MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

KINEMATIKAI HAJTÓPÁROK GYÁRTÁSGEOMETRIÁJÁNAK FEJLESZTÉSE

PHD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE:
Óváriné dr. Balajti Zsuzsanna
egyetemi adjunktus

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

DOKTORI ISKOLAVEZETŐ:
DR. PÁCZELT ISTVÁN
az MTA rendes tagja
a műszaki tudomány doktora

TÉMAVEZETŐ:
Dr. DUDÁS ILLÉS
a műszaki tudomány doktora

MISKOLC, 2007

Óváriné dr. Balajti Zsuzsanna

KINEMATIKAI HAJTÓPÁROK GYÁRTÁSGEOMETRIÁJÁNAK FEJLESZTÉSE

PHD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

MISKOLC, 2007

Bíráló bizottság tagjai:

Elnök:

Titkár:

Tagok:

Hivatalos bírálók:

1. BEVEZETÉS

A mai technikai szinten a gyártmányok, a technológia és a gyártóeszközök tervezését a számítógéppel segített, vagy teljesen automatizált rendszerek veszik át. A mérnöki munka számítógépes segítése a legfontosabb feltétel a gyártás hatékonyságának és a termékek minőségének növelésében.
A gépipar számos területén használják a csavarfelületeket, - csigahajtópárok, mozgatóorsók, csavarszivattyúk, csavarkompresszorok, fogazószerszámok, stb. formájában - ennek megfelelően sok intézetben, vállalatnál foglalkoznak ezek tervezésével, gyártásával, minősítésével, alkalmazásával.
Sajnos, mind az irodalomban fellelhető elméleti és gyakorlati problémákat tárgyaló rész elkülönülése, mind a technikai adottságok különbözősége miatt nem tervezik, nem gyártják mindenütt - geometriai szempontból - helyesen a csavarfelületeket, vagy nem feltétlenül a legjobb megoldást választják.
Az 1970-es években, a Diósgyőri Gépgyárban (DIGÉP) jelentős csigahajtómű fejlesztési munka folyt, melynek eredményeként az ívelt profilú csigahajtás továbbfejlesztése látszott célszerűnek [29].
E tématerületen a gyártásfejlesztés, a hajtópárok geometriai és a hajtómű teljes ellenőrzése és minősítése, valamint a szerszámozás terén végzett kutatások eredményeit [23], [28] a disszertációmhoz felhasználhattam.
A kedvező hidrodinamikai viszonyokkal rendelkező korszerű nagy teherbírású és jó hatásfokú hajtópárokkal a hajtóművekben fellépő energiaveszteséget jelentősen lehet csökkenteni. A teljesítményveszteség szempontjából nem közömbös ugyanis - és ez valamennyi hajtástípusra érvényes -, hogy a lehetséges fogazatgeometriai jellemzők közül azok kerüljenek alkalmazásra, melyek kedvező kapcsolódási viszonyokat eredményeznek.
Az irodalomra és az e területen végzett saját kutatómunkám eredményeire építve a **jelen dolgozat témája a műszaki gyakorlatban sokcélúan felhasználható különböző típusú csavarfelületek gyártásgeometriai problémáinak – egzakt matematikai megoldással – történő tárgyalása, a megvalósítás egységes koncepciójának kidolgozása, a geometriailag szabatos tervezés, gyártás és ellenőrzés érdekében.**
E sokrétűen felhasználható, felület geometriai szempontból helyes tervezéséhez, gyártásához olyan kinematikai modellt célszerű megfogalmazni, amely alapul szolgálhat a kutatási témához kapcsolódó CAD/CAM/CAQ/CIM rendszerek kialakításához.

1.1. A kutatómunka tárgya

A hengeres és kúpos csigahajtások gyártásgeometriájának újszerű leírása. A gyakorlatban vannak közelítő megoldások, de a gyártási pontosság növelése érdekében ezen eljárások bővítésére irányul a munkám, hiszen erre a tudomány és a technika fejlődése egyben lehetőséget is ad és igényt is támaszt.

1) Állandó emelkedésű csavarfelületek geometriailag helyes megmunkálásához szükséges elmélet kidolgozása, azaz a hengeres, és a kúpos csavarfelületek, és a hozzájuk szükséges szerszámok gyártásgeometriájának kezelésére alkalmas **kinematikai modell matematikai leírásának kifejlesztése egy új kinematika esetére** ($a_1=a_o\pm p\cdot\varphi_1$ változó technológiai tengelytáv esetén).

2) **A szerszámprofil változás pontosságra vonatkozó hatásvizsgálatának újszerű matematikai alapokra történő helyezése.** A numerikus úton számított véges számú ponttal

reprezentált szerszámprofil – a korábbiaktól eltérően - egy **explicit** formájú függvénnyel történő leírásra.

3) A **hengeres csigák** megmunkálása esetén a köszörűkorong kopásból adódó **változó tengelytáv okozta karakterisztikus görbe-változások** vizsgálata a korongprofil utánszabályozásának beállításához.

4) Az **indirekt** eljárásban **a diszkrét helyzetben** szabályozott koronggal köszörült, tengelymetszetben ívelt profilú **csiga felületének meghatározása** a szerszám-szabályozás függvényében pontosság elemzéséhez.

5) A **hordkép lokalizálás** és a csiga geometriai paraméterei közötti kapcsolatok feltárása.

