen a kimeneti réteg processzáló elemeinek működése semmiben sem tér el az egyetlen, szigmoid kimeneti nem-linearitással rendelkező PE működésétől.

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial w_{ij}^{(2)}} = -2\varepsilon_i \text{sgm}'(s_i^{(2)})x_j^{(2)} = -2\delta_i^{(2)}x_j^{(2)} \quad (4.5.4.)$$

A súlymódosítás

$$w_i^{(2)}(k+1) = w_i^{(2)}(k) + 2\mu\varepsilon_i(k)\text{sgm}'(s_i^{(2)}(k))x^{(2)}(k) = w_i^{(2)}(k) + 2\mu\delta_i^{(2)}(k)x^{(2)}(k) \quad (4.5.5.)$$

4.6. Az optimalizálás

Annak eredményeképpen, hogy a holonikus gyártórendszer integrált rendszert definiál, felépíthető rá egy matematikai szerkezet. Ezen struktúra a legjobban a halmazállapotú összefüggéssel hozható viszonyrendszerbe. A holonikus gyártórendszerek több intelligens egységből tevődnek össze. A gyártórendszer realizálható úgy, mint egy halmaz, melyben több elem, esetleg részhalmaz található és értelmezhető. A halmazelmélet műveletei, úgymint az unió, a metszet és a komplementer halmaz itt is értelmezhetők, és érvényesíthetők. Példaként a 4.6.1. ábrán látható a CNC-vezérlésű köszörűkorong-szabályzó készülék halmazelméleti összekapcsolódásai láthatók, ahogy az adott gyártórendszer 3 darab fő holonból áll. Ezen holonokon belül szintén önmagukban is intelligens alárendelt holonok lelhetőek fel. A 3-as holont tekinthetjük a központi holonnak, mert itt található a számítógép a vezérlőegység részeként. Az 1-es Holon része a memória tár, a RAM-DISC, mely küldi- és veszi a vezérlőprogramokat a CNC-vezérlésű korongszabályzóba, míg végül a köszörűgép végre

nem hajtja az rendelkezéseket. A 2-es Holon az a hely, ahol a 3D-s mérőgép, a CCD- kamrás egység és a képkéértékelő rendszer, egy afféle mérőholont valósítanak meg [Mándy: M-17].

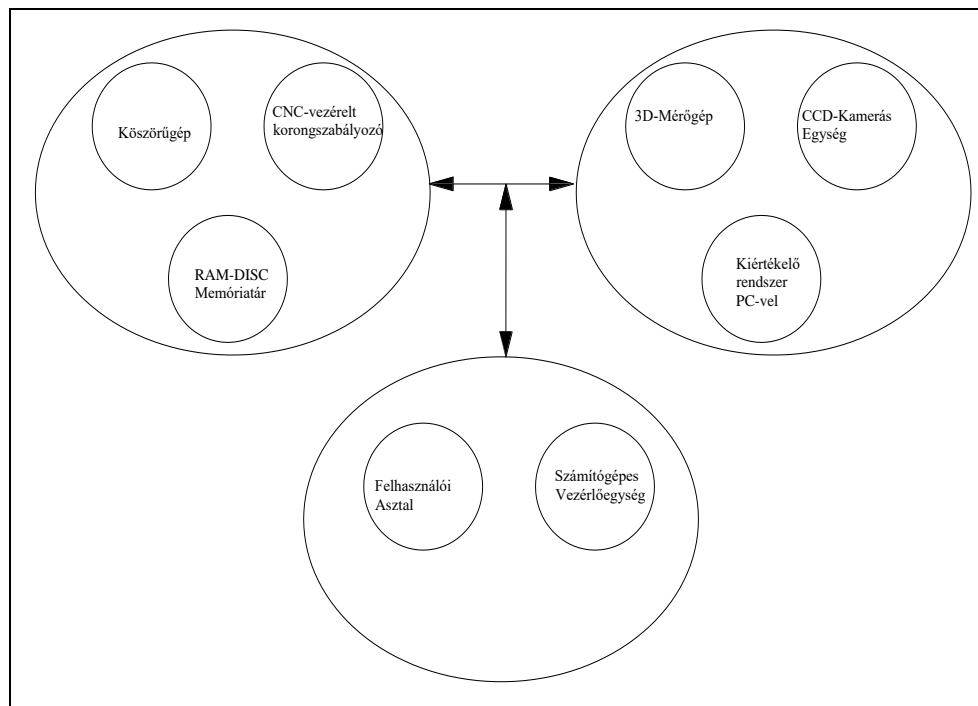
4.6.1 Az optimalizálás lehetősége

A költség optimalizálás tekintetében az elemi holonok tekintetében néhány kikötéssel kell élnünk. A kompozit holon átfomálódik termelő holonná h_n , mely a C_n -nek része, és függ, az U_n és R_n -től, ahol az U_n jelenti a kompozit holonokat, R_n pedig a forrás holonok összességét, mely alkotórésze a C_n -nek. A $C_n(U_n, R_n)$ szerkezete arra hívatott, hogy megoldja a Holarchia probléma körét a következőképpen: jelentse az U_n az összes lehetséges kompozit holont, mely függ C_n -től, és az R_n az összes lehetséges forrás holont. A költség-optimalizálás tekintetében az $C_n(U_n, R_n)$ célja az, hogy találjunk egy olyan minimális költségű forrás holont és kompozit holont, melynek eredménye megvalósítható megoldáshoz vezet. Jelentse h_r a forrás holont, ahol az r eleme R_n -nek, továbbá jelentse W_r a h_r költségét a tevékenységeinek a végrehajtásához, valamint jelentse W_n a költség-funkciókat, mely meghatározza a $C_n(U_n, R_n)$ -nek az egész költségét. És végül a W_n a kompozit holonok költsége. A holarchia optimalizálási problémája (HOP), a következő egyenlettel fejezhető ki [Mándy, M-17].

$$\min_{R_n, U_n} W_n = \min_{R_n, U_n} \left(\sum_{r \in R_n} W_r + \sum_{n \in U_n} W_n \right) \quad (4.6.1)$$

Annak

következtében, hogy a holonikus gyártórendszer integrált rendszert jelent, felépíthető rá egy matematikai struktúra. Ezen struktúra a legjobban a halmazállapoti összefüggéssel hozható kapcsolatba. A holonikus gyártórendszerek több intelligens egységből tevődnek össze.

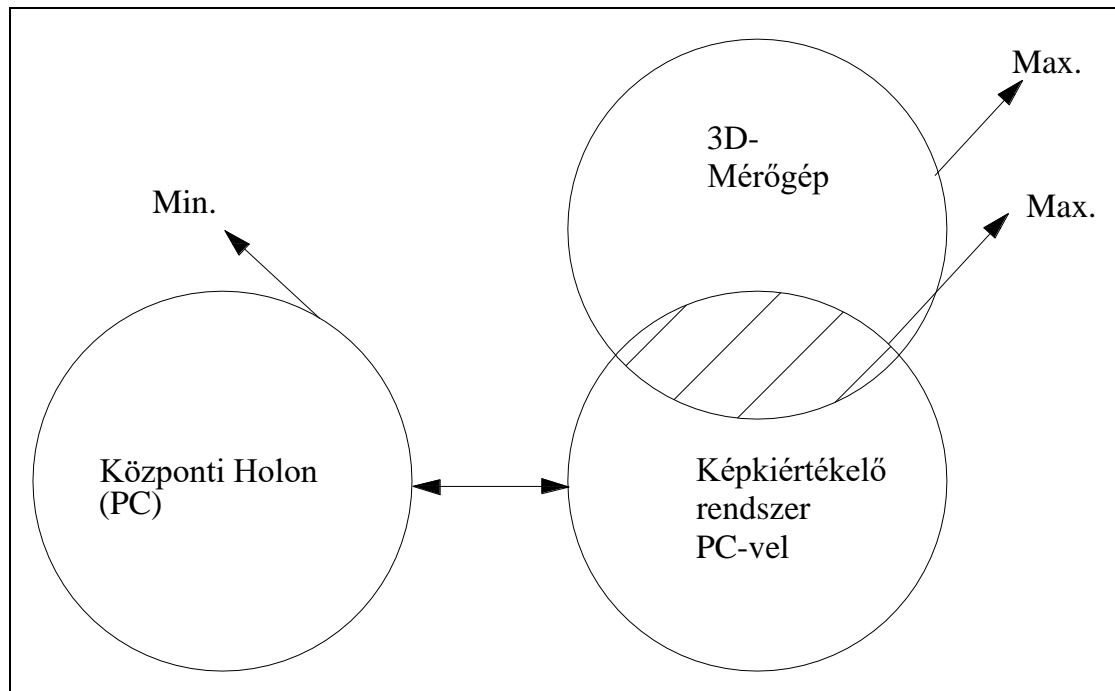


4.6.1. ábra. A halmazelméleti összefüggés [saját szerkesztés, Mándy, M-17.]

A gyártórendszerre, melyet halmazelméleti műveletekkel felruházott halmazként értelmezünk, egy példát a 4.6.1. ábra mutat be. Itt egy CNC-vezérlésű köszörfűkorongszabályozó készülék kerül bemutatásra, minthogy a szóban forgó gyártórendszer 3 db fő holonból áll. Mindezen holonokon belül úgyszintén önmagukban intelligens és alárendelt holonok vannak. A 3-as holont a központi holonnak tekinthetjük, mert itt van a számítógép a vezérlőegységnek a részeként. A Holon 1 része maga a memória tár, a RAM-DISC, amely

küldi- és veszi a vezérlőprogramokat a CNC-vezérlésű korongszabályozóba, mindaddig, míg a köszörűgép végre nem hajtja az utasításokat. A Holon 2 az a hely, ahol a 3D-s mérőgép, a CCD-kamerás egység és a képkéértékelő rendszer, egy úgynevezett mérőholont valósítanak meg.

Mindezek után még egy matematikai folyamat, az optimalizálás is érvényesíthető itt, hiszen nem közömbös, hogy mekkora az adott halmaz, illetve az unió nagysága is képezheti esetlegesen a minimalizálás vagy a maximalizálás tárgyát. A 4.6.1. ábra az optimalizálást hivatott vázolni. Látható a cél, hiszen a központi számítógépi holon feladatát a minimálisra kell csökkenteni, mert meghibásodása esetén túl sok időt venne igénybe a karbantartás és az emiatti leállítás. A megoldási metódus abban létezhet, hogy nagyobb autonómiával kell rendelkeznie az alárendelt holonoknak és esetlegesen a feladatköreiket néhánynak maximalizálni kell a jobb működési mechanizmus elérése miatt [2]. A példában a mérőgép és a képkéértékelő rendszer szerepel, hisz szenzorokkal felruházott önmagukban is intelligens gépegységekről van szó. Érdemes megemlíteni a lehetőségét a RAM-DISC és a CNC – vezérlésű korongszabályzó feladatkörének a maximalizálásáról. A RAM-DISC memóriatár, képes nagyobb mennyiségű adatot is tárolni, de maga a CNC vezérlés is képes adattárolásra. Tehát a RAM-DISC feladatainak a minimalizálása után esetlegesen ki is iktatható a rendszerből mert helyettesíthető 4.6.2 ábra.



4.6.2. ábra. Az optimalizálás lehetősége [saját szerkesztés, Mándy, M-17].

4.7. A folyamatos korongszabályozásról

Az imént bemutatott speciális rendszer sarkalatos metódusa a folyamatos korongszabályozásnál jól szemlélteti a holonok közötti szükséges viszonyrendszereket. Ez a bonyolult művelet a korongszabályozó holon és a mérőholon szoros kooperációját igényli.

Ennek vázlatosan a következő szemlélet a bázisa:

Kollégiais körökben ismert, hogy a relatív mozgásban a csiga és a köszörűkorong egymást kölcsönösen burkolja. Minekután a most tárgyalt feladat esetében a kúpos csiga fogfelületének pontosságát kívánjuk biztosítani, így a korongprofil folyamatos változtatására kell egy módszert adni. Az 1. helyzetből a 2. helyzetbe történő korong-mozgás során a kúpos csiga torzításmentes profiljának definiálását a folyamatos tengelytáv és kopásból adódó

átmérőviszony változás miatt folyamatosan korrigálni kell. Ehhez egy meglévő - a burkolás matematikai háttérét adó és a korong tengelymetszeti profilját definiáló - programcsomag alapján működő CNC korongszabályozó berendezés kell, mely a korong tengelyirányú továbbmenetele során mindig az éppen aktuális profilra szabályozza a korongot [44].

A köszörülési technológia során a korong kopása miatt a korong profilja és az átmérője is változik. Emiatt a generált csigaprofil torzul az elméleti profilhoz képest túlmenően a geometriai összefüggésében az eredeti, kiinduló állapothoz képest is.

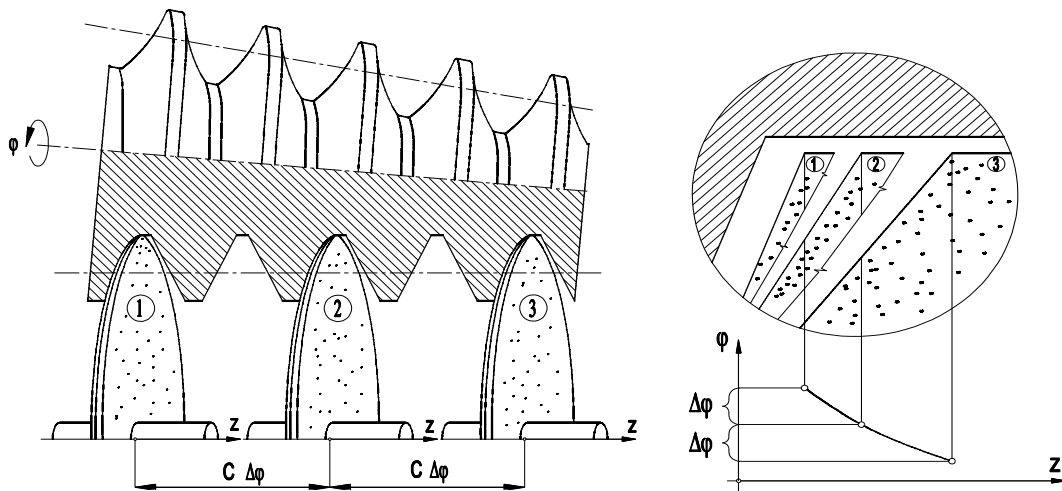
A kúpos csavarfelület tengelymenti átmérőváltozása a csavarprofil állandó változását vonja maga után a korongprofil állandósága használatánál.

Az ajánlott köszörülési eljárásnak előnye az teoretikusan pontos gyártás, hátránya viszont, hogy a folyamatos szabályozás miatt nagy a korong anyagvesztesége és így gazdaságtalan lehet a technológia. További hátránya az, hogy a szabályozó korong spirális felületet alakít ki a köszörűkorongon, mely a fordulatszám függvényében pontatlanságot ad [44].

A folyamatos korongszabályozás, nemcsak a 3 fő helyen megnézve a 4.6.3. ábrán látható módon, folyamatosan egy függvényt illeszt a szabályozásra.

A burkolóvágások számának kialakításával megadható, hogy a csiga a célnak és az előállításra vonatkozóan a gazdaságosság szempontjának is megfelelően az előírt tűrésen belül legyen.

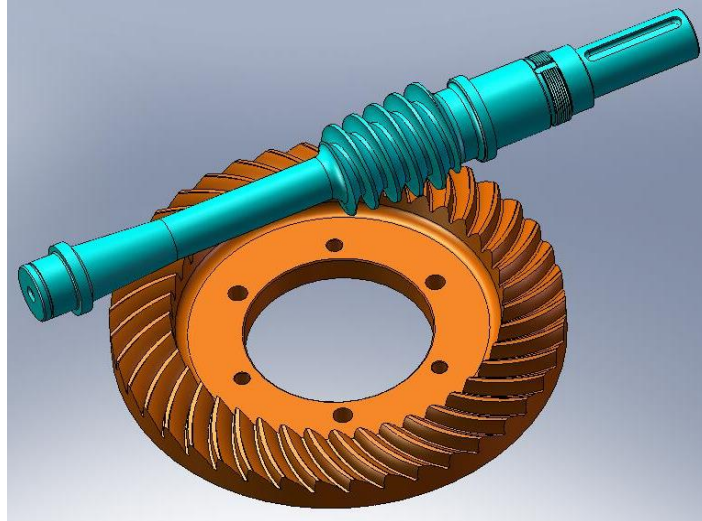
A CNC korongszabályozó berendezés működési vázlatát a 6.2.1. ábrán látható [44].



4.6.3. ábra Adott kúpos csigaprofil esetén a korongprofil szükséges változtatása a kúpos csiga átmérőjének függvényében [44]

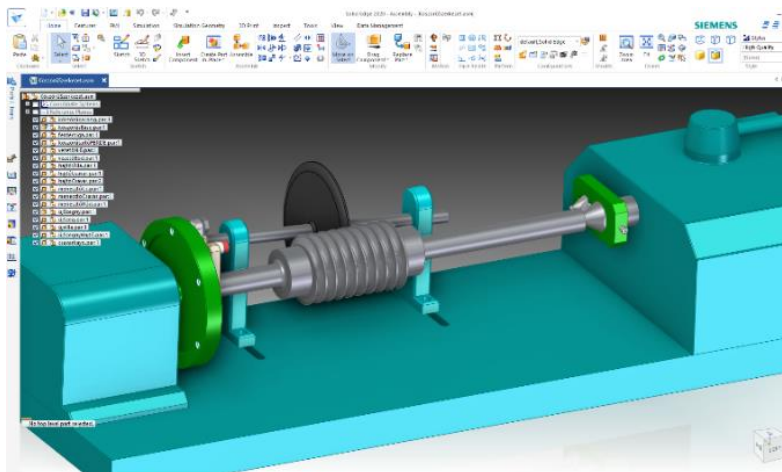
5. KÚPOS CSAVARFELÜLET CSÚCSELÁLLÍTÁSSAL TÖRTÉNŐ MEGMUNKÁLÁSÁNAK KONSTRUKTÍV GEOMETRIAI ELEMZÉSE ÉS A MENETEMELKEDÉSI PROBLÉMA KIKÜSZÖBÖLÉSE

A technikai praxisban tapasztaltak szerint a sokoldalúan felhasználható kúpos csavarfelületeket nagyrészt kúpos csiga működő felületeként alkalmazzák. A hengeres vonalfelületű csigához hasonlóan a kúpos csiga esetén is értelmezhető az evolvens, az archimedesi és a konvolut csavarfelület. A spiroid hajtópár előnyösen alkalmazható például a robotoknak, vagy a szerszámgépeknek a hézagtalanított hajtásaként.



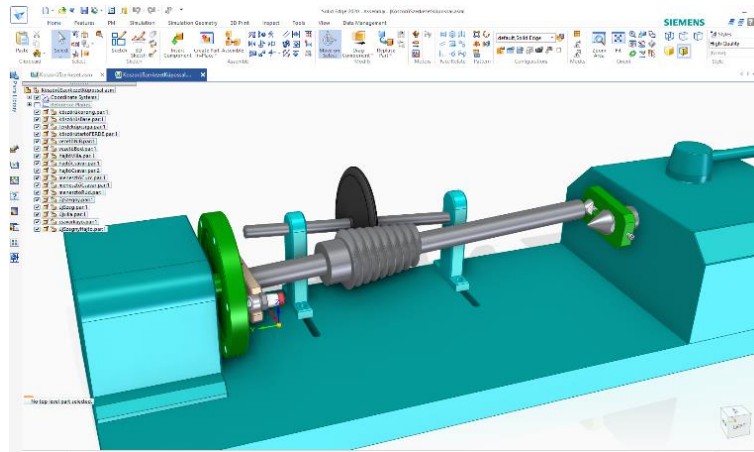
5.1. ábra A spiroid hajtópár modellje [Mándy: M-2]

A hézagmentes hajtást lehet biztosítani csupán csak a csigának az egyszerű axiális irányú eltolásával, vagyis a beállításával [44, 79]. A spiroid hajtópár (5.1. ábra) kúpos csigájának fogfelületét a hengeres csigához hasonló módon lehet származtatni, azaz a szerszám axiális irányú elmozdulásával egyidejűleg radiális irányú előtolásával. Ezekkel a kiváló hidrodinamikai viszonyokkal rendelkező, nagy teherbírású, és magas hatásfokú hajtópárokkal a hajtóművekben adódó energiavesztés igen jelentős csökkenése érhető el [44]. A hengeres csiga megmunkálása hagyományos menetkőszörűgéppel a referencia-henger alkotója mentén történik, azaz a tokmány-tárcsa homloksíkjára merőleges pályán valósul meg (5.2. ábra).



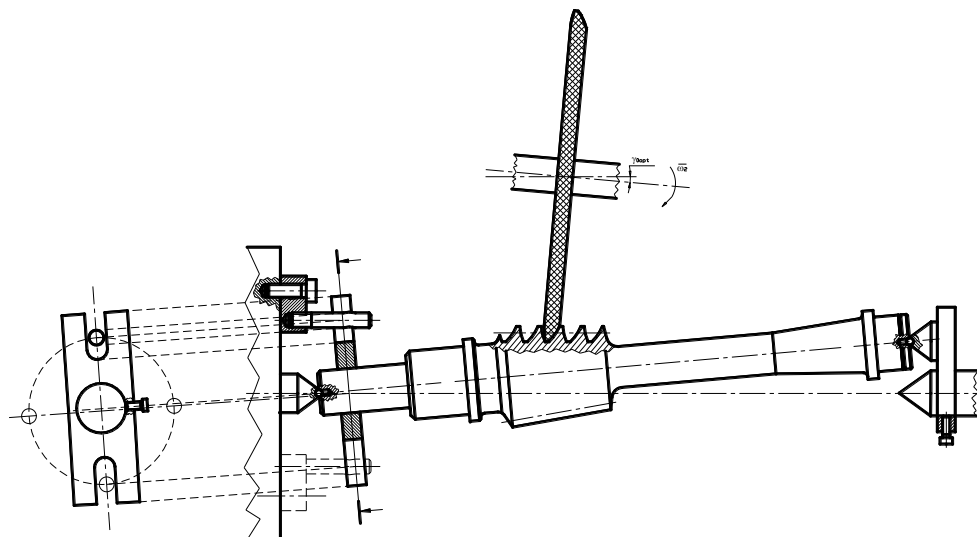
5.2. ábra A hengeres csiga hagyományos menetkőszörűgéppel történő megmunkálásának modellezése a Solid Edge 2020 modellező szoftverrel [Mándy: M-3]

A kúpos csiga hagyományos menetkőszörűgéppel történő megmunkálása a menetkőszörűnek ugyanazon mozgáspályáján történik, ezért a referenciakúp alkotójának a referenciahenger alkotójára döntésével valósítható meg, vagyis a csiga tengelyét a referenciakúp félnyílásszögével kell elállítani (5.3. ábra). Ebben az esetben a kúpos csiga tengelyének hajtása a csúcselállítás miatt a menesztővillán át menesztőcsappal történikészült modellje az 5.3. ábrán látható módon. [Mándy: M-2.]



5.3. ábra A kúpos csiga csúcselállítással történő megmunkálásának modellezése a Solid Edge 2020 gépészeti tervezőprogrammal [Mándy: M-3]

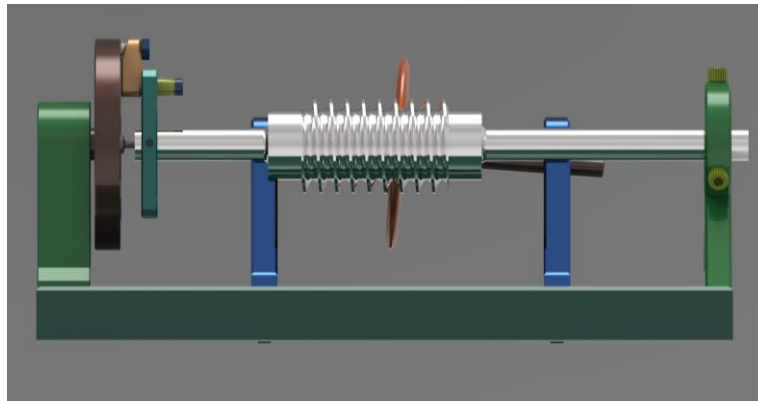
A menetkőszörűgép a megmunkálás során mind a hengeres, mind a kúpos csiga esetén a gördülőfelületük közös alkotójával párhuzamos pályán történik. A kúpos csavarfelület tengelyének elállítása során a *menesztő csap* tengelypontjának pályagörbéje a tokmány homloklapjának síkjában kör, az elállított tengelyre merőleges síkban kör helyett ellipszis pálya (5.4. ábra). Mivel a gép főorsó kerületi sebessége állandó, az elállított menesztővilla lapjának síkjában a menesztőcsap tengelypontjának ellipszis pályája miatt a rádiusz folyamatosan változik az idő függvényében, ami menetemelkedés ingadozást idéz elő a kúpos csiga megmunkálása során.



5.4. ábra Kúpos csavarfelület csúcselállítással történő megmunkálásának elrendezése [Mándy: M-2]

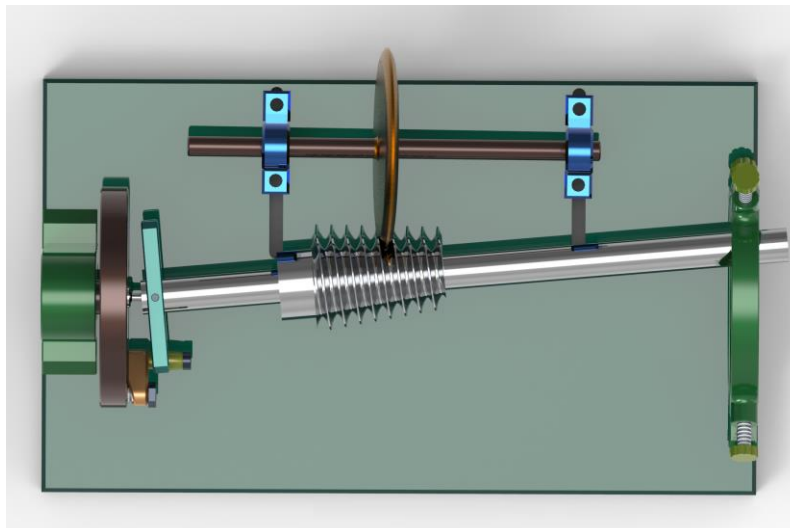
5.1. A menesztőcsap tengelypontjainak mozgáspályái

A hengeres csiga megmunkálása esetén a *menesztővilla* lapjának síkja párhuzamos a *tokmánytárcsa homloksíkjával*.



5.1.1. A menesztővilla alaphelyzete a hengeres csiga megmunkálása esetén

A kúpos csiga tengelyének a referenciakúp δ_1 félnyílásszögével történő elállítása esetén a *menesztővilla* lapjának síkja δ_1 szöveget zár be a *tokmány homloklapjának síkjával*.



5.1.2. A menesztővilla és tokmánytárcsa homloksíkjának félkúpszöget bezáró helyzete a kúpos csiga megmunkálása esetén

A tokmány forgása esetén a menesztőcsap tengelyének a tokmánytárcsa homloklapjára illeszkedő T_k tengelypontjának mozgáspályája az r_k sugarú k **körpályája**, míg a menesztővilla lapjának síkján lévő T_e tengelypont mozgáspályája az $r_{ke}=r_k$ kistengelyű és r_{ne} nagytengelyű e **ellipszispályája** (5.1.3. ábra).

