

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



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

PhD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

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
a műszaki tudomány doktora

TÉMATERÜLET VEZETŐ
PROF. DR. KUNDRÁK JÁNOS
Professor emeritus
a műszaki tudomány doktora

TÉMACSOPORT VEZETŐ
DR. MAROS ZSOLT
egyetemi docens

TÉMAVEZETŐ
ÓVÁRINÉ DR. HABIL. BALAJTI ZSUZSANNA
egyetemi docens

MISKOLC, 2022.

Bíráló bizottság tagjai:

Elnök:

Titkár:

Tagok:

Hivatalos bírálók:

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	3
1. BEVEZETÉS	4
1.1. A kutatómunka tárgya	4
1.2. A kutatások előzményei	5
1.3. A disszertációban tárgyalt kutatómunka területe és az elérni kívánt cél megfogalmazása	5
2. NÉHÁNY ELŐZMÉNY A SZAKIRODALOMBAN.....	8
2.1. A fogazáselméletének fejlődése.....	8
2.2. A korszerű gyártórendszerek története	9
3. A FELADAT MEGOLDÁSÁNAK MÓDSZERE	10
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	11
5. TOVÁBBFEJLESZTÉSI IRÁNYOK, LEHETŐSÉGEK.....	13
6. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN	14
7. IRODALOMJEGYZÉK	16

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 gépípar 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 [25]. 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 figyelmünket a spiroid hajtások felé irányították.

1.1. A kutatómunka tárgya

1. A meglévő csigahajtópárok elemeinek megmunkálására alkalmas intelligens gyártórendszer **integrált gyártórendszerbe építhetősége**.
2. A meglévő csigahajtópárok elemeinek megmunkálására alkalmas intelligens **gyártórendszer optimalizálásának vizsgálata**.
3. A kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálásának **geometriai összefüggéseinek konstruktív geometriai modellezése**. A menetemelkedési **fluktuáció vizsgálata** a spiroid csiga tengelyelállítással történő gyártásakor a hengeres és kúpos menesztőcsappal történő menesztés esetén. Az **ellen-kúpos menesztőcsap helyzetgeometriájának elemzése** a fluktuációra gyakorolt **hatás vonatkozásában**.
4. A kúpos menesztőcsap **kúposágának és a menetemelkedési fluktuáció összefüggéseinek elemzése**. A kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálásához **matematikailag helyesen kialakított menesztőcsap profil meghatározása** a menetemelkedési fluktuáció kiküszöbölésére.
5. A spiroid csiga köszörűkoronggal történő megmunkálásának elemzése, a **korongprofil függvényeszerű meghatározása** a CNC vezérlésű megmunkáláshoz.

1.2. A kutatások 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 optimalizálása, 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 Gépszerkezettani 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 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%**.

1.3. A disszertációban tárgyalt kutatómunka területe és az elérni kívánt cél megfogalmazása

A kutatási téma leírása:

Az integrált gyártórendszerek kutatása nem túl régi múltra tekint vissza, így alapjában véve új iránynak tekinthető. Ezen belül a spiroid hajtások elempárjainak gyártásgeometriája terén az eddigiekben megismert publikációkra jellemző, hogy a csavarfelületek tárgyalása során jelentős mértékben elkülönülnek az elméleti és gyakorlati problémákat tárgyaló munkák. *Kevés az olyan elméleti kutató, aki konkrét gyártással is foglalkozik és kevés az olyan gyakorlati szakember, aki a konkrét problémákat elméleti vonatkozásban is vizsgálja.*

Az elméleti munkák pl. az állandó emelkedésű csavarfelületeket rendszerint vagy egy egyenes alkotó, vagy pedig egy általános burkolófelülettel érintkező görbe - úgynevezett

generálógörbe - csavarmozgásából származtatják. A megmunkáló szerszám profilját pedig a folyamatot megfordítva hasonló elven határozzák meg. A gyakorlati problémákat tárgyaló publikációk a gyártási problémákat vetik fel, és megadják, illetve értékelik a megoldás módját gyakorlati szinten, de az empirikusan megoldott probléma elméleti magyarázatát, megoldását nem érintik. Hasonló problémát jelent a csavarfelületek geometriai ellenőrzése kapcsán megjelent publikációk felfogása is. A XXI. század elején elvárható, hogy az olyan technológiák mint a CNC vezérlésű fogazógépek és a 3D-s számítógépes koordináta mérőgépek alapvetően megváltoztassák a jelenleg meglévő fogazási technikát, gyártásgeometriát illetve technológiát.