1.2. A kutatások előzményei

Dudás Illés 1972, 1982, 1991 disszertációi, valamint az alábbi kutatási munkák, projektek:

- "Fogazott hajtópárok és hajtások optimálása, 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.
- "Optimális kapcsolódás kialakulásának feltételrendszere"OTKA T 019093. A kutatás időtartama: 1996-99. (Témavezető: **Dudás** I.)
- "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.)
- "3D-s mérési rendszer kifejlesztése CCD kamerák használatával", Japán-Magyar közös kutatási projekt, Monbusho támogatás. A kutatás időtartama: 1995-97. (Témavezető: **Dudás** I.)
- "CCD kamerás mérési rendszerek kifejlesztése a gépipari minőségbiztosítás területén" OTKA 026566. A kutatás időtartama: 1998-2001. (Témavezető: **Dudás** I.)
- ”Új geometriájú spiroid hajtások kutatása, gyártásgeometria kidolgozása.”OTKA T038288 A kutatás időtartama: 2001-2005. (Témavezető: **Dudás** I.)
- „A gyártásgeometria és a kapcsolódás jellemzőinek komplex vizsgálata korszerű csigahajtások esetében” OTKA K 63377. A kutatás időtartama: 2006-2008. (Témavezető: **Dudás** I.)

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

A korábbiaktól eltérően a csigahajtások és gyártásuk vizsgálatára olyan új kinematikai modell kimunkálása, ahol a technológiai tengelytáv gyártás közben változhat úgy, hogy a kúpos és hengeres csavarfelületek egy közös tengelyen legyenek értelmezve. Az új kinematikai modell felhasználásával célul tűztem ki a gyártáshoz szükséges matematikai vizsgálatok módszereinek kimunkálását.

1) *A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma:*

A klasszikus menetköszörű gépek esetén kúpos csavarfelületek köszörüléséhez szükséges a szegnyereg elállítása. Nagy nyílásszögű kúpos csigák gyártásakor ez a módszer nem alkalmazható. **A szegnyereg elállítása** miatt a szokásos menesztés a főorsó állandó szögsebessége mellett **a munkadarab elliptikusan változó szögsebességét eredményezi**, amely többek között menetemelkedési hibát, profiltorzulást okoz. Ennek kiküszöbölésére felmerül NC köszörűgép alkalmazásával a szegnyereg elállítása helyett a mentén változó tengelytávolságot alkalmazó kinematikai modell matematikai leírása.

Célkitűzés:

Egy állandó emelkedésű hengeres és kúpos csavarfelületek geometriailag helyes megmunkálásához szükséges elmélet, azaz a hengeres, és a kúpos csavarfelületek, és a hozzájuk szükséges szerszámok gyártásgeometriájának kezelésére alkalmas **kinematikai modell** kifejlesztését tűztem ki célul **változó technológiai tengelytáv** esetére. Ebben a modellben a korábbiaktól eltérően a kúpos és hengeres csavarfelületek közös tengelyen vannak értelmezve. Ezen modellfelfogás egy új CNC gép létezését feltételezi, amellyel változó tengelytáv ($a_1 = a_o \pm p \cdot \varphi_1$) esetén **az elliptikus hiba kiküszöbölhető**.

2) *A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma:*

Az edzett csigák gyártásához szükséges köszörűkorong profil meghatározása – ezideig a hagyományos eljárással – pontonként történt, vagyis az adott, nagy számítási igényű iteratív numerikus módszerrel megtalált pontokat használták. Így **a korongprofil pontossága a számított pontok sűrűségétől is függ**, hiszen például a CNC körív interpoláció esetében az illeszkedő körívek meghatározásához a körívek kezdő és végpontjai a numerikus módszer által talált pontok szerint lettek meghatározva.

Célkitűzés:

A numerikus módszerrel számított pontokra olyan interpolációs görbe illesztése, melynek segítségével az illeszkedő körívek kezdő és végpontjai az interpolációs görbe görbületétől, azaz a másodrendű derivált függvénytől függően hatékonyan tervezhetővé tehetők.
A megfelelően meghatározott **explicit formájú matematikai függvénnyel** segítséget nyújtani a kívánt sűrűségű pontsor alkalmazásával a **gyártási pontosság javításában**.

3) A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma:

A hengeres csigák megmunkálása esetén a köszörűkorong kopásból adódó változó tengelytáv, egyben a korongprofil utánszabályozása miatt változatlan profil figyelembevételével a karakterisztikus görbék változásokat mutatnak. Ezeknek a változásoknak a vizsgálata alapjául szolgálhatnak az alámetszés elkerülésének.

Célkitűzés:

Az új kinematikai modellben a direkt eljárás folyamatában a hengeres csigák köszörűkoronggal történő megmunkálása esetén a korongkopásból adódó változó tengelytáv a korongprofil változtatását igényli. A karakterisztikus görbe-változások vizsgálatára matematikai eljárás kimunklálása, ennek számítógépes programozásra alkalmas leírása.

4) A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma

A direkt feladat megfordítottja az **indirekt** eljárás, melynek során adott a korongprofil, aminek segítségével az általa megmunkált csavarfelület geometriáját kell meghatározni. A visszafejtéssel kapott csiga felületének az elméleti csavarfelülettel történő összevetése a koronglefejtés paramétereinek optimálására ad alapot.

Célkitűzés

Olyan eljárás kimunkálása, mely alkalmas a **csigaprofil torzulás** elkerülése érdekében végzendő **korongszabályozás** beállításának meghatározásához. A szükséges matematikai eljárás kimunkálása, mely alkalmas a köszörült és az elméleti csavarfelület összevetésére, és a koronglefejtés paramétereinek optimálására is alapot ad .