A k körpályája is és az e ellipszispályája is másodrendű görbe, közöttük **térbeli tengelyes affin transzformációs kapcsolat van**, melynek tengelye a két pályagörbe síkjának metszésvonala és az egymásnak megfelelő pontok a menesztőcsap tengelyére illeszkednek minden egyes pozíciójában. Az affinitás definíciója szerint az affinitás osztóviszony- és illeszkedés-tartó lineáris leképezés.

A k körpálya pontjainak (x_k, y_k) Descartes koordinátái teljesítik az

$$y_k^2 + x_k^2 = r_k^2 \quad (5.1.1.)$$

egyenletet.

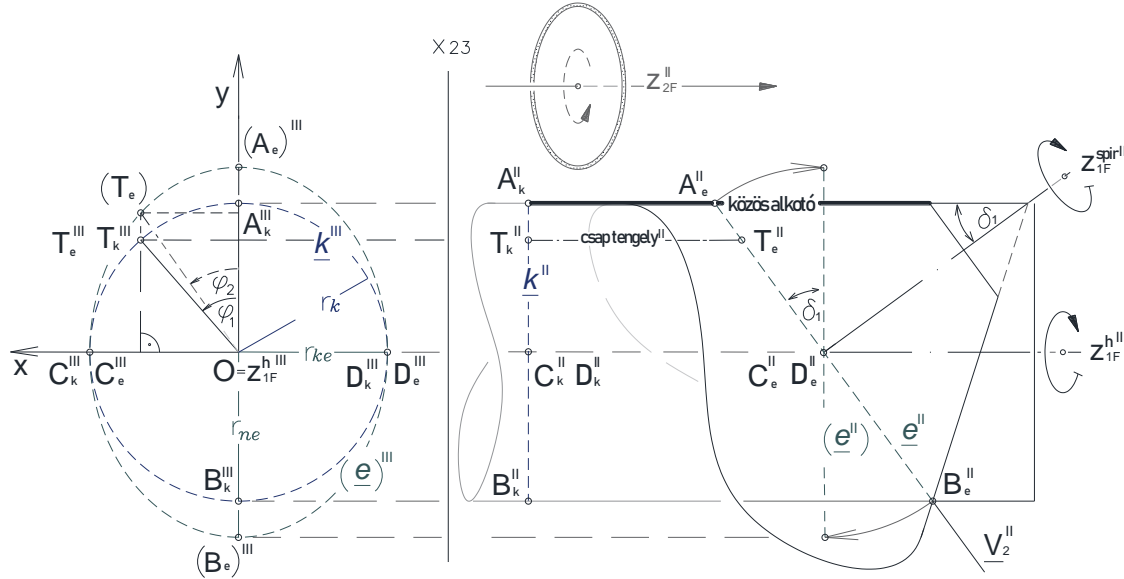
Az 5.1.3. ábra alapján a k körpálya pontjainak (x_k, y_k) Descartes koordinátái és az ezen ellipszispálya pontjainak (x_e, y_e) koordinátái között teljesül az $r_k=r_{ke}$, és fennállnak az

$$x_k = \frac{r_k}{r_{ke}} \cdot x_e \quad (5.1.2.)$$

és

$$y_k = \frac{r_k}{r_{ne}} \cdot y_e \quad (5.1.3.)$$

összefüggések.



5.1.3. ábra A menesztőcsap tengelyének T_k és T_e pontjai által bejárt k és e pályájának sematikus vázolósa [Mándy: M-3]

Az (5.1.1), (5.1.2) és (5.1.3.) alapján a megfelelő behelyettesítésekkel jutunk az e ellipszis-pálya egyenletéhez a

$$\frac{x_e^2}{r_{ke}^2} + \frac{y_e^2}{r_{ne}^2} = 1 \quad (5.1.4.)$$

formában.

A továbbiakban az affín transzformáció analitikus meghatározását a pontok homogén koordinátaival végezzük.

Egy tetszőleges ponthoz hozzárendelt (x, y) Descartes koordinátáknak megfeleltetjük az affín sík (x_1, x_2, x_3) homogén koordinátáit a következők szerint

$$x = \frac{x_1}{x_3}, \quad y = \frac{x_2}{x_3}, \quad x_3 \neq 0 \quad (5.1.5.)$$

ahol $x_1, x_2, x_3 \in \mathbb{R}$.

Az affinitás a projektív transzformáció egy speciális esete, melyben a végtelen távoli térelemeknek végtelen távoli térelemek felelnek meg [144]. Annak szükséges és elégséges feltétele, hogy az egymásnak megfeleltetett síkok végtelen távoli egyenesei egymásnak feleljenek meg, a transzformáció mátrixában az $a_{31}=a_{32}=0$ és $a_{33} \neq 0$ feltételnek kell teljesülnie.

Az affin leképezés során a végtelen távoli elemnek végtelen távoli elemek felelnek meg, ezért az \underline{e} ellipszis-pálya síkjára illeszkedő pontok (x_{e1}, x_{e2}, x_{e3}) homogén koordinátáira és a \underline{k} kör-pálya síksára illeszkedő pontok (x_{k1}, x_{k2}, x_{k3}) homogén koordinátáira teljesül a következő megfeleltetés

$$x_{e3} = 0 \leftrightarrow x_{k3} = 0 \quad (5.1.6.)$$

A \underline{k} körpálya $T_k(x_{k1}, x_{k2}, x_{k3})$ pontjainak, és az \underline{e} ellipszispálya $T_e(x_{e1}, x_{e2}, x_{e3})$ pontjai közötti affin megfeleltetés általános analitikus alakja általánosan a következő formába írható

$$\begin{aligned} x_{e1} &= a_{11} \cdot x_{k1} + a_{12} \cdot x_{k2} + a_{13} \cdot x_{k3} \\ x_{e2} &= a_{21} \cdot x_{k1} + a_{22} \cdot x_{k2} + a_{23} \cdot x_{k3} \\ x_{e3} &= a_{33} \cdot x_{k3} \end{aligned} \quad (5.1.7.)$$

A menesztőcsap T_k és T_e tengelypontjainak \underline{k} kör és \underline{e} ellipszis pályája közti affin megfeleltetés konkrét alakja a fentiek és az 5.1.3. ábra alapján

$$\begin{aligned} x_{e1} &= x_{k1} + 0 \cdot x_{k2} + 0 \cdot x_{k3} \\ x_{e2} &= 0 \cdot x_{k1} + \frac{r_{ne}}{r_k} \cdot x_{k2} + 0 \cdot x_{k3} \\ x_{e3} &= x_{k3} \end{aligned} \quad (5.1.8.)$$

melynek mátrix formája homogén koordinátákkal

$$\begin{bmatrix} x_{e1} \\ x_{e2} \\ x_{e3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{r_{ne}}{r_k} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{k1} \\ x_{k2} \\ x_{k3} \end{bmatrix} \quad (5.1.9.)$$

5.2. A megmunkálás során fellépő menesztés problematikája

A kúpos csiga menesztése során a menesztőcsapnak a tokmánytárcsa homloklapján a tengelyétől r_k távolságra lévő T_k tengelypontjának v_k kerületi sebessége a gép $\omega_{gép}$ szögsebessége esetén teljesül a következő összefüggés

$$v_k = r_k \cdot \omega_{gép} \quad (5.2.1.)$$

A továbbiakban a menesztővilla és a menesztőcsap között az érintkezést pontszerű érintkezésként kezeljük.

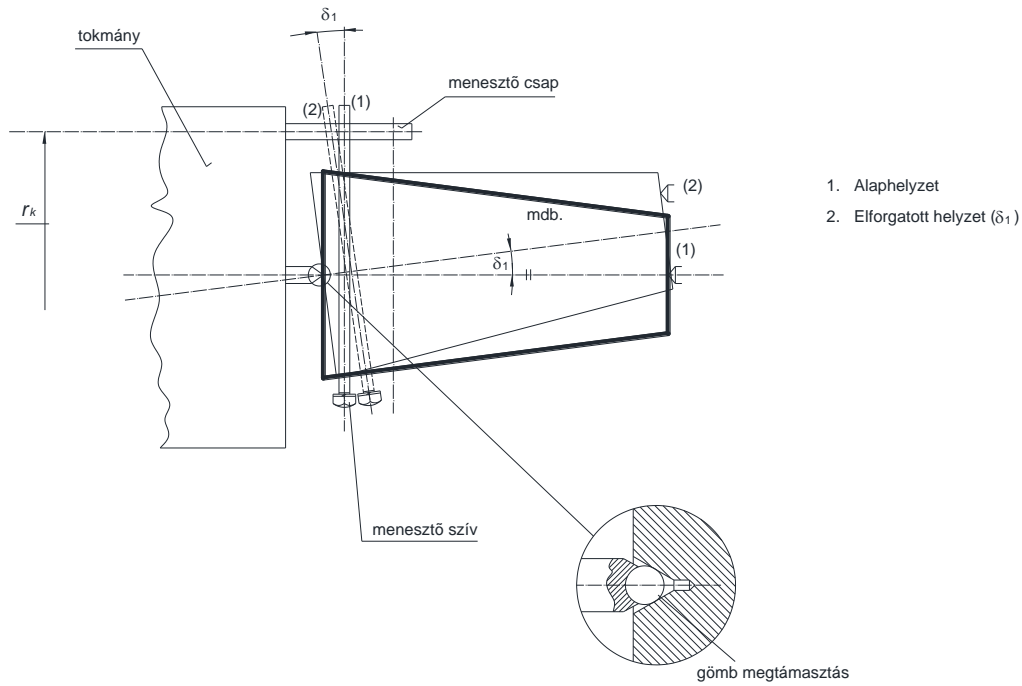
A mozgásátadás sebessége a csap és villa *érintkezési pontjában* (állandó).

$$v_{contact} = r_{contact} \cdot \omega_{gép} \quad (5.2.2.)$$

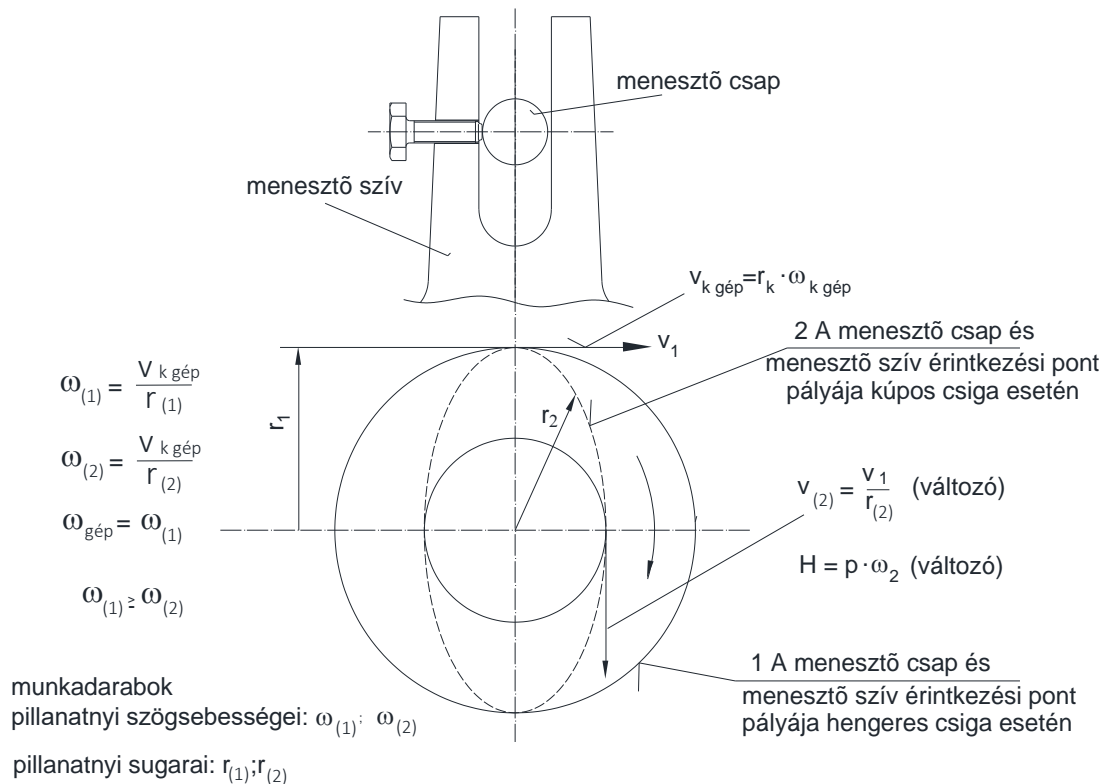
A munkadarab szögsebessége

$$\omega_{mdb} = v_{contact} / r_2 = r_{contact} \cdot \omega_{gép} / r_2 \quad (5.2.3.)$$

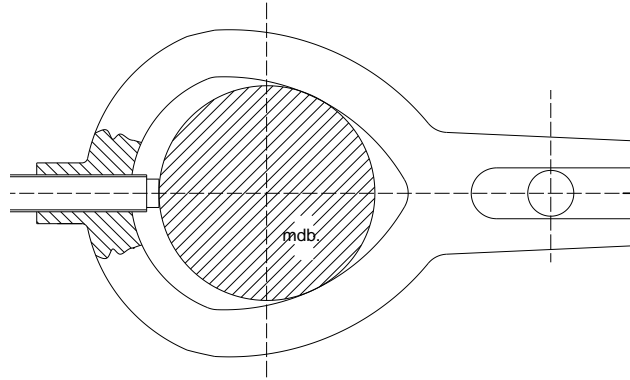
alapján mivel az r_2 változó, az ω_{mdb} is változó.



a) A csúcs eltolása a kúpos csiga megmunkálásánál



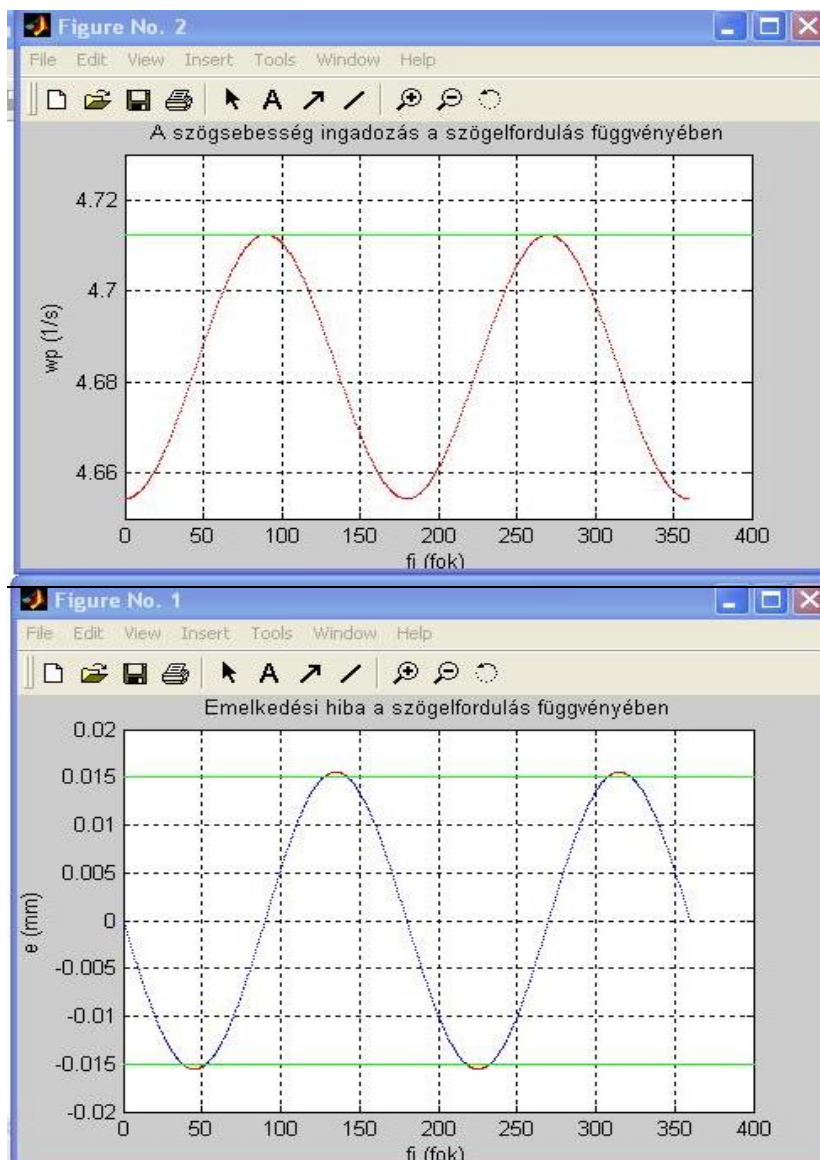
b) A menesztés matematikai elvi elrendezése



c) Menesztő szív felfogása

5.2.1. ábra: Kúpos csiga menesztése a menet megmunkálásánál [9]

A főorsó állandó sebességgel történő forgása mellett az elállított tengelyű csiga szögsebessége folyamatosan változik, melyből adódóan a csiga menetemelkedése fluktuál.



5.2.2. ábra A menetemelkedési fluktuáció $\delta_l=9^\circ$ félkúpszög esetén [Mándy: M-2.]

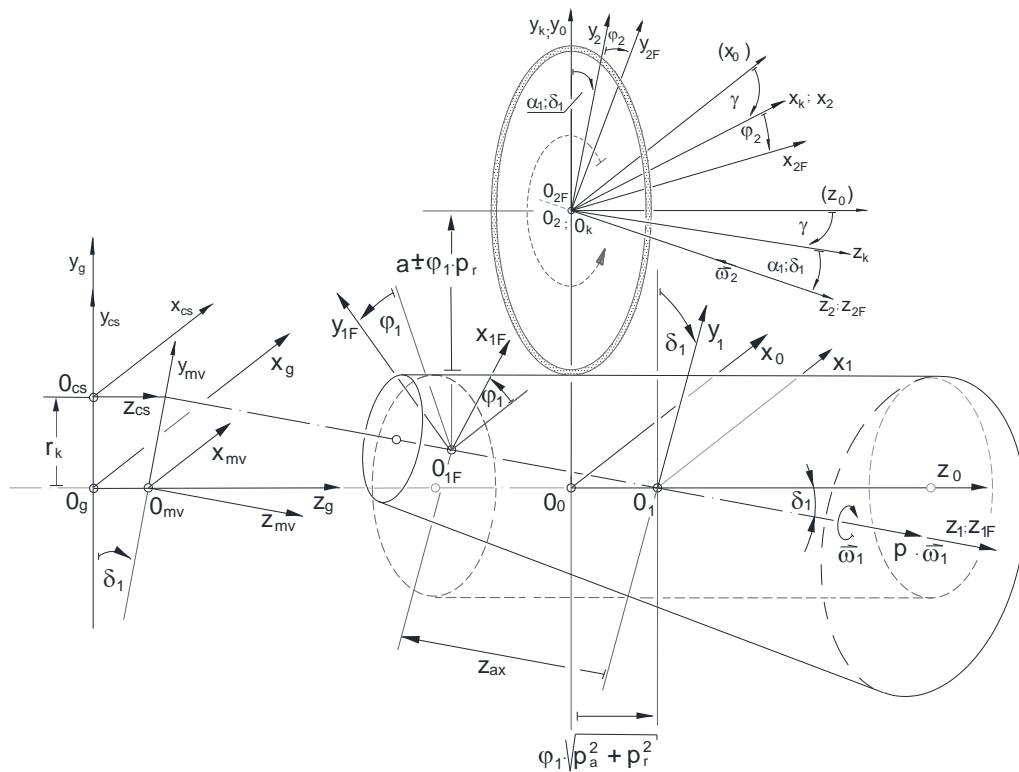
5.3. A menesztés konstruktív geometriai modellje

Vizsgálataink a Dudás-féle kinematikai matematikai modell továbbfejlesztésének támogatásával került elvégzésre, mely az 5.3.1. ábrán került vázolásra.

Az új, konstruktív geometriai modell az általános matematikai modell és a menesztés összefüggésének elemzésére készült a kúpos csigák gyártásgeometriai fejlesztésére, a gyártási pontosság növelésére.

Alkalmazott koordináta-rendszerek:

- $K_0(x_0, y_0, z_0)$ álló koordináta-rendszer, a megmunkáló szerszámgép koordináta-rendszere
- $K_I(x_I, y_I, z_I)$ a lineáris mozgást végző gépasztalhoz kötött koordináta-rendszer
- $K_{IF}(x_{IF}, y_{IF}, z_{IF})$ forgómozgást végző koordináta-rendszer, a csavarfelület koordináta-rendszere, melyben meghatározásra kerül a csavarfelület η és ϑ paraméteres egyenlete.
- $K_2(x_2, y_2, z_2)$ álló koordináta-rendszer, a szerszám koordináta-rendszere, melynek z_2 tengelye egybeesik a korong z_{2F} tengelyével.
- $K_{2F}(x_{2F}, y_{2F}, z_{2F})$ a szerszámhoz kötött forgó koordináta-rendszer, melynek z_{2F} tengelye γ_0 szöget zár be a csigatest z_{IF} tengelyével
- $K_k(x_k, y_k, z_k)$ segéd koordináta-rendszer
- $K_g(x_g, y_g, z_g)$ a gép (főorsó) koordináta-rendszere
- $K_{cs}(x_{cs}, y_{cs}, z_{cs})$ a menesztőcsap koordináta-rendszere
- $K_{mv}(x_{mv}, y_{mv}, z_{mv})$ a menesztővilla koordináta-rendszere



5.3.1. ábra Konstruktív geometriai modell a kúpos és hegyes csigák menesztésének vizsgálatára

Alkalmazott geometriai paraméterek:

- a a szerszám koordináta-rendszer O_2 kezdőpontjának y irányú koordinátája a K_0 álló koordináta-rendszerben
- c a szerszám koordináta-rendszere O_2 kezdőpontjának x irányú koordinátája a K_0 álló koordináta-rendszerben, a szerszám kiemelés távolsága (pl. konvolut vagy evolvens csiga esetén a torokhenger, illetve alaphenger sugara)
- r_k a menesztőcsap T_k tengelypontja által bejárt körpálya sugara
- φ_1 a csavarfelület elfordulásának szöge, (szögelfordulás-, burkolás-, mozgás-paraméter)
- φ_2 a szerszám elfordulásának szöge (maró, köszörűkorong)
- $i_{21} = \varphi_2 / \varphi_1$ áttétel
- $\gamma_0 = \gamma$ a szerszámnak a (osztóhengeri menetemelkedési szögével való) bedöntése
- $\alpha_{sz} = \alpha$ a szerszámnak a csavarfelület profiljára való döntésének a szöge, a jellegzetes metszetben
- δ_1 kúpos csavarfelület félnyílásszöge
- p_a axiális irányú csavarparaméter
- p_r radiális irányú csavarparaméter

A továbbiakban *algebrai eszköztárral megtámogatott konstruktív geometriai úton kívánjuk vizsgálatainkat elvégezni*, előmozdítva azt az *affin és projektív geometriai vonatkozásokkal*.

Eredmény:

Az elkészült konstruktív geometriai modell alkalmas a menetköszörűgépen tengelyelállítással megmunkált kúpos csiga menesztésének vizsgálatára a főorsó, a menesztőcsap és a menesztővilla közti geometriai összefüggések áttekintésével.

5.4. A forgáshenger alakú menesztőcsap mozgásátadásának vizsgálata

A hengeres menesztőcsappal történő menesztés vizsgálata az ábrázoló geometria módszereivel megtámogatott szintetikus geometriai megközelítéssel és analitikus geometriai megfogalmazásokkal kerül kifejtésre.

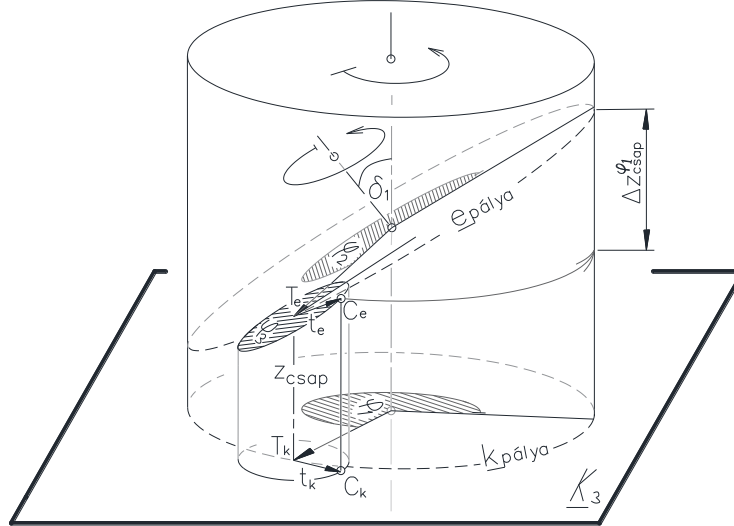
A menesztőcsap és a menesztővilla között pontszerű érintkezést feltételezve [105] a szimmetria okok miatt a menesztőcsap és a menesztővilla közötti érintkezési pont útjának egy fél körül-fordulása került vizsgálatra.[44]

Cél a főorsó szögelfordulása és a kúpos csiga szögelfordulása közötti **analitikus geometriai kapcsolatok** feltárása.

A mozgásátadás a menesztőcsap és menesztővilla C érintkezési pontjában, tengelyelállítás esetén a C pont alkotója mentén történik. *A hengeres csiga megmunkálása esetén* menesztőcsap tengelyének a tokmánytárcsa homlokfekületére illeszkedő T_k pontja r_k sugarú \underline{k} körpályát ír le, melynek minden pontjában az r_{csap} hosszúságú érintővégpontok a C_k érintkezési pontok. Ugyanakkor *a kúpos csiga megmunkálása esetén* a mozgásátadás a δ_1 félkúpszöggel elállított, a csiga tengelyére merőleges menesztővilla lapjának síkjában történik, a menesztőcsap T_e tengelypontja által leírt \underline{e} ellipszispályája \underline{t} érintőjének C_e pontjában, ami az r_{csap} sugarú hengeres menesztőcsap *ellipszismetszetének pontja*. Ebben a fejezetben az 5.4.1. ábra alapján egy általunk választott kiinduló helyzethez képest a hengeres

menesztőcsap tengelyének T_k pontjának φ_1 szögelfordulása a T_e tengelypont φ_2 szögelfordulását, valamint a t érintő φ_3 szögelfordulását eredményezi.

A továbbiakban a φ_1 , φ_2 és φ_3 szögek közti analitikus összefüggések kerülnek felírásra az r_k , r_{csap} és δ_1 függvényében az 5.4.2. ábra alapján.



5.4.1. ábra A menesztőcsap elmozdulásából származó φ_1 , φ_2 és φ_3 szögelfordulások és a z_{csap} tengelymenti elmozdulás közti korreláció sematikus szemléltetése.

