

**MISKOLCI EGYETEM**  
**GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR**



**ROTÁCIÓS ESZTERGÁLÁSSAL VÉGZETT  
PRECÍZIÓS BEFEJEZŐ MEGMUNKÁLÁS VIZSGÁLATA**

PHD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

**Sztankovics István**  
okleveles gépészmérnök

**SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**  
**GÉPÉSZETI ANYAGTUDOMÁNY, GYÁRTÁSI RENDSZEREK**  
**ÉS FOLYAMATOK TÉMATERÜLET**  
**GYÁRTÁSI RENDSZEREK ÉS FOLYAMATOK TÉMACSOPORT**

Doktori Iskola Vezető:

**Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella**  
a műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár

Témacsoport Vezető:

**Dr. Maros Zsolt**  
egyetemi docens

Témavezető:

**Prof. Dr. Kundrák János**  
a műszaki tudomány doktora, Professor Emeritus

**Miskolc**  
**2022**

---

## VÉDÉSI BIZOTTSÁG

### **Elnök:**

*Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella*  
egyetemi tanár  
Miskolci Egyetem

### **Titkár:**

*Dr. Sarka Ferenc*  
egyetemi docens  
Miskolci Egyetem

### **Tagok:**

*Prof. Dr. Ildikó Mankova*  
egyetemi tanár  
Kassai Műszaki Egyetem

*Dr. Szabó Ottó*  
címzetes egyetemi tanár  
Miskolci Egyetem

*Dr. Takács György*  
egyetemi docens  
Miskolci Egyetem

### **Hivatalos bírálók:**

*Dr. Mátyási Gyula*  
címzetes egyetemi tanár  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

*Dr. Mikó Balázs*  
egyetemi docens  
Óbudai Egyetem

---

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>Tézisfüzetben alkalmazott jelölések .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Bevezetés .....</b>	<b>5</b>
1.1 Előzmények .....	5
1.2 Az értekezés célkitűzései .....	7
<b>2 A kutatási feladat megoldása .....</b>	<b>8</b>
2.1 Az elméleti vizsgálatok módszere, menete.....	8
2.2 Forgácsolási kísérletek .....	9
2.2.1 Kísérleti feltételek .....	9
2.2.2 Forgácsoló erő és a felületi érdesség mérése .....	11
<b>3 Új tudományos eredmények, hasznosítási lehetőségek .....</b>	<b>12</b>
3.1 Tézisek.....	12
3.2 A hasznosítás és a továbbfejlesztés lehetőségei .....	14
<b>4 Az értekezés témájában megjelent saját publikációk.....</b>	<b>15</b>
<b>Irodalomjegyzék .....</b>	<b>17</b>

---

## TÉZISFÜZETBEN ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK

### *Geometriai viszonyokat leíró paraméterek*

---

$r_s$	– a szerszám burkolóhengerének sugara [mm]
$d_s$	– szerszámátmérő [mm]
$\lambda_s$	– a szerszám terelőszöge [°]
$d_m$	– a munkadarab megmunkált (elkészült) felületének átmérője [mm]
$L_m$	– munkadarab megmunkálandó felületének hossza [mm]
$a_p$	– fogásmélység [mm]

### *Kinematikai viszonyokat leíró paraméterek*

---

$v_c$	– forgácsoló sebesség [mm/min]
$n_s$	– a szerszám fordulatszáma [1/min]
$n_m$	– a munkadarab fordulatszáma [1/min]
$v_{f,t}$	– a szerszám tangenciális előtoló sebessége [mm/min]
$v_{s,a}$	– a szerszám kiegészítő tengely irányú előtoló sebessége [mm/min]
$t$	– az idő paramétere [s]
$v_{f,i}$	– a szerszám gép (interpolációból adódó) előtolási sebessége [mm/min]