5) A kutatómunka során megfogalmazásra került probléma

Az érintkezési viszonyok javításának és a teherbírás növelésének egyik módja a terhelés alatti érintkező felület hidrodinamikai szempontból kedvező tartományra való korlátozása, a **hordkép lokalizálása** [28].
A jelen munkában elkészült közös tengelyű hengeres és kúpos csigahajtások kinematikai modelljének matematikai leírása során a kapcsolódó felületekkel kívánunk foglalkozni.
A hordkép alapvetően meghatározza a hordképes kenőfilm kialakulását és a hajtópár teherbírását, élettartamát, valamint a többi üzemi jellemzőit.
Bár a hajtópár típusa (geometriai kialakítása) ezeket a tulajdonságokat bizonyos határok között determinálja, de a hajtás típusára jellemző paraméterek célszerű megválasztásával az adott cél szerinti maximum, *a lehetséges intervallumon belül helyes tervezéssel elérhető, illetve több cél esetében van optimalizálásra lehetőség* [8, 28].

Célkitűzés

Regressziós fogfelületek numerikus számítással kapott, a hordkép elhelyezkedését meghatározó pontjainak geometriai vizsgálata. A pontokkal **adott hordkép határoló görbéinek matematikai modellezése**, érintkezési görbék **elhelyezkedés meghatározása**.
A **hordkép** lokalizáláshoz a hajtás geometriai paraméterei és a hordkép geometriai paraméterei közötti kapcsolat vizsgálata.

2. TÉRBELI HAJTÁSOK FOGAZÁSELMÉLETÉNEK FEJLŐDÉSE

A síkbeli fogaskerekek, illetve fogazás elméletének kutatása, az eredmények rendszerezése évtizedekig - néhány területen évszázadokig - tartott. Az első munkákat a fogazott mechanizmusok elméletének két fő területéről, a fogazott elemek kapcsolódási viszonyairól és ezek gyártásgeometriájáról a XIX. század közepén jelentették meg pl. [33, 43]. A francia **Olivier** - kinek kutatásai ezen a területen hosszú ideig egyedülállóak voltak - az 1842-ben megjelent művében **még szétválasztotta a fogfelület kapcsolódási elméletét az analitikus és számítási módszerektől. Az ő értelmezése szerint "a fogkapcsolódás kérdése teljes egészében az ábrázoló geometriához tartozik"**. Ezzel szemben az orosz Gohman úgy ítélte meg, hogy "a fogazáselmélet a matematikai tudományág egy különleges része", ahol a

kutatónak - ellentétben a matematika más területeivel - szinte "tapogatózva kell haladnia minden egyes lépésnél újabb támpontot keresve".
Függetlenül attól, hogy bizonyos értelemben a két tudós megállapításai túl általánosak voltak, a mai térbeli fogazáselmélet alapjainak megteremtésében vitathatatlanok érdemeik. A térbeli fogazáselmélet alapjait a francia geométer, **T. Olivier** [43] és az előzőkben említett **H. I. Gohman** [33] orosz tudós fektették le munkáikban.
Gohman volt az első, aki a térbeli felületkapcsolódás vizsgálatára az analitikus modellt, a burkolófelületek leírásának matematikai módszerét kidolgozta.
A fogazáselmélet a differenciálgeometria, gyártás, tervezés, méréstechnika és a számítógépes módszerek tudományos területeit ötvözik. A fogaskeréktechnológia fejlesztésével és a számítógépek fogazásban való alkalmazásával, a kutatók a fogazás modern elméletére módosították azt és kiterjesztették annak módszertanát és ipari alkalmazását. **Mára a fogazáselmélet önálló tudományterületté fejlődött.**
Közvetlenül a századforduló után megjelenő publikációk közül pl. **Distelli** [12], **Stübler** [52], **Altmann** [1], **Crain** [11] munkáit kell megemlíteni, **akik értékes eredményeket értek el az ábrázoló geometria eszközeinek felhasználásával** és ezzel a fogazáselmélet fejlődéséhez jelentősen hozzájárultak. A vektor-csavar fogalmát **R. Ball** írja le először 1900-ban, **Distelli** az elsők egyike volt, aki az általános csavarmozgást használta kitérő tengelyvonalú fogaskerékpárok fogfelületeinek leírására 1904-ben megjelent munkájában. A hajtáscsavar illetve csavaraxoidok megfogalmazása lehetővé tette az egymáshoz rendelt vonal mentén érintkező fogfelületek gyártásának egyszerű, világos megfogalmazását. Munkájában egyenes vonalú felületekkel foglalkozott [12], amelyek geometriai szempontból a legegyszerűbbek.
Willis, **Buckingham**, **Wildhaber** és **Dudley** [32] jól ismert nevek. Willis 1841-ben határozta meg a síkgörbék érintkezésének törvényét.
Distelli [12] munkájának általánosításán keresztül sikerült Wildhabernek az elméletet a gyakorlattal összekötnie, lényegében a kinematikai módszer alkalmazása révén továbbfejlesztette a kapcsolódás elméletét. Az ő megállapításait **Capelle** [10] kutatási eredményei kiegészítették és tökéletesítették.
Matematikai módszerek alkalmazásával számtalan kutató mindenekelőtt azt a kérdést vizsgálta, hogy - adott tengelyvonalak és adott szögsebességviszony esetében - egy adott fogfelülethez kapcsolódó ellenfelületet matematikailag hogyan lehet meghatározni. Ezeknek a komplikált egyenleteknek a felírása és analitikus ill. numerikus vizsgálata gyakran nehézségekbe ütközött.
A zárt burkolófelületekkel megadott felületpárok területén jelentős kutatásokat végzett pl. **Hoschek** [36].
Müller talált alkalmas egyéni módszert a **Grüss** által meghatározott eredményekre építve, elsősorban - síkbeli fogazatok burkoló görbéjének meghatározásához. Ő azonban a matematikai összefüggéseket a térbeli hajtásoknak csupán egyes fajtáira tudta felhasználni.
A kifejlesztett analitikus és geometriai eljárásokat még ma is felhasználják térbeli fogaskerékpár hajtások vizsgálatánál. A kapcsolódás elméleti kérdéseivel foglalkozó kutatók számára mind nyilvánvalóbbá vált, hogy a **kapcsolódási viszonyok vizsgálata az úgynevezett kinematikai módszerrel leegyszerűsíthető**. Ennek alapján - pl.: **Litvin** és a szovjet fogazáselméleti iskola más kiváló képviselői **Kolchin** [37], **Krivenko** [38], dolgoztak ki alkalmas és hatékony módszereket a kapcsolódási egyenletek és érintkezési kritériumok, a görbületi viszonyok és az interferencia-jelenségek meghatározására.
A felsorolt kutatókon kívül feltétlenül meg kell még említeni **Bär** [2], **Ortleb** [44], **Wittig** [56], **Jauch** csavarfelületekről szóló munkáit, **Dysont**, aki az általános fogazáselmélettel, valamint **Zalgallert** [57], aki a burkolófelületek elméletével, **Buckinghamot** [9], aki az evolvens csigahajtással foglalkozott.