A \underline{k} körpálya (x_k, y_k) pontjainak a megfelelő (x_e, y_e) \underline{e} ellipszispályapontok koordinátái között a kapcsolat a következő módon írható fel

$$x_e = \frac{x_k}{\cos \delta_1} \quad \text{és} \quad y_e = y_k \quad (5.4.1.)$$

A koordináták és a φ_1 , valamint a φ_2 szögelfordulások közötti kapcsolat

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{y_k}{x_k} \quad \text{és} \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{y_e}{x_e} \quad (5.4.2.)$$

melyből a φ_1 és a φ_2 közötti kapcsolat a következő módon fejezhető ki

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{y_k}{x_k} = \frac{y_e}{x_e \cdot \cos \delta_1} = \operatorname{tg} \varphi_2 / \cos \delta_1 \quad (5.4.3.)$$

A fentiek felhasználásával

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \varphi_2 / \cos \delta_1), \quad (5.4.4.)$$

illetve

$$\varphi_2 = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos \delta_1). \quad (5.4.5.)$$

A menesztővilla és a hengeres menesztőcsap C_k érintkezési pontjának mozgásátadó \underline{m}_{trans} pályája a kúpos csiga tengelyére merőleges síkban egy elliptikus görbe az 5.5.2. ábra alapján. A menesztőcsap T_e tengelypontja által leírt \underline{e} ellipszispálya egyenlete

$$\frac{x_e^2}{r_k^2 / \cos^2 \delta} + \frac{y_e^2}{r_k^2} = 1 \quad (5.4.6.)$$

Áttérve az (x, y) Descartes koordinátákról az (x_1, x_2, x_3) homogén koordinátákra az

$$x = \frac{x_1}{x_3}, \quad y = \frac{x_2}{x_3}, \quad x_3 \neq 0, \in \mathbf{R} \quad (5.4.7.)$$

szerint, a T_e tengelypont által leírt e ellipszis mozgáspálya homogén koordinátákkal

$$\frac{\frac{x_{e1}^2}{r_k^2} + \frac{x_{e2}^2}{r_k^2}}{\cos^2 \delta_1} = 1 \quad (5.4.8.)$$

mely a megfelelő behelyettesítésekkel és egyszerűsítéssel

$$x_{e1}^2 + \frac{x_{e2}^2}{\cos^2 \delta} - \frac{r_k^2}{\cos^2 \delta} \cdot x_{e3}^2 = 0 \quad (5.4.9.)$$

alakba írható.

A kúpos csiga megmunkálása során a menesztőcsap T_e tengelypontjának e ellipszispályájának a φ_1 szögelforduláshoz tartozó T_e^1 –el jelölt pontjában az érintő meghatározása a cél. A homogén pontkoordinátákkal analitikusan jellemzett projektív síkmodellben fennálló *másodrendű görbékre vonatkozó pólus-poláris viszony* a másodrendű görbére illeszkedő pont, mint pólus esetében a másodrendű görbe adott pontbeli érintője, mint poláris között áll fenn. Vagyis az e ellipszispálya bármely pontjának a polárisa az e ellipsziszre vonatkozóan az ellipszis vizsgált pontbeli érintője. A IV. képsíkon a φ_1 szögelforduláshoz tartozó $T_e^1 [r_k \cdot \sin \varphi_1 \quad r_k \cdot \cos \varphi_1 / \cos \delta \quad 1]$ ellipszispontban az érintő $[u_1 \quad u_2 \quad u_3]$ együtthatóinak meghatározása a jobb felső indexben feltüntetett φ_1 szögelfordulás függvényében a fentiek szerint a következő formába adható meg

$$\begin{bmatrix} x_{e1}^{\varphi_1} & x_{e2}^{\varphi_1} & x_{e3}^{\varphi_1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\cos^2 \delta & 0 \\ 0 & 0 & -r_k^2/\cos^2 \delta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \quad (5.4.10.)$$

$$\begin{bmatrix} r_k \cdot \sin \varphi_1 & r_k \cdot \cos \varphi_1 / \cos \delta & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\cos^2 \delta & 0 \\ 0 & 0 & -r_k^2/\cos^2 \delta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1^{\varphi_1} & u_2^{\varphi_1} & u_3^{\varphi_1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = 0$$

A megfelelő behelyettesítéseket elvégezve az érintő egyenlete az T_e^1 pontban

$$r_k \cdot \sin \varphi_1 \cdot x_1 + r_k \cdot \cos \varphi_1 / \cos^3 \delta \cdot x_2 - r_k^2 / \cos^2 \delta \cdot x_3 = 0 \quad (5.4.11.)$$

átterve a Descartes koordinátákra

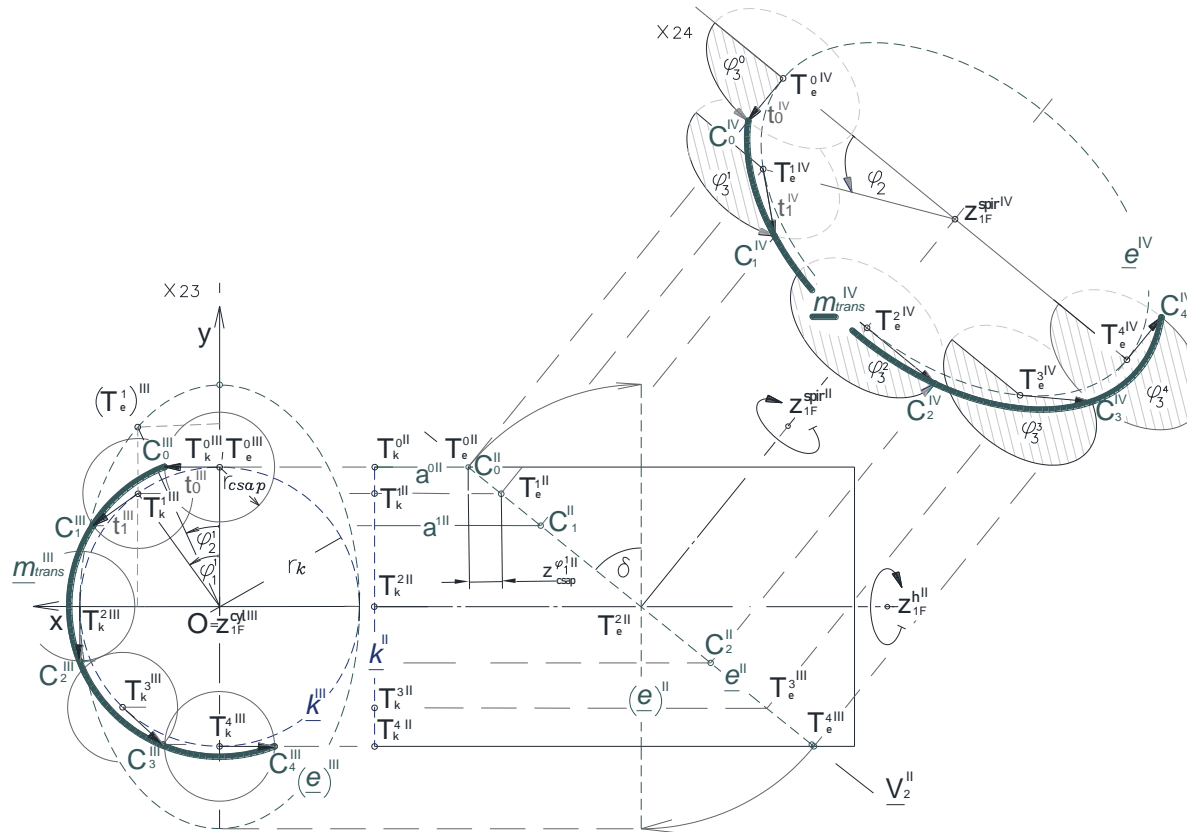
$$r_k \cdot \sin \varphi_1 \cdot x + \frac{r_k \cdot \cos \varphi_1}{\cos^3 \delta} \cdot y - \frac{r_k^2}{\cos^2 \delta} = 0 \quad (5.4.12.)$$

Az e ellipszispálya T_e^1 pontjában az érintő egyenesének \mathbf{n}_t normálvektora

$$\mathbf{n}_t \left(\sin \varphi_1, \frac{\cos \varphi_1}{\cos^3 \delta} \right) \quad (5.4.13.)$$

Az e ellipszispálya T_e^1 pontjában az érintő egyenesének \mathbf{v}_t irányvektora

$$\mathbf{v}_t \left(\frac{\cos \varphi_1}{\cos^3 \delta}, -\sin \varphi_1 \right) \quad (5.4.14.)$$



5.4.2. ábra A menesztővilla és a hengeres menesztőcsap C_k és C_e érintkezési pontjainak elmozdulásából származó φ_1 , φ_2 és φ_3 szögelfordulások és a z_{csap} tengelymenti elmozdulás közti korreláció diszkrét helyeiből az m_{trans} mozgásátadó görbe pályájának meghatározása.

melyből a φ_1 és φ_3 közti kapcsolat felírható

$$\operatorname{tg} \varphi_3 = -\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos^3 \delta_1 \Rightarrow \varphi_3 = \operatorname{arctg}(-\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos^3 \delta_1) \quad (5.4.15.)$$

illetve

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = -\operatorname{tg} \varphi_3 / \cos^3 \delta_1 \Rightarrow \varphi_1 = \operatorname{arctg}(-\operatorname{tg} \varphi_3 / \cos^3 \delta_1) \quad (5.4.16.)$$

Az r_{csap} sugarú menesztőcsap síkmetszete a \underline{V}_2 síkban az \underline{e} ellipszispályához hasonló ellipszis, melynek kistengelye r_{csap} nagytengelye $r_{csap} / \cos \delta_1$ nagyságú
A menesztőcsap ellipszismetszetének paraméteres egyenlete

$$\left. \begin{aligned} y_{csap}^e &= \frac{r_{csap}}{\cos \delta} \cdot \cos \varphi_3 \\ x_{csap}^e &= r_{csap} \cdot \sin \varphi_3 \end{aligned} \right\} \quad (5.3.17.)$$

A φ_3 szögelforduláshoz tartozó menesztőcsap $r_{csap}^{\varphi_3}$ sugarának nagysága

$$r_{csap}^{\varphi_3} = \sqrt{(x_{csap}^e)^2 + (y_{csap}^e)^2} \quad (5.4.18.)$$

A menesztőcsap és menesztővilla érintkezési pontjának pályájának nyomon-követéséhez a menesztőcsap a alkotóján történő elmozdulás ismerete is szükséges.

A φ_1 szögelforduláshoz tartozó z irányú elmozdulás nagysága az a_0 alkotóhoz viszonyítva

$$\operatorname{tg} \delta_1 = z_k^{\varphi_1} / (r_k - y_k^{\varphi_1}) \quad (5.4.19.)$$

amiből

$$z_k^{\varphi_1} = \operatorname{tg} \delta_1 \cdot r_k \cdot (1 - \cos \varphi_1) \quad (5.4.20.)$$

Összegezve az a alkotó mentén történő érintkezés C érintkezési pontjának a φ_1 szögelforduláshoz tartozó elmozdulása, azaz az m_{trans} görbe a φ_1 paraméter függvényében meghatározott. A φ_1 , φ_2 és φ_3 szögek közti összefüggések, és ezen szögelfordulások függvényében az \underline{e} ellipszispálya pontjának az origótól mért $R_e^{\varphi_2}$ távolsága, a menesztőcsap C érintkezési pontjának a T_e tengelyponttól mért $r_{csap}^{\varphi_3}$ távolsága, valamint az alkotó menti elmozdulás következő egyenletekkel jellemezhető

$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 &= \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos \delta_1) \\ \varphi_3 &= \operatorname{arctg}(-\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos^3 \delta_1) \\ R_e^{\varphi_2} &= \sqrt{(x_e^{\varphi_2})^2 + (y_e^{\varphi_2})^2} = \sqrt{(r_k \cdot \sin \varphi_2)^2 + \left(\frac{r_k}{\cos \delta_1} \cdot \cos \varphi_2\right)^2} \\ r_{csap}^{\varphi_3} &= \sqrt{(x_{csap}^e)^2 + (y_{csap}^e)^2} = \sqrt{(r_{csap} \cdot \sin \varphi_3)^2 + \left(\frac{r_{csap}}{\cos \delta_1} \cdot \cos \varphi_3\right)^2} \\ z_k^{\varphi_1} &= \operatorname{tg} \delta_1 \cdot r_k \cdot (1 - \cos \varphi_1) \end{aligned} \right\} \quad (5.4.21.)$$

5.5. A forgáskúp alakú menesztőcsap mozgásátadásának vizsgálata

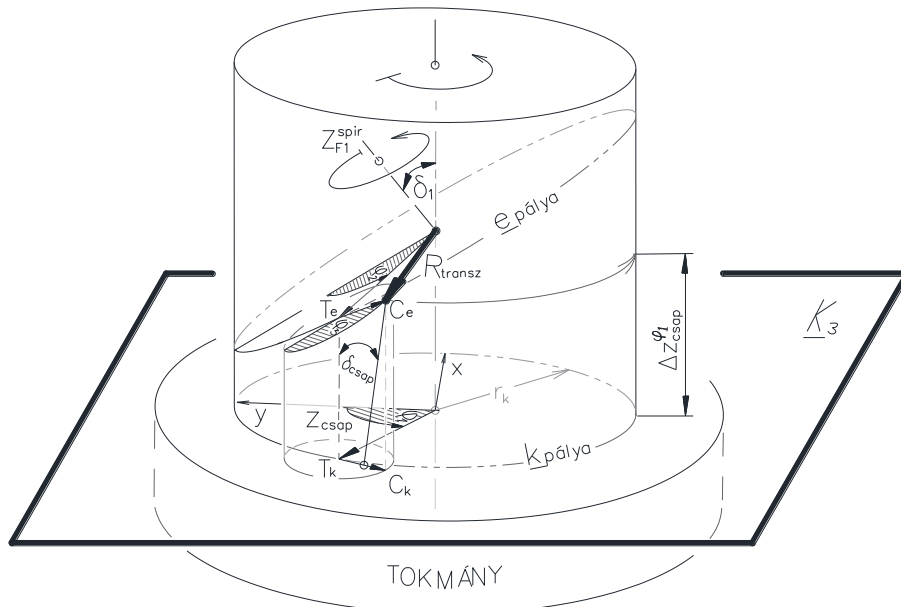
Az r_{csap} sugarú, henger alakú menesztőcsapot δ_{csap} félnyílásszöggel kúp alakú menesztőcsappá alakítva a geometriai összefüggések az 5.5.1. ábrán látható módon értelmezhetők.

A kúp alakú menesztőcsap síkmetszetei a \underline{V}_2 síkban az \underline{e} ellipszispályához hasonló ellipszisek. A $\varphi_1 = 0^\circ$ esetén a T_e^0 középpontú ellipszis kis- és nagytengelye $r_{kúp}$, illetve $r_{kúp} / \cos\delta_1$ nagyságú, míg a $\varphi_1 = 180^\circ$ esetén T_e^4 legmagasabb középpontú ellipszis kis- és nagytengelye r_{csap} , illetve $r_{csap} / \cos\delta_1$ nagyságú az 5.5.2. ábrán a \underline{K}_3 képsíkon jelöltek szerint. Az ellipszismetszetek $r_{csap}(\varphi_1)$ kis- és $r_{csap}(\varphi_1)/\text{tg}\delta_1(\varphi_1)$ nagy tengelyeinek nagysága φ_1 szögelfordulás esetén számítható az

$$r_{csap}(\varphi_1) = \text{tg}\delta_{csap} \cdot z_{csap}(\varphi_1) \quad (5.5.1.)$$

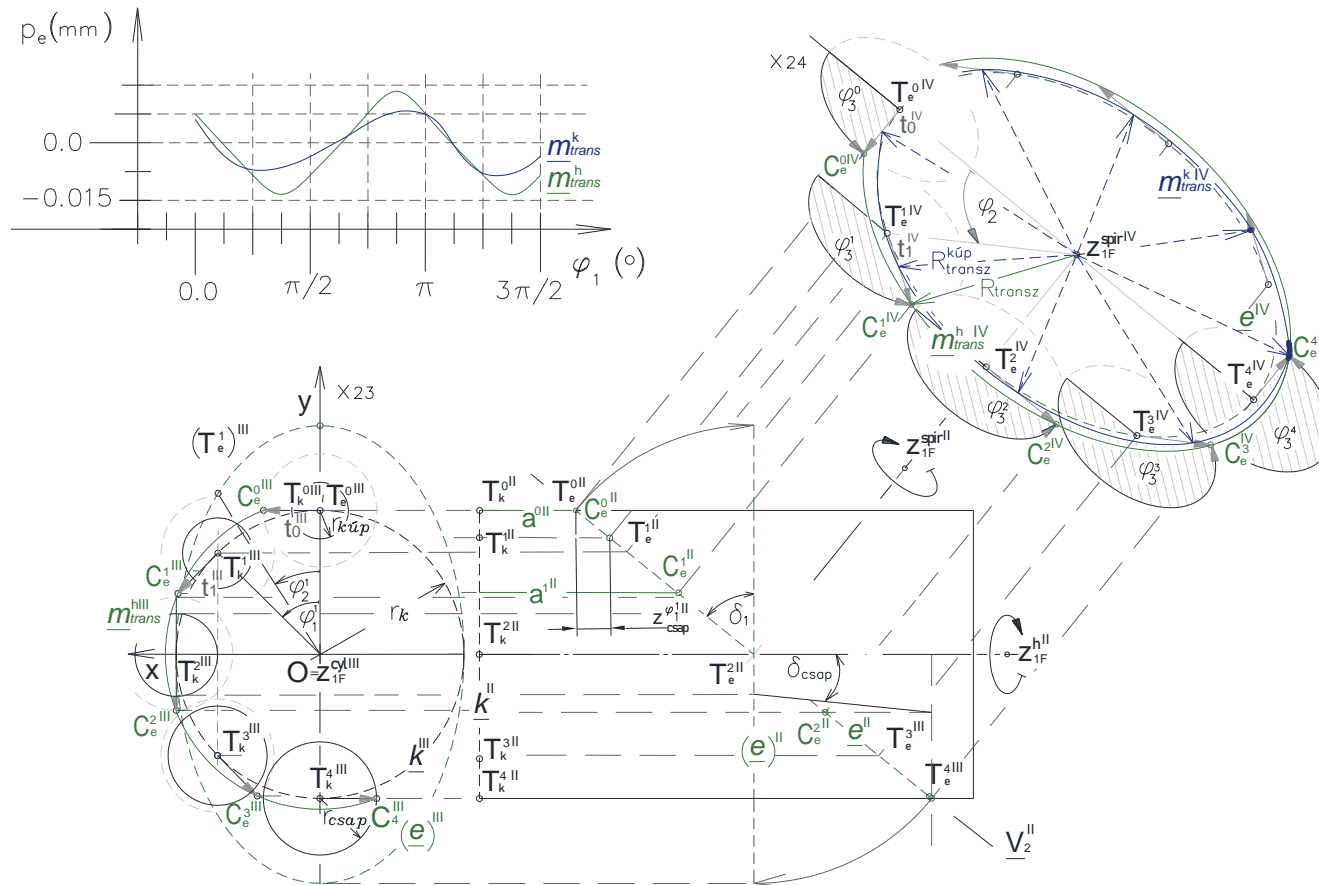
alapján, úgy mint az \underline{e} ellipszis pályája \mathbf{t}^{φ_1} érintővektorainak a hossza.

Az $R_{transz}^{kúp}$ sugár mértéke a $z_{IF}^{spir IV}$ középponttól változó, következésképpen a menetemelkedési hiba is a 3. ábra diagrammján felvázolt kék görbe szerint.



5.5.1. ábra A menesztőcsap elmozdulásából származó φ_1 , φ_2 és φ_3 szögelfordulások és a z_{csap} tengelymenti elmozdulás közti korreláció szemléltetése [Mándy: -M-14].

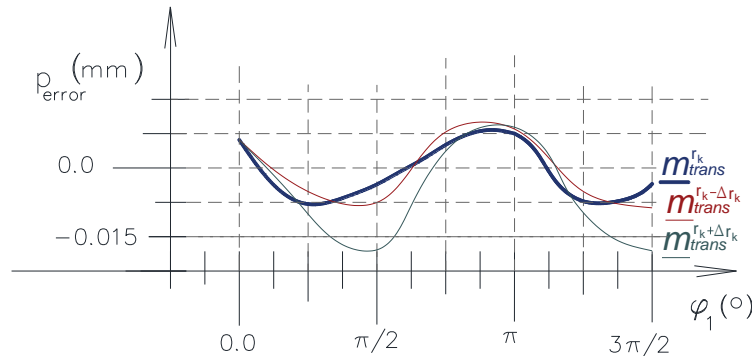
A mozgás-átadás m_{transz} görbe pontjainak a tengelytől mért távolsága, azaz az R_{transz} sugár nagysága a $z_{IF}^{spir IV}$ középponttól befolyásolja a menetemelkedési hibát, mely az 5.5.2. ábra diagrammján hengeres csap esetén zölddel, kúpos csap esetén kékkel jelölt.



5.5.2. ábra A menesztőcsap elmozdulásából származó $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ szögelfordulások, a z_{csap} tengelymenti elmozdulás, valamint a δ_{csap} félnyílásszög közti összefüggések vázlatos szemléltetése, valamint diagramm a hengeres és kúpos csappal menesztés esetén a menetemelkedési hibák zölddel és késsel jelölt összevetésével.

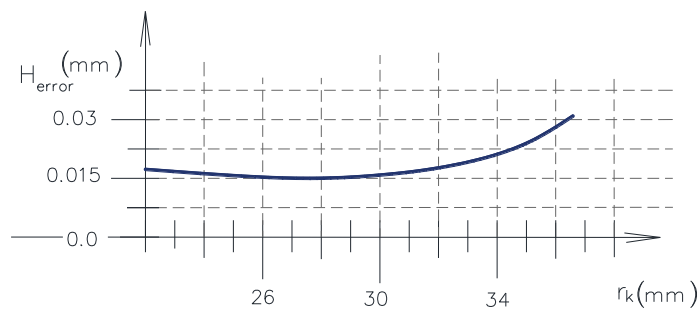
$$\operatorname{tg} \delta_{csap} = \Delta r_{csap} / \Delta z_{csap} \quad (5.5.1.3.)$$

amelyből a forgáskúp alakú menesztőcsap a menesztővilla $[x_{mv}, y_{mv}]$ síkjában lévő metszet-ellipszisének a kistengelye $(r_{csap} + \Delta r_{csap})$, nagytengelye $(r_{csap} + \Delta r_{csap}) \cdot \cos \delta_1$.



5.5.1.2. ábra A kúpos menesztőcsap elmozdításából származó menetemelkedésifluktuáció az $r_k=30\text{mm}$, összefüggések sematikus szemléltetése.

Az r_k sugarú körpályát az $3/4 \cdot r_k$ -ra, illetve az $5/4 \cdot r_k$ -ra módosítva az 5.5.1.2. ábrán látható menetemelkedési fluktuáció lép fel. A menetemelkedés-eltérés az 5.5.1.3. ábrán látható.



5.5.1.3. ábra A kúpos menesztőcsap elmozdításából származó menetemelkedési hiba-eltérés (H) az r_k függvényében.

Összegzés: Ábrázoltam és összevettem a $\delta_{csap}=\delta_1$ félnyílásszögű ellen-forgáskúp alakú menesztőcsap által indukált menetemelkedés ingadozást egy rögzített r_k érték esetén az $\underline{m}_{trans}^{r_k}$ mozgásviteli görbén keresztül, az $r_{k+\Delta}$ r_k és egy $r_{k-\Delta}$ r_k érték által indukált menetemelkedési fluktuációval az $\underline{m}_{trans}^{r_k+\Delta r_k}$ és az $\underline{m}_{trans}^{r_k-\Delta r_k}$ átviteli görbéken keresztül. Megállapítható, hogy a kúpos menesztőcsappal a menesztés fluktuációja kicsiny mértékben nő az r_k érték csökkentésével, illetve nagymértékben nő az r_k érték növelésével a vizsgált esetben.

5.5.2. A menetemelkedési fluktuáció vizsgálata a forgáskúp alakú menesztő-csap félnyílásszögének függvényében

Az r_k sugarú körpályán a $\delta_{csap}=\delta_1$ félnyílásszögű forgáskúp alakú menesztőcsap félnyílásszögének változtatásával a menesztővilla $[x_{mv}, y_{mv}]$ síkjában a metszetellipszisek nagysága változik meg.

A kibővített modellben a geometriai összefüggések az 5.5.2.1. ábra szerint kerültek értelmezésre.

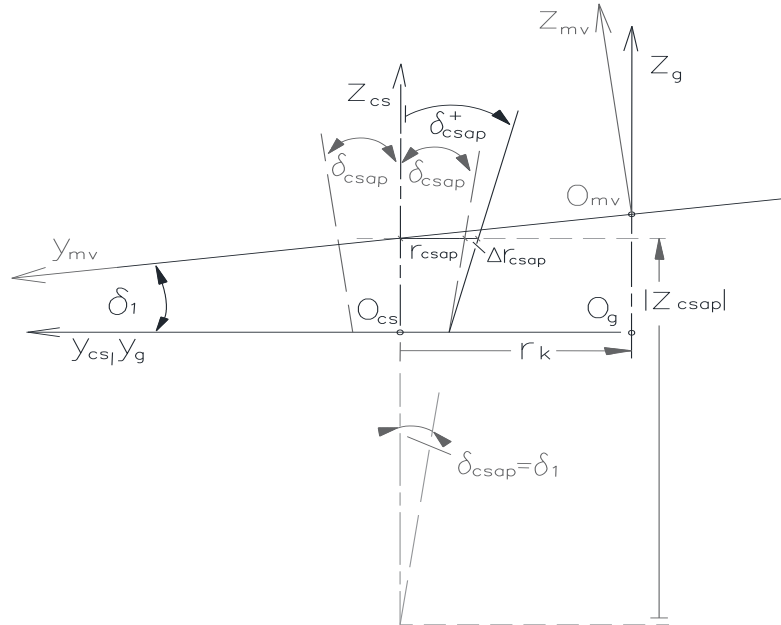
A spiroid csiga ellen forgáskúp alakú menesztőcsapjának félnyílásszöge $\delta_{csap}=\delta_1$. Az 5.5.2.1. ábra alapján teljesül az

$$r_{csap} / |z_{csap}| = \operatorname{tg} \delta_{csap} = \operatorname{tg} \delta_1 \quad (5.5.2.1.)$$

valamint

$$(r_{csap} + \Delta r_{csap}) / |z_{csap}| = \operatorname{tg} \delta_{csap}^+ \quad (5.5.2.2.)$$

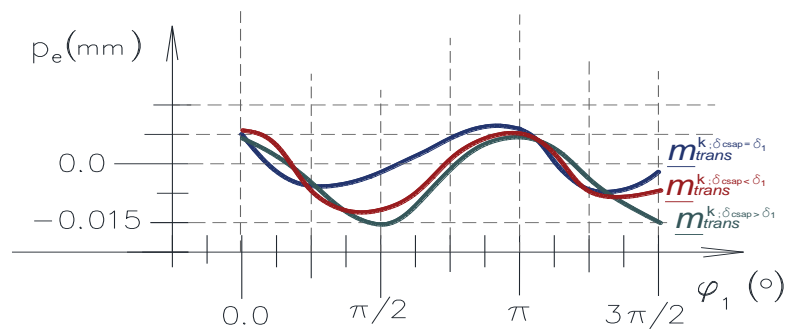
összefüggés.



5.5.2.1. ábra A kúpos menesztőcsap félnyílásszögének változtatása az $[y_{cs}, z_{cs}]$ síkban.

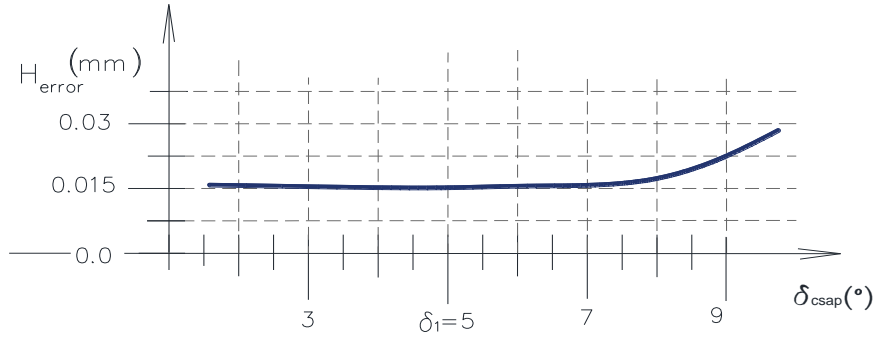
A a menesztővilla koordinátarendszerének $[x_{mv}, y_{mv}]$ síkjában, a φ_1 függvényében az $(r_{csap} + \Delta r_{csap})$ kistengelyű és $(r_{csap} + \Delta r_{csap}) \cdot \cos \delta_1$ nagytengelyű metszetellipsziseknek azon sugarain történik a mozgásátadás, amelyek a csap tengelypontjának a mozgáspályáját érintik.