Ezirányú kutatásaim háttterét a Miskolci Egyetemmel együttműködési megállapodásban lévő DIFI-CAD Mérnökiroda Kutatási, Fejlesztési Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. biztosította.

Kitűzött célok:

1. A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma:

Felmerült az igény a csigahajtópárok elemeinek megmunkálására alkalmas eszközök, alkatrészek gyártórendszerré alakítása, majd a már meglévő gyártórendszerek egy intelligens gyártórendszerbe integrálhatóságára, adaptálhatóságára.

Célkitűzés:

A csigahajtópárok elemeinek megmunkálására alkalmas meglévő eszközök gyártórendszerré alakítása, majd a gyártórendszernek egy magasabb fokú intelligens gyártórendszerbe integrálhatóságának adaptálására egy modell készítése.

2. A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma:

A speciális szakemberhiány, az energiatakarékosság és a költséghatékonyság igénye okán merült fel a szándék a csigahajtópárok elemeinek megmunkálására alkalmas meglévő intelligens gyártórendszer működtetésére vonatkozóan a hatékonyság növelésére.

Célkitűzés:

A csigahajtópárok elemeinek megmunkálására alkalmas meglévő gyártórendszer működtetésére vonatkozó optimalizálási modell elkészítése, és erre egy új, lehtéses koncepció megalkotása.

3. A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma:

A klasszikus menetköszörű gépek esetén kúpos csavarfelületek köszörüléséhez szükséges a szegnyereg elállítása. A tengely elállítása miatt a szokásos menesztés a főorsó állandó szögsebessége mellett a munkadarab elliptikusan változó szögsebességét eredményezi, amely többek között menetemelkedési hibát és profiltorzulást okoz. A kúpos csavarfelület tengelyelállítással történő megmunkálásakor a menesztéshez alkalmazásra került hengeres és ellenkúpos menesztőcsap. A két menesztőcsap felület alkalmazása során fellépő menetemelkedési fluktuációk közti számszerű összevetés vizsgálata vonatkozásában hiány mutatkozott, ugyanis ennek megléte irányt mutat a további kutatásoknak. Felmerült, hogy a kúpos csavarfelület tengelyelállítással történő megmunkálása esetén az ellen-kúp alakú menesztőcsap és a főorsó *távolságának* a

menetemelkedési fluktuációra gyakorolt hatásának *analízise* egy költséghatékony megoldást jelenthet a menetemelkedési hiba redukálására.

Célkitűzés:

A fentiekben leírt problémák kiküszöbölésére felmerült kúpos csavarfelületek menetkösörűgéppel történő megmunkálásra vonatkozóan a tengelyelállítással történő menesztés konstruktív geometriai modellezése. A kúpos csavarfelület tengelyelállítással történő megmunkálásakor a fellépő menetemelkedési fluktuáció mértékének összehasonlítása a hengeres és ellenkúpos menesztőcsappal történő menesztés esetén. A kúpos csavarfelület tengelyelállítással történő megmunkálása esetén az ellen-kúp alakú menesztőcsap és a főorsó *távolságának* a menetemelkedési fluktuációra gyakorolt hatásának *analízise*.

4. *A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma:*

A kúpos csavarfelület tengelyelállítással történő megmunkálásakor a menesztéshez alkalmazásra került kúpos menesztőcsap kúposságának vizsgálata. A menesztőcsap profil kialakítása a helyes menesztéshez.