A gyártásgeometriai kutatások - azaz a megmunkálások gyártástechnológiai kinematikai feldolgozása, rendszerezése és analízise - az utóbbi évtizedekben újabb jelentős impulzusokat kapott. Az alapkérdéseket **Weinhold** [55], **Kienzle**, **Perepelica** világították meg.
A **magyar kutatók** közül ezen a területen **Szeniczei L**. [53], **Tajnafői J**. [54], **Magyar J**. [42], **Drahos I**. [13-19], **Lévai I**. [38-40], **Bercsey T**. [3-8], **Drobni J**. [20-22], **Dudás I**. [23-30] és **Dudás L**. [31] értek el kiváló eredményeket.
Szeniczei volt az elsők egyike, aki - anélkül, hogy a fogalmat meghatározta volna, a "konjugált felületpár" (kapcsolódó, egymást kölcsönösen burkoló felületpár) gondolatát felvetette [53]. Magyar J. [41] megvilágította - a vonatkozó külföldi irodalmat megelőzve - csavarfelületű elemeknél a kapcsoló dási problémákat. **Tajnafői J**. meghatározta és rendszerezte a fogazás egységes technológiai elméletének az alapjait, a szerszámgépek mozgásleképzési tulajdonságainak elveit [54].
Drahos I. különböző szerszámgeometriák, csavarfelületek vizsgálatával és különösen a hypoid kúpkerekek geometriai alapjai, valamint a gyártásgeometria analízisének eredményeivel járult hozzá e terület gazdagításához. **Lévai I**. a térbeli hajtások számtalan problémájával foglalkozott. Ő vizsgálta többek között a fogazáselméletet a vonalfelületű, kitérő tengelyű hajtópárok esetén, melyek változó mozgást végeznek. Foglalkozott továbbá a hipoid hajtások tervezésének alapvető kérdéseivel [38-40].
Bercsey T. a kinematikai módszer alkalmazását és egyrészt az egyenes fogfelületű globoidcsiga és egy hiperbolikus kerék kapcsolódási viszonyát elemezte a kinematikai módszer felhasználásával, másrészt a toroid hajtásokat vizsgálta. A módszer alkalmazhatóságát bizonyította be ezen hajtásoknál és így lehetővé tette, hogy más térbeli hajtások kapcsolódási viszonyait [3] hasonló módon elemezzék.
Az evolvens fogazaton alapuló csigahajtópárok változataként Németországban **Bilz** kifejlesztette a hengeres kerekű globoid csigahajtópárok családjába tartozó "TU-ME" globoid hajtást [8], amelynek elméleti vizsgálatát Drahos I. [19] végezte el.
A globoid csigahajtásokkal **Drobni J**. foglalkozott kandidátusi disszertációjában [21], aki köszörülhető globoid csigahajtást dolgozott ki. E területhez kapcsolódik **Siposs I**. [51] munkája, valamint **Dudás L**. újszerű köszörűgép konstrukciója [31].
Dudás Illés a tengelymetszetben **körív profilú csigát**, valamint a **spiroidhajtást** dolgozta ki, és szabadalmaztatta a gyártási eljárást és annak elméletét [25], [26], [28].
Dudás Illés a ZTA típusú csigahajtás és a spiroid hajtások elemei gyártásgeometriai problémáinak tisztázásával foglalkozott több publikációjában. A csigahajtópárok fogazatkapcsolódásának számítógépes modellezése, és a spiroid hajtópárok optimalizálása terén [30] az irányításával folyó kutatásokról rangos nemzetközi konferenciákon számolt be. A csigahajtópárok kapcsolódáselméletét és gyártásgeometriáját kiemelkedő részletességgel összefoglaló, angol nyelven megjelent könyve [25] nemzetközi szinten is kimagasló értéket képvisel.

Dudás Illés a tengelymetszetben körívprofilú csigahajtópárok hordképlokalizációjával is foglalkozott.
A hordképlokalizáció célja, hogy a pillanatnyi érintkezési vonalak minél nagyobb mértékben a tribológiai viszonyok szempontjából kedvező tartományba essenek, ahol az érintkezési vonal adott pontjához tartozó érintő és a relatív sebesség által bezárt szög 70-90° között van. Numerikus összehasonlítással vizsgálata ennél a típusú csigahajtópárnál az ívsugár középpontja és a csigatengely távolsága és a körívsugár változásának hatását az érintkezési vonalak helyzetére [23]. Az ívelt csiga tribológiájával foglalkozott **Horák** P. [35].
Simon Vilmos különböző térbeli fogazott hajtópárok, többek között hengeres és globoid csigahajtópárok geometriai viszonyait vizsgálta, és optimalizálta a súrlódási veszteség és a teherbírás szempontjából, numerikus módszerek felhasználásával, a elaszto-

termohidrodinamikai kenési modell alapján [48, 49, 50].
Pay Jenő és **Pay** Gábor a ”hordó” csiga fejlesztésével foglalkozott [45, 46, 47].