Mindezek alapján jutottunk el az 5.5.2.2. ábrán vázolt eredményhez.



5.5.2.2. ábra A kúpos menesztőcsap félnyílásszögének változtatásából származó menetemelkedési fluktuáció szemléltetése.

Az r_k sugarú körpályát a $3/4 \cdot r_k$ -ra, illetve az $5/4 \cdot r_k$ -ra módosítva az 5.5.2.2. ábrán látható menetemelkedési fluktuáció lép fel. A menetemelkedés-eltérés az 5.5.2.3. ábrán ábrázolt görbe szerint változik.



5.5.2.3. ábra A kúpos menesztőcsap elmozdításából származó menetemelkedési hiba az r_k függvényében.

Összegzés: Ábrázoltam és összevettem a menetemelkedés ingadozást δ_{csap} félnyílásszögű, forgáskúp alakú menesztőcsap esetén. Megállapítható, hogy a kúpos menesztőcsappal a menesztés fluktuációja csillapítottá válik a referenciakúp δ_1 félnyílásának függvényében.

- a csap főorsó távolságának függvényében, és
- a csap félkúpszögének függvényében.

5.6. A geometriailag helyes megmunkáláshoz szükséges menesztőcsap profil

A hengeres menesztőcsappal történő menesztés vizsgálata szerint a mozgásátadás a menesztővilla és a menesztőcsap között a menesztőcsap a alkotója mentén a $C_{\text{contact}} = C$ érintkezési pontokban történik az $\underline{m}_{\text{transfer}} = \underline{m}_{\text{trans}}$ pályagörbe mentén (5.4.2. ábra).

Az állandó menetemelkedés biztosítását az $\underline{m}_{\text{trans}}$ mozgástranzformációs görbének a \underline{K}_4 -el párhuzamos \underline{V}_2 síkon az $\underline{m}_{\text{trans}}^{\text{kör}}$ körpályára alakításával végezzük el, amit a menesztőcsap profiljának, azaz az a alkotójának geometriai kialakításával kívánunk elérni. A szimmetria okok miatt a továbbiakban a menesztőcsap és a menesztővilla közötti érintkezési pont útjának egy fél körül-fordulása kerül vizsgálatra.

Az 5.2.3.1. ábrán látható módon, a IV. képen a kúpos csavarfelület megmunkálásakor a menesztőcsap T_e tengelypontjának e ellipszis pályáját érintő \underline{t} vektoroknak a $\underline{k}_{\text{spir}}$ körpályáig történő meghosszabbításával a mozgásátadás állandó távolságba kerül a kúpos csiga forgástengelyétől.

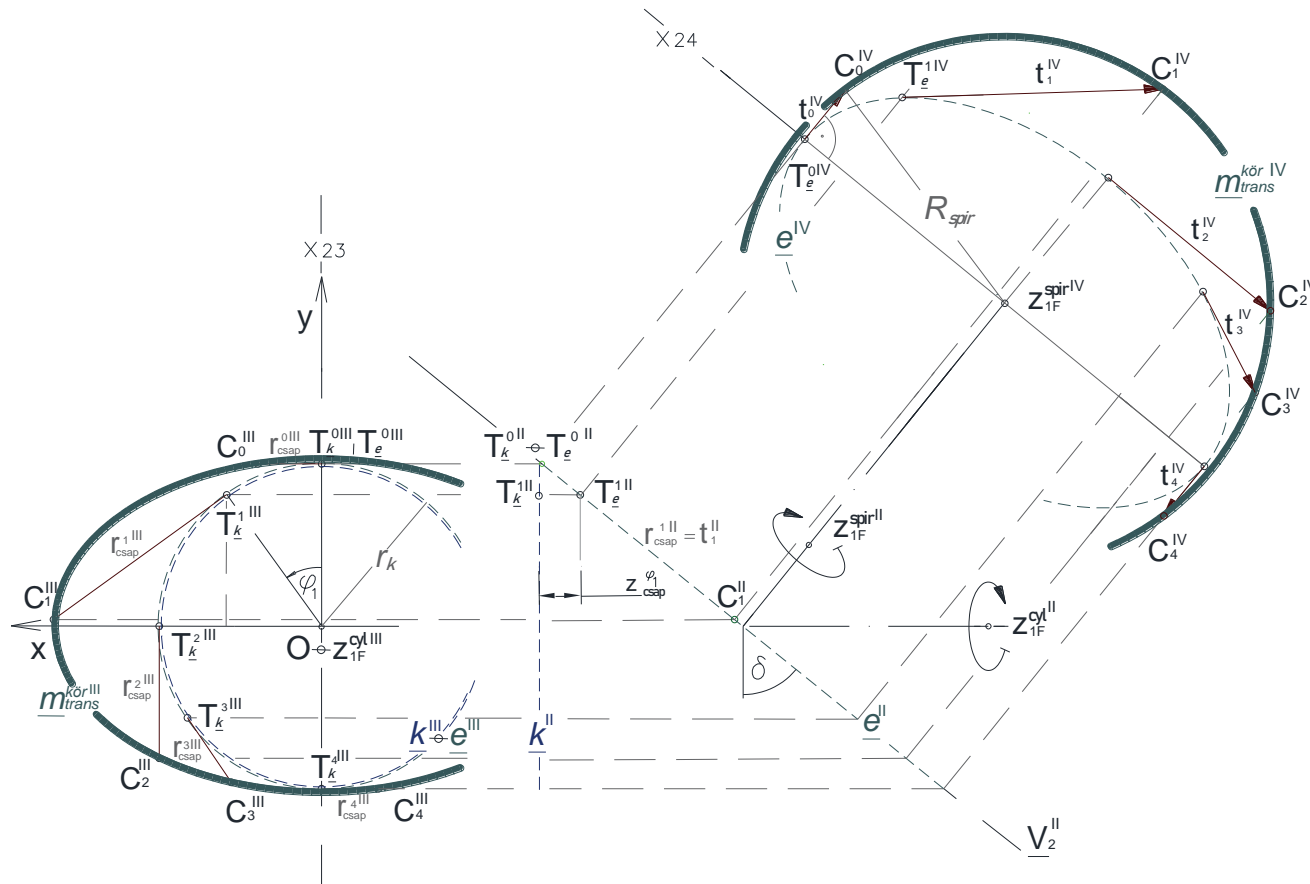
A $\varphi_2(0^\circ) \equiv y$ kiinduló helyzetben az e ellipszis pályáját érintő \underline{t} vektoroknak $\underline{t}^0 \equiv \underline{t}^0$ kezdő vektor hossza adottnak tekintendő, és mivel párhuzamos a \underline{k} pályagörbe \underline{K}_3 síkjának és az e pályagörbe \underline{V}_2 síkjának metszésvonalával, ezért a hossza

$$\underline{I}\underline{t}^0\underline{I} = \underline{I}\underline{t}^0\underline{I}^{\text{III}} = \underline{I}\underline{t}^0\underline{I}^{\text{IV}} \quad (5.6.1.)$$

A mozgásátadó $\underline{m}_{\text{trans}}^{\text{kör}}$ körpálya R_{spir} sugarát a \underline{k} körpálya r_k sugara, a tengelyelállítás δ szöge és a mozgásátadó körpálya $\underline{I}\underline{t}^0\underline{I}$ kezdő érintővektor hossza határozza meg az 5.2.3.1. ábrán látható módon

$$R_{\text{spir}} = \sqrt{(r_k / \cos \delta)^2 + |\underline{t}^0|^2} \quad (5.6.2.)$$

Az érintővektor $|\underline{t}^{\varphi_1}|$ hossza a φ_1 szögelfordulás függvényében változik. A főorsó φ_1 szögelfordulásához tartozó $|\underline{t}^{\varphi_1}| = |\underline{t}^1|$ érintő hosszúságnak a menesztőcsap z_{csap} tengelyére merőleges \underline{K}_3 képsíkra eső, merőleges vetülete a forgástest alakú menesztőcsap $z_{\text{csap}}^{\varphi_1}$ magasságban lévő $r_{\text{csap}}^{\varphi_1}$ sugara.



5.6.1. ábra A menesztóvilla és a hengeres menesztócsap érintkezési pontjaiból származó mozgásátadó görbéjének C_{spir} körre alakítva a forgástest alakú menesztócsap sugarak diszkrét helyzetei

A *menesztőcsap* z_{csap} tengelyének a T_k pontja a fő-orsó \underline{K}_3 síkjában a \underline{k} körpályáját, míg a tengelyelállítás következtében a T_e pontja a \underline{V}_2 síkban az \underline{e} ellipszis pályáján mozog, melynek a \underline{K}_3 síkra eső \underline{e}^{III} képe fedésben van a \underline{k}^{III} képével.

A \underline{K}_3 képsíkon a *menesztőcsap* tengelyének T_k pontja által bejárt \underline{k} körpályája koordinátái φ_1 függvényében

$$\left. \begin{aligned} x_k^{\varphi_1} &= r_k \cdot \sin \varphi_1 \\ y_k^{\varphi_1} &= r_k \cdot \cos \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (5.6.3.)$$

A \underline{K}_4 képsíkon az \underline{e} ellipszis pályáját érintő \mathbf{t} vektoroknak a *menesztőcsap* tengelyére merőleges \underline{K}_3 képsíkra eső \mathbf{t}^{III} vetületei az \underline{e}^{III} vetületével egybeeső, a (5.4.3.) \underline{k}^{III} körpályát érintik.

A \underline{K}_3 képsíkon az \underline{e}^{III} körpálya érintő \mathbf{t}^{φ_1} vektorok t^{φ_1} egyeneseinek $\mathbf{n}_{t \varphi_1}$ normál-vektorai a $T_e^{III} \equiv T_k^{III}$ pontok hely-vektoraival azonosak, azaz

$$\mathbf{n}_{\varphi_1}(r_k \cdot \sin \varphi_1, r_k \cdot \cos \varphi_1) \quad (5.6.4.)$$

A \mathbf{t}^{φ_1} érintővektorra illeszkedő t^{φ_1} *étérítő egyenes* egyenlete φ_1 függvényében

$$\begin{aligned} \sin \varphi_1 \cdot (x - r_k \cdot \sin \varphi_1) + \cos \varphi_1 \cdot (y - r_k \cdot \cos \varphi_1) &= \\ \sin \varphi_1 \cdot x + \cos \varphi_1 \cdot y - r_k &= 0 \end{aligned} \quad (5.6.5.)$$

Az egyenes (5.2.3.5.) egyenletéből az y -t kifejezve

$$y = -\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot x + \frac{r_k}{\cos \varphi_1} \quad \varphi_1 \neq k \cdot \pi / 2 \quad k \in \mathbb{N} \quad (5.6.6.)$$

A mozgásátadás $\underline{m}_{trans}^{kör}$ körpályának a *főorsó síkjára eső merőleges vetülete* egy vele affin kapcsolatban lévő ellipszis, melynek a \underline{K}_3 képsíkon lévő koordinátarendszer x tengelyére illeszkedő fél nagytengelye megegyezik az R_{spir} körpálya sugarával, illetve az y tengelyre illeszkedő fél kistengelye pedig $R_{spir} \cdot \cos \delta$, így a \underline{K}_3 képsíkon az egyenlete

$$\frac{x^2}{R_{spir}^2} + \frac{y^2}{R_{spir}^2 / \cos^2 \delta} = 1 \quad (5.6.7.)$$

Az (5.4.6.)-t az (5.4.7.)-be behelyettesítve

$$\frac{x^2}{R_{spir}^2} + \frac{\left(-\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot x + \frac{r_k}{\cos \varphi_1} \right)^2}{R_{spir}^2 / \cos^2 \delta} = 1 \quad (5.6.8.)$$

Az (5.4.8.) mindkét oldalát $R_{spir}^2 \cdot \cos^2 \delta$ -val megszorozva

$$\cos^2 \delta \cdot x^2 + \left(-\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot x + \frac{r_k}{\cos \varphi_1} \right)^2 = R_{spir}^2 \cdot \cos^2 \delta \quad (5.6.9.)$$

Az (5.4.8.) egy x -re nézve másodfokú egyenlet a következő formába írható

$$\left(\cos^2 \delta + \operatorname{tg}^2 \varphi_1 \right) \cdot x^2 - 2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot r_k}{\cos \varphi_1} \cdot x + \frac{r_k^2}{\cos^2 \varphi_1} - R_{spir}^2 \cdot \cos^2 \delta = 0 \quad (5.6.10.)$$

A félmenetet vizsgálva az (5.4.10.) egyenletből a C_{φ_1} érintkezési pont x_{C1} koordinátája φ_1 függvényében a megoldóképlet pozitív előjelű gyöke

$$x_{C1} = \frac{2 \cdot \frac{tg \varphi_1 \cdot r_k}{\cos \varphi_1} - \sqrt{4 \cdot \frac{tg^2 \varphi_1 \cdot r_k^2}{\cos^2 \varphi_1} - 4 \cdot (\cos^2 \delta + tg^2 \varphi_1) \cdot \left(\frac{r_k^2}{\cos^2 \varphi_1} - R_{spir}^2 \cdot \cos^2 \delta \right)}}{2 \cdot (\cos^2 \delta + tg^2 \varphi_1)} \quad (5.6.11.)$$

Az (5.4.11.) egyszerűsítve a C_{φ_1} érintkezési pont x_{C1} koordinátája φ_1 függvényében

$$x_{C1} = \frac{\frac{tg \varphi_1 \cdot r_k}{\cos \varphi_1} - \sqrt{\frac{tg^2 \varphi_1 \cdot r_k^2}{\cos^2 \varphi_1} - (\cos^2 \delta + tg^2 \varphi_1) \cdot \left(\frac{r_k^2}{\cos^2 \varphi_1} - R_{spir}^2 \cdot \cos^2 \delta \right)}}{(\cos^2 \delta + tg^2 \varphi_1)} \quad (5.6.12.)$$

ahol a nevező soha nem nulla, hiszen $0 < \delta < \pi$,

valamint

$$\frac{tg^2 \varphi_1 \cdot r_k^2}{\cos^2 \varphi_1} \geq (\cos^2 \delta + tg^2 \varphi_1) \cdot \left(\frac{r_k^2}{\cos^2 \varphi_1} - R_{spir}^2 \cdot \cos^2 \delta \right) \quad (5.6.13.)$$

melyből a diszkusszió

$$tg^2 \varphi_1 \cdot r_k^2 \geq (\cos^2 \delta + tg^2 \varphi_1) \cdot (r_k^2 - R_{spir}^2 \cdot \cos^2 \delta \cdot \cos^2 \varphi_1) \quad (5.6.14.)$$

A C_{φ_1} érintkezési pont (x_{C1}, y_{C1}) koordinátái a φ_1 függvényében az (5.2.3.7.)-ből és az (5.4.12.)-ből

$$\left. \begin{aligned} x_{C1} &= \frac{\frac{tg \varphi_1 \cdot r_k}{\cos \varphi_1} - \sqrt{\frac{tg^2 \varphi_1 \cdot r_k^2}{\cos^2 \varphi_1} - (\cos^2 \delta_1 + tg^2 \varphi_1) \cdot \left(\frac{r_k^2}{\cos^2 \varphi_1} - R_{spir}^2 \cdot \cos^2 \delta_1 \right)}}{(\cos^2 \delta_1 + tg^2 \varphi_1)} \\ y_{C1} &= -tg \varphi_1 \cdot x_{C1} + \frac{r_k}{\cos \varphi_1} \end{aligned} \right\} \quad (5.6.15.)$$

A $T_e^{III} \equiv T_k^{III}$ és a C_{φ_1} pontok közti távolság

$$r_{csap}^{\varphi_1} = \sqrt{(x_{C1} - \sin \varphi_1 \cdot r_k)^2 + (y_{C1} - \cos \varphi_1 \cdot r_k)^2} \quad (5.6.16.)$$

Ezt egybevetve az (5.3.20.)-al, a menesztőcsapot létrehozó alkotójának egyenlete

$$\left. \begin{aligned} r_{csap}^{\varphi_1} &= \sqrt{(x_{C1} - \sin \varphi_1 \cdot r_k)^2 + (y_{C1} - \cos \varphi_1 \cdot r_k)^2} \\ z_{csap}^{\varphi_1} &= tg \delta \cdot r_k \cdot (1 - \cos \varphi_1) \end{aligned} \right\} \quad (5.6.17.)$$

5.6.1. A számítógépes program készítése

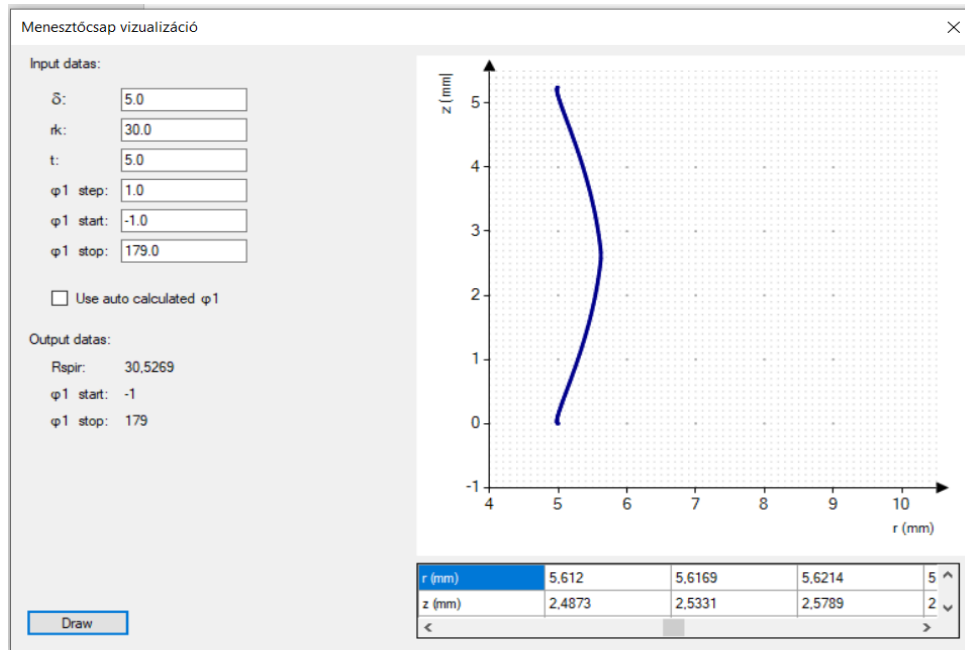
Input adatok: $\delta_1, r_k, |t_0|, \varphi_1^{start}, \varphi_1^{step}, \varphi_1^{stop}$.

A φ_1^{start} szöghöz tartozó T_k tengelypont koordinátái

$$\left. \begin{aligned} x_{start}^{\varphi_1} &= -\sqrt{r_k^2 + r_k^4 / \cos^2 \delta_1 \cdot R_{spir}^2} \\ y_{start}^{\varphi_1} &= r_k^2 / \cos \delta_1 \cdot R_{spir} \end{aligned} \right\} \quad (5.6.1.1.)$$

melyből

$$\varphi_1^{start} = \arctg(x_{start}^{\varphi_1} / y_{start}^{\varphi_1}) \quad (5.6.1.2.)$$



5.6.1.1. ábra A menesztőcsap T_k tengelypontjának φ_1^{start} és φ_1^{stop} szögelfordulása és a T_e tengelypontjának φ_2^{start} és φ_2^{stop} szögelfordulása közti összefüggés a mozgástádató \underline{m}_{trans} görbe $\underline{m}_{trand}^{kör}$ körré alakítása során

A φ_1^{stop} szöghöz tartozó T_k tengelypont koordinátái

$$\left. \begin{aligned} x_{stop}^{\varphi_1} &= r_k^2 / R_{spir} \\ y_{stop}^{\varphi_1} &= +\sqrt{r_k^2 - r_k^4 / R_{spir}^2} \end{aligned} \right\} \quad (5.6.1.3.)$$

melyből

$$\varphi_1^{stop} = \arctg(x_{stop}^{\varphi_1} / y_{stop}^{\varphi_1}) \quad (5.6.1.4.)$$

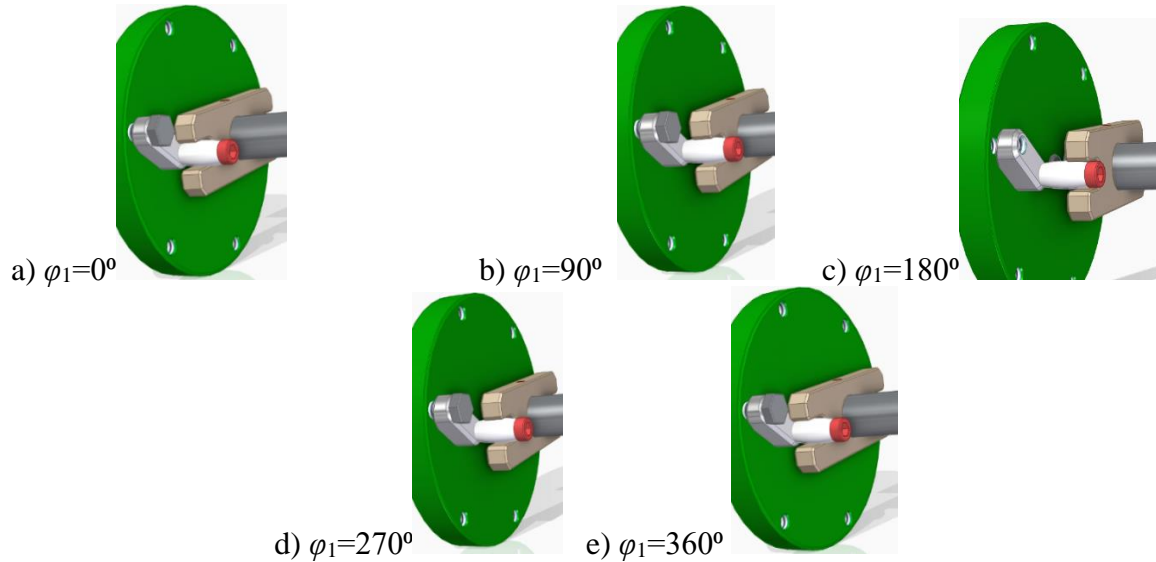
Eredmény: A kúpos csiga megmunkálásakor a mozgástádatás során a forgáshenger alakú menesztőcsap és menesztővilla érintkezési pontjának pályagörbéje a főorsóra merőleges síkban kör, a csigatengelyre merőleges síkban elliptikus görbe. A hengeres menesztőcsap tengelypontjainak kör, illetve ellipszis pályagörbéi közti affin kapcsolatra, illetve az esetünkben az euklideszi térmodellre is alkalmazható pólus-poláris projektív geometriai kapcsolatra építve **a szögelfordulások közti összefüggések felírásra kerültek.**

A menesztőcsap és a menesztővilla érintkezési pontjának pályája a konstruktív geometriai modell alapján került meghatározásra. Annak érdekében, hogy a kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálása során a mozgástádatás állandó szögsebesség mellett állandó kerületi sebességgel történjen, a menesztőcsap és menesztővilla érintkezési pontjának a kúpos csiga tengelyétől való távolságát egy tetszőlegesen megválasztott állandó távolságra kell alakítani. Ennek biztosítása érdekében a menesztőcsap és menesztővilla érintkezési pontjának mozgástádató pályáját körpályává alakítottuk a csap tengelypontjának ellipszis-pályáját érintő vektorok meghosszabbításával, ami a forgástest alakú menesztőcsap alkotógörbéjének módosulását vonja maga után. Ezen alkotó görbe geometriai kialakítása a folyamatot kísérő euklideszi szerkesztési lépések útján történt, amely által az alakja analitikusan is meghatározhatóvá vált, ami *explicit formában* felírásra is került.

5.6.2. A matematikailag helyesen kialakított menesztőcsap modellje

A menesztőcsap profilgörbéjének a hozzávetőleges ponthalmaza helyett egy explicit formájú, pontos matematikai eljárás készült az alkotó görbe leírására. Az explicit formájú

leírása a profilgörbének egy univerzális megoldást mutat a mozgásvitel tervezését illetően azáltal, hogy az generáló görbe a bemutatott eljárás következtében matematikailag tervezhető a paraméterek változtatásával. A téma folytatásának egyik lehetséges módja a további fejlesztés a különböző csigák gyártási pontosságának növelésére, mind a gyártási folyamatok, mind a szerszámkopás elemzésével.



5.6.2.1. ábra A menesztőcsap és a menesztővilla érintkezése különböző szögelfordulások esetén.

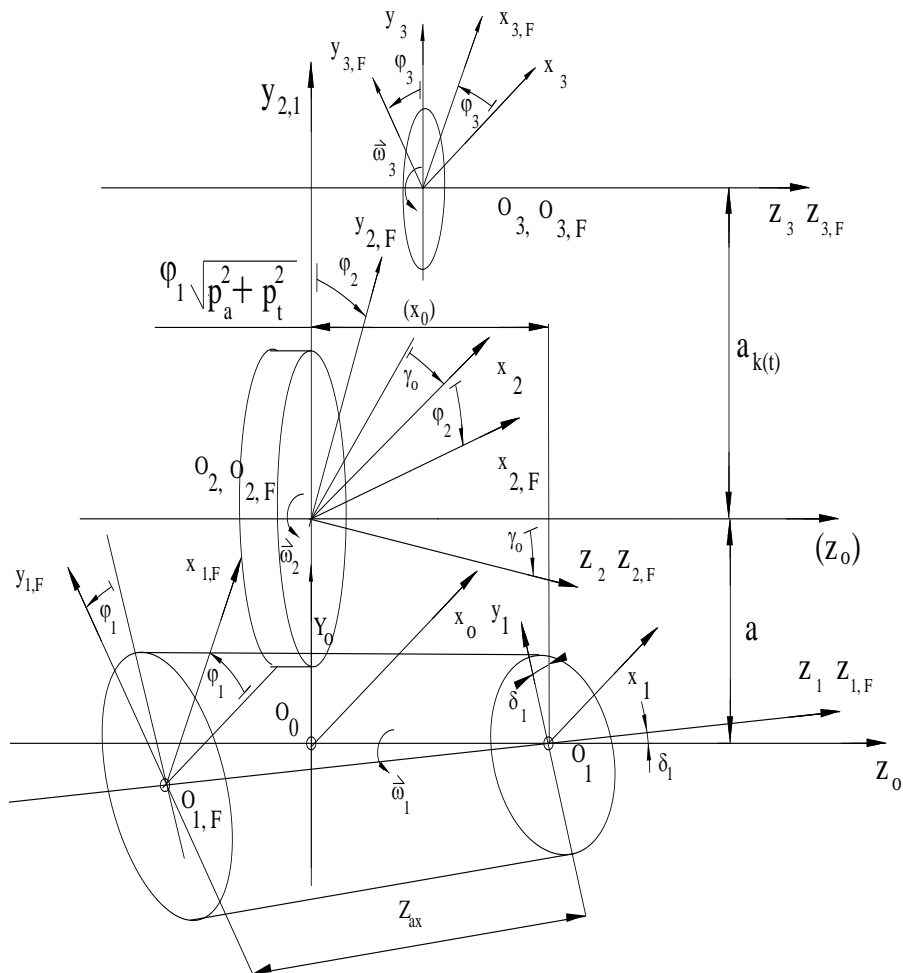
6. KÚPFELÜLET MENTÉN ELHELYEZKEDŐ MŰKÖDŐ FELÜLETNEK FORGÁSTEST ALAKÚ SZERSZÁMMAL VALÓ MEGMUNKÁLÁSÁNAK KINEMATIKAI ANALÍZISE

A kúpos csiga köszörűkoronggal történő megmunkálásával egyidejű korongszabályozás mozgásviszonyainak matematikai analízise a 6.1. ábrán szemléltetett koordináta-rendszerek alkalmazásával végezhető el többek között a lineáris algebra eszközkészletével.