Célkitűzés:

A kúpos csavarfelület tengelyelállítással történő megmunkálása esetén kúpos menesztőcsap *félnyílásszögének* a menetemelkedési fluktuációra gyakorolt hatásának *elemzése*. A kúpos csavarfelület szegnyereg elállítással történő gyártásához a geometriailag helyes menesztőcsap profiljának *matematikailag egzakt meghatározása, pontsor helyett explicit egyenlet formában*, a menetemelkedési fluktuáció kiküszöbölésére.

5. *A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma:*

A kúpos csiga köszörülés-technológiájának geometriailag helyes kialakításával biztosítani kell, hogy a köszörűkorong és a csiga tengelytáv változása ne befolyásolja a csiga alakját, azaz mindig a matematikailag helyes kúpos csavarfelületet állítsa elő, továbbá a csigakerekeket lefejtő szerszámot is a majdan működő csigával azonosra kell köszörűlni. Mindezek folytán igény merült fel a köszörűkorong működő felületének változásának *függvényszerű leírása a CNC vezérlésű megmunkáláshoz*.

Célkitűzés:

A csigahajtások és gyártásuk vizsgálatára olyan matematikai kinematikai modell kimunkálása, ahol a technológiai tengelytáv gyártás közben változhat, melyhez célul tűztem ki a gyártáshoz szükséges matematikai vizsgálatok módszereinek kimunkálását. További céloomul tűztem ki a kúpos csiga és köszörűkorong érintkezési görbéjének, ezáltal a korong profilgörbéjének függvényszerű felírását a CNC vezérlésű megmunkálás előmozdítására.

2. NÉHÁNY ELŐZMÉNY A SZAKIRODALOMBAN

2.1. A fogazáselméletének fejlődése

Ebben a részben azokat az írásokat emeltem ki, amelyek a csigahajtásokkal kapcsolatos kutatásaimat befolyásolták.

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 [33, 345]. A francia **Olivier** kutatásai hosszú ideig egyedülállók 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 a térbeli fogazáselmélet terén az alapok a francia géométer **Theodore Olivier** [45] és **H. I. Gohman** [33] 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 [36, 57].

Az *ábrázoló geometria módszereivel* járultak hozzá a fogazáselmélet továbbfejlődéséhez többek között **Distelli** [12], **Stübler** [52], **Altmann** [1] és **Crain** a „Schraubenräder mit geradlinigen Eingriffsflächen Werkstattstechnik” című művében [11]. 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 kiterítő tengelyű fogaskerékpárok fogfelületeinek meghatározására az 1904-ben megjelent „Über instantane Schraubengeschwindigkeiten und die Verzahnung der Hyperboloidräder” című munkájában az egyenes vonalú felületekre vonatkozóan [12] a vonal mentén érintkező fogfelületek gyártását fogalmazta meg. **Willis** a „Principles of Mechanism” művében leírtakkal, **Buckingham** [9], **Wildhaber** és **Dudley** [32] a „Gear handbook” című könyvében összefoglaltakkal nemzetközileg elismerté váltak ezen a szakterületen. A síkgörbék érintkezési törvényét Willis határozta meg 1841-ben [56]. 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** [37] és **Krivenko** [38] is, akik célravezető megoldásokat munkáltak ki a kapcsolódás és érintkezés kritériumaira, valamint a görbületi viszonyoknak és az interferencia-jelenségeknek a megállapítására. A gyártásgeometriai kutatások, a megmunkálások gyártástechnológiai kinematikai feldolgozása, rendszerezése és analízise az utóbbi években újabb impulzusokat kapott. Az alapkérdéseket **Weinhold** [55], **Kienzle**, **Perepelica** világitották meg.