### *A kísérleteknél alkalmazott jelölések*

---

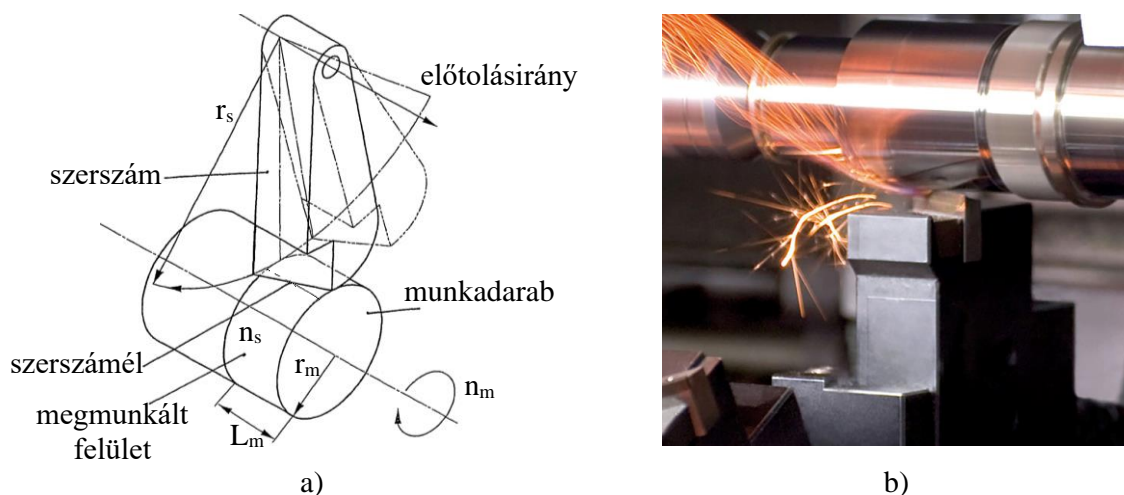
X	– a szerszám gép x tengelye a munkaasztal síkjában
Y	– a szerszám gép y tengelye a munkaasztal síkjában
Z	– a szerszám gép z tengelye a munkaasztal síkjára merőlegesen
M	– munkadarab
S	– szerszám
$K_m$	– munkadarabbefogó készülék
$K_s$	– szerszám befogó készülék
R13	– 13,45° terelőszöggel rendelkező szerszám
R15	– 15° terelőszöggel rendelkező szerszám
R30	– 30° terelőszöggel rendelkező szerszám
R45	– 45° terelőszöggel rendelkező szerszám
R50	– 50° terelőszöggel rendelkező szerszám
CNMG	– hosszesztergáláshoz alkalmazott szerszám
$F$	– forgácsolóerő [N]
$F_x$	– X irányába ható erő [N]
$F_y$	– Y irányába ható erő [N]
$F_z$	– Z irányába ható erő [N]
$R_a$	– átlagos érdesség [ $\mu\text{m}$ ]
$R_z$	– egyenetlenség-magasság [ $\mu\text{m}$ ]

# 1 BEVEZETÉS

Az első fejezetben bemutatom a rotációs esztergálás körelőtolással dolgozó eljárások között elfoglalt helyét. Kifejtem a kutatás és fejlesztés szükségességét. Az irodalomkutatás alapján kijelölöm a disszertációm célkitűzéseit.

## 1.1 Előzmények

A rotációs esztergálás [1] a németországi J.G. Weisser Söhne GmbH & Co. KG szerszámgépgyártó vállalat szabadalma [2], melyhez a speciális szerszámokat a MAS GmbH gyártja [3]. A koaxiális rotációs marás és a hántoló esztergálás egyesítésének tekinthető [4]. Az eljárással a precíziós megmunkálásokra jellemző szigorú előírásoknak is megfelelő felülettopográfia érhető el, így a köszörülés alternatívája is lehet [5], ezzel a gyártási láncok hossza csökkenthető [6]. A forgácsképződés folyamata az diagonális forgácsoláshoz is hasonlítható [7]. A forgács fajtája és a homloklapon való lesiklásának szöge technológiai és anyagszerkezeti jellemzőktől is függ [8], azonban a folyamatos anyagleválasztás miatt folyó forgács keletkezik.



1.1. ábra. A rotációs esztergálás kinematikai vázlata (a) [1] és szerszáma (b) [2]

A rotációs esztergálás geometriai és kinematikai viszonyait a 1.1. ábra alapján mutatom be. Az eljárás legfontosabb jellemzője az alkalmazott szerszám konstrukciója és az ebből adódó hagyományostól eltérő kinematikai viszonyok. A forgácsoló szerszám éle csavarvonal mentén helyezkedik el, amely görbének a középvonala párhuzamos a munkadarab forgástengelyével. A szerszámélhossznál rövidebb felületeknél körelőtolást, hosszabb felületeknél kör- és hosszelőtolást végez a szerszám. A forgácsoló sebesség a munkadarab forgó mozgásának kerületi sebessége. A fogásmélység a szerszám és a munkadarab tengelytávjának módosításával állítható be. A forgácsolás során az aktív élszakasz változtatja helyzetét a csavarvonalú élen.

A hazai kutatók közül Kundrák és munkatársai a szerszám és a munkadarab normálmetszetében és az alapsíkban felírt jellegzetes élhelyzetek alapján határozták meg a szükséges szögelfordulás közelítő értékének számítási módját, amely alapján az eljárás termelékenységét elemezték [9]. Megállapították, hogy a keményszergálás reális alternatívája lehet edzett felületek megmunkálásánál. A geometriai elemzés alapján rámutattak a minimális eltávolítható anyagrétegvastagság befolyásoló szerepére a forgács szélesség és -vastagság arányának nagy értéke miatt [10].