A korongszabályozás esetében, valamint a kúpos csiga felületének megmunkálásakor a tengelytávolságok vonatkozásában az alábbi reláció kerültek alkalmazásra

1. $a_{k(t)} \approx \text{konstans}$

2. $a = a_{\max} + p_r \cdot \varphi_1$



6.1. ábra A kúpos csiga menetköszörülése és a köszörű-szabályozás kinematikai matematikai modellje

A mozgásviszonyok elemzéséhez alkalmazott koordináta-rendszerek:

$K_0(x_0, y_0, z_0)$

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 csavarfelülethez kötött forgó koordináta-rendszer
$K_2(x_2, y_2, z_2)$	a szerszámhoz kötött álló koordináta-rendszer
$K_{sz2}(x_{sz2}, y_{sz2}, z_{sz2})$	a forgástest alakú szerszám generálgörbéjének 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
$K_3(x_3, y_3, z_3)$	a gyémánt kerék koordináta-rendszere
$M_{1F,2F}$	a K_{2F} és K_{1F} koordináta-rendszerek közötti transzformációs mátrix
$M_{2F,1F}$	a K_{1F} és K_{2F} koordináta-rendszerek közötti transzformációs mátrix
$M_{2F,20}$	a K_{20} és K_{2F} koordináta-rendszerek közötti transzformációs mátrix

A koordináta transzformációk a direkt eljárás során:

$$\begin{aligned}
 K_{1F} &\rightarrow K_1 \\
 K_1 &\rightarrow K_0 \\
 K_0 &\rightarrow K_2 \\
 K_2 &\rightarrow K_{2F}
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

A mátrixok szorzások felépítése

$$M_{2F,1F} = M_{2F,2} \cdot M_{2,0} \cdot M_{0,1} \cdot M_{1,1F} \tag{6.2.}$$

$$M_{1F,2F} = M_{1F,1} \cdot M_{1,0} \cdot M_{0,2} \cdot M_{2,2F} \tag{6.3}$$

A relatív sebesség meghatározásának lépései a következők

$$\mathbf{v}_{2F} = \frac{d}{dt} \mathbf{r}_{2F} = \frac{d}{dt} (\mathbf{M}_{2F,1F}) \cdot \mathbf{r}_{1F} \tag{6.4}$$

$$\mathbf{v}_{1F} = \mathbf{M}_{1F,2F} \cdot \mathbf{v}_{2F} = \mathbf{M}_{1F,2F} \cdot \frac{d}{dt} \mathbf{r}_{2F} = \mathbf{M}_{1F,2F} \cdot \frac{d}{dt} (\mathbf{M}_{2F,1F}) \cdot \mathbf{r}_{1F} \tag{6.5}$$

$$\mathbf{P}_{1k} = \mathbf{M}_{1F,2F} \cdot \frac{d}{dt} (\mathbf{M}_{2F,1F}) \tag{6.6}$$

A burkolt Σ_1 csigafelület

$$\mathbf{r}_{1F} = \mathbf{r}_{1F}(\eta, \vartheta) \tag{6.7}$$

(η, ϑ) két felületparaméterrel felírt paraméteres egyenlete a K_{1F} koordináta-rendszerben.

A homogén koordináták bevezetésével ugyanazon felületi pont helyvektorai az egyes koordináta-rendszerekben a megfelelő transzformációs mátrixok alkalmazásával a következők

$$\begin{aligned}
 \mathbf{r}_1 &= \mathbf{M}_{1,1F} \cdot \mathbf{r}_{1F} \\
 \mathbf{r}_2 &= \mathbf{M}_{2,1F} \cdot \mathbf{r}_{1F} \\
 \mathbf{r}_{2F} &= \mathbf{M}_{2F,1F} \cdot \mathbf{r}_{1F}
 \end{aligned} \tag{6.8}$$

ahol:

- $\mathbf{M}_{1,1F}$ a forgó K_{1F} és a gépasztalhoz kötött K_1 koordináta-rendszerek közötti transzformáció mátrixa,
- $\mathbf{M}_{2,1F} = \mathbf{M}_{2,1} \cdot \mathbf{M}_{1,1F}$ a forgó K_{1F} és a köszörűkoronghoz kötött K_2 koordináta-rendszere közötti transzformáció mátrixa,
- $\mathbf{M}_{2F,1F} = \mathbf{M}_{2F,2} \cdot \mathbf{M}_{2,1} \cdot \mathbf{M}_{1,1F}$ a forgó K_{1F} és a szerszámhoz kötött K_{2F} forgó koordináta-rendszer közötti transzformáció mátrixa,

- $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_{2F}$ ugyanazon pont helyvektora az K_1, K_2 illetve az K_{2F} koordináta-rendszerekben.

Az alábbiakban meghatározásra kerülnek a transzformációs mátrixok.

A koordináta-rendszerek közötti elsődleges kapcsolatokat az alábbi relációkban értelmezzük:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_{1,1F}: K_{1F} \rightarrow K_1; & & \mathbf{M}_{1F,1}: K_1 \rightarrow K_{1F} \\ \mathbf{M}_{2,1}: K_1 \rightarrow K_2; & & \mathbf{M}_{1,2}: K_2 \rightarrow K_1 \\ \mathbf{M}_{2,2F}: K_{2F} \rightarrow K_2; & & \mathbf{M}_{2F,2}: K_2 \rightarrow K_{2F} \end{aligned} \quad (6.9)$$

A szerszám fogfelületére teljesülnek az alábbi egyenletek

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{r}_{2F} &= \mathbf{M}_{2F,1F} \cdot \mathbf{r}_{1F} \\ \widehat{\varphi}_2 &= i_{21} \cdot \widehat{\varphi}_1 \end{aligned} \right\} \quad (6.10)$$

A kapcsolódó tagok fogfelületein, mint egymást kölcsönösen burkoló felületeken lévő érintkezési vonal pontjaira teljesül a **kapcsolódás I. törvénye**

$$\mathbf{n}_{1F} \cdot \mathbf{v}_{1F}^{(12)} = \mathbf{n}_{2F} \cdot \mathbf{v}_{2F}^{(12)} = \mathbf{n} \cdot \mathbf{v}^{(12)} = 0 \quad (6.11)$$

A csiga mozgása következtében létrehozott felületsereg burkolófelületeként kialakuló köszörűkorong felület egyenlete a K_{2F} koordináta-rendszerben a fentiek alapján a következő egyenletrendszerrel adható meg

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{n}_{1F} \cdot \mathbf{v}_{1F}^{(12)} &= 0 \\ \mathbf{r}_{1F} &= \mathbf{r}_{1F}(\eta, \vartheta) \\ \mathbf{r}_{2F} &= \mathbf{M}_{2F,1F} \cdot \vec{r}_{1F} \end{aligned} \right\} \quad (6.12)$$

A kúpos csavarfelület felületi normálisát a differenciálgeometriából ismert

$$\mathbf{n}_{1F} = \frac{\partial \mathbf{r}_{1F}}{\partial \eta} \times \frac{\partial \mathbf{r}_{1F}}{\partial \vartheta} \quad (6.13)$$

összefüggéssel határozzuk meg, mely a következő determináns formában írható

$$\mathbf{n}_{1F} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial x_{1F}}{\partial \eta} & \frac{\partial y_{1F}}{\partial \eta} & \frac{\partial z_{1F}}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x_{1F}}{\partial \vartheta} & \frac{\partial y_{1F}}{\partial \vartheta} & \frac{\partial z_{1F}}{\partial \vartheta} \end{vmatrix} \quad (6.14)$$

A (6.14) alapján az \mathbf{n} vektorkoordináta-függvények az alábbi determináns-alak kifejtéséből következnek

$$\left. \begin{aligned} n_{1Fx} &= n \left(\frac{\partial y_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial z_{1F}}{\partial \vartheta} - \frac{\partial y_{1F}}{\partial \vartheta} \cdot \frac{\partial z_{1F}}{\partial \eta} \right) \\ n_{1Fy} &= - \left(\frac{\partial x_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial z_{1F}}{\partial \vartheta} - \frac{\partial x_{1F}}{\partial \vartheta} \cdot \frac{\partial z_{1F}}{\partial \eta} \right) \\ n_{1Fz} &= \left(\frac{\partial x_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial y_{1F}}{\partial \vartheta} - \frac{\partial x_{1F}}{\partial \vartheta} \cdot \frac{\partial y_{1F}}{\partial \eta} \right) \end{aligned} \right\} \quad (6.15)$$

A kapcsolódás I. törvényének alkalmazásához a sebességvektor számítása szükséges, mely az átviteli mátrix alkalmazásával történik a következőképpen

$$\mathbf{v}_{1F} = \mathbf{P}_{1k} \cdot \mathbf{r}_{1F} \quad (6.16)$$

6.1. A transzformációs mátrixok az új konstruktív geometriai modellben

Az $\mathbf{M}_{2F,1F}$ mátrix a csigához kötött forgó K_{1F} koordináta-rendszerrel való áttérés mátrixa a szerszámhoz kötött, szintén forgó K_{2F} koordináta-rendszerre.

I. Az $\mathbf{M}_{2F,1F}$ mátrix számításának lépései az

$$\mathbf{M}_{2F,1F} = \mathbf{M}_{2F,2} \cdot \mathbf{M}_{2,0} \cdot \mathbf{M}_{0,1} \cdot \mathbf{M}_{1,1F} \quad (6.1.1)$$

alapján:

I/1.

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_{0,1F} = \mathbf{M}_{0,1} \cdot \mathbf{M}_{1,1F} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta_1 & \sin \delta_1 & 0 \\ 0 & -\sin \delta_1 & \cos \delta_1 & \varphi_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -z_{ax} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \cos \delta_1 \sin \varphi_1 & \cos \delta_1 \cos \varphi_1 & \sin \delta_1 & -z_{ax} \sin \delta_1 \\ -\sin \delta_1 \sin \varphi_1 & -\sin \delta_1 \cos \varphi_1 & \cos \delta_1 & -z_{ax} \cos \delta_1 + \varphi_1 \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.1.2)$$

I/2.

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_{2,1F} = \mathbf{M}_{2,0} \cdot \mathbf{M}_{0,1F} &= \begin{bmatrix} \cos \gamma_0 & 0 & \sin \gamma_0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -a \\ -\sin \gamma_0 & 0 & \cos \gamma_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \cos \delta_1 \sin \varphi_1 & \cos \delta_1 \cos \varphi_1 & \sin \delta_1 & -z_{ax} \sin \delta_1 \\ -\sin \delta_1 \sin \varphi_1 & -\sin \delta_1 \cos \varphi_1 & \cos \delta_1 & -z_{ax} \cos \delta_1 + \varphi_1 \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \gamma_0 \cos \varphi_1 - \sin \gamma_0 \sin \delta_1 \sin \varphi_1 & -\cos \gamma_0 \sin \varphi_1 - \sin \gamma_0 \sin \delta_1 \cos \varphi_1 & \sin \gamma_0 \cos \delta_1 & -\sin \gamma_0 (z_{ax} \cos \delta_1 - \varphi_1 \sqrt{p_a^2 + p_t^2}) \\ \cos \delta_1 \sin \varphi_1 & \cos \delta_1 \cos \varphi_1 & \sin \delta_1 & -z_{ax} \sin \delta_1 - a \\ -\sin \gamma_0 \cos \varphi_1 - \cos \gamma_0 \sin \delta_1 \sin \varphi_1 & \sin \gamma_0 \sin \varphi_1 - \cos \gamma_0 \sin \delta_1 \cos \varphi_1 & \cos \gamma_0 \cos \delta_1 & \cos \gamma_0 (-z_{ax} \cos \delta_1 + \varphi_1 \sqrt{p_a^2 + p_t^2}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.1.3)$$

I/3. $\mathbf{M}_{2F,1F} = \mathbf{M}_{2F,2} \cdot \mathbf{M}_{2,1F} =$

$$\begin{bmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \gamma_0 \cos \varphi_1 - \sin \gamma_0 \sin \varphi_1 & -\cos \gamma_0 \sin \varphi_1 - \sin \gamma_0 \sin \delta_1 \cos \varphi_1 & \sin \gamma_0 \cos \delta_1 & -\sin \gamma_0 (z_{ax} \cos \delta_1 - \varphi_1 \sqrt{p_a^2 + p_t^2}) \\ \cos \delta_1 \sin \varphi_1 & \cos \delta_1 \cos \varphi_1 & \sin \delta_1 & -z_{ax} \sin \delta_1 - a \\ -\sin \gamma_0 \cos \varphi_1 + \cos \gamma_0 \sin \delta_1 \sin \varphi_1 & -\cos \gamma_0 \sin \delta_1 \cos \varphi_1 + \sin \gamma_0 \sin \varphi_1 & \cos \gamma_0 \cos \delta_1 & \cos \gamma_0 (-z_{ax} \cos \delta_1 + \varphi_1 \sqrt{p_a^2 + p_t^2}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} [\cos \gamma_0 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin \varphi_1] & [-\cos \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2] & [-\sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 + \sin \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_2] & [+z_{ax} \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 - z_{ax} \cdot \cos \delta_1 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 + \sin \gamma_0 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + a \cdot \sin \varphi_2] \\ [\cos \gamma_0 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2] & [-\cos \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2] & [\sin \delta_1 \cdot \cos \delta_2 + \sin \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_2] & [-z_{ax} \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_2 - z_{ax} \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 + \sin \gamma_0 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - a \cdot \cos \varphi_2] \\ [-\sin \gamma_0 \cdot \cos \varphi_1 - \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_1] & [-\sin \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 - \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_1] & [\cos \gamma_0 \cdot \cos \delta_1] & [-z_{ax} \cdot \cos \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 + \cos \gamma_0 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \varphi_1] \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.1.4)$$

Az $\mathbf{M}_{1F,2F}$ mátrix a szerszámhoz kötött K_{2F} forgó koordináta-rendszerről a csigához kötött forgó K_{1F} koordináta-rendszerre áttérés mátrixa.

II. Az $\mathbf{M}_{1F,2F}$ mátrix számításának lépései a következők

$$\mathbf{M}_{1F,2F} = \mathbf{M}_{1F,1} \cdot \mathbf{M}_{1,0} \cdot \mathbf{M}_{0,2} \cdot \mathbf{M}_{2,2F} \quad (6.1.5)$$

II/1.

$$\mathbf{M}_{0,2F} = \mathbf{M}_{0,2} \cdot \mathbf{M}_{2,2F} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_0 & 0 & -\sin \gamma_0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & a \\ \sin \gamma_0 & 0 & \cos \gamma_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi_2 & \sin \varphi_2 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \quad (6.1.6)$$

$$\begin{bmatrix} \cos \gamma_0 \cos \varphi_2 & \cos \gamma_0 \sin \varphi_2 & -\sin \gamma_0 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 & a \\ \sin \gamma_0 \cos \varphi_2 & \sin \gamma_0 \sin \varphi_2 & \cos \gamma_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

II/2.

$$\mathbf{M}_{1,2F} = \mathbf{M}_{1,0} \cdot \mathbf{M}_{0,2F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta & -\sin \delta & \varphi_1 \sin \delta_1 \sqrt{p_a^2 + p_i^2} \\ 0 & \sin \delta & \cos \delta & -\varphi_1 \cos \delta_1 \sqrt{p_a^2 + p_i^2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \gamma_0 \cos \varphi_2 & \cos \gamma_0 \sin \varphi_2 & -\sin \gamma_0 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 & a \\ \sin \gamma_0 \cos \varphi_2 & \sin \gamma_0 \sin \varphi_2 & \cos \gamma_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \quad (6.1.7)$$

$$\begin{bmatrix} \cos \gamma_0 \cos \varphi_2 & \cos \gamma_0 \sin \varphi_2 & -\sin \gamma_0 & 0 \\ \left(\cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 - \right) & \left(\cos \delta_1 \cos \varphi_2 - \right) & (-\sin \delta_1 \cos \gamma_0) & \left(a \cdot \cos \delta_1 + \right) \\ \left(\sin \delta \sin \gamma_0 \cos \varphi_2 \right) & \left(\sin \delta_1 \sin \gamma_0 \sin \varphi_2 \right) & & \left(\varphi_1 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_i^2} \right) \\ \left(-\sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 \right) & \left(\sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_2 + \right) & (\cos \delta_1 \cdot \cos \gamma_0) & \left(a \cdot \sin \delta_1 - \right) \\ \left(+ \cos \delta_1 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \varphi_2 \right) & \left(\cos \delta_1 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sin \varphi_2 \right) & & \left(\varphi_1 \cdot \cos \delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_i^2} \right) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

II/3.

$$\mathbf{M}_{1F,2F} = \mathbf{M}_{1F,1} \cdot \mathbf{M}_{1,2F} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & \sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z_{ax} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \gamma_0 \cos \varphi_2 & \cos \gamma_0 \sin \varphi_2 & -\sin \gamma_0 & 0 \\ \left(\cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 - \right) & \left(\cos \delta_1 \cos \varphi_2 - \right) & (-\sin \delta_1 \cos \gamma_0) & \left(a \cdot \cos \delta_1 + \right) \\ \left(\sin \delta \sin \gamma_0 \cos \varphi_2 \right) & \left(\sin \delta_1 \sin \gamma_0 \sin \varphi_2 \right) & & \left(\varphi_1 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_i^2} \right) \\ \left(-\sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 \right) & \left(\sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_2 + \right) & (\cos \delta_1 \cdot \cos \gamma_0) & \left(a \cdot \sin \delta_1 - \right) \\ \left(+ \cos \delta_1 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \varphi_2 \right) & \left(\cos \delta_1 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sin \varphi_2 \right) & & \left(\varphi_1 \cdot \cos \delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_i^2} \right) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$\left[\begin{array}{cccc}
 \begin{array}{l} [\cos \gamma_0 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \\ \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - \\ \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \\ \cdot \cos \varphi_2] \end{array} & \begin{array}{l} [\cos \gamma_0 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \\ + \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \\ \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \\ \cdot \sin \varphi_2] \end{array} & \begin{array}{l} [-\sin \gamma_0 \cdot \cos \varphi_1 - \\ \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_1] \end{array} & \begin{array}{l} [a \cdot \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_1 + \\ \sin \delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \varphi_1 \cdot \sin \varphi_1] \end{array} \\
 \begin{array}{l} [-\cos \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \\ \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - \\ \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \\ \cdot \cos \varphi_2] \end{array} & \begin{array}{l} [-\cos \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \\ \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \\ \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \\ \cdot \sin \varphi_2] \end{array} & \begin{array}{l} [\sin \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 - \\ \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_1] \end{array} & \begin{array}{l} [a \cdot \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_1 + \\ \sin \delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1] \end{array} \\
 \begin{array}{l} [-\sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 + \\ \sin \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_2] \end{array} & \begin{array}{l} [\sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_2 + \\ \sin \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_2] \end{array} & [\cos \gamma_0 \cdot \cos \delta_1] & \begin{array}{l} [a \cdot \sin \delta_1 - \\ \cos \delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \varphi_1 + z_{ax}] \end{array} \\
 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array} \right] \quad (6.1.8)$$

A kinematikai leképezés mátrixának meghatározásához szükséges $\mathbf{M}_{2F,1F}$ idő szerinti deriváltja:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{M}_{2F,1F} = \begin{bmatrix} [(-\cos \gamma_0 - i \cdot \cos \delta_1) \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - & ([\cos \gamma_0 - i \cdot \cos \delta_1) \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + & [-i \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_2 - & [z_{ax} i \cdot \cos \delta_1 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sin \varphi_2 - \\ -(i \cdot \cos \gamma_0 + \cos \delta_1) \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - & +(i \cdot \cos \gamma_0 + \cos \delta_1) \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + & -i \cdot \sin \gamma_0 \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_2] & -(z_{ax} i \cdot \sin \delta_1 + a \cdot i - \\ -\sin \gamma_0 \sin \delta_1 (\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - & +\sin \gamma_0 \sin \delta_1 (\sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + & & -\sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \sin \gamma_0) \cos \varphi_2 - \\ -i \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2)] & +i \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2)] & & -i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \\ & & & \cdot \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2]; \\ \\ [(-\cos \gamma_0 - i \cdot \cos \delta_1) \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + & [(-\cos \gamma_0 - i \cdot \cos \delta_1) \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - & [-i \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 + & [-z_{ax} i \cdot \sin \delta_1 + \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \\ +(i \cdot \cos \gamma_0 + \cos \delta_1) \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - & -(i \cdot \cos \gamma_0 + \cos \delta_1) \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + & +i \cdot \sin \gamma_0 \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_2] & \cdot \sin \gamma_0 - a \cdot i) \cdot \sin \varphi_2 + \\ -\sin \gamma_0 \sin \delta_1 (\cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + i \cdot \sin \varphi_1 \cdot & +\sin \gamma_0 \sin \delta_1 (\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - & & +z_{ax} \cdot i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 \cdot \\ \cdot \cos \varphi_2)] & -i \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2)] & & \cdot \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_2 + \\ & & & +i \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \sin \gamma_0 \cdot \\ & & & \cdot \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2] \\ \\ [\sin \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 - \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_1] & [\sin \gamma_0 \cdot \cos \varphi_1 + \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_1] & 0 & [\sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \cos \gamma_0] \end{bmatrix} \quad (6.1.9)$$

A (6.1.8) és (6.1.9) felhasználásával a kinematikai leképezés mátrixa

$$\mathbf{P}_{1k} = \left[\begin{array}{ccc}
 0 & [-\cos\gamma_0 \cdot \cos\delta_1 - i] & \left[\begin{array}{l} \sin(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\gamma_0 \cdot \cos\delta_1 \\ + \cos(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\delta_1 \end{array} \right] \\
 \\
 [+ \cos\gamma_0 \cdot \cos\delta_1 + i] & 0 & \left[\begin{array}{l} \sin(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\delta_1 \\ - \cos(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\gamma_0 \cdot \cos\delta_1 \end{array} \right] \\
 \\
 \left[\begin{array}{l} -\sin(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\gamma_0 \cdot \cos\delta_1 \\ -\cos(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\delta_1 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{l} \cos(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\gamma_0 \cdot \cos\delta_1 \\ -\sin(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\delta_1 \end{array} \right] & 0 \\
 \\
 0 & 0 & 0
 \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \left[\begin{array}{l} \cos(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\gamma_0 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2} - \\ \cos\gamma_0 \cdot \left(a \cdot \cos(i \cdot \varphi_1) \cdot \cos\gamma_0 + \right. \\ \left. \varphi_1 \cdot \cos(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2} \right) \end{array} \right] \\
 \\
 \left[\begin{array}{l} \sin(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\gamma_0 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2} - \\ \cos\gamma_0 \cdot \left(a \cdot \sin(i \cdot \varphi_1) \cdot \cos\gamma_0 + \right. \\ \left. \varphi_1 \cdot \sin(i \cdot \varphi_1) \cdot \sin\delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2} \right) \end{array} \right] \\
 \\
 \left[\begin{array}{l} \cos\gamma_0 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2} + \\ \sin\gamma_0 \cdot \left(a \cdot \cos\delta_1 + \right. \\ \left. \varphi_1 \cdot \sin\delta_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2} \right) \end{array} \right] \\
 \\
 0
 \end{array} \right]
 \end{array} \right] \quad (6.1.10)$$

A \mathbf{P}_{1k} kinematikai leképezési mátrix alkalmazásával a relatív sebességvektorok

$$\mathbf{P}_{1k} \cdot \begin{bmatrix} x_{1F} \\ y_{1F} \\ z_{1F} \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{1Fx} \\ v_{1Fy} \\ v_{1Fz} \\ I \end{bmatrix} \quad (6.1.11)$$

A sebességvektor koordinátái

$$\begin{aligned} v_{1Fx} = & \\ & [-(1 + i \cdot \cos \gamma_0 \cdot \cos \delta_1) y_{1F} + (i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 - i \cdot \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi) z_{1F} + \\ & (-z_{ax} \cdot i \cdot \sin \gamma_0 + a \cdot i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 - \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \sin \delta_1) \cdot \sin \varphi_1 + \\ & \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_2 + (z_{ax} \cdot i \cdot \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 + a \cdot i \cdot \cos \gamma_0) \cdot \cos \varphi \end{aligned} \quad (6.1.12)$$

$$\begin{aligned} v_{1Fy} = & \\ & (1 + i \cdot \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1) x_{1F} + (i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \varphi_1 + i \cdot \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_1) z_{1F} + \\ & (-z_{ax} \cdot i \cdot \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 + a \cdot i \cdot \cos \gamma_0) \cdot \sin \varphi_1 + \\ & (-z_{ax} \cdot i \cdot \sin \gamma_0 + a \cdot i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 - \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_1) \cdot \cos \varphi_1 + \\ & + \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 \cdot \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 \end{aligned} \quad (6.1.13)$$

$$\begin{aligned} v_{1Fz} = & \\ & [(-i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sin \varphi_1 + i \cdot \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \cos \varphi_1) x_{1F} + (-i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \varphi_1 - i \cdot \cos \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_1) y_{1F} + \\ & \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \sin \delta_1 \cdot \varphi_1 - a \cdot i \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \delta_1 + \sqrt{p_a^2 + p_t^2} \cdot \cos \delta_1] \end{aligned} \quad (6.1.14)$$

A Kapcsolódás

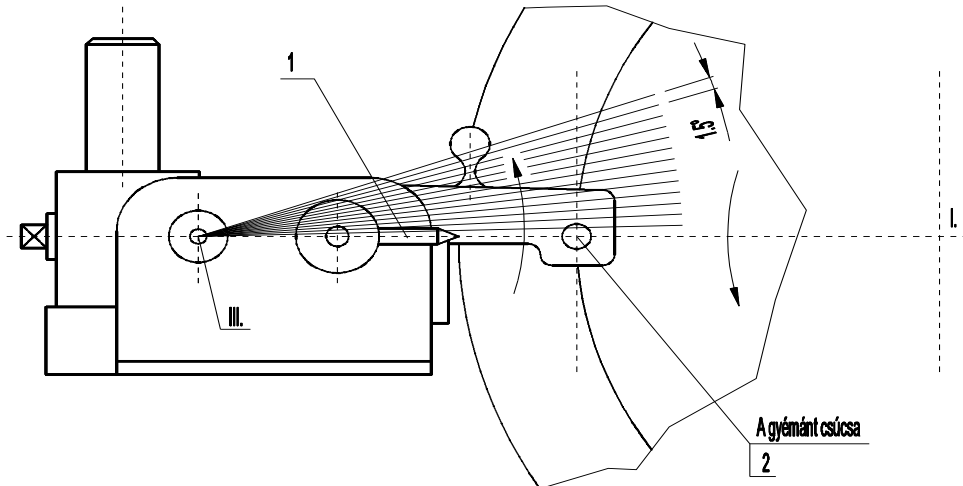
$$\mathbf{n}_{1F} \cdot \mathbf{v}_{1F} = 0 \quad (6.1.15)$$

I. törvényét a (6.15), illetve a (6.1.12), (6.1.13), (6.1.14) alapján koordinátákkal felírva számítjuk a következő módon

$$\begin{bmatrix} v_{1Fx} & v_{1Fy} & v_{1Fz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_{1Fx} \\ n_{1Fy} \\ n_{1Fz} \end{bmatrix} = v_{1Fx} \cdot n_{1Fx} + v_{1Fy} \cdot n_{1Fy} + v_{1Fz} \cdot n_{1Fz} \quad (6.1.16)$$

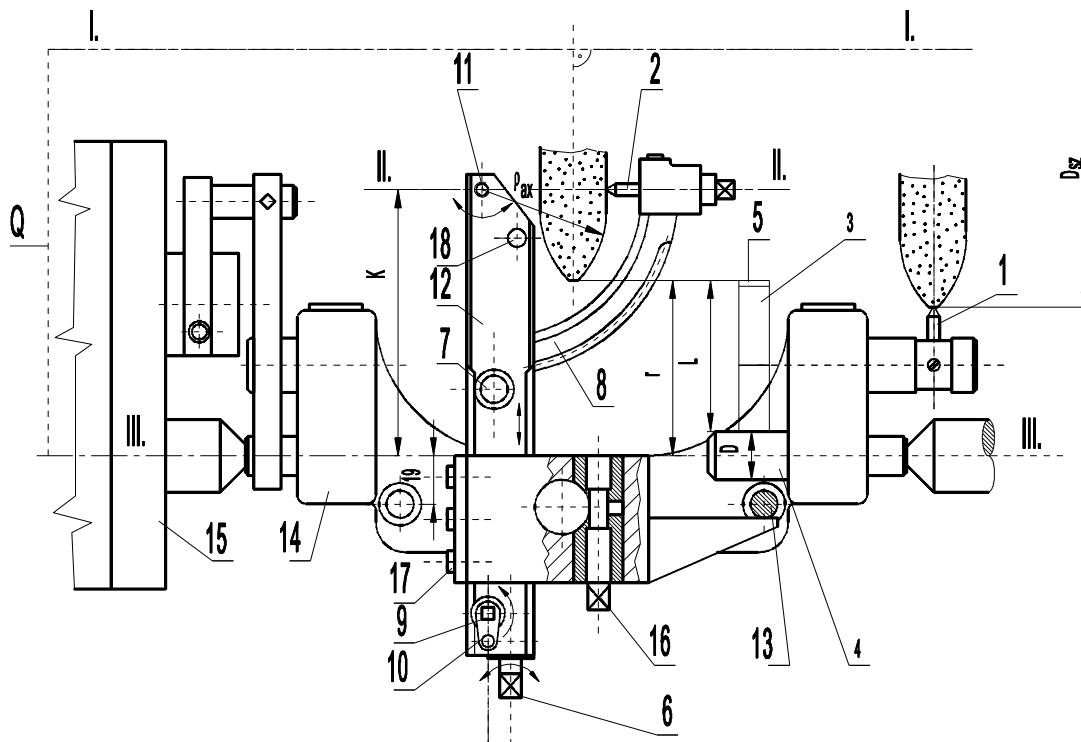
6.2. A meglévő működő korongszabályozó berendezés fejlesztett változatának bemutatása

A korong szabályozás megvalósítása fokenként elfordított helyzetben történik a gyémánt a lefejtő szabályozónak a korong felületéről való kigördüléséig (M3 melléklet). A 6.2.1. ábra a korong lehúzás műveletét gyakorlatban mutatja be. A 2 jelű gyémántcsúcs a vezető karhoz viszonyítva, úgy van rögzítve, hogy a III. forgáspont K távolságra helyezkedjen el a csiga tengelyétől.