Ezen szakterületen kiemelkedő eredményeket elérő hazai kutatók közül megemlítenők **Szeniczai L.** [53], **Drahos I.** [13-17], **Lévai I.** [39-41], **Tajnafői J.** [54], **Magyar J.** [43], **Hollanda D.** [44], **Bercsey T.** [5-7], **Horák P.** [35], **Drobní J.** [20-22], **Dudás Illés** [18-30], **Pay G.** [48], **Dudás László** [31], **Balajti Zs.** [3,4] és **Máté M.** [61]. **Szeniczai** határozta meg a "konjugált felületpár" fogalmát a kapcsolódó, kölcsönös burkolás gondolatának felvetésével

[53]. **Magyar J.** [43] világította meg a külföldi szakirodalom előtt a csavarfelületű elemek kapcsolódási problémáit. **Tajnafői J.** rendszerbe foglalta a fogazás technológiai elméletét a mozgásleképzés paraméterein keresztül [54]. **Drahos I.** a szerszámgeometria elméletével foglalkozott, kitérve a csavarfelületek és a hipoid kúpkerékek gyártásgeometriai analízisére. **Lévai I.** a térbeli hajtások sokaságának analíziséről írt. Vizsgálta a kitérő tengelyű vonalfelületű hajtópárok fogazáselméletét, a hipoid hajtások tervezésének bonyolult kérdéskörét [39-41]. **Dudás I.** kifejlesztett a tengelymetszetben körív profilú csigát és szabadalmaztatta a gyártási eljárást és annak elméletét, valamint a kúpos és hengeres csigahajtópárok gyártásgeometriai fejlesztéseinek általános matematikai modelljét munkálta ki [18-30]. **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 [5-7]. **Dudás László** a Surface Constructor szoftverével több aspektusból is támogatja különböző hajtások elempárjaihoz szerszámfelület származtatását, kapcsolódó fogfelületét, mechanizmusok tervezését [31]. **Balajti Zs.** a csiga hajtópárok hordkép lokalizációjával foglalkozott [3], illetve a kúpos és hengeres csiga hajtópárok gyártásgeometriai modelljének projektív térmodellel való kapcsolatát vizsgálta [4]. Az ívelt csiga tribológiáját vizsgálta **Horák P.** [35]. **Simon V.** 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 [49-50]. **Pay J.** és **Pay G.** a belső csiga hajtások kutatásával és fejlesztésével foglalkozott munkáiban [46-48]. **Máté M.** a különböző típusú hajtópárok kettős burkolás elvén létrehozását kutatta és gazdagította a szakirodalmat [44, 61].

2.2. A korszerű gyártórendszerek története

A holonikus (osztott intelligenciájú) gyártás koncepciója igen intelligens, elosztott, autonóm, rugalmas, egymással együttműködő egységek rendszerét tartalmazza. Az elképzelés abból indul ki, hogy a mai környezeti körülmények rendkívül változékonyak ezért új, az eddigieknél jóval rugalmasabb, gyors reagálási képességekkel rendelkező vállalatokra van szükség a versenyképesség fenntartásához. A holonikus gyártás alapjait a japánok vezették be és ők voltak a kezdeményezői annak a világméretű, 1992-ben indult együttműködésnek, amely az Intelligens Gyártórendszerek (Intelligent Manufacturing System, IMS) nevet viseli. A projekt célja az ezen a területen dolgozó szakemberek munkájának összehangolása. A „holon” szó először a „The Ghost in the machine” c. könyvben olvasható [60]. A **Fu-Shiung Hsieh** által írott „Holarchy formation and optimization in holonic manufacturing systems with contract net” c. művében [60] a Petri-netek viszonyáról ír, próbálja őket ötvözni az elemi holonokkal, elsősorban a kompozit holonra való tekintettel.

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. A magyar nyelvű szakirodalomban **Dudás Illés** konkrét gyár, illetve gyártórendszer tervezésével foglalkozik [29] és további két elismert szerzőre **Monostori Lászlóra** és **Kádár Botondra** korlátozódnak, akik az MTA-SZTAKI –ban végzik kutatásaikat [42]. Az alapmű a holonikus gyártásban, a magyar szakirodalom terén Dr. Monostori Lászlótól és Kádár Botondtól származik, címe Holonikus gyártás, fraktál vállalat. 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. **A. Márkus, T. Kis Váncza, 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 szegmenseként jeleníti meg a külvilágot menedzsmentet és a gépeket.