A nemzetközi szakirodalomban viszonylag kevés számú publikáció áll rendelkezésre a rotációs esztergálásról, melyek témája többségében a megmunkált felület minősége. Klocke és társai [4] az elméleti érdekesség meghatározására egy olyan összefüggést javasoltak, amelynél a szerszám alapsíkbeli vetületét egy kör geometriával közelítik, így visszavezetve az eljárást a rádiuszos lapkával végzett hosszeltolós esztergálásra. Kísérleti munkájukban azt tapasztalták, hogy az előtolás növelésével a szerszám lenyomata egyre jellemzőbbé válik. A számított értékek az előtolás függvényében jól követik a mért értékek változását, azonban 0,4 mm/ford. előtoláson 60%-kal, míg 1,0 mm/ford. előtoláson 20%-kal kevesebb értéket eredményeznek. Degen és társai [11] kutatásukban a keményszergálással való összehasonlítás során arra jutottak, hogy lényegesen kisebb érdekesség érhető el rotációs esztergálásnál (10-15-öd része). Ugyanakkor a kis forgácsvastagság miatt a szerszám beremegését tapasztalták. Šajgalík és szerzőtársai [12] a maximális érdekesség számítási módjához a csavarvonalú szerszám alapsíkbeli vetületét elemezték és trigonometrikus szögfüggvénnyel közelítették. A felírt trigonometrikus függvényből számították ki az elméleti megmunkált felület csúcsmagasságát. Martikan és szerzőtársai [13] bemutatják az egyedileg tervezett hagyományos esztergára szerelhető hajtott szerszám befogó készüléket, amellyel a körelőtolás biztosítható. Az elvégzett kísérletekben Mrazik és társai [14] azt tapasztalták, hogy a munkadarab keménységének függvényében változik a Šajgalík és szerzőtársai [12] által meghatározott érdekességszámító képlet pontossága. 50 HRC keménységnél 97%-os pontosságot, 40 HRC keménységnél 61%-os pontosságot, 60 HRC-esetén 27%-os pontosságot tapasztaltak. További kutatómunka végzését javasolják a számítóképlet pontosítására.

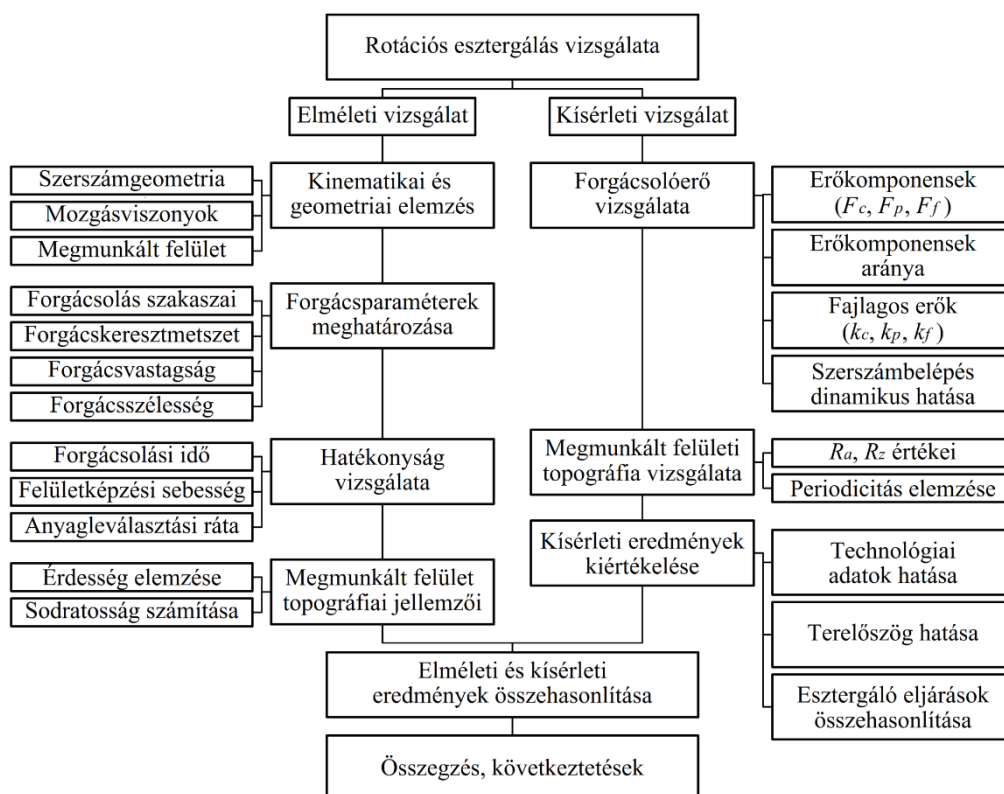
Ez az eljárás a határozott élű szerszámmal végzett forgácsolás néhány kérdésének megválaszolására adhat lehetőséget, olyan feladatok megvalósításának elérhetővé tételével, melyek jelenleg nehézséget jelentenek az alkatrészek befejező megmunkálásánál. Kihívást jelent a termelékenységgel és a felületminőséggel szembeni elvárások egy időben való teljesítése, mivel a gyártási idő csökkentése általában a felületet jellemző paraméterek romlásához vezet, és fordítva. Az előbbieket mellett teljesíteni kell az alkatrészekkel szembeni egyéb rajzi előírásokat is, mint a különböző pontossági előírások vagy a működési követelményekből adódó elvárások. Az alakpontosság az esztergálás alkalmazására korlátozást jelent például hosszú, karcsú tengelyek kemény felületeinél. Ezen alkatrészeknél a negatív homlokszögű megmunkálásoknál nagy passzív erő és így a megmunkáló rendszer jelentős rugalmas deformációja jelentkezik. Ezért a kihajlás miatt egyélű szerszámmal hosszeltolós esztergálással gazdaságosan nem lehet nagy hossz/átmérő viszonyú tengelyeket megmunkálni, köszörülés alkalmazása szükséges. Másrészt a működési követelmények közé tartozik például a felületi sodratosság mértékének egy megadott szint alatt tartása. Ez a követelmény olyan felületeknél fordul elő, amelyeknél a felületen képződő csavarvonalú periodikus topográfia problémát jelent (tömítések, tűgörgős csapágyak aktív felületei; sebességváltók szinkronizáló kúpjai).