6.2.1. ábra. A korong lefejtő szabályozásának sematikus vázlata [44, 51, 62]

A korong működő felületének profilját a csigáról való visszafejtéssel adhatjuk meg minden újra-szabályozás esetén. A 6.2.3. ábrán szemléltetett lefejtő készüléket fejlesztettük ki, amelynek működését az alábbiakban adjuk meg [62].



6.2.2. ábra A fejlesztett koronglefejtő készülék működési ábrája [44, 51, 62]

A 12 jelű testtel kerül felfogásra a készülék a gépre a csúcsok közé, ezáltal bekapcsolásra került a Q –val jelzett kinematikai láncba. A 17 jelű csavarok meglazítása után a 12 jelű prizmás elemet kell elcsúsztatni és így a gyémánt csúcs által bejárt ρ_{ax} sugarú körív középpontjának távolságát K -ra állítjuk be. A ρ_{ax} paraméter konfigurálása a 8-al jelölt fogazott kengyel forgásközéppontjának beállításával, valamint a 2-vel jelölt gyémánt axiális irányú beállításával történik. Jóval kisebb ρ_{ax} esetén a 12 jelű testen feltüntetett 18 forgásközéppontba célszerű a kengyelt a megfelelő méretűre cserélni. A lefejtő mozgás kialakítása a két bekezdésű evolvens csiga és a ferdefogú fogaskerék kapcsolódásával történik. A 6-al jelölt orsó kapcsolódik a 7-el jelölt fogaskerékhez, amely a 8-al jelölt ferdefogazású fogasívvel van kapcsolatban. A körívközéppont és csigatengely távolságának és a profil körív sugarának mérettartománya $K=50 - 100$ mm, illetve $\rho_{ax} = 20 - 60$ mm. A tengelyelállítással köszörült kúpos csiga geometriailag helyes kialakításához biztosítani kell, hogy azt a tengelytávolság változása ne befolyásolja, aminek többek között az a jelentősége, hogy azt a csigamarót alakítsuk ki, amellyel a csigakerekeket kell lefejteni, a majdan működő csigával azonosra lehessen köszörülni.

6.3. A kúpos csigát megmunkáló köszörűkorong

A köszörűkorong működő felületének kialakítása, azaz szabályozása az előírt pontosságnak megfelelő szögelfordulással történik a gyémántcsúcsnak a lefejtő szabályozóval együtt történő kigördüléséig, vagyis amíg elhagyja a korong felületét. A 6.2.1. ábra a korong lehúzás folyamatát mutatja be, melyen a 2 jelű rögzített gyémántcsúcs a vezető karhoz viszonyítva, oly módon van rögzítve, hogy a III. forgáspont K távolságra van a csiga tengelyétől. A kúpos csiga elméleti felületének generálásához folyamatosan szükséges a köszörűkorong profilját szabályozni oly módon, hogy azt a csiga tengelyirányban változó átmérője következtében változó tengelytávolság ne befolyásolja.

További kutatásainkban a köszörülés technológiájának geometriailag helyes kialakításával biztosítani kívánjuk, hogy minden köszörűkorong szabályozás után a köszörűkorong átmérőjének változása ne befolyásolja a csiga alakját, minthogy a csigakerekeket lefejtő szerszámot a majdan működő csigával azonosra kell köszörülni.

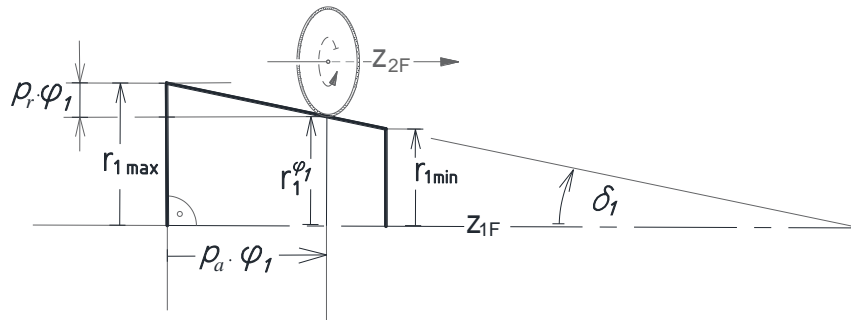
A fenti követelmény teljesítése szükséges ahhoz, hogy:

- ne kelljen a köszörűkorongot minden szükséges korongszabályzás esetén levenni a gépről, majd újra befogni,
- kúpos csavarfelület köszörüléskor a változó korongprofil legalább a pontossági korlát által megszabott precizitással legyen a korong szabályozható akár munka közben is,
- magasabb automatizáltságú termelő rendszerbe legyen a gyártás illeszhető, integrálható, ahol célszerű a készüléket CNC kivitelben megépíteni és alkalmazni.[44]

A cél az új CNC készülék alkalmazásával a csigahajtópárok előállítására szolgáló ismert, konvencionális eljárások és berendezések hibáinak, illetve hiányosságainak kiküszöbölése; vagyis az eddigieknél jóval kedvezőbb kapcsolódási viszonyokat és hajtómű hatásfokot eredményező csigák, illetve csigahajtások létrehozása, és olyanfajta berendezés megalkotása, ami a számjegyevezérlése által a számítógéppel támogatott gyártórendszerekbe beilleszhető, nagy pontosságú, és a fellépő profiltorzulásokat önműködően kompenzálja.[44]

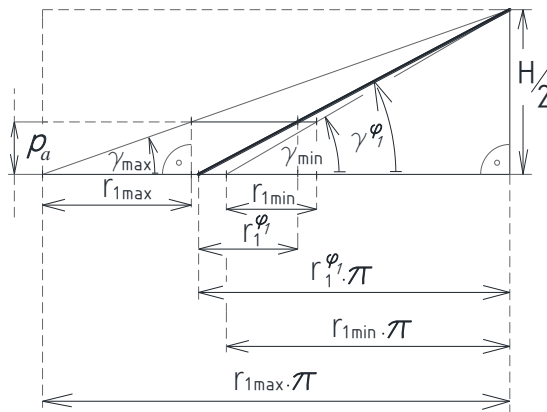
A kúpos csiga befejező megmunkálása során a korongot a $d_{1max} (=2 \cdot r_{1max})$ legnagyobb átmérőtől indítva a köszörűkorongot egy tetszőleges φ_1 mozgásparaméterrel jellemezhető helyzet szemléltetése a 6.3.1. ábrán látható. Az $r_1^{\varphi_1}$ sugár nagysága az ábra alapján

$$r_1^{\varphi_1} = r_{1max} - p_r \cdot \varphi_1 \quad (6.3.1.)$$



6.3.1. ábra A kúpos csiga $r_1^{\varphi_1}$ sugarának változása a csiga megmunkálása során

A kúpos csiga és köszörűkorong tengelytávolságának változása és a köszörűkorong bedöntési szögének szükséges változtatása közti összefüggése a 6.3.2. ábrán kerül bemutatásra.



6.3.2. ábra Állandó menetemelkedésű kúpos csavarvonal γ^{φ_1} emelkedési szögének változása az $r_1^{\varphi_1}$ sugár függvényében.

A kúpos csiga állandó menetemelkedése miatt megmunkálásakor az osztókúpján lévő kúpos csavarvonal γ_0 emelkedési szöge φ_1 mozgásparaméter függvényében a következő alakba írható

$$\gamma_o^{\varphi_1} = \arctg\left(\frac{H/2}{r_{1,o}^{\varphi_1} \cdot \pi}\right), \quad (6.3.2.)$$

ahol $r_{1,o}^{\varphi_1}$ az osztókúp φ_1 mozgásparaméterhez tartozó sugara.

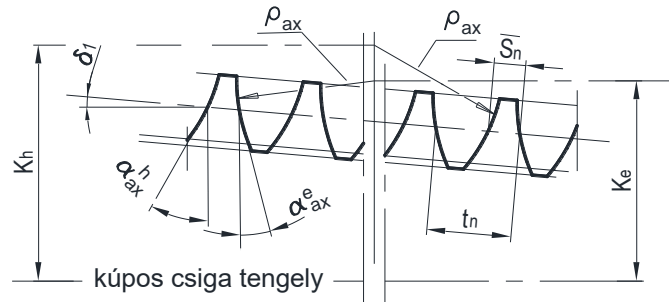
A köszörűkorong *helyzetgeometriai viszonyainak* meghatározása után az *alakgeometriájának* meghatározása szükséges.

A korongprofil meghatározásához a csiga és a korong érintkezési pontjait szükséges meghatározni. Az új konstruktív geometriai modellben a direkt eljárás során az **M1 melléklet**ben megadott, tengelymetszetben körív profillal tervezett kúpos csiga köszörűkoronggal történő megmunkálásának elemzését végeztem el, melyre egy C nyelvű számítógépes program is készült. Erre a konkrét esetre futtatva a programot végeztem el az eset vizsgálatát.

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

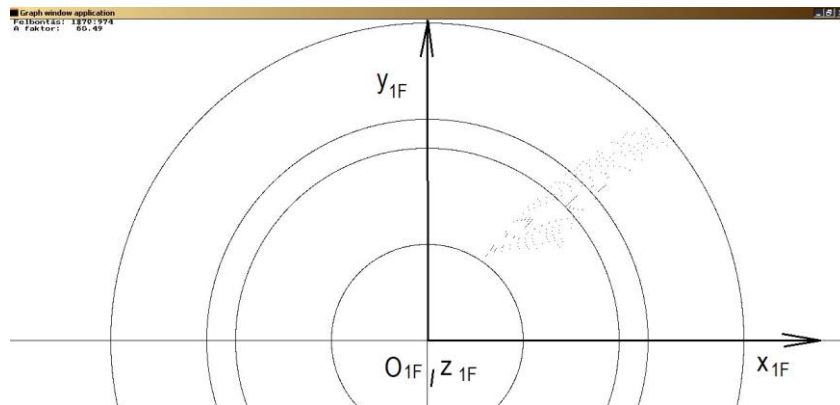
$$\left. \begin{aligned} x_{1F} &= -\eta \cdot \sin \vartheta \\ y_{1F} &= \eta \cdot \cos \vartheta + p_r \cdot \vartheta \\ z_{1F} &= p_a \cdot \vartheta + \sqrt{\rho_{ax}^2 - (K_e - \eta)^2} \\ &I \end{aligned} \right\} \quad (6.3.3.)$$

A tengelymetszeti körív profil geometriai paraméterei a 6.3.3 ábrán látható módon értelmezendők.



6.3.3. ábra A kúpos csiga tengelymetszeti körív profilja

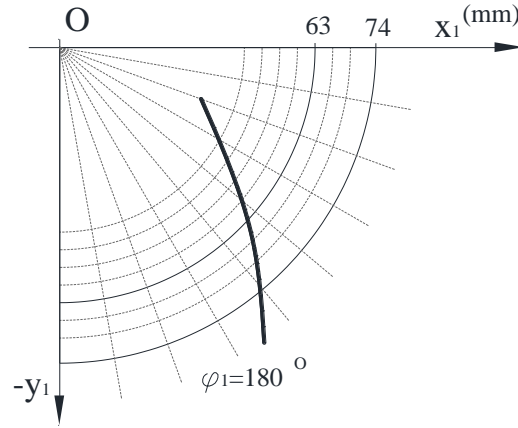
A (6.1.16.) összefüggést a számítógépes algoritmussal egy-egy φ_1 mozgásparaméter esetében az (η, ϑ) felületparaméterekre megoldva, az implicit függvényből érintkezési pontokat eredményez. Az **M1 melléklet**ben megadott geometriai paraméterezésű kúpos csigára készült vizsgálat során a különböző φ_1 mozgásparaméter esetén a számított érintkezési pontok a 6.3.4. ábrán kerültek bemutatásra.



6.3.4. ábra A kúpos csiga felületén a számított érintkezési pontok.

A kúpos csavarfelületek köszörűkoronggal történő befejező megmunkálásakor a profil alakhibáját a korong kopása mellett a csiga átmérőváltozása okozza, ami miatt. Ezen okok miatt a megmunkált csavarfelület profilja eltér az elméleti profiltól.

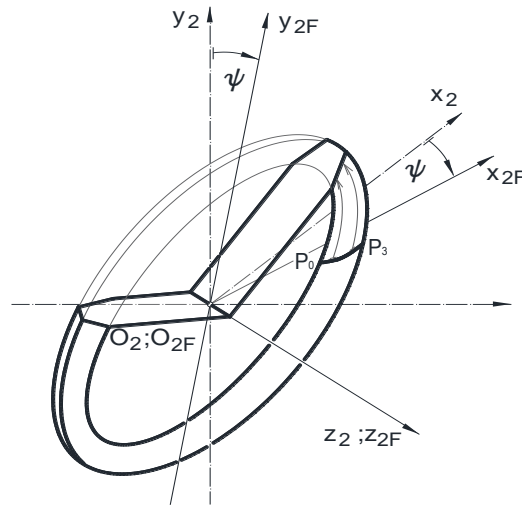
Egy φ_1 mozgásparaméterhez tartozó érintkezési görbe alakja függ a számítás helyétől, azaz az a^{φ_1} tengelytávolság nagyságától. Egy kiválasztott φ_1 mozgásparaméter esetében a megoldásként kapott karakterisztikus pontokat transzformálva a K_{2F} koordináta-rendszerbe, ami a z_{2F} tengely körül megforgatva a korong működő felületét eredményezi. A kúpos csiga φ_1 szögelfordulásához tartozó köszörűkorong működő felületét az $[x_{1F}, y_{1F}]$ koordinátasíkkal metszve kapjuk a korong profilgörbéjének pontjait.



6.3.2. ábra. A szerszámprofil eredményező érintkezési vonal számított pontjainak elhelyezkedése $\varphi_1=180^\circ$ mozgásparaméter rögzített értéke esetén.

Az így kapott karakterisztikus pontokra a továbbiakban ismertetett módon egy interpoláló harmadrendű Bezier görbét illesztettem a matematikai kezelhetőség okán.

Egy rögzített φ_1 mozgásparaméterhez tartozó érintkezési pontokat a korong K_{2F} koordináta-rendszerébe transzformálva az $\eta=d_{almax}$ értékhez legközelebbi számított $P_3 \equiv \mathbf{p}_3$ pontra, illetve a $\eta=d_{almin}$ értékekhez legközelebbi számított $P_0 \equiv \mathbf{p}_0$ pontra, és a közte arányosan kiválasztott P_2 és P_1 pontokra illesztettem a Bezier görbét a következőkben ismertetett eljárással.



6.3.3. ábra. A köszörűkorong érintkezési pontjai és a profilgörbe.

A $\mathbf{p}_0, \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3$ pontokhoz az ívhossz szerinti paraméterezést leginkább közelítő, húrhosszal arányos paraméterezést előnyös bevezetni.

Legyen $u_0=0, u_n=1$, valamint

$$u_{i+1} = u_i + \frac{|\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i|}{L} \quad i = 0, \dots, 1 \quad (6.3.4.)$$

ahol

$$L = \sum_{i=1}^n l_i \quad (6.3.5.)$$

és

$$l_i = |\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_0|, \dots, l_n = |\mathbf{p}_n - \mathbf{p}_{n-1}| \quad (6.3.6.)$$

Az interpolációs Bezier görbe egyenletének felírásához, meg kell keresni azokat a $\mathbf{b}_0, \mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \mathbf{b}_3$ kontrollpontokat, amelyek által meghatározott Bezier görbe a kiválasztott $\mathbf{p}_0, \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3$ pontokon halad keresztül.

A $\mathbf{p}_0, \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3$ karakterisztikus pontokra illeszkedő Bezier görbe alakja

$$\mathbf{b}(u) = \sum_{j=0}^3 B_j^3(u) \mathbf{b}_j, \quad (6.3.7.)$$

ahol $B_j^n(u) = \binom{n}{j} u^j (1-u)^{n-j}$ a jól ismert Bernstein polinom.

Az $u_i \neq u_j$ és $i \neq j$, valamint $u_0 = 0$ és $u_3 = 1$ esetén a $\mathbf{b}_0, \dots, \mathbf{b}_3$ kontrollpontjaira teljesül a $\mathbf{b}(u_i) = \mathbf{r}_i$ ($i=0, \dots, n$) feltétel.

Az $u_i \neq u_j$ feltétel mellett a keresett $\mathbf{b}_0, \mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \mathbf{b}_3$ csomópontokra koordinátáinként egyértelmű megoldást eredményez a következő lineáris inhomogén egyenletrendszer

$$\begin{bmatrix} \mathbf{p}_0 \\ \mathbf{p}_1 \\ \mathbf{p}_2 \\ \mathbf{p}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_0^3(u_0) & B_1^3(u_0) & B_2^3(u_0) & B_3^3(u_0) \\ B_0^3(u_1) & B_1^3(u_1) & B_2^3(u_1) & B_3^3(u_1) \\ B_0^3(u_2) & B_1^3(u_2) & B_2^3(u_2) & B_3^3(u_2) \\ B_0^3(u_3) & B_1^3(u_3) & B_2^3(u_3) & B_3^3(u_3) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{b}_0 \\ \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{b}_3 \end{bmatrix} \quad (6.3.8.)$$

A profilgörbe görbületének vizsgálatához egy polinom típusú alak megfelelő, ezért a profil Bezier görbe alakját az Hermite ív alakba írtam fel.

A kontrollpontok és az Hermite ív \mathbf{p}_0 kezdő és \mathbf{p}_3 végpontja, illetve \mathbf{t}_0 kezdő és \mathbf{t}_3 végérintője között a következő összefüggéseket alkalmaztam

$$\mathbf{p}_0 = \mathbf{b}_0 \quad \mathbf{t}_0 = 3 \cdot \mathbf{b}_1 - 3 \cdot \mathbf{b}_0 \quad \mathbf{p}_3 = \mathbf{b}_3 \quad \mathbf{t}_3 = 3 \cdot \mathbf{b}_3 - 3 \cdot \mathbf{b}_2 \quad \mathbf{t}_0 = 3\mathbf{b}_1 - 3\mathbf{b}_0 \quad (6.3.9.)$$

Ezután az

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{a}_0 &= \mathbf{p}_0 \\ \mathbf{a}_1 &= \mathbf{t}_0 \\ \mathbf{a}_2 &= 3 \cdot (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0) - 2 \cdot \mathbf{t}_0 - \mathbf{t}_1 \\ \mathbf{a}_3 &= -2 \cdot (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0) + \mathbf{t}_0 + \mathbf{t}_1 \end{aligned} \right\} \quad (6.3.10.)$$

értékválasztással az Hermite ív polinom alakja

$$\mathbf{r}(u) = \mathbf{a}_3 \cdot u^3 + \mathbf{a}_2 \cdot u^2 + \mathbf{a}_1 \cdot u + \mathbf{a}_0 \quad (6.3.11.)$$

$u \in [0,1]$ alakjához jutunk, melyből a görbület számítható

$$\kappa = \frac{|\dot{\mathbf{r}} \times \ddot{\mathbf{r}}|}{|\dot{\mathbf{r}}|^3} \quad (6.3.12.)$$

Összegzés: A köszörűkorong profilgörbéjének görbület-függvénye, ezáltal a pontjaiban az érintőjére merőleges normálison a K görbületi középpontjainak mértani helye meghatározásra került, ami által a koronglemez technológiája *matematikailag egzakt módszerrel került megtámogatásra*. Az M2 mellékletben az adott kúpos csiga 3 koronglemezlemez gyártott felülete és az elméleti felület eltéréseinek ellenőrzési adatait tüntettük fel.

7. AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGALÁSA

Az értekezés új tudományos eredményeit az alábbi tézisek foglalják össze:

1. Tézis: Megalkottam a matematikai neurális hálózatok analógiájára a csavarfelületek gyártására hangolt, meglévő intelligens gyártórendszer neurális hálózat-modelljét.

Az általunk kiépített intelligens gyártórendszer felépítése analóg a matematikában alkalmazott, elsősorban műszaki alkalmazásokra fejlesztett neurális hálózatokkal, amely hasonló az összes elemében intelligens humán biológiai neurális hálókhoz a neuronok rendszerében. Az együtt működtetés alapját a multinacionális vállalatok fejlődéséhez és technológiai működtetéséhez alapvető fontosságú holonikus gyártórendszer elvi rendszere adja.

A modell konvertálható az autógyártásban még fellelhető kézi munkaerő (pl.: Takumi-kézművesség) átalakulásának módjára a CAD-CAM-CAQ, a High-Tech fejlesztések kapcsán. A gyártó és szerelő üzemekben fellelhető hegesztő-, festő-, szerelő-robotok intelligens neuronok, melyek a modellem szerint neurális hálózatot alkothatnak, annak a célnak elérése érdekében, hogy termék keletkezzen. Ezen megvalósítások figyelembe vételével, javaslatom célja a létező intelligens gyártórendszer elemeinek (RAM-DISC, NCT, Mérőberendezések, Központi Számítógép, Köszörűgép) lehetséges rendszerbe integrálása, valamint ennek lehetséges módjai. [M-1, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11]

2. Tézis: Megalkottam az intelligens gyártórendszer optimalizálási modelljét halmazelméleti módszer alkalmazásával, a maximális profit, a minimális fenntartási költség, a minimális humánereforrás és az automatizálás maximalizálása szempontrendszer figyelembevételével.

A meglévő csigahajtópárok elemeinek megmunkálására alkalmas intelligens gyártórendszer jelen modellben vizsgált elemei -a vezérlőegység-halmaz, a gyártó (forgácsoló) gépek halmaza és a mérő halmaz (a 3D mérőgép és a CCD kamerás egység). Ezek halmazbarendezhetősége következményeként létrehozott modell alkalmas a részfeladatonként megkövetelt minimalizálás vagy maximalizálás elérésére, ami bizonyos mértékű javulást idéz elő a gyártórendszer működési mechanizmusában a költséghatékonyságát illetően, akár egy vállalaton belül. A TQM és a kapcsolódó minőségbiztosítási folyamatok során elégséges feltétel, hogy a meghibásodás előtt jelezze a rendszer magát a várható üzemképtelenség lehetőségét, ezáltal a karbantartás programozhatósága nem érinti az egész rendszer leállítását. [M-1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 15, 16, 12]

3. Tézis: A hengeres és kúpos csigahajtópárok gyártásgeometriai fejlesztésére korábban kimunkált általános matematikai modell alapján, a kúpos csigák és lefejtőmarók (f_1) szegnyereg-elállítás mellett, köszörűkoronggal (f_2) történő megmunkálása során fellépő menesztési probléma kiküszöbölésére új konstruktív geometriai modellt alkottam meg. Ez a modell alkalmas a kúpos csiga, a menesztővilla (f_{mv}), a menesztőcsap (f_{cs}), és a főorsó (f_g) kinematikájának egyidejű, összehangolt vizsgálatára, a menesztőcsap profiljának matematikai meghatározására.

Az új konstruktív geometriai modell a megfelelő paraméterválasztással alkalmas mind a hengeres, mind a kúpos csavarfelületek forgásfelülettel (mint pl.: köszörűkoronggal (f_2)) történő befejező megmunkálásának elemzésére, a kúpos csavarfelület helyes menesztésének kialakítására (a főorsó (f_g), a menesztővilla (f_{mv}), a menesztőcsap (f_{cs}) geometriai viszonyainak megadásával).

Eljárást dolgoztam ki a kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálása esetében a hengeres és kúpos menesztőcsappal történő menesztés során fellépő menetemelkedési fluktuációk összevetésére.

Megállapítottam, hogy a kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálásakor a hengeres menesztőcsappal történő menesztéshez képest az úgynevezett ellen-kúpos menesztőcsapos menesztésnek a menetemelkedés ingadozására mérséklő hatása van.

Meghatároztam a kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálása során az ellen-kúpos menesztőcsapnak a főorsó- tengelyétől való távolsága- és a fluktuáció mértéke közötti összefüggést.

Ezáltal meghatározhatóvá tettem, hogy a menesztőcsap és a főorsó távolsága milyen tartományon belül felel meg annak a követelménynek, hogy a megköszörült csiga egy megadott gyártási tűrésen belül legyen. [M-2, 3, 12, 13, 14]

4. Tézis: Feltártam a kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálása során a menesztőcsap alakgeometriájának -úgy mint a kúpos menesztőcsap félnyílásszögének- és a fluktuáció mértékének az összefüggéseit.