3. A FELADAT MEGOLDÁSÁNAK MÓDSZERE

1. A hengeres és kúpos csavarfelületek és szerszámaik geometriájának vizsgálatára a Dudás-féle [28] összevont általános matematikai modell (HeliMAT) ismeretében egy új kinematikai modell került kifejlesztésre, amely alkalmas a hengeres és kúpos csigahajtások, és megmunkálásuk egy matematikai modellben való kezelésére a hengeres és kúpos csigák azonos tengelyvonala esetén. A kinematikai modell kimunkálására alkalmazott matematikai eszközök, úgy, mint a homogén koordinátákat alkalmazó transzformációs mátrixok műveleteinek- mátrix-mátrix, mátrix-vektor szorzások- eredményének ellenőrzése a DERIVE szoftverrel megtörtént.

2. Az új kinematikai modellben, tengelymetszetben adott profilgörbéjű csiga felületét megmunkáló szerszámfelület, a vizsgált esetben köszörűkorong, direkt módszer szerinti elemzését végeztem el a lineáris algebrai módszerek, a differenciálgeometriai módszerek alapján. A kapcsolódás elvén meghatároztam a csigát megmunkáló köszörűkorong karakterisztikus pontjait Az implicit formájú karakterisztikus görbe pontjaihoz numerikus számítási módszerrel jutottam. A pontsorból ponttranszformáció alkalmazásával számítottam a korong profilgöbéjének pontjait. A profil legyártásakor az eljárás során megkapott pontsorra egy interpolációs Bézier-görbét, melyhez. programozástechnikai és gyátrásgeometriai szempontból egyszerre alkalmas, a [0,1] zárt intervallumra értelmezett húrhossz szerinti paraméterezést vezettem be. A feladat megoldására számítógépes program készült. A hengeres, tengelymetszetben körív profilú csiga esetére egy példát dolgoztam ki. A konkrét példa esetében a geometriai pontosságra vonatkozó vizsgálat elemzése jól rámutat a módszer helyességére, mely az NC vezérlésekhez a görbe ívének követése tekintetében pontosabb eredményt adhat.

3. Az ismertetett új kinematikai modellben kidolgozott direkt eljárás során adott csigaprofilhoz tartozó köszörűkorong kopásból adódó tengelytáv változását az érintkezés törvényeinek figyelembevételével végeztük el. A vizsgálat elvégzéséhez készült egy számítógépes program, melynek segítségével a következő vizsgálatok elvégzése vált lehetővé:

A korongkopásból a profil után szabályozásával változatlan korongprofil mellett az alámetszés, illetve elhordás elkerülésének céljából a tengelytáv változás határa állapítható meg.

A feladat kidolgozásra került a tengelymetszetben körív profilú csiga és az azt megmunkáló köszörűkorong esetére.

4. Az indirekt eljárás folyamatában készült egy általunk kifejlesztett számítógépes program a **Dudás-féle** mechanikus lefejtő-szabályozó készülék működési elvének leírása szerint. Az eljárásban a csiga kinematikáját követő gyémánt tűvel történő, megadható lépésközzel történő korong lehúzás kellően sok számban történő elvégzése közelíti a korong felületének a csigafelületről visszafejtés révén történő meghatározást. Az ezúton megmunkált köszörűkorong működő felületének ismeretében meghatározásra került a köszörült csiga felülete.

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

Ezáltal megoldottnak tekinthetők a gyártás során a következők:

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

4.2. A gyártás folyamatában megadható a tűréstartomány a korongprofilra úgy, hogy az összhangban legyen a csiga tűréstartományával.

5. A kapcsolódó csiga-csigakerékpár esetén az érintkezési vonalak elhelyezkedésére ható geometriai paraméterek vizsgálatához az új kinematikai modell matematikai leírása alapján számítógépes program készült.
Az érintkezési vonalak előállítását szolgáló számítógépes program működési elve:
A bemenetként átadott adatokból kiszámolja az eljárás megkezdéséhez szükséges implicit formájú egyenletrendszert. A kereső eljárás a peremfeltételeknek megfelelően kiszámolja az érintkezési pontokat a kerék fogfelületén. Az eredményül előállt ponthalmazt érintkezési görbék pontsorává alakítja. Meghatározásra került az érintkezési csomópontok helyzete és nyílásszöge, a hordképet meghatározó úgynevezett szélső pontsorra illeszkedő Bézier-görbe egyenlete, valamint a területarányok vizsgálata is megtörténik. Végül az eredményekből az optimális paramétereket kiválasztottam.

A tervezés során a **Gohman, H. I.** illetve **Litvin, F. L.** által továbbfejlesztett fogazásgeometriai, kapcsolódáselméleti eredményeket felhasználva **differenciálgeometriai,** a koordináta-rendszerek transzformációjához **koordináta geometriai eljárásokat alkalmazásával** jól algoritmizálhatók a csavarfelületek gyártásgeometriai problémái is.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az értekezés új tudományos eredményeit az alábbi tézisek foglalják össze:

1. Tézis: Korábbi, hengeres csigák, és szegnyereg elállítással kúpos csigák megmunkálása során fellépő problémának kiküszöbölésére - miszerint a menesztőszívvel történő forgásátadás a kúpos csigák megmunkálása esetében a munkadarabnál szögsebesség-ingadozást okoz, - olyan új kinematika matematikai leírását dolgoztam ki, amelyben a tengelyek távolsága megmunkálás közben változva teszi lehetővé a kúpos csigaalak követését, kiiktatva ezáltal a csiga forgásának szögsebesség ingadozását.