## 1.2 Az értekezés célkitűzései

A kutatómunkám célja a rotációs esztergálással végzett precíziós befejező megmunkálás és az azzal létrehozott (alkatrész) felületek elméleti és kísérleti vizsgálata, az eljárás hatékonyságának és pontosságának növelése a forgácsleválasztás nem vagy kevésbé feltárt területeinek elemzésével és pontosabb megoldásával (megadásával). A kutatást az alábbi lépésekben valósítom meg:

- A megmunkált felület pontos analitikai egyenletének meghatározása a konstruktív szerszámgeometria módszerével.
- A forgácskeresztmetszetet jellemző mérőszámok elméleti értékeinek meghatározásához szükséges összefüggések megadása és a befolyásoló tényezők elméleti értékekre gyakorolt hatásának vizsgálata.
- Az anyagleválasztási ráta meghatározásához szükséges összefüggések megadása, és a forgácsolási adatok, valamint az élgeometria hatásának vizsgálata.
- A főforgácsoló-, az előtolás irányú- és a passzív erők kísérleti vizsgálata a forgácsolási adatok és a szerszámgeometria függvényében.
- A megmunkált felület érdességi és sodratossági jellemzőinek elméleti elemzése és az egyes kinematikai és geometriai paraméterek hatásának analízise.
- A felületi érdesség kísérleti vizsgálata a forgácsolási adatok függvényében.
- Az érdesség elméleti és a kísérleti értékei közötti korreláció meghatározása.

A rotációs esztergálás vizsgálatának lépéseit és a vizsgált adatokat a 1.2. ábra tartalmazza. Várható eredmény a rotációs esztergálás forgácsleválasztásának pontosabb megadása, valamint az eddig tudományos igényességgel nem meghatározott, a technológiai folyamatot befolyásoló paraméterek definiálása és vizsgálata.



1.2. ábra. A kutatómunka menete

---

## 2 A KUTATÁSI FELADAT MEGOLDÁSA

A megfogalmazott célkitűzéseket elméleti és kísérleti vizsgálatok útján kívánom elérni. Ebben a fejezetben bemutatom az alkalmazott matematikai módszert és az elemzés menetét, valamint a kísérletek célját és feltételeit.

### 2.1 Az elméleti vizsgálatok módszere, menete

A csavarvonal mentén elhelyezkedő szerszámél és a komplex mozgásviszonyok miatt a rotációs esztergálás matematikai leírásához és egzakt meghatározásához áttekinttem a különböző megmunkálási eljárásokra alkalmazott, az eljárások geometriai és kinematikai sajátosságait figyelembe vevő megoldásokat. A matematika geometriai és analitikai eszközei különleges kapcsolódási esetek leírására hosszú idő óta alkalmazásra kerülnek a konstrukciós és a technológiai tervezésben. Az alkatrészfelületek meghatározásában a nemzetközi irodalomban Litvin munkája alapműnek tekintendő, leírásában a differenciálgeometria és a kinematikai módszer együttes alkalmazásával bonyolult felületek is a gyakorlat számára könnyen meghatározhatóak [15]. A Perepelica által leírt módszerrel [16] az alakos szerszámok matematikai analitikai leírásán túl [17] az affin geometria alkalmazásával alkalmas a forgácsolás közbeni geometriai viszonyok meghatározására [18]. A szerszámél mozgásának leírásával meghatározható többek között a forgácsoló sebesség vektora [19].

Számos magyar vonatkozású kutatás is megjelent az utóbbi évtizedekben a kinematikai módszer alkalmazására. Szeniczai a csigahajtóművekkel kapcsolatos kutatások egyik kezdeményezője, az elsők között javasolta a konjugált felületepárok alkalmazását [20]. Tajnafői az általa kidolgozott származtatáselméletét felhasználva a szerszám gép struktúra változatok képzésére új tervezési módszereket vezetett be [21]. Lévai kitérő tengelyű hajtópárok fogazáselméleti kérdéseit vizsgálta meg [22]. Drobni az ívelt profilú és a globoid csigahajtások elméletével foglalkozott, fontos eredményeket ért el a köszörülhető globoid csigahajtások esetén [23]. Drahos szerszámgeometriák és csavarfelületek gyártásgeometriáját elemezte [24]. Bercsey a kinematikai módszert felhasználva meghatározta a globoid csigák kapcsolódási viszonyait [25], vizsgálta a toroidhajtásokat [26]. Dudás mozgástani alapon fejlesztette az ívelt profilú csigahajtásokat [27] és kidolgozta a csavarfelületek gyártásának elméletét [28]. A csigahajtások, a csiga és csigakerék geometriai viszonyainak leírására általános matematikai modellt alkotott [29]. Balajti olyan új kinematika alapú matematikai leírást dolgozott ki, mely lehetővé teszi a kúpos csigaalak követését [30]. Kutatás indult a Monge projekció alkalmazására a matematikai modell leírásához [31].

A mozgástan alapú matematikai leírással változatos konstrukciós és technológiai feladatok megoldása lehetséges. A kutatók kifejlesztették és alkalmazták a kapcsolódáselmélet, a mozgásgeometria, a szerszámgeometria és a gyártásgeometria módszereit. Disszertáciomban (az affin tér többparaméteres leképzését alkalmazó) konstruktív szerszámgeometria módszerét alkalmaztam rotációs esztergálás matematikai leírásához és a megmunkált felület analitikai meghatározásához.