3. A FELADAT MEGOLDÁSÁNAK MÓDSZERE

1. Az intelligens gyártórendszerbe integrálhatóságot mind mérnöki, mind matematikai ismereteimre alapozva dolgoztam ki, a neurális hálók ismeretire alkalmaztam analitikai számítási módokat.

2. Az intelligens gyártórendszer optimalizálási modelljét ugyan egy mérnöki rendszerre kidolgozva, de egyértelműen a matematika eszköztárának felhasználásával végeztem, azon belül a halmazelmélet és az analitikai ismeretekre alapozva.

3. A hengeres és kúpos csavarfelületek és szerszámaik geometriájának vizsgálatára kimunkált általános matematikai modell ismeretében egy konstruktív geometriai modell került kifejlesztésre, amely a kúpos csigák tengelyelállítással történő megmunkálása esetén magába foglalja a gép, a menesztőcsap és a menesztővilla közti mozgásátadás vizsgálatának lehetőségét is. A kúpos csavarfelület tengelyelállítással történő megmunkálásakor a menesztéshez alkalmazásra került hengeres és ellen-kúpos menesztőcsap, illetve az ellenkúpos menesztőcsap helyzetgeometriai vizsgálata, az ábrázoló geometriai, konstruktív geometriai és széleskörű matematikai eszköztár alkalmazásával történt.

4. A kúpos csavarfelület tengelyelállítással történő megmunkálásakor a menesztéshez alkalmazásra kerülő kúpos menesztőcsap félnyílásszög-változás menetemelkedési fluktuációra gyakorolt hatásának vizsgálata ábrázoló geometriai, konstruktív geometriai és széleskörű matematikai eszköztár alkalmazásával történt. A kúpos csavarfelület szegnyereg elállítással történő gyártásához a geometriailag helyes menesztőcsap profiljának függvényeszerű, matematikailag egzakt meghatározása a profilgörbe pontsora helyett az explicit egyenlet formában történő meghatározása ábrázoló geometriai, konstruktív geometriai, differenciál geometriai, számítógépi grafikai és széleskörű matematikai eszköztár alkalmazásával történt.

5. A kúpos csavarfelület, a megmunkáló köszörűkorong és a korongszabályozó geometriájának vizsgálatára matematikai modell készült a konstruktív geometria eszköztárával. A kinematikai modell kimunkálására alkalmazott matematikai eszközök, úgymint a homogén koordináták alkalmazó transzformációs mátrixok műveleteinek- mátrix-mátrix, mátrix-vektor szorzások- eredményének ellenőrzése a DERIVE szoftverrel megtörtént.

A kidolgozott eljárás alapjául szolgál a csigaprofil torzulás elkerülése érdekében végzendő korongszabályozás beállításának meghatározásához.

Ezáltal megoldottnak tekinthetők a gyártás során a következők:

- Amennyiben a korongszabályozás a csigáról való mechanikus lefejtőkészülékkel (DIFORM-M [29]) történik, milyen sűrűségű lefejtés alkalmazása eredményez olyan korongalakot kúpos csigák gyártása esetén, amellyel a megköszörült csiga tőrésen belüli lesz.

A gyártás folyamatában megadható a tőréstartomány a korongprofilra úgy, hogy az összhangban legyen a csiga tőréstartományával. A csigák és megmunkáló szerszámaik tervezése során a **Gohman, H. I.** illetve **Litvin, F. L.** által továbbfejlesztett fogazásgeometriai, kapcsolódáselméleti eredményeket felhasználva **differenciálgeometriai**, a koordináta-rendszerek transzformációjához **koordináta geometriai eljárásokat alkalmazva**, jól algoritmizálhatók a csavarfelületek gyártásgeometriai problémáinak megoldására is.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

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, javaslalom 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 humánerőforrás 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 halmazba-rendezhetősége 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 leállását. [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 Bézier-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]

5. TOVÁBBFEJLESZTÉSI IRÁNYOK, LEHETŐSÉGEK

Gyártóendszerek a jövőben a jelenlegi fél automata rendszerből való fejlesztése, teljesen automatizált rendszerre fognak alakulni, melyre már jó kísérleti példák vannak Ázsiában és Amerikában. A saját termelési rendszereink ezirányú fejlesztése folyamatosan komoly kihívást jelent a mai versenyorientált körülmények között, ezért a feladat nem megkerülhető.