A modell megfelelő paraméterválasztással alkalmas:

- hengeres és kúpos csavarfelületek forgásfelülettel (például köszörűkoronggal (f_3)) történő megmunkálásának elemzésére,
- hengeres és kúpos csigák (f_1) és csigakerekek (f_2) kapcsolódásának vizsgálatára, {5, 15, 19, 20, 21, 25}
- hengeres és kúpos lefejtőmaróval (f_4) történő csigakerék fogazás modellezésére, függetlenül a csavarfelület profiljától,
- hengeres és kúpos lefejtőmarók (f_4) és az azt megmunkáló forgás felületű szerszám (például csapos korong (f_3)) vizsgálatára.

2. Tézis: A szerszámfelületek direkt módszer (f_1 csiga és a hozzá tartozó f_3 köszörűkorong) szerinti vizsgálata során a numerikus elemzéssel szemben analítikus eljárást alkalmaztam. A szerszámfelület leírására új összefüggést tártam fel. A felállított matematikai függvény lehetővé teszi az optimális sűrűségű pontsor előállítását tetszőleges koordináta tengelyen, ami a gyártási pontosság javulását eredményezi azáltal, hogy a profilpontokat egy interpolációs görbét leíró függvénnyel helyettesíti. {12, 22, 23, 26}

Meghatároztam a kívánt közelítési pontossághoz az előnyös interpolációs görbe-típust, valamint a minimálisan szükséges profilpontok számát. Az eljárás alkalmazása nagyobb szabadságot biztosíthat a CNC körív interpoláció esetében az illeszkedő körívek végpontjainak oly módon történő megválasztására, hogy az a profil geometriai pontosságának javítása érdekében történjen.

A pontokkal adott profil helyettesítése Bézier-görbével történik.

A kidolgozott módszer egy korszerű CNC gépek pályavezérléséhez nyújt megfelelő alapot, és tovább analítikus módszerek kifejlesztésére ad lehetőséget.

3. Tézis: **Meghatároztam a direkt eljárás folyamatában a hengeres csigák (f_1) megmunkálásakor a köszörűkorong (f_3) kopásából adódó változó tengelytáv figyelembevételével a karakterisztikus görbe-változások vizsgálatának módszerét. Az ebből adódó karakterisztikus görbe-változások alapul szolgálnak a korongprofil utánszabályozásának beállításához.** {16, 18, 23, 26}

Ennek a módszernek az kimunkálásával a köszörűkorong kopás határa vizsgálhatóvá vált. Ezt a problémát az ismertett matematikai modell, illetve a kifejlesztett számítógépes program révén konkrét esetek vizsgálatára alkalmasnak, azaz megoldottnak tekinthetjük.

4. Tézis: Az indirekt eljárás során a csigáról - mechanikus lefejtő-szabályozó készülékkel - visszafejtett korong (f_3) felületének, illetve az azzal köszörült csiga (f_1) felületének meghatározása, mely összevetve az elméleti csavarfelülettel a koronglefejtés

paramétereinek optimálására ad alapot. A kidolgozott eljárás alapjául szolgál a csigaprofil torzulás elkerülése érdekében végzendő korongszabályozás beállításának meghatározásához.
Ezáltal:

- **meghatározható a korongalak lefejtésének sűrűsége, amellyel a megköszörült csiga egy megadott gyártási tűrésen belül lesz,**
- **a csigáról való visszafejtéssel szabályozott korong tűrésmezője meghatározható ahhoz, hogy az azzal köszörült csiga felülete az előírt tűrésen belül legyen.** {18, 26}

5. Tézis: Hordkép lokalizálás és geometriai paraméterek (az a tengelytáv, a p menetemelkedési paraméter, a csiga tengelymetszetbeli görbéjét meghatározó paraméterek, úgymint körív esetén a körív középpontjának és a csiga tengelyének a K távolsága, a körív ρ_{ax} sugara, x_2 profileltolási tényező), valamint a kerék fogfelület és a hordkép területarányának kapcsolatát tártam fel az előírt kapcsolódási feltételek alapján.
A hordkép határ görbéit pontsor helyett Bézier-görbékkel írtam fel, ezáltal a hordkép egésze analitikusan kezelhetővé vált.
Megállapítottam a csigahajtás tervezési, geometriai paramétereit a helyes kapcsolódás érdekében. {2, 7, 8, 11, 13, 14, 17, 19,}

5. TOVÁBBFEJLESZTÉSI IRÁNYOK, LEHETŐSÉGEK

A kúpos és hengeres csavarfelületek között létesíthető projektív transzformációs kapcsolat elemzése.

További matematikai vizsgálat tárgya lehet a felület felírásának más módszerei és az alkalmazhatóság kapcsolatának vizsgálata.

Ezen értekezésben említett módszertől eltérően egyéb szempontok szerint alkalmas, más spline-interpolációs-aproximációs görbe, illetve **felület** felírásaival lehetőség nyílhat a gyártás, majd a működés közbeni torzulás analitikus úton történő vizsgálatára.

A gyártás folyamatában a megmunkáló szerszám és a csiga tűrésmezőinek folyamatos összehangolására vizsgálati módszerek kidolgozása különböző hajtások esetében.

6. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN:

Idegen nyelvű folyóiratban megjelent szakcikk:

{1} Zs. Balajti, K. Bányai: A possibility method for the solve of 3d evaluation with 2 ccd cameras, Production Process and Systems, A Publication of the University of Miskolc, Volume 4 (2004)., pp. 237-242. HU ISSN 1215-0851

{2} Zs. Balajti, I. Dudás: A Development of a New Method to Descreption of the Bearing Pattern of the Spiroid Driving, Production Processes and Systems, A Publication of the University of Miskolc, Volume 4 (2004), pp. 13-23 HU ISSN 1215-0851

{3} Zs. Balajti: Analaysis of the Reproduction of the Object Including Helices Ggained from Photos Taken by 2 CCD Cameras, Production Processes and Systems, A Publication of the University of Miskolc, Volume 4 (2004), pp. 5-12 HU ISSN 1215-0851

{4} Gy. Varga, Zs. Balajti, I. Dudás: Advantages of the CCD Camera Measurements for Profile and Wear of Cutting Tools, Journal of Physics: Conference Series 13, 2005, pp. 159-162, Institute of Physics Publishing, doi: 10.1088/1472-6596/13/1/037, London.

{5} Zs. Balajti, I. Dudás: Mathematical Model for Analysing of Helicoid Surfaces Having the Same Axis, International Journal of Mathematical Science Vol. 5 no.: 2 (December 2006) New Delhi, India. 2006., pp. 289-301

Magyar nyelvű folyóiratban megjelent szakcikk:

{6} Balajti Zs., Dudás I.: A Monge-féle projekció alkalmazása a gépgyártásban, Gépgyártás c. folyóirat, XLV. évfolyam, 2005. 3. szám, o 32-35. oldal

{7} Balajti Zs., Dudás I.: Spiroid hajtások hordképének meghatározása és analitikus leírása Bézier-felülettel, Gépgyártás c. folyóirat, XLV. évfolyam, 2005. 3. szám, 20-24. oldal

{8} Balajti Zs.: Térbeli hajtások hordképének elemzése, meghatározása, GÉP c. folyóirat 2005/5., LVI. évfolyam, pp. 57-67.

{9} Balajti Zs., Bányai K., Dudás I. :Spiroid hajtás végeselemes vizsgálata, Gépgyártástechnológia c. folyóirat, XLVI. évfolyam, 2006. 1-2. szám, 24-31 oldal

{10}Dudás I., Balajti Zs., Szingularitás és alámetszés elemzése helikoid hajtópárok felületein, Gépgyártástechnológiai c. folyóirat, XLVI. évfolyam, 2006. 1-2. szám, 32-36 oldal

{11}Balajti Zs., Dudás I.: Csavarfelületek előállításának matematikai modellje változó tengelytáv esetén, Gépgyártástechnológia c. folyóirat, XLVII. Évfolyam 2007. 1. szám, 19-23 oldal

Tudományos közlemény, idegen nyelvű konferencia kiadványban:

{12} Zs. Balajti, K. Bányai, I. Dudás: Up to date method for the determination of the grinding wheels profile for the manufacturing of the worm surfaces, microCAD 2002 International Scientific Conference, 7-8 March 2002, University of Miskolc, Hungary, pp. 81-85.

{13} Zs. Balajti, K. Bányai, I. Dudás: A New Descreption Method for the Bearing Pattern of the Spiroid Driving, 11-th International Conference on Tools, Univresity of Miskolc, Hungary, 2004. pp. 43-48.

{14} Zs. Balajti: Modelling a Develpoment of the New Method for Describing the Bearing Pattern of the Spiroid Driving, 9th International Research/Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2005, Antalya, Turkey, 26-30 September, 2005., pp. 985-988.

{15} I. Dudás, Zs. Balajti, Gy. Varga: Advantages of the CCD Camera Measurements for Profile and Wear of Cutting Tools, 7th International Symposium on Measuremanet Technologi and Intelligent Instruments, Centre for Precision Technologies, University of Huddersfield, UK, 6-8 September 2005., pp. 271-274.

{16} Zs. Balajti: Practical Application of the Monge Projection in the Production Process of Drive Pairs, Annals of MteM for 2005 & Proceedings of the 7th International Conference Modern Technologies in Manufacturing, Cluj-Napoca, Romania, 6th-8th October 2005.pp. 35-38.

{17} I. Dudás, Zs. Balajti, K. Bányai: Exact Production of Helicoid Surfaces, III. International Congress of Precision Machining Vienna-Austria (ICPM 2005), October 18-19.2005., pp.27-32

{18} I. Dudás. Zs. Balajti: Modelling and development for describing the bearing pattern of the spiroid driving, Proceedings of the Sixth IASTED Internetional Conference on ”Robotics and Applications, 2005. October 31. – November 02. 2005., Cambridge, USA, pp. 203-208 ISBN 0-88986-521-3

{19} Zs. Balajti, I. Dudás: New Model for Productional Geometrical analysis of Spatial Drivings, microCAD 2006. International Scientific Conference Miskolc, 16-17 March 2006., pp. 1-4., ISBN 963 661 713 9.

{20} Zs. Balajti, I. Dudás:Mathematical model for analysing of helicoid surfaces having the same axis, microCAD 2007. International Scientific Conference Miskolc, Section L: Production Engineering and Manufacturing Systems, Miskolc, 22-23. March 2007., ISBN 978-963-661-742-4 Ö, 978-963-661-753-0.

{21} I. Dudás, F. Leirath, Zs. Balajti: Analaysis of the Production Process of the Arched Worm Profil, 12th International Conference on Tools, Univresity of Miskolc, Hungary, 6-8. September 2007. pp. 169-174.

{22} Zs. Balajti, I. Dudás: Determination of the Wheel Profile in explicit Form, 12-th International Conference on Tools, Univresity of Miskolc, Hungary, 6-8. September 2007. pp. 181-185.