A kutatómunkámban az eljárás matematikai-analitikai összefüggéseinek felállításához az alábbi lépéseken haladok végig:

- Szükséges számú és helyzetű koordináta-rendszer felvétele.
- Koordináta-rendszerek közötti transzformációk értelmezése.
- Szerszámél vektoregyenletének megadása.
- A munkadarabon generált, geometriai- és a mozgásviszonyokból következő felület matematikai meghatározása.

Az elméleti vizsgálatok során elemzem és meghatározom a rotációs esztergálás jellemzőit. Az elméleti meghatározások eredményeként levezetett összefüggések segítségével megvizsgáltam a geometriai és kinematikai paraméterek hatását a rotáció esztergálás vizsgált jellemzőire (vizsgálati tartomány:  $n_m = 800 - 2400$  ford/min,  $n_s = 1 - 3$  ford/min.,  $v_{s,a} = 0 - 8$  mm/s,  $d_m = 20 - 60$  mm,  $r_s = 20 - 60$  mm,  $\lambda_s = 15 - 45^\circ$ ).

A leválasztandó forgács geometriai jellemzőinek vizsgálatához meghatároztam a forgácsleválasztás szakaszait. A forgácsolt felület egyenletéből ívhosszszámítás segítségével meghatároztam a forgács szélesség összefüggését, majd a forgácskeresztmetszet felhasználva kifejeztem az ekvivalens forgácsvastagság egyenletét.

A forgácsleválasztás hatékonyságát a gépi főidő, az anyagleválasztási- és a felületképzési ráta meghatározásával vizsgáltam. Ehhez a matematikai modellre felírt peremfeltételekkel meghatároztam a forgácsleválasztás három szakaszára a szerszám szögelfordulását, a tengelyirányú munkautat és a gépi főidőt.

A rotációs esztergálással megmunkált felület topográfiájának megadását az érdesség és a sodratosság elméleti értékeinek meghatározásával végeztem el. A forgácsolt felület alapsíkbeli vetületi egyenletének felhasználásával az érdességi mérőszámok közül az egyenetlenség-magasság és az átlagos érdesség; a sodratosságot leíró paraméterek közül a periódushossz, az emelkedési szög és a mélység értékeit határoztam meg.

## 2.2 Forgácsolási kísérletek

A forgácsoló erő és a felületi érdesség meghatározására és elemzésére kísérleteket végeztem rotációs esztergálással. A vizsgálatokat a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézet gép- és eszközparkjával hajtottam végre. A következőkben bemutatom a kísérleti feltételeket, az erő és az érdességmérés eszközeit és menetét.

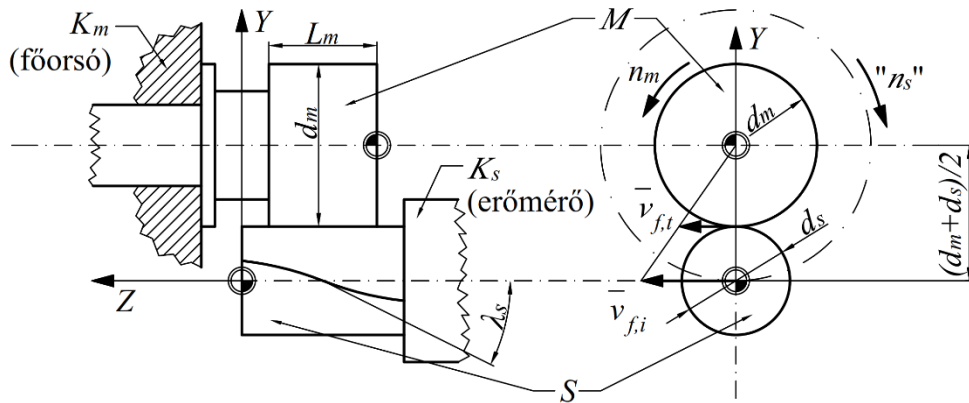
### 2.2.1 Kísérleti feltételek

Az eljárást jellemző mozgásviszonyok a kísérletek során egy Perfect-Jet MCV-M8 típusú megmunkáló központon valósultak meg. Ez a gép rendelkezik a kísérletekhez szükséges teljesítménnyel és merevséggel, továbbá a Gyártástudományi Intézet erőmérő egységét is rögzíteni lehet rá. A megmunkálások során Rhenus TS 25 hűtő-kenő folyadék 5%-os emulzióját került alkalmazásra.

12 mm hosszú, 40 mm átmérőjű, 220 HV keménységű, nemesített C45 acél anyagminőségű munkadarabokon végeztem el a kísérleteket. A megmunkálandó hossz a választott kísérleti szerszámok geometriai adatai alapján lett megválasztva.

A rotációs esztergáláshoz ötféle emelkedési szöggel (terelőszöggel) rendelkező szerszámot választottam. Az eszterga szerszámokat a többélű szerszámokból úgy kerültek kialakításra, hogy a nem aktív éleket leköszörültük. Az alkalmazott szerszámok jelölése:  $R13$  [32],  $R15$  [33],  $R30$  [34],  $R45$  [35] és  $R50$  [36]. A mért értékek összehasonlításához hosszesztergálást is végeztem lapkás szerszámmal [37].