Ezáltal meghatározhatóvá tettem, hogy a menesztőcsap félnyílásszöge milyen tartományon belül felel meg annak a követelménynek, hogy a megköszörült csiga egy megadott gyártási tűrésen belül legyen.

Új, a mozgásátadást követő eljárást dolgoztam ki a kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálásához a menesztőcsap profiljának meghatározására a menetemelkedési fluktuáció kiküszöbölésére. A profilgörbét pontsor helyett explicit formában határoztam meg.

A menesztés vizsgálatára megalkotott konstruktív geometriai modell, és az erre épülő saját fejlesztésű számítógépes program olyan gyártástechnológia-tervezési eljárás, amely konkrét esetek vizsgálatára alkalmas. Ezzel a menesztés problémája megoldottnak tekinthető. [M-3, 12, 13, 14]

5. Tézis: A kúpos csiga tárcsa alakú szerszámmal történő köszörülése során létrejövő érintkezési görbéket pontsor helyett folytonos interpolációs görbékkel határoztam meg; ezek a legkisebb és legnagyobb átmérőhöz tartozó érintkezési pontokra illesztett Bezier görbék. A modell a köszörűkorong-profil változás kezelhetőségét jelentősen megkönnyíti. A tengelytáv-változás és korong bedöntési szöge közti összefüggést függvény formájában határoztam meg, a gyártási pontosság növelésére.

Ezáltal meghatározható a szerszámprofil-korrigáló művelet azon legkisebb értéke, amellyel a megköszörült csiga egy megadott gyártási tűrésen belül gyártható. Ezzel egyidejűleg – a csigáról való visszafejtéssel – meghatározható lesz a szabályozott korong tűrésmezője úgy, hogy az azzal köszörült csiga felülete az előírt tűrésen belül legyen. [M-1, 8, 9]

8. TOVÁBBFEJLESZTÉSI IRÁNYOK, LEHETŐSÉGEK

A gyártórendszereknek a jövőben a jelenlegi fél automata rendszerekből való fejlesztései, teljesen automatizált rendszerekké fognak alakulni az ázsiai, illetve amerikai jó kísérleti példák alapján. A saját termelési rendszereink ezirányú fejlesztése folyamatosan komoly kihívást jelent a mai versenyorientált körülmények között, ezért a feladat nem megkerülhető.

A kutatómunka disszertációban bemutatott eredményeinek a csavarfelületek további vizsgálatára és a csigahajtópárok gyártásgeometriai fejlesztésének vonatkozásában ipari alkalmazásokba közvetlenül beépíthető.

A spiroid csiga hajtópárok a nagy áttétel, a jó hatásfok miatt egyre elterjedtebbek a hengeres csiga hajtópároknál. A spiroid csiga hajtópár elemeinek gyártása során a technológiai feltételek korlátai mellett a közelítés az elméleti leíráshoz folyamatos feladat. A kúpos csavarfelületek gyártásgeometriai fejlesztése a számítógéppel vezérelt gyártás irányába multidiszciplináris ismereteket igénylő feladat. A spiroid csiga menesztése során a menesztővillának a menesztőcsappal való érintkezését a későbbiekben felületek érintkezéseként kívánjuk értelmezni, és a villa fogának henger felületként való felírásával elemezni a mozgásátadást. További feladat a kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálása során a köszörűkorong döntési szögre vonatkozó összefüggések feltárása és a matematikai függvény szerinti leírása.

9. SUMMARY

The PhD Thesis work has been begun with professional literature analysis. My research topic attempts to integrate the design of Intelligent Manufacturing Systems with mathematical background. I have concretised the aim of this dissertation. The Intelligent Manufacturing Systems has been classified, which are available nowadays, and the expert systems have been mentioned in this work. The elements of the different types of helicoid drive pairs were determined and supported by mathematical background way. The interpretation contains the matrices calculations similar to those general model made by Dudás to develop the production geometry of tools and analyse the gear contact theory. The Intelligent Manufacturing development ways have been revealed, with implication of neural networks in order to establish an adaptation model. The adaptation model of intelligent manufacturing system created by us, which was built in DifiCAD Ltd. in a possible neural network in objective, that how could be integrate the elements of the Intelligent Manufacturing system in a possible system (RAM-DISC, NCT, Measuring units, Central PC, Grinding Machine) for the analogy of mathematical neural networks.

My built Intelligent Manufacturing System is analogue and similar with used in mathematics, primarily technological applications which was developed by the neural nets which is similar with all of parts of biological neural net sin the system of system of neurons. The fundamental of co-operation to develop the multi-national firms and most important for to technological operate is the existence of Holonic manufacturing system.

The model could be convertase for the hand-work in car manufacturer firms (for example: Takumi hand-made works) transforming methods at the developments of CAD-CAM-CAQ. In the manufacturer and assembly firms the welding- painting – assembly robots are intelligent neurons, which can capable to create a neural network in the aim of objective to create a product.

The optimisation model of the Intelligent Manufacturing system has been made in this Thesis with mentioning of the developing ways of CIM Systems. The optimisation model of Intelligent Manufacturing with methods of theoretical aggregation for the elements of intelligent manufacturing systems of DifiCAD Ltd. for different kind of angle like approximate profit benefits, minimalised operation costs, minimal human resource and maximalised automatisation has been created by me. It is the aggregation of the elements of manufacturing system at the built elements of the worm driven pairs at DifiCAD Ltd. area. The aggregation of the control unit and cutting machines, which are the subordinated unit of the control aggregation, the measure aggregation with 3D machines With CCD unit and its model to reach minimalize and maximize by example reaching the effective operation mechanisms in the inside of the manufacturing systems or inside of the firm. At TQM and the quality continuation is satisfactory condition to give a sign just before the fault the system that's why the maintenance of programming is not touch the ruin of the whole system.

The constructive geometrical model of the conical helicoid surface machining has been created. The constructive geometrical analysis of the motion transfer when creating conical helicoid surfaces has been described mathematically. The aim of this model consist in finding solution that avoid the pitch fluctuation errors. The constructive geometrical analysis of the motion transfer when creating conical helicoid surfaces has been described mathematically. The aim of this model consist in finding solution that avoid the pitch fluctuation errors. A computer program was developed for industrial use. In this study, an exact mathematical description of the appropriate shape of the drive pin generatrix curve was produced instead of an approximate set of points, which represents progress due to the fact this curve becomes

mathematically designable for any continuous motion transfer law. The grinding technologies applied by the production of the spiroid worms, were deeply investigated in this study. The mathematical background of the grinding technologies has been modelised. After the presentation of the grinding wheel dressing technology, a new technical investigation of the contact curves has been given to the NC control. Some significant results has been presented in this study from the research work from at the Worm Scientific School founded by Professor Dudás.

10. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN

Szabadalmi bejelentés:

[M-1.] Dudás I., Bodzás S., Dudás I. Sz., **Mándy Z.**: Konkáv menetprofilú spiroid csigahajtópár és eljárás annak köszörüléssel történő előállítására, Szabadalmi iktatószám: P1200405, Szabadalmi bejelentés napja: 2012.07.04. A szerzők munkájának %-os megosztása: Dr. Dudás Illés: 50 %, Bodzás Sándor: 20 %, Dudás Illés Szabolcs: 20 %, **Mándy Zoltán: 10%**

Külföldön megjelent idegen nyelven készült folyóirat cikk:

[M-2.] Illés, Dudás; Sándor, Bodzás; **Zoltán, Mándy**: Solving the pitch fluctuation problem during the manufacturing process of conical thread surfaces with lathe center displacement, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 69: 5-8 pp. 1025-1031. , 7 p. (2013)

[M-3.] 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.

Idegen nyelven készült hazai folyóirat cikk:

[M-4.] **Mándy Zoltán**, Dr. Bányai Károly és Prof. Dr. Dudás Illés: Two special cases of The Holonic Manufacturing Systems Mobilitás és Környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép-és Nyugat- Dunántúli régióban” c. TÁMOP -4.2.1./B-09/1/KONV-2010-0003, Pannon Egyetemen 2010.08. 23-25. között, a Ph.D konferencia Konferenciakiadvány: Hungarian Journal of Industrial Chemistry, HU ISSN: 0133-0276. pp.:223-226.

Idegen nyelvű konferencia kiadványában megjelent szakcikk:

[M-5.] **Zoltan Mandy**: The Third Wave Of Advant Edge of Finite Element The application of software in the course of chipping and presentation of the experimental results GAMF Factory Automation (2010.04.16.) Kecskeméti Főiskola, Nemzetközi Konferencia előadás angol nyelven, ISBN 978-963-7294-83-9, pp.:39-47.

[M-6.] **Mándy Zoltán**, Prof. Dr. Dudás Illés: The aggregation approach of Holonic Manufacturing Systems, „The International Conference of MicroCAD 2011”Nemzetközi konferencián angol nyelvű előadás, lektorált cikk, 2011.03.31., ISBN 978963-661-965-7, P133-138

[M-7.] **Zoltan Mandy**: Third Wave Advant Edge of Finite Element the application of software in the course of chipping and introducing some solutions International Conference of Microcad (2010.03.18.) Miskolci Egyetem: Nemzetközi Konferencián való előadás angol nyelven, Konferencia kiadvány száma ISBN 978-963-661-925-1

- [M-8.] Dr. Illes Dudas - **Zoltan Mandy**: “Defining of the profile of the grinding wheel of conical worm surfaces” c. előadás angol nyelven 2012.03.29.”The International Conference of MicroCAD 2012” (Szekciókiadvány CD-n elérhető).
- [M-9.] **Zoltan Mandy**, Dr. Illes Dudas, Sandor Bodzas.: Manufacture of Spiroid Worm Surfaces in Intelligent Integrated Systems, Factory Automation 2011 Conference in University of István Széchenyi, 2011. 05. 25-26., Győr, Hungary, ISBN 978-963-7175-3, pp.: 140-148.

Szakmai tudományos előadás idegen nyelven:

- [M-10.] **Zoltan Mandy**: Few strategies of Holonic Manufacturing Systems „Doktoranduszok Fóruma 2010.” Miskolci Egyetem, 2010. nov. 10., Angol nyelvű előadás, pp.:78-84.
- [M-11.] **Zoltan Mandy**: A possible neural network for the Holonic Manufacturing System, 2011.11.08. Doktoranduszok Fórumán angol nyelvű előadás.

Magyar nyelven készült konferencia kiadványban megjelent szakkikk:

- [M-12.] **Mándy Z.**, Dudás I., Balajti Zs.: Kúpos csavarfelület csúcselállítással való megmunkálása során fellépő menetemelkedés ingadozási probléma megoldása affinitással, OGÉT 2019, ISSN 2068-1267 2668-9685, Nagyvárad, Románia, pp.: 336-339.
- [M-13.] Balajti Zs., **Mándy Z.**, Dudás I.: Kúpos csavarfelület csúcselállítással való megmunkálásának konstruktív geometriai elemzése menetemelkedési probléma kiküszöböléséhez, OGÉT 2020, <https://ojs.emt.ro/oget/article/view/173/99>
- [M-14.] Balajti Zs., **Mándy Z.**: Menetemelkedési fluktuáció analízise kúpos menesztőcsappal hajtott spiroid csiga tengelyelállítással történő megmunkálása esetén, OGÉT 2022, (megjelenés alatt)

Szakmai tudományos előadás magyar nyelven:

- [M-15.] **Mándy Zoltán**: A „Third Wave Advant Edge” végelelemes szoftver alkalmazása forgácsolás során, „Magyar Tudomány Ünnepe” konferencia, 2009. 11. 27., Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, Magyar nyelvű előadás.
- [M-16.] **Mándy Zoltán**: A „Third Wave of Advant Edge” végelelemes szoftver használata a forgácsolás során és néhány eredmény értékelésének az ismertetése, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban című konferencia, Nyíregyházi Főiskola, 2010. 05.19. Magyar nyelvű előadás.
- [M-17.] **Mándy Zoltán**: A Holonikus gyártórendszer optimalizálási lehetősége, 2011. 05. 18., Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban című konferencia, Miskolci Egyetem, megjelent a Debreceni Műszaki Közlemények www.mfk.unideb.hu internetes portálján. Magyar nyelvű előadás.

11. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Arthur Koestler**: The Ghost in the machine, 1967, ISBN 978-0140191925.
- [2] **Altrichter Márta Horváth Gábor- Pataki Béla-Strausz György-Takács Gábor-Valyon József**: Neurális Hálózatok, 2006., Panem Könyvkiadó Kft. Budapest, ISBN-10:9-635454-64-3
- [3] **Altmann, F. G.**: Bestimmung des Zahnflankeneingriffs bei allgemeinen Schraubengetrieben VDI Forschung aus dem Gebiet des Ingenieurwesens, 1937. No.5.
- [4] **Bakondi K.**: Hátraesztérgált marók és fogazószerszámok tervezése, Tankönyvkiadó, Budapest.
- [5] **Ball, R.**: Theory of Screws. Cambridge, 1900.
- [6] **Balajti, Zs., Dudás, I.**: Computer Aided Engineering Development of Tool Profile, International Multidisciplinary Conference 8th Edition, Baia Mare - Nyíregyháza, May 21-22, 2009., pp.: 43-50., ISSN-1224-3264
- [7] **Balajti, Zs.**: Kapcsolódó felülepárok gyártásgeometriai fejlesztése, ábrázoló geometriai alkalmazással, Habilitációs Tézisfüzet, Miskolc. 80. old. 2016.
- [8] **Balajti, Zs.**: A Monge ábrázolás bijektivitásának elméleti elemzése és alkalmazása a mérnöki gyakorlatban, Miskolc: Gazdász Elasztik Kft., 2015. 101 p. ISBN:978-963-358-097-4
- [9] **Balajti Zsuzsanna**: Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriai fejlesztése, PhD értekezés, Miskolc, 2007.
- [10] **Bálint Lajos**: A forgácsoló megmunkálás tervezése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1958.
- [11] **Bali J.**: Forgácsolás. 1985. Tankönyvkiadó, Budapest.
- [12] **Bányai Károly- Felhő Csaba, Dudás Illés**: Spiroid hajtások geometriai méretezése és végeelem analízise, IX. FMTÜ, Kolozsvár, 2004 pp.:112-118
- [13] **Bányai K.**: Hengeres csigák gyártásgeometriája és ellenőrzése, 1977., Egyetemi dokt. ért., Miskolc.
- [14] **Bercsey, T., Horák, P.**: A new tribological model of worm gear teeth contact. ASME 7th International Power Transmission and Gearing Conference, San Diego, October 7-9. 1996, pp. 147-152. L R
- [15] **Bercsey, T., Horák, P.**: Modelling of the Contact- and Tribological Conditions of Spatial Gearing. International Conference on Gears, March 13-15, 2002, Munich, Germany. VDI-Berichte Nr. 1665, 2002. pp.: 91-105.
- [16] **Bercsey, T., Groma, I., Horák, P.**: Modelling Errors in Worm Gear Manufacturing with Random Variables. Dresdener Maschinenelemente Kolloquium. 5. und 6. Dezember 2007, Dresden.
- [17] **Bercsey T.**: Csigahajtópárok kapcsolódási viszonyainak számítógépes szimulációja és optimalása. MicroCAD '90, Miskolc, 1990.
- [18] **Bercsey T.**: Toroidhajtások elmélete, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977.
- [19] **Bercsey, T., Horák, P.**: A new tribological model of worm gear teeth contact, ASME 7th International Power Transmission and Gearing Conference, San Diego, 1996. Proceedings, pp. 147-152.
- [20] **Bercsey, T., Horák, P.**: Error analysis of worm gear pairs, 4th World Congress on Gearing and Power Transmission 16-18. 03. 1999. CNIT-PARIS
- [21] **Bercsey T., Groma I.**: Csavarfelületek geometriai hibáinak modellezése, Géptervezők és Termékfejlesztők Országos Szemináriumának kiadványa, Miskolc, 2006/8-9 1. kötet LVII évf. 57- 60. o.
- [22] **Bilz, R.**: Ein Beitrag zur Entwicklung des Globoidschneckengetriebes zu einem leistungsfähigen, Element der modernen Antriebstechnik, Diss.B, TU Dresden, 1976.
- [23] **Blanc, P., Demongodinb, I., Castagna P.**: „A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application”, DOI:[10.1109/EFTA.2007.4416923](https://doi.org/10.1109/EFTA.2007.4416923)
- [24] **Bohle, F., Saari, O.**: Spiroid Gears-A New Development in Gearing, AGMA Paper 389.01., 1955.
- [25] **Bohle, F.**: Spiroid Gears and Their Characteristics, Machinery, 06. 01. 1956.
- [26] **Buckingham, E.**: Design of worm and spiral gears, The Industrial Press, New York, 1960.
- [27] **Capelle, J.**: Theorie et calcul des engrenages hypoids Edition Dunod, Paris, 1949. 1/74.
- [28] **Crain, R.**: Schraubenräder mit geradlinigen Eingriffsflächen Werkstattstechnik, Bd.1. 1907.
- [29] **Csibi, V. I.**: Contribution to Numerical Generation of Helical Gearing with any Profiles (in Romanian), Ph.D. dissertation, Technical University of Cluj-Napoca, 1990.
- [30] **Dietrich, H.**: Weiterentwicklung der Theorie zur Ermittlung von Hertzschen Drücken und Reibungszahlen in Verzahnungen von Schneckengetrieben. Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1989.
- [31] **Distelli, M.**: Über instantane Schraubengeschwindigkeiten und die Verzahnung der Hyperboloidräder, Zeitschrift Math und Phys, 51. 1904.

- [32] **Draho I. G.** Monge's Darstellende Geometrie, ihre Unvollständigkeiten und die Möglichkeiten ihrer Vervollständigung, Konstruktive Geometrie Vortragsomlung Debrecen, 1990. pp. 28-35.
- [33] **Draho I.** A kinematikai gyártásgeometria alapjai. Akadémiai doktori értekezés, Budapest, 1987.
- [34] **Draho I.** A hipoid kúpogaskerékpárok geometriai méretezésének alapjai, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1958.
- [35] **Draho, I.** Eine Systematik der Verzahnungen mit sich kreuzenden Achsen, vom Standpunkt der kinematischen Geometrie aus betrachtet, Wiss, Zeitschrift der TU Dresden, 1981. Heft. 4. pp. 97-103.
- [36] **Drobni J.** Az ívelt profilú hengeres csigahajtások számítása. NME Gépelemek Tanszékének Közleményei, 194. szám 1968.
- [37] **Drobni J.** Köszörülhető globoid csigahajtások. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1968.
- [38] **Drobni J., Szarka Z.** A korlátozott fogérintkezési mező kialakítása különféle csigahajtásoknál, II. Fogaskerék Konferencia, Budapest, 1969.
- [39] **Dudás Illés- Cser István –Deszpoth István –Maros Zsolt –Papp Tamás:** A gyártás és rendszereinek tervezése, Miskolci Egyetem, 1992.
- [40] **Dudás, I.** Ívelt profilú csigahajtások szerszámozásának és gyártásának fejlesztése Kandidátusi értekezés, Miskolc, 1980. p.153+30 mell
- [41] **Dudás Illés:** Számjegyevezérlésű köszörűkorong profilozó berendezés, és eljárása annak szakaszos, illetve köszörülés közbeni folyamatos vezérlésére. NME Szolgálati találmány. 1988.III.30. OTH 4941/88. (88.IX.21)
- [42] **Dudás I., Bányai K., Balajti Zs.** Kinematikai felületek előállításához szükséges szerszámprofilok meghatározása spline alkalmazásával, Kolozsvár, 2002. március 22-23., Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszakának kiadványa, 37-40. o.
- [43] **Dudás, I., Balajti, Zs.** Analysis of Characteristic Curve in Case of the Wearing of the Grinding Wheel, microCAD 2009. International Scientific Conference, Section M: Production Engineering and Manufacturing Systems, Miskolc, 19-20. March 2009., pp.: 269-276., ISBN 978-963-661-866-7 Ö, 978-963-661-877-0.
- [44] **Dudás, I.** The Theory and Practice of Worm Gear Drives Penton Press, London, 2000. (ISBN 1877180295)
- [45] **Dudás, I.** Spiroid hajtások gyártásgeometriájának kérdesei, MTA, Műszaki Tudományok Osztálya, Gepszerkezettani Bizottság, Hajtoművek Albizottsága ülésére készített korreferátum. Budapest, 1986. május 29.
- [46] **Dudás I., Ankli J.** Ívelt profilú csigahajtás köszörűkorong profilozásának fejlesztése, Elfogadott és bevezetett újítás, Miskolc, 1978. DIGÉP A-2843.
- [47] **Dudás I., Bányai K., Bajáky Zs.** Koordináta mérés technika alkalmazása a csavarfelületek minősítésére, VIII. Nemzetközi Szerszámkonferencia Miskolc, 1993., 400-408. o.
- [48] **Dudás, I., Bányai, K., Varga, Gy.** Bearing Pattern Localization of Worm Gearin,g VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, International Conference on Gears, Tagung Dresden, 22-24. 04. 1996., pp. 427-441.
- [49] **Dudás I., Balajti, Zs.** Modelling and development for describing the bearing pattern of spiroid drives, Proceedings of the Sixth IASTED International Conference on "Robotics and Applications, 2005. October 31. – November 02. 2005., Cambridge, USA, pp.: 203-208., ISBN 0-88986-521-3
- [50] **Dudás, I., Cser, I., Berta, M.** Production of rotational parts in small-series and computer-aided planning of its production engineering Manufacturing Boston, Massachusetts USA, 1-5. 11. 1998. ISSN 0277-786X, ISBN 0-8194-2979-1, SPI - The International Society for Optical Engineering, pp. 172-177.
- [51] **Dudás I., Drobni J., Ankli J., Garamvölgyi T.** Berendezés és eljárás főmetszetben ívelt profilú csigahajtópár geometriailag helyes gyártására alkalmas köszörűkorong profilozására, Szolgálati találmány, szabadalmi lajstromszám: 170118, Szabadalmi bejelentés: 1983. 12. 27.
- [52] **Dudás, I. - Dudás, L.** CAD/CAM system for geometrically exact manufacturing of helicoid surfaces ICED 90 Dubrovnik, proceedings of ICED'90 Vol.4. 28-31. 08. 1990. pp. 1839-1846.
- [53] **Dudás, I.** „Csavarfelületek gyártásának elmélete”. Akadémiai doktori disszertáció, Miskolc, 1991.
- [54] **Dudás I., Cser I.** Gépgyártástechnológia IV. Miskolci Egyetemi Kiadó 2004., ISBN 963661 629 9
- [55] **Dudás, I.** „Verfahrensmethoden zur Berechnung und Herstellung von Hohlflakenskengetrieben” 6. Vortragstagung Fertigung und Gütesicherung im Zahnradgetriebebau, Magdeburg, pp. 186-190.
- [56] **Dudás Illés, Friedhelm Lierath, Varga Gyula:** Környezetbarát technológiák a gépgyártásban, Műszaki Könyvkiadó Kft., 2010., ISBN 987-963-16-6500-0

- [57] **Dudás, I.:** Die Analyse der Werkzeug- und Fertigungsgeometrie von Spiroidgetrieben 7. Vortragstagung mit internationaler Beteiligung Fertigung und Gütesicherung im Zahnradgetriebebau Magdeburg, 24-25. 09. 1986. p.215-221.
- [58] **Dudás, I.:** Generation of Spiroid Gearing The 7th International Power Transmission and Gearing Conference, San Diego, California, USA, 6-9. 10. 1996. pp. 805-811.
- [59] **Dudás, I.:** Investigation of the worm gear drive by a simulation. 11th International Conference on Tools, 2004., University of Miskolc, Sept. 9-11, pp.: 125-131.
- [60] **Dudás, I.:** Manufacturing of Helicoid Surfaces in CAD/CAM System International Conference on Motion and Power Transmission MPT'91 1991. 11. 23-26., Japan, Hiroshima, pp. 339-344.
- [61] **Dudás, I.:** Optimization and manufacturing of the spiroid gearing. 4th World Congress on Gearing and Power Transmission, Párizs, 16-18 March, 1999. pp. 377-390.
- [62] **Dudás I.:** Csigahajtások elmélete és gyártása, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 2007. ISBN 978-963-16-6047-0
- [63] **Dudás, I.:** Vereinfachte Herstellung und Qualitätsbeurteilung der Zylinderschneckengetriebe mit Bogenprofil Publ. TUHI. Machinery Vol. 37. 1983. pp. 135-156.
- [64] **Dudás, I., Bányai, K., Varga, Gy.:** Simulation of meshing of worm gearing. ASME 7th International Power Transmission and Gearing Conference, San Diego, 1996. Proceedings, pp. 141-146.
- [65] **Dudás, L.:** Surface Constructor - a Tool for Investigation of Gear Surface Connection, Proceedings of CIM 2003, Skolud, B.; Krenczyk, D. (Ed.), ISBN83-204-2850-5, Wisla, Poland, May 2003, Wydawnictwa Naukowe – Techniczne, Warszawa, pp. 140-147.
- [66] **Dudás L.:** Kapcsolódó felületepárok gyártásgeometriai feladatainak megoldása az elérés modell alapján kandidátusi értekezés, Budapest, TMB, 1991.P.144. 2005. 06. 29.
- [67] **Dudás, L.:** New possibilities in Computer Aided Design of Gear Mesh Publ. Univ. of Miskolc, Series C, Mechanical Engineering. Vol. 49. (1999) pp. 39-47.
- [68] **Dudley, D.W.:** „Gear Handbook”, MC Graw Hill Book Co. New York-Toronto-London, 1962.
- [69] **Erney Gy.:** Fogaskerekek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983. p. 460.
- [70] **Gansin, W. A.:** Sintezu evolventnoj Spiroidnoj peredaci Mechanika Maschin, 1972. pp.31-32.
- [71] **Garamvölgyi T.:** Ívelt profilú csigahajtás geometriai méretezése. Gép XXXIX. évf. 1987. 11. szám November, pp. 404-410.
- [72] **Georgiew, A. K., Goldfarb, W.I.:** Kislodovaniju ortogonalnoj spiroidnoj peredaci s cylyndriceskim cervjakom, Imejusim vitki idealno-peremennowo saga, Mechanika Maschin, No.45., Moszkva, 1974.
- [73] **Gohman, H. I.:** Theory of Gearing Generalized and Developed Analytically, Odessa (in Russian), 1886.
- [74] **Gyenge, Cs., Chira, A., Andreica, I.:** Study and achievements on the Worm Gears Proceedings of the International Congress - Gear Transmissions '95. Sofia - Bulgaria, Vol.3. pp. 48-51.
- [75] **Géresi H. A., Cristea L., Máté M.:** Az Arkhimédész-féle spirális vezérvonalú fogaskerék lefejtő marófeje pontosságának növelése. (The improvement of the precision of the Archimedean spiral toothline gear cutting mill). Műszaki Tudományos Közlemények 14. (2021), pp 23-29
- [76] <https://doi.org/10.33895/mtk-2021.14.04> English: <https://doi.org/10.33894/mtk-2021.14.04>
- [77] **Hegyháti, J.:** Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben. Dissertation, TU Dresden, 1988.
- [78] **Hogyai N., Máté M., Tpolvaly-Rosca F., Dragoi M. V.:** Peculiarities of the Grinding Process of a Gear Hob Helical Rake Face. Acta Universitatis Sapientiae, Electrical and Mechanical Engineering, 13 (2021) 39-51. DOI: 10.2478/auseme-2021-0004.
- [79] **Horák P.:** Körív profilú csigahajtópárok hibahatás elemzése. GÉP, LVII. Évf. 2006. 8-9. szám, 65-68.o.
- [80] **Horák, P.:** Computer model of the contact relations of worm gear pairs. 4th World Congress on Gearing and Power Transmission, Paris, 16-18 March, 1999. pp. 483-488.
- [81] **Horák P.:** Körívprofilú csigahajtópárok tribológiai vizsgálata, PhD értekezés Bp., 2003.
- [82] **Fu-Shiung Hsieh:** Design of reconfiguration mechanism for holonic manufacturing systems based on formal models, Department of Computer Science and Information Engineering, Chaoyang University of Technology, Taiwan, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197610001132>.
- [83] **Fu-Shiung Hsieh:** „Holarchy formation and optimization in holonic manufacturing systems with contract net” <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005109807003998>
- [84] **Hoschek, J.:** Zur Ermittlung von Hüllflächen in der räumlichen, Kinematik Monh. Für Math., 69., 1965.
- [85] **Hurth, H., Schiefer, H.:** Neue Hochleistungsverfahren für die Zahnradbearbeitung in der Serienfertigung 2 eme Congres Mondial des Engrenages, Paris, 1986. Vol.2. pp.409-422.
- [86] **Juhász I.:** Számítógépi geometria és grafika. Miskolci Egyetemi Kiadó. 1993.