Tudományos közlemény, magyar nyelvű konferencia kiadványban:

{{23} Dudás I., Bányai K., Balajti Zs. : Szerszámprofil analitikus meghatározása menetfelületek előállításához, Doktoranduszok fóruma, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar Szekciókiadványa, 2001. November 6., 18-23 o.

{24} Dudás I., Bányai K., Balajti Zs.: Kinematikai felületek előállításához szükséges szerszámprofilok meghatározása spline alkalmazásával, Kolozsvár, 2002. március 22-23., Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszakának kiadványa, 37-40. o.

{25} Balajti Zs., Bányai K., Dudás I.: Csavarvonalakat tartalmazó alakzatok rekonstruálhatósága CCD kamerával készített képekből, Doktoranduszok fóruma, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar Szekciókiadványa, 2003., 201-206 o.

{26} Balajti Zs., Dudás I.: Új matematikai modell csavarfelületek elemzésére. XI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2006. március 24-25., 23-26. o., ISBN 973-8231-50-7

Szakmai tudományos előadás idegen nyelven:

{27} Zs. Balajti: Examination for the Bearing Pattern of Spiroid Drives, Doktoranduszok fóruma, 9. November 2004., Miskolc.

Szakmai tudományos előadás magyar nyelven:

{28} Balajti Zs.: A spiroid hajtások analítikus hordképmeghatározásának vizsgálata, OGÉT 2005., Szatmárnémeti.

6. A DISSZERTÁCÓBAN HIVATKOZOTT 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. Bercsey, T.: Csigahajtópárok kapcsolódási viszonyainak számítógépes szimulációja és optimálása. MicroCAD '90, Miskolc, 1990.
4. Bercsey, T.: Globoid csiga és sík fogfelületű hengeres kerék kapcsolódási viszonyainak vizsgálata. Egyetemi doktori értekezés, Budapest, 1971.
5. Bercsey, T.: Toroidhajtások elmélete. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977.
6. Bercsey, T.; Horák, P.: A new tribological moldel 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 Dreseden, 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.: Schraubenräder 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 Unvollstandigkeiten und die Möglichkeiten ihrer Vervollstandigung, Kostruktive GeometrieVortragsomlung 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 kúpfogaskerékpárok geometriai méretezésének alapjai Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1958.
18. Drahos,I.: A Litvin-féle csigahajtás érintkezési vonalseregének és kapcsolási felületének szerkesztése Különlenyomat a NME Magyar Nyelvű Közleményei, XII. kötet
19. Drahos,I.: Eine Systematik der Verzahnungen mit sich kreuzenden Achsen, vom Standpunkt der kinemtischen 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 Practiceof 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.: Ívelt profilú csigahajtás egyszerűsített gyártása és minősítése Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1973.

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 felületpárok 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 GearsProceedings 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 Mathematik, 69., 1965.
37. Kolchin, N. I.: Nekotorüe voproszü geometrii, kinematiki, raszcseta i proizvodsztva Leningrad, 1968. p.362.
38. Krivenko, I. SZ.: Novüe tipü cservjacsnüh peredacs na szudah Izd. Szudoszrovenie, Leningrád, 1967.
39. Lévai Imre: Hipoidhajtások tervezésének alapjai, Egyetemi Kiadvány, 1994.
40. Lévai, I.: Kitérő tengelyek közt változó mozgásátvitelt megvalósító – egyenesélű szerszámmal lefejthető – fogazott kerekek. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1966.
41. Lévai,,I.: Fogazatok kapcsolódásának kinematikai elmélete és alkalmazása hipoid-hajtások tervezésére Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1980. 1/153.
42. Magyar,J.: Csavarfelületű elemek kapcsolódása Kandidátusi disszertáció, Budapest, 1960.
43. Olivier, Th.: Theorie geometrique des engrenages. Paris, 1842.
44. Ortleb,R.: Zur Verzahnungs- und Fertigungsgeometrie allgemeiner Zylinderschneckengetriebe, Dissertation, TU Dresden, 1971.
45. Pay, E.: Reductor melcat cu melc interiot, (Belső csigás hajtómű), Brevet de inventie nr. 90521, 1986., Bucuresti, Romania
46. 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.: Buletinol Stiintific al Universitatii din pitesti, Vol. Orange de masini. Mechanisme, pp.20-25.
47. Pay, G.: Belső csigás hajtások Ph.D disszetrtáció, Miskolc, 2001
48. Simon, V.: Characteristics of a new type of cylindrial worm gear drive. ASME 6th International Power Transmission and Gearing Conference, San Diego, 1996. Proceedings, pp. 133-140.
49. Simon, V.: Egy új típusú globoid csigahajtás jellemzői. Akadémiai doktori értekezés, Budapest, 1994.
50. Simon,V.: Tooth contact analysis of mismatched hypoid gears Proceedings of the 7th International Power Transmission and Gearing Conferencee, 1996. 10. 6-9. San Diego, California, pp.789-798.
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. Szeniczei,L.: Csigahajtóművek Műszaki Könyvkiadó,Budapest, 1957.
54. Tajnafői, J.: Mechanizmusok származtatáselméletének alapjai és hatása a kreatív gondolkodásra. Akadémiai doktori értékezés, Miskolc, 1991.
55. Weinhold, H.: Zur Fertigungsgeometrischen Deutung technologischer Prozesse, Fertigungstechnik und Betrieb, 1963. No.3.
56. Wittig, K.H.: Zur Geometrie der Zylinderschnecken, Maschinenmarkt, 72. 1966.
57. Zalgaller, V. A.: Theory of Envelopes , Nauaka, Moskow, 1975. (in Russian)
58. Tajnafői J.: Szerszámgépek mozgásleképező tulajdonságainak elvei és néhány alkalmazása Kandidátusi értekezés, Kézirat, Miskolc, 1965.