A kísérlet kinematikai elrendezését mutatja a 2.1. ábra. A kísérleti próbadarabot ( $M$ ) a marógép főorsójába ( $K_m$ ) fogva a munkadarab fordulatszám ( $n_m$ ) valósult meg. A forgácsoló szerszám ( $S$ ) a gépasztalon kialakított készülékben ( $K_s$ ) került rögzítésre ER32 önközpontosító patronos befogó segítségével. A szerszám gépasztallal együtt végzett körinterpolációs mozgása ( $v_{f,i}$ ) a főorsó körül biztosította a megmunkáláshoz szükséges körelőtolást („ $n_s$ ”). A szerszámok helyzetére mutat példát a  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  és a  $45^\circ$  terelőszöggel rendelkező szerszámra a 2.2. ábra.



2.1. ábra. A szerszám és a munkadarab egymáshoz viszonyított helyzete és mozgásai



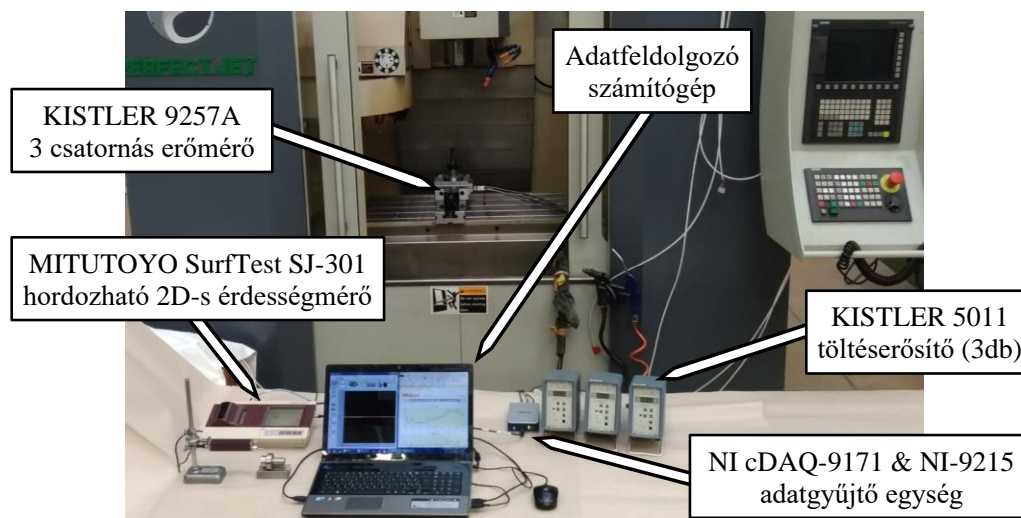
2.2. ábra. A forgácsoló szerszám felfogatása az erőmérő platformra

A technológiai adatokat úgy választottuk meg, hogy a rotációs esztergálásnál a nagy előtolások hatását lehessen vizsgálni a szerszámgeometriai korlátok figyelembevételével. A választott szerszámoknál az előtolás vizsgált tartományai a következők voltak: az  $R13$  szerszámnál  $0,2 - 2,8$  mm/ford., az  $R15$  szerszámnál  $0,1 - 2,8$  mm/ford., az  $R30$  szerszámnál  $0,1 - 1,6$  mm/ford., az  $R45$  szerszámnál  $0,1 - 1,0$  mm/ford., az  $R50$  szerszámnál  $0,1 - 0,8$  mm/ford., a  $CNMG$  szerszámmal  $0,1 - 1,0$  mm/ford. tartományban végeztem el a kísérleteket. A rotációs esztergálásnál tisztán körelőtolással került beállításra. Minden előtoláson háromféle fogásmélység ( $0,1$  mm,  $0,2$  mm és  $0,3$  mm) került beállításra. A forgácsoló sebesség esetén 3 értéken végeztem el a kísérleteket: a váltólapkás szerszámok esetén  $200$  m/min,  $250$  m/min és  $300$  m/min, míg a monolit szerszámoknál  $150$  m/min,  $200$  m/min és  $250$  m/min értékeknél.

A forgácsolási adatok vizsgált tartományai:  $f_a = 0,1 - 2,8$  mm/ford.,  $a_p = 0,1 - 0,3$  mm,  $v_c = 150 - 300$  m/min;  $\lambda_s = 13,45 - 50^\circ$ .

### 2.2.2 Forgácsoló erő és a felületi érdesség mérése

A kísérleteknél alkalmazott mérőrendszer a 2.3. ábrán látható. A kísérletek közben a forgácsoló erőt egy, a szerszám és a gépasztal közé beépített, Kistler 9257A háromtengelyes erőmérő egységgel mértem. A berendezés három, egymásra merőleges tengelyirányban rögzítette az adott időpillanatban ébredő erőket ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ). A piezoelektromos elven működő erőmérő 3 kimeneti jelét 1-1 Kistler 5011 töltéserősítő alakítja át feszültségértékké, melyeket a National Instruments által gyártott cDAQ-9171 házú NI-9215 adatgyűjtő egység mér és közvetít az adatgyűjtő számítógép felé. Az 1000 Hz mintavételezési frekvencián mért adatokat egy a NI Labview szoftverben készített program jeleníti meg és tárolja el a későbbi feldolgozáshoz.