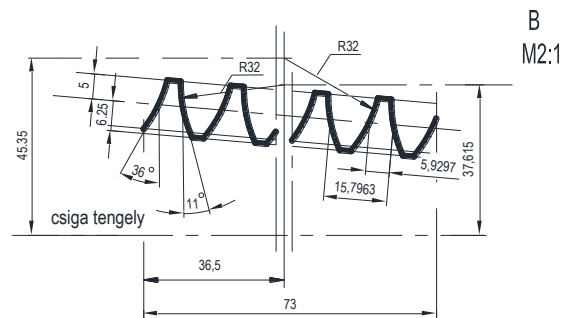
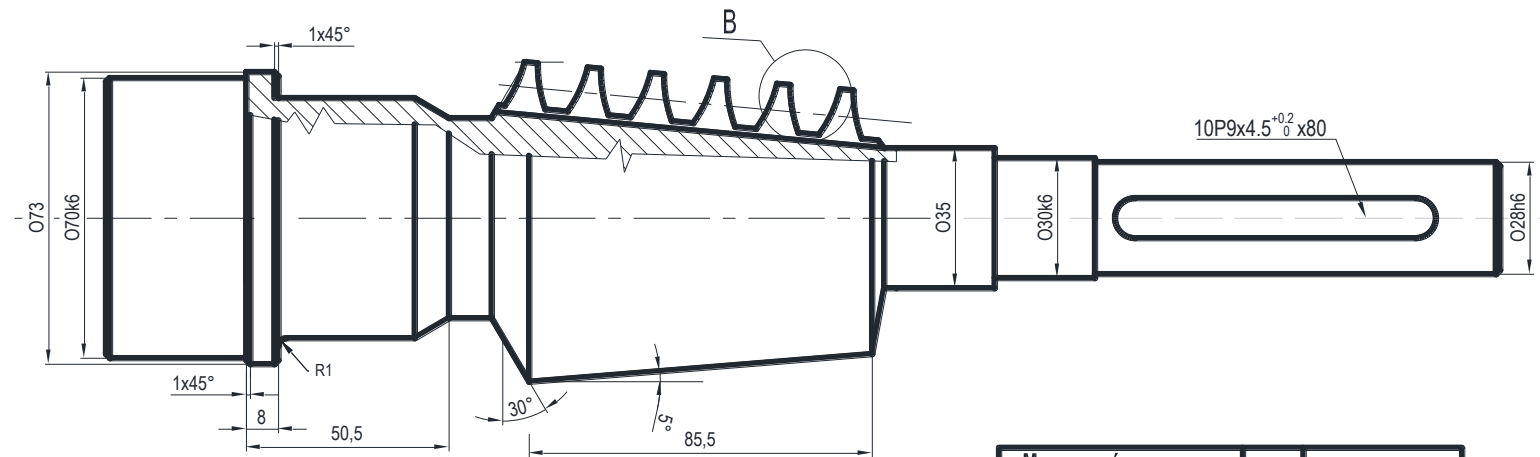
- [87] **Juhász I., Horváth I., Vergeest JSM.:** Finding the Shape of a Flexible Blade for Free Form Layered Manufacturing of Plastic Foam Objects, ASME Design Engineering Technical Conference DET C'98, New York, USA, DETC)/(DFM-5752.
- [88] **Kádár Botond, Monostori László:** Holonikus gyártás, fraktális vállalat, www.webkorridor.hu.
- [89] **Kolchin, N.:** Nekotorie voproszju geometrii kinematiki rascseta i proizvodstva, Leningrad, 1968. p.362.
- [90] **Kozma M.:** Tribológia. Műegyetemi Kiadó, Budapest 1994.
- [91] **Krivenko, I. SZ.:** Novüe tipü cservjacsnuh peredacs na szudah Izd. Szudoszrovenie, Leningrád, 1967.
- [92] **Perepelica, B. A., Kundrák, J.:** "How to use the multiparameter mapping to describe the kinematics of metal cutting," in Result of the scientific cooperation between the Polytechnical University of Kharkov and the University of Miskolc : Jubilee Conference, Miskolc, 2 March, 1994, I. Páczelt, J. Kundrák, Eds., Miskolc, University of Miskolc, 1994, pp. 95-98.
- [93] **Kundrák, J., Perepelica, B. A., Sashkova, N. V.:** "Analiticheskoe opredelenie kinematicheskikh geometricheskikh parametrov pri tochenii i rastachivanii poligonnykh poverkhnostejj," Rezanie i Instrument v Tehnologiceskikh S., vol. 37, pp. 43-47, 1987.
- [94] **Kundrák, J.:** Rezanie pri periodicheskikh nagruzkakh rezcami iz sverkhvtjordykh materialov (Cutting with superhard tools under periodically changing conditions, in Russian) Monográfia, Kharkov-Miskolc, 1996.
- [95] **Lange, S.:** Untersuchung von Helicon- und Spiroidgetrieben mit abwickelbaren Schneckenflanken (Evolventenschnecken) nach der Hertzschens und der hydrodynamischen Theorie Diss, TH München 1967.
- [96] **Lévai I.:** Hipoidhajtások tervezésének alapjai, Egyetemi Kiadvány, 1994.
- [97] **Lévai I.:** Kitéró tengelyek közt változó mozgásátvitelt megvalósító – egyeneselű szerszámmal lefejthető – fogazott kerekek. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1966.
- [98] **Lévai I.:** Fogazatok kapcsolódásának kinematikai elmélete és alkalmazása hipoid-hajtások tervezésére, Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1980. 1/153.
- [99] **Litvin, F. L., De Donno, M.:** Computer methods in applied mechanics and engineering, Gear Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of Illinois at Chicago, IL 60607-7022, USA, 1997.
- [100] **Litvin, F. L.:** Development of Gear Technology and Theory of Gearing, NASA Reference Publication 1406, Chicago, 1998.
- [101] **Litvin, F. L.:** A fogaskerékkapcsolás elmélete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [102] **Litvin, F. L.:** Gear geometry and applied theory. Englewood Cliffs, Prentice Hall, NJ., 1994.
- [103] **Litvin, F. L.:** Theory of Gearing. NASA Reference Publication 1212. 1989.
- [104] **Litvin, F. L., Kim, D. H.:** Computerized Design, Generation and Simulation of Meshing of Modified Involute Spur Gear with Localized Bearing Contact and Reduced Level of Transmission Errors, Journal of Mechanical Design, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Vol.119, pp.: 96-100., 1997.
- [105] **Litvin, F. L., Kin, V.:** Computerized Simulation of Meshing and Bearing Contact for Single-Enveloping Worm-Gear Drives, Journal of Mechanical Design, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. Vol.114, pp. 313-316., 1992.
- [106] **Litvin, F. L., Seol, I. H.:** Computerized Determination of Gear Tooth Surface as Envelope to Two Parameter Family of Surfaces, Computer Methods in Applied Mechanics Engineering, Vol. 138, Nos. 1-4., pp. 213-225., 1996.
- [107] **Litvin, F. L., Wang, A., Handschuh, R. F.:** Computerized Design and Analysis of Face-Milled, Uniform Tooth Height Spiral Bevel Gear Drives, Journal of Mechanical Design, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Vol. 118, No. 4, pp. 573-579., 1996.
- [108] **Litvin, F. L.:** Application of Finite Element Analysis for Determination of Load Share, Real Contact Ratio, Precision of Motion, and Stress Analysis, Journal of Mechanical Design, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Vol. 118, No. 4., pp. 561-567., 1996.
- [109] **Litvin, F. L.; Chen, J. S.; Seol, I. H.; Kim, D.; Lu, J.; Zhao, X.; Egelja, A.; Wang, A. G.; Handschuh, R. F.:** Computerized Design and Generation of Gear Drives with Localized Bearing Contact and Low Level of Transmission Errors. VDI Berichte 1230, Int. Conf. on Gears, 22 Apr. 1996, Dresden, pp.: 63-82.
- [110] **Magyar József:** Csavarfelületű elemek kapcsolódása, 1960., Kandidátusi dissz., Budapest.
- [111] **Maros D., Killmann V., Rohonyi V.:** Csigahajtások, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [112] **Maros Zsolt:** NC/CNC esztergálási műveletek automatizált tervezése a GTIPROG/E rendszerrel, Miskolci Egyetem, 1992.

- [113] **Máté, M., Hollanda, D., Tolvaly-Rosca, F., Forgó, Z., Egyed-Faluvégi, E.:** Synthesis of a Profile Errorless Involute Shaper Cutter with Cylindrical Rake Face. 978-1-7281-5625-5/19/\$31.00 ©2019 IEEE. pp. 000071-000076. <https://af.booksc.eu/book/83420881/040fd1>
- [114] **Mátyási Gy.:** NC Technológia és Programozás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 2001. ISBN 96316 30765
- [115] **Mert Bal, Majid Hashemipohour:** Virtual factory approach for implementation of holonic control in industrial applications: A case study in die –casting study, Department of Mechanical Engineering, Eastern Mediterranean University, Mersin 10 Turkey, www.elsevier.com/locate/rcim
- [116] **John Mathews:** Organizational foundations of intelligent manufacturing systems -the holonic viewpoint, <http://www.sciencedirect.com/science/article>
- [117] **Müller H.:** Zur Ermittlung von Hüllflächen in der räumlichen Kinematik Monh für Mathematik, 63. 1959.
- [118] **Niemann, G., Winter, H.:** „Maschinenelemente“ Band III., Berlin, Springer-Verlag, 1986.
- [119] **Niemann, G., Weber, C.:** Schneckentriebe mit flüssiger Reibung. VDI-Forschungsheft, 412., Berlin, 1942.
- [120] **Niemann, G., Weber, G.:** Profilbeziehungen bei der Herstellung von zylindrischen Schnecken, Schneckenfräsern und Gewinden Vieweg, Braunschweig, 1954.
- [121] **Olivier, Th.:** Theorie geometrique des engrenages. 1842. Paris.
- [122] **Páczelt I.:** Végeselem-módszer a mérnöki gyakorlatban, I. kötet, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1999, p. 450 ISBN 963 661 312 5
- [123] **Pay G :** Belső csigás hajtások. PhD disszertáció. Tudományos vezető: Dr. Siposs István, műszaki tudományok kandidátusa. Miskolci Egyetem, 2001. Minősítés: summa cum laude
- [124] **Pay, E.:** Reductor melcat cu melc interior, Brevet de inventie nr. 90521, 1986., Bucuresti, Romania
- [125] **Pay, E., Pay, G., Lobontiu, M., Cioban, H.:** Contributii provond modelarea matematica a angrenajelormelcate onterioare, (A belső csigás hajtások általános matematikai modellje), In: Sesiunea Stiintifica Jubiliara Universitatea Pitesti, noiembrie 1992., In.: Buletinul Stiintific al Universitatii din pitesti, Vol. Orange de masini. Mechanisme, pp. 20-25.
- [126] **Plant Simulation** alaptanfolyam, www.graphit.hu
- [127] **Predki, W., Holdschlag, A.:** Vorausberechnung von Tragbildern für Schneckentriebe. Konstruktion 47 (1995), pp. 137-142.
- [128] **Rábel György:** A gépipari technológusok zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- [129] **Rohonyi V.:** Fogaskerék-hajtások. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [130] **Saari, O. E.:** Speed Reduction Gearing, 1954. U.S. Patent No.2, 696,p. 125.
- [131] **Saari, O. E.:** Mathematical Backround of Spiroid Gears Ind. Math. Series, Detroit (Mich.), 1956.
- [132] **Sályi I.:** Műszaki mechanika. Tankönyvkiadó, Bp., 1964.
- [133] **Seol, I. H., Litvin, F. L.:** Computerized Design, Generation and Simulation of Meshing and Contact of Worm-Gear Drives With Improved Geometry, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.138, Nos.1-4., pp.73-103., 1996.b.
- [134] **Sasi Nagy I.:** Fogazószerszámok tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
- [135] **Simon, V.:** Characteristics of a new type of cylindrical worm gear drive, ASME 6th International Power Transmission and Gearing Conference, San Diego, 1996. Proceedings, pp. 133-140.
- [136] **Simon V.:** Egy új típusú globoid csigahajtás jellemzői, Akadémiai doktori értekezés, Budapest, 1994.
- [137] **Simon, V.:** Tooth contact analysis of mismatched hypoid gears, Proceedings of the 7th International Power Transmission and Gearing Conference, 1996. 10. 6-9. San Diego, California, pp.789-798.
- [138] **Siposs I.:** Globoid hajtások lefejtés nélkül készített csigakerékkel. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1990.
- [139] **Siposs I., Páy G.:** Belső csigás hajtások elemeinek gyártástechnológiája és szerszámjai (The Execution Technology and the Necessary Tools for the Internal Worm Gear Pair Elements Manufacture Process). XIII. Szerszámgép Konferencia, Miskolc, 26-28 okt., Gépgyártástechnológia XXXVIII. évf. 11/1998, pp.:15-20.
- [140] **Stadtfeld, H. J.:** Handbook of Bevel and Hypoid Gears: Calculation, Manufacturing, and Optimization, Rochester Institute of Techno-logy, Rochester, New York., 1993.
- [141] **Stübler, E.:** Geometrische probleme bei der Verwendung von Schraubenflächen in der Technik, Z.Math. und Phys. Band 60. 1911.
- [142] **Su, D., Dudás. I.:** Development of an intelligent Integrated System approach for design and Manufacture of worm gears proceedings, 9th International Conference on Tools, 3-5. 09. 1996. Miskolc, Hungary
- [143] **Szabó J., Papp I., Bácsó S.:** Projektív geometria, elektr. könyv, Debrecen, 2004, 191o.
- [144] **Szeniczai, L.:** Csigahajtóművek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957.
- [145] **Tajnafői J.:** Szerszámgépek mozgásképező tulajdonságainak elvei és néhány alkalmazása Kandidátusi értekezés, Kézirat, Miskolc, 1965.

- [146] **Tolvaly-Rosca F, Máté M, Forgo Z, Kakucs A.**: Development of Helical Teethed Involute Gear Meshed with a Multi-Edge Cutting Tool Using a Mixed Gear Teeth Modeling Method. Sapiaentia Hungarian University of Transylvania, Targu-Mures, Romania. Procedia Engineering 2017;181:153-158.
- [147] **Tóth Tibor**: Tervezési elvek, modellek és módszerek a számítógéppel integrált gyártásban, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998., ISBN 963 661 339 7
- [148] **Váradi K., Molnár L., Kollár Gy.; Gara, P.**: Néhány gépészeti érintkezési feladat végeeselemes megoldása. GÉP XXXIX. évf. 1987. 1. szám, Január, 10-16. o.
- [149] **Vinh, N. D.**: Evolvens fogazatú hengeres kerék - globoid csiga kapcsolódási viszonyainak vizsgálata és optimalítása. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1993.
- [150] **Weck, M.-Ernst, D.-Gogrewe, H.U.**: Numerisch gesteuertes Abrichten von Profilschleifscheiben Industrie-Anzeiger Nr.54 v.3.7.1981/103. pp.12-20.
- [151] **Weinhold, H.**: Zur Fertigungsgeometrischen Deutung technologischer Prozesse, Fertigungstechnik und Betrieb, 1963. No.3.
- [152] **Wildhaber, E.**: Helical Gearing, 1926. U.S. Patent No.1, 601, 750.,
- [153] **Wilkesmann, H.**: Berechnung von Schneckengetrieben mit unterschiedlichen Zahnprofilformen. 1974. Dissertation TU München.
- [154] **Willis, R.**: Principles of Mechanism, 1841. Cambridge, London.
- [155] **Wittig, K. H.**: Zur Geometrie der Zylinderschnecken, 1966. Maschinenmarkt, p. 72.
- [156] **Zalgaller, V. A.**: Theory of Envelopes , Nauka, Moskow, 1975. (in Russian)
- [157] **Zotow, B. D.**: Osi zaceplenija spirodnüh peredac, 1961. Izv. Wuz. Masinostrornijr, No.6.
- [158] "Fogazott hajtópárok és hajtások optimalítása, kapcsolódás elméletének és tribológiájának továbbfejlesztése "(OTKA T 000655 BME-ME). 1991-94. (Témavezető: **Dr. Bercsey T. , Dr. Dudás I.**)
- [159] "Optimális kapcsolódás kialakulásának feltételrendszere" OTKA T 019093. 1996- 99. (Témavezető: **Dr. Dudás I.**)
- [160] "CCD kamerás mérési rendszerek kifejlesztése a gépipari minőségbiztosítás területén" OTKA 026566. 1998-2001. (Témavezető: **Dr. Dudás I.**)
- [161] "Új geometriájú spiroid hajtások kutatása és gyártásgeometriájának kidolgozása." OTKA T038288. 2001-2005. (Témavezető: **Dr. Dudás I.**)

MELLÉKLETEK

M1 melléklet



Megnevezés	Jel	Méret
Bekezdések száma	z_1	1
Modul	m_2	5mm
Tengelytáv	a	100mm
Áttétel	i_{12}	41
Axiális osztás	t_{ax}	15,796
Menet dőlése		Jobbos

Tengelymetszetben körív profilú spiróid csigatengely

M2. melléklet

Az **M1 melléklet**ben megadott spiroid csiga 3 korongprofil lehúzással megmunkált profilhibájának mérését PC-DMIS mérési szoftverrel végeztük el. A mérési eredmények, a kúposág, menetemelkedési profil alak és az elméleti adatok ismeretében meghatározható az eltérés.

	Real	Theoretical	Difference		Real	Theoretical	Difference		Real	Theoretical	Difference
tje				z	30.02	28.89	-0.002	z	56.670	53.63	0.002
z	4.707	4.699	0.006	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	28.54	26.89	0.004	y	36.98	34.54	-0.005
y	21.349	21.4	-0.032	z	32.4	29.03	-0.003	z	57.162	57.164	-0.004
z	5.25	5.23	0.05	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	25.6	23.49	0.004	y	37.02	33.56	-0.005
y	24.05	23.91	0.05	z	37.88	34.44	-0.005	z	59.96	55.64	-0.005
z	5.692	5.65	0.014	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	28.89	24.46	0.006	y	35.54	34.45	-0.005
y	27.1	26.3	0.02	z	38.95	34.46	0.009	z	60.34	56.98	-0.005
z	6.22	6.05	0.003	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	29.55	26.63	0.005	y	33.45	30.35	-0.005
y	28.99	28.88	0.003	z	37.32	37.316	-0.005	z	62.43	59.26	0.005
z	6.55	6.48	-0.048	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	32.64	28.88	-0.004	y	32.54	28.9	0.004
y	30.98	30.57	0.005	z	39.48	36.64	-0.003	z	63.54	61.42	0.003
z	7.21	6.98	0.008	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	33.28	30.88	-0.03	y	29.36	26.32	0.003
y	31.22	30.8	0.005	z	39.48	36.64	-0.004	z	68.24	64.54	0.003
z	9.32	9.12	0.006	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	35.53	32.95	-0.002	y	29.64	25.54	-0.003
y	31.62	30.93	0.009	z	41.029	41.029	0.003	z	69.23	63.54	-0.009
z	11.08	11.15	-0.005	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	36.89	32.62	-0.04	y	30.27	27.89	-0.003
y	30.71	30.43	-0.002	z	44.55	43.99	0.003	z	69.45	64.64	-0.006
z	12.43	12.9	0.003	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	34.98	35.54	0.003	y	31.885	30.98	0.002
y	26.97	27.95	-0.003	z	45.45	40.33	-0.005	z	69.32	65.45	0.004
z	13.976	13.975	0.001	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	29.33	26.54	-0.002	y	34.26	32.24	0.003
y	33.24	30.23	0.003	z	52.769	52.77	-0.001	z	78.53	75.46	0.004
z	22.481	22.48	0.001	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	30.456	30.455	0.001	y	31.514	30.24	0.003
y	33.43	30.34	0.004	z	53.233	53.233	0	z	77.837	77.838	-0.001
z	24.974	24.97	0.004	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	32.94	32.93	0.01	y	30.24	28.52	-0.003
y	34.23	35.32	0.005	z	53.431	53.43	0.001	z	78.802	78.806	-0.004
z	26.839	26.84	-0.001	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	34.311	34.314	-0.003	y	29.53	25.53	-0.005
y	31.981	31.983	-0.002	z	53.956	53.959	-0.003	z	0	0	0
z	28.414	28.412	0.002	x	0	0	0	x	0	0	0
x	0	0	0	y	35.149	35.15	-0.001	y	0	0	0
y	29.265	29.264	0.001	z	0	0	0	z	0	0	0

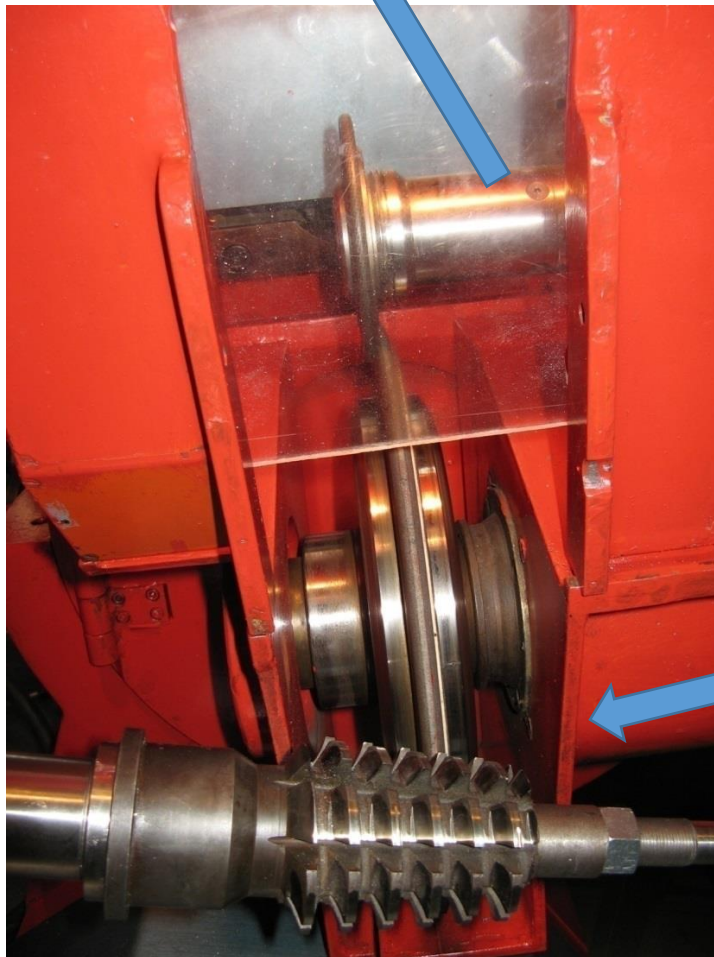
M3. melléklet

M3. 1. ábra: A meglévő korongszabályzás művelete NC vezérléssel



Gyémánt köszörű
(leszabályozó)
korong

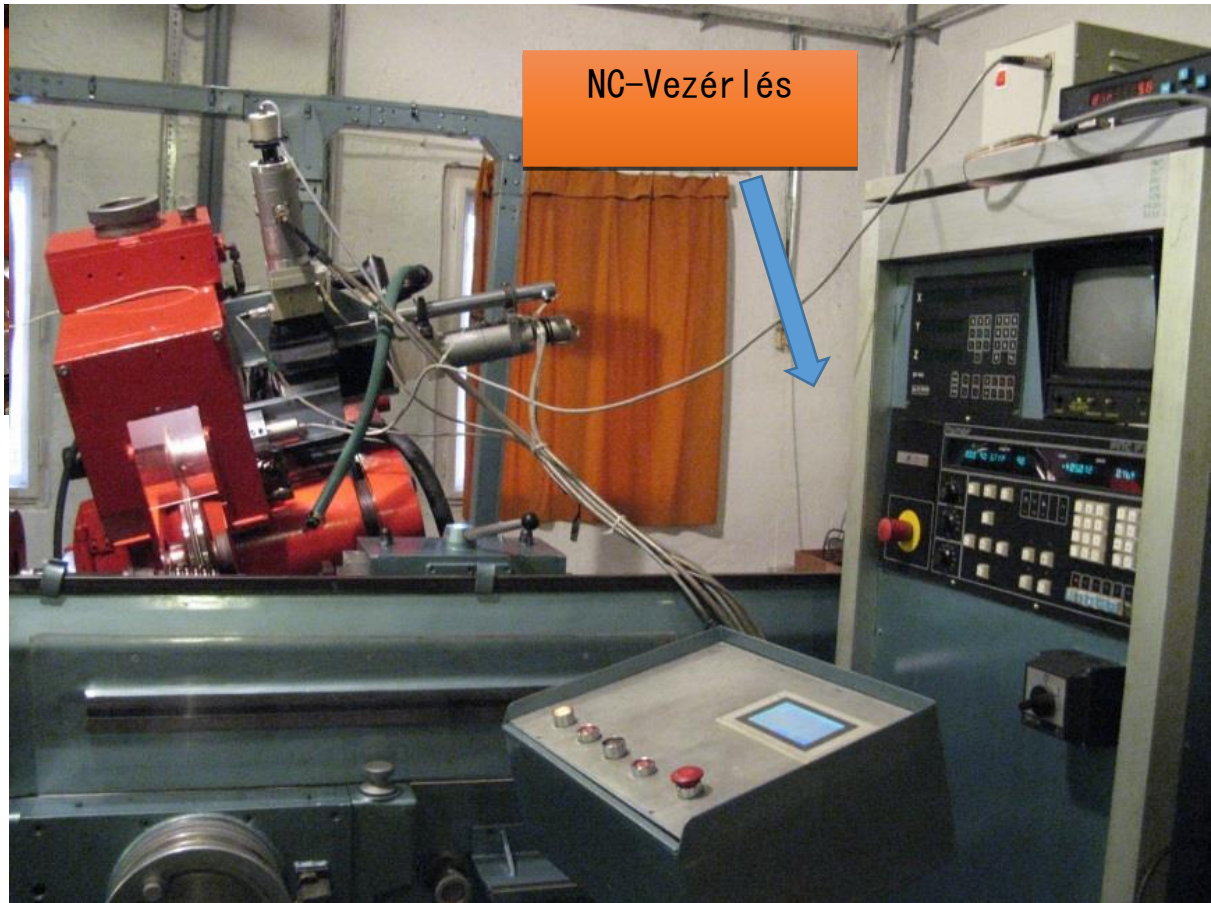
Köszörűkorong



Termék : gyártmány : maró



Köszörülés,
hűtés-kenés



A köszörű korong szabályozó gép az NC vezérléssel felszerelve





Köszörűkorong-
profil analízis



M3. 2. ábra. Egyetemi oktatás a DifiCAD Mérnökiroda Kft. –nél