A kutatómunka disszertációban bemutatott eredményei a csavarfelületek további vizsgálatára és a csigahajtópárok gyártásgeometriai fejlesztésének vonatkozásában ipari alkalmazásokra is alkalmas. A spiroid csiga hajtópárok a nagy áttétel, a jó hatásfok miatt egyre elterjedtebb. Az elméleti leírás és a megvalósíthatóság egymástól eltér, ezért ezek közelítése 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 például a villa fogának henger felületként való felírásával elemezni a mozgásátadást. További feladat a kúpos csiga tengelyelállítással történő megmunkálása során a köszörűkorong döntési szögére vonatkozó összefüggések feltárása és matematikai függvény szerinti leírása.

6. 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, 2013. 69: 5-8 pp.: 1025-1031.

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. Ph.D konferencia Konferenciakiadvány, Hungarian Journal of Industrial Chemistry, HU ISSN: 0133-0276, 223-226. oldal

Idegen nyelven készült konferencia kiadványban 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 Kiadvány, ISBN 978-963-7294-83-9, pp.:39-47.

M-6. **Mándy Zoltán**, Dudás Illés: The aggregation approach of Holonic Manufacturing Systems, MicroCAD, 2011. 03. 31. ISBN 978963-661-965-7, pp.:133-138.

M-7. **Zoltan Mandy**: Third Wave Advant Edge of Finite Element the Application of Software in the Course of Chipping and Introducing Some Solutions, MicroCAD 2010. 03. 18., Miskolci Egyetem, ISBN 978-963-661-925-1 , pp.: 39-47.

M-8. Illes Dudas, **Zoltan Mandy**: Defining of the profile of the grinding wheel of conical worm surfaces, MicroCAD 2012, 2012. 03. 29. (Szekciókiadvány CD-n) pp.: 45-49.

M-9. Zoltan Mandy, Dilles Dudas, Sandor Bodzas.: Manufacture of Spiroid Worm Surfaces in Intelligent Integrated Systems Factory, Automation 2011 Conference in University of István Széchenyi, 2011. 05. 25-05.26., 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. november 10. pp.: 78-84.

M-11. Zoltan Mandy: A possible neural network for the Holonic Manufacturing System, 2011. 11. 08., Doktoranduszok Fóruma Kiadvány, Miskolci Egyetem, pp.:78-84.

Magyar nyelven készült konferencia kiadványban megjelent szakkikk:

M-12. Mándy Z., Dudás I., Balajti Zs.: Kúpos csavarfelület csúcstelállítással 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 csúcstelállítással 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, ISSN 2668-9685, pp.: 351-354.

Szakmai tudományos előadás magyar nyelven:

M-15. Mándy Zoltán: A Third Wave Advant Edge végeelemes szoftver alkalmazása forgácsolás során, Magyar Tudomány Ünnepe, 2009. 11. 27., Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék.

M-16. Mándy Zoltán.: A Third Wave of Advant Edge véges elemes szoftver használata a forgácsolás során és néhány eredmény értékelésének az ismertetése, Tudomány az Észak –Alföldi Régióban Konferencia, Nyíregyháza, 2010.05.19.

M-17. Mándy Zoltán: A Holonikus gyártórendszer optimalizálási lehetősége, c. előadás 2011.05.18., Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban Konferencia, Miskolci Egyetem, Debreceni Egyetem Műszaki Közleményei, www.mfk.unideb.hu , pp.:95-100.