2.3. ábra. Az erő és érdességmérő rendszer felépítése

Az erőmérő rendszer az elvégzett kísérletek során rögzítette az adott időpillanatban ébredő  $X$ ,  $Y$  és  $Z$  irányú erőkomponenseket. A pillanatnyi mért (gépasztalhoz kötött)  $F_x$ ,  $F_y$  és  $F_z$  erők és a munkadarab-szerszám relatív helyzetének ismeretében kiszámítottam az adott időpillanatban a megfelelő (szerszámhoz kötött)  $F_c$ ,  $F_p$  és  $F_f$  erőket. A számítások eredményeként kapott  $F_c(t)$ ,  $F_p(t)$  és  $F_f(t)$  görbéknek meghatároztam és elemeztem a maximális értékét, mellyel az állandó keresztmetszetű forgács folyamatos leválasztásának szakaszát jellemzem. Kiszámításra és összehasonlításra kerültek a fajlagos forgácsoló erő értékei az  $F_c$ ,  $F_p$  és  $F_f$  erőkre. Az egyes beállításoknál vizsgáltam a szerszámot érő dinamikus terhelést a Bekezdési szakasz során.

A megmunkált felületeken a forgácsolást követően egy Mitutoyo SurfTest SJ-301 kétdimenziós érdességmérő eszközzel és egy AltiSurf® 520 érdességmérő gépen elemeztem a felületi topográfiát. Minden felületen három, egymáshoz képest  $120^\circ$ -ban elhelyezkedő alkotó mentén történt a mérés. A topográfia elemzéséhez szerszámoként egy beállítás esetén felületi érdességmérés történt  $4\text{ mm} \times 4\text{ mm}$  területen. Az érdességmérő műszereken a szabvány [38] szerint  $0,1\text{ mm/ford.}$  előtolás esetén  $0,25\text{ mm}$  határhullámhossz,  $0,2 - 0,4\text{ mm/ford.}$  előtolás esetén  $0,8\text{ mm}$  határhullámhossz,  $0,6 - 1,2\text{ mm/ford.}$  előtolás között  $2,5\text{ mm}$  határhullámhossz,  $1,6 - 2,8\text{ mm/ford.}$  előtolás esetén  $4\text{ mm}$  határhullámhossz került beállításra. A mért érdességi paraméterek közül az átlagos érdesség ( $R_a$ ) és az átlagos egyenetlenség magasság ( $R_z$ ) értékeit vizsgáltam. Meghatároztam a beállításoknál történt 3 mérés  $R_a$  és  $R_z$  eredményeinek számtani átlagát. A kiértékelés során az előtolás és a szerszámgeometria függvényében vizsgáltam a mért értékeket. Az  $R_a$  és  $R_z$  mérőszámok elméleti értékei is kiszámításra és összehasonlításra kerültek.

---

### 3 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEK

A rotációs esztergálás a körelőtolás viszonylag újszerű alkalmazását valósítja meg. A kutatómunkám az eddig feltáratlan, illetve kellő mélységgel eddig nem kidolgozott, a célkitűzésekben megfogalmazott kérdések megválaszolását oldotta meg. Az ezekből levonható fontosabb következtetéseket az alábbi tézisekben foglaltam össze. A fejezet részeként bemutatom az értekezésben meghatározott és a tézisekben megfogalmazott összefüggéseket, valamint kutatómunkám továbbfejlesztési lehetőségeit.

#### 3.1 Tézisek

- T1. A konstruktív szerszámgeometriai modellalkotásra alapozva feltártam a rotációs esztergálás általános korrelációit és kidolgoztam az eljárás matematikai-analitikai modelljét a különböző kinematikai és geometriai jellemzők függvényében (*párhuzamos munkadarab- és szerszámtengely, kör és axiális előtolás alkalmazása, állandó emelkedésű és sugarú csavarvonalú szerszámél esetére*). A modell segítségével meghatároztam a forgácsolt felület kétparaméteres egyenletrendszerét.
- T2. Megadtam a forgács szélesség, az ekvivalens forgácsvastagság, a szerszám szögelfordulás, a tengelyirányú munkaút, a gépi főidő, a felületképzési sebesség és az anyagleválasztási ráta számítására alkalmas matematikai összefüggéseket a kinematikai és geometriai paraméterek függvényében a rotációs esztergálást jellemző három szakaszára. Ezen összefüggésekkel elemeztem a technológiai és geometriai adatok függvényében az elméleti értékek változását (*vizsgálati tartomány:  $n_m = 800 - 2400$  ford./min,  $n_s = 1 - 3$  ford./min,  $v_{s,a} = 0 - 8$  mm/s,  $d_m = 20 - 60$  mm,  $r_s = 20 - 60$  mm,  $\lambda_s = 15 - 45^\circ$* ).
- T3. Összeállítottam a rotációs esztergálásnál ébredő erők mérésére alkalmas mérőrendszert. A kísérleti vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a rotációs esztergálás alkalmazásával a hosszleőtöléses esztergáláshoz képest  $\lambda_s = 30^\circ$  szerszám esetén közel 50%-ára,  $\lambda_s = 45^\circ$  szerszám esetén közel 40%-ára,  $\lambda_s = 50^\circ$  szerszám esetén közel 35%-ára csökkenthető a szerszám és a munkadarab között ébredő radiális (ún. passzív) erő és ezen geometriáknál 15%-ára csökkenthető a fogásvétel során a szerszámot érő dinamikus terhelés (*vizsgálati feltételek: nemesített C45 acél anyagminőség,  $f_a = 0,1 - 2,8$  mm/ford.,  $a_p = 0,1 - 0,3$  mm,  $v_c = 150 - 300$  m/min;  $\lambda_s = 13,45 - 50^\circ$* ).

- T4. A rotációs esztergálásra kidolgozott modell segítségével meghatároztam a szerszámalapsíkban az elméleti érdességi profilt, és megadtam az egyenetlenségmagasság, az átlagos érdesség és a sodratosság elméleti értékeinek meghatározására alkalmas összefüggéseket. Elemeztem a megmunkálást jellemző paraméterek hatását az egyenetlenség-magasság és az átlagos érdesség elméleti értékeire és megállapítottam, hogy  $R_a$  és  $R_z$  elméleti értékének felére csökkentéséhez – a vizsgált paramétereket egyenként változtatva – a szerszámfordulatszámot 29%-kal, a szerszámsugarát 35%-kal, a kiegészítő előtolást 87%-kal kell csökkenteni, míg a munkadarabfordulatszámot 40%-kal kell növelni (*vizsgálati tartomány:  $n_m = 800 - 2400$  ford./min,  $n_s = 1 - 3$  ford./min,  $v_{s,a} = 0 - 8$  mm/s,  $d_m = 20 - 60$  mm,  $r_s = 20 - 60$  mm,  $\lambda_s = 15 - 45^\circ$ ).*
- T5. Kísérletekkel igazoltam, hogy rotációs esztergálással megmunkált felület átlagos érdessége és átlagos egyenetlenségmagassága (rögzített előtolás mellett) a terelőszög függvényében kisebb lesz a hosszelőtolásos esztergáláshoz képest, a vizsgálati feltételek mellett 2,5 – 5,5-ször. Azonos érdességű felület 2 – 6-szor nagyobb tengelyirányú előtolás mellett is elérhető körelőtolással (*vizsgálati feltételek: nemesített C45 acél anyagminőség,  $f_a = 0,1 - 2,8$  mm/ford.,  $a_p = 0,1 - 0,3$  mm,  $v_c = 150 - 300$  m/min;  $\lambda_s = 13,45 - 50^\circ$ ).*
- T6. Feltártam az összefüggést az átlagos érdesség és az egyenetlenség-magasság elméleti és a valós értékei között hatványkitevős alakban, paraméteres formában rotációs esztergálás esetére és meghatároztam az összefüggés paramétereinek értékeit a vizsgált tartományban (*vizsgálati feltételek: nemesített C45 acél anyagminőség,  $f_a = 0,1 - 2,8$  mm/ford.,  $a_p = 0,1 - 0,3$  mm,  $v_c = 150 - 300$  m/min;  $\lambda_s = 13,45 - 50^\circ$ ).*

### 3.2 A hasznosítás és a továbbfejlesztés lehetőségei

A kutatómunka disszertációban bemutatott eredményei a rotációs esztergálás további vizsgálatára és ipari célokra is alkalmas. A kutatómunka hasznosítási lehetőségei közül kiemelem, hogy az elért eredmények lehetővé teszik rotációs esztergálásnál a megmunkált felület elméleti érdességi értékeinek, a forgácskeresztmetszet geometriai jellemzőinek, a gépi főidő, anyagleválasztási ráta és felületképzési sebesség pontos meghatározását. Az eljáráshoz kapcsolódó szakirodalmi ismeretek az alkalmazott egyszerűsítések miatt nem tették lehetővé a szerszámgyártás és a technológiai feltételek olyan fejlesztését, amely alapján a rotációs esztergálás nyújtotta előnyök kihasználhatóak, illetve a létrehozott megoldások további hatékonyságnövelése biztosítható lett volna. A kidolgozott összefüggések lehetővé teszik a szerszámgeometria fejlesztését és optimális kialakítását. Az értekezésben bemutatott elemzések alapján az egyes paraméterek változtatásának komplex hatása határozható meg.

A közölt megoldásokkal és vizsgálati eredményekkel bizonyítottam, hogy tengelyszerű alkatrészek megmunkálásának hatékonysága növelhető a passzív erő csökkentésével elérhető (geometriai) pontosság javításával, továbbá a növelt előtolással is biztosítható kedvező érdességi értékek létrehozása. Az eljárás nehezen megmunkálható anyagok megmunkálására is javasolható.

A disszertációm eredményei több irányban is továbbfejleszthetőek. A matematikai modellt továbbfejlesztve alkalmassá tehető kúpos- és homloklapfelületek rotációs esztergálással való megmunkálásának vizsgálatára, továbbá a forgácsleválasztás folyamatát meghatározó jellemzők elemzésére.

---

## 4 AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

- [S1] I. Sztankovics, “Rotational Turning in Precision Finishing,” *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, vol. 39, no. 2, pp. 309–312, 2011.
- [S2] I. Sztankovics and J. Kunderák, “Mathematical Model of Machined Surfaces in Rotational Turning and Skiving,” in *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tools, ICT 