7. IRODALOMJEGYZÉK

1. Altmann, F.G.: Bestimmung des Zahnflankeneingriffs bei allgemeinen Schraubengetrieben VDI Forschung aus dem Gebiet des Ingenieurwesens, 1937. No.5.
2. Bär, G.: Geometrie-Eine Einführung in die Analytische und Konstruktive Geometrie, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, Stuttgart, 1996.
3. Balajti Zsuzsanna: Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriai fejlesztése, PhD értekezés, Miskolc, 2007.
4. Balajti, Zs.: Kapcsolódó felülepárok gyártásgeometriai fejlesztése, ábrázoló geometriai alkalmazással, Habilitációs Tézisfüzet, Miskolc. 80. old. 2016.
5. Bercsey T.: Toroidhajtások elmélete. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977.
6. 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.
7. Bercsey, T. - Horák, P.: Error analysis of worm gear pairs 4th World Congress on Gearing and Power Transmission 16-18. 03. 1999. CNIT-PARIS
8. Bilz, R.: Ein Beitrag zur Entwicklung des Globoidschneckengetriebes zu einem leistungsfähigen Element der modernen Antriebstechnik, Diss.B, TU Dresden, 1976.
9. Buckingham, E.: Design of worm and spiral gears The Industrial Press, New York, 1960.
10. Capelle, J.: Theorie et calcul des engrenages hypoids Edition Dunod, Paris, 1949. 1/74.
11. Crain, R.: Schraubenträder mit geradlinigen Eingriffsflächen Werkstattstechnik, Bd.1. 1907.
12. Distelli, M.:Über instantane Schraubengeschwindigkeiten und die Verzahnung der Hyperboloidräder, Zeitschrift Math und Phys, 51. 1904.
13. Drahos, I.: G.Monge's Darstellende Geometrie, ihre Unvollständigkeiten und die Möglichkeiten ihrer Vervollständigung, Konstruktive Geometrie Vortragsammlung Debrecen, 1990. 28-35.old.
14. Drahos István: A szerszámgeometria mozgásgeometriai alapjai Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.
15. Drahos I.: A kinematikai gyártásgeometria alapjai. Akadémiai doktori értekezés, Budapest, 1987.
16. Drahos, I.: Annäherungsmodell zweiter Ordnung zum Kontakt konjugierten Zahnflächen für Berechnung, Versuch und Prüfung. Unveröffentlichte Kurzfassung zum Forschungsprojekt OTKA 5-326, Miskolc, 1993
17. Drahos I.: A hipoid kúpogaskerékpárok geometriai méretezésének alapjai Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1958.
18. 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.
19. Drahos, I.: Eine Systematik der Verzahnungen mit sich kreuzenden Achsen, vom Standpunkt der kinematischen Geometrie aus betrachtet Wiss, Zeitschrift der TU Dresden, 1981. Heft.4.p.97-103.
20. Drobni J.: Az ívelt profilú hengeres csigahajtások számítása. NME Gépelemek Tanszékének Közleményei, 194. szám 1968.
21. Drobni J.: Köszörülhető globoid csigahajtások. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1968.

22. Drobni J., Szarka Z.: A korlátozott fogérintkezési mező kialakítása különféle csigahajtásoknál, II. Fogaskerék Konferencia, Budapest, 1969. Formation of restricted tooth contact region in case of different worm drives, 2nd Conference on Gears, Budapest, 1969.
23. Dudás I.: Ívelt profilú csigahajtások szerszámozásának és gyártásának fejlesztése, Kandidátusi értekezés, Miskolc, 1980. p.153+30 mell
24. Dudás I.: Számjegyvezérlésű köszörűkorong profilozó berendezés, és eljárás annak szakaszos, illetve köszörülés közbeni folyamatos vezérlésére. NME Szolgálati találmány. 1988.III.30. OTH 4941/88. (88.IX.21)
25. Dudás, I.: The Theory and Practice of Worm Gear Drives Penton Press, London, 2000. (ISBN 1877180295)
26. Dudás I.: Spiroid hajtások gyártásgeometriájának kérdései, MTA, Műszaki Tudományok Osztálya, Gépszerkezettani Bizottság, Hajtóművek Albizottsága ülésére készített korreferátum. Budapest, 1986. május 29.
27. Dudás, I. - Ankli, J.: Ívelt profilú csigahajtás köszörűkorong profilozásának fejlesztése, Elfogadott és bevezetett újítás, Miskolc, 1978. DIGÉP A-2843.
28. Dudás I.: „Csavarfelületek gyártásának elmélete”. Akadémiai doktori disszertáció, Miskolc, 1991.
29. Dudás I., Cser I.: Gépgyártástechnológia IV. Miskolci Egyetemi Kiadó 2004., ISBN 963661 629 9
30. 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.
31. Dudás László: Kapcsolódó felületepárok gyártásgeometriai feladatainak megoldása az elérés modell alapján kandidátusi értekezés, Budapest, TMB, 1991.P.144. 2005. 06. 29.
32. Dudley, D.W.: „Gear Handbook”, MC Graw Hill Book Co. New York-Toronto-London, 1962.
33. Gohman, H. I.: Theory of Gearing Generalized and Developed Analytically, Odessa (in Russian), 1886.
34. 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. p.48-51.
35. Horák P.: Körívprofilú csigahajtópárok tribológiai vizsgálata, PhD értekezés Bp., 2003.
36. Hoschek, J.: Zur Ermittlung von Hüllflächen in der räumlichen, Kinematik Monh. Für Math. 69, 1965
37. Kolchin, N. I.: Nekotorie voproszű geometrii, kinematiki, raszcseta i proizvodstva, Leningrad, 1968. p.362.
38. Krivenko, I. Sz.: Novie tipű cservjacsnuh peredacs na szudah Izd. Szudoszrovenie, Leningrad, 1967.
39. Lévai Imre: Hipoidhajtások tervezésének alapjai, Egyetemi Kiadvány, 1994.
40. Lévai I.: Kitérő tengelyek közt változó mozgásátvitelt megvalósító – egyeneselű szerszámmal lefejthető – fogazott kerekek. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1966.
41. Lévai I.: Fogazatok kapcsolódásának kinematikai elmélete és alkalmazása hipoidhajtások tervezésére Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1980. 1/153.
42. Kádár Botond, Monostori László: Holonikus gyártás, fraktális vállalat, www.webkorridor.hu.
43. Magyar J.: Csavarfelületű elemek kapcsolódása Kandidátusi disszertáció, Budapest, 1960.
44. 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>
45. Olivier, Th.: Theorie geometrique des engrenages. 1842. Paris.
 46. Pay, E.: Reductor melcat cu melc interior, (Belső csigás hajtómű), Brevet de inventie nr. 90521, 1986., Bucuresti, Romania
 47. Pay, E., Pay, G., Lobontiu, M., Cioban, H.: Contributii provond modelarea matematica a angrenajelor melcate 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.
 48. Pay G.: Belső csigás hajtások, Ph.D disszertáció, Miskolc, 2001
 49. Simon V.: Egy új típusú globoid csigahajtás jellemzői. Akadémiai doktori értekezés, Budapest, 1994.
 50. 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.
 51. Siposs I.: Globoid hajtások lefejtés nélkül készített csigakerékkel. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1990.
 52. Stübler, E.: Geometrische probleme bei der Verwendung von Schraubenflächen in der Technik, Z.Math. und Phys. Band 60. 1911.
 53. Szeniczai L.: Csigahajtóművek Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957.
 54. Tajnafői J.: Mechanizmusok származtatáselméletének alapjai és hatása a kreatív gondolkodásra. Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1991.
 55. Weinhold, H.: Zur Fertigungsgeometrischen Deutung technologischer Prozesse, Fertigungstechnik und Betrieb, 1963. No.3.
 56. Willis, R.: Principles of Mechanism, 1841. Cambridge, London.
 57. Wittig, K. H.: Zur Geometrie der Zylinderschnecken, Maschinenmarkt, 72. 1966.
 58. Zalgaller, V. A.: Theory of Envelopes , Nauka, Moskow, 1975. (in Russian)
 59. Arthur Koestler: The Ghost in the machine, 1967, ISBN 978-0140191925.
 60. Fu-Shiung Hsieh: „Holarchy formation and optimization in holonic manufacturing systems with contract net”
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005109807003998>
 61. 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. Sapientia Hungarian University of Transylvania, Targu-Mures, Romania. Procedia Engineering 2017;181:153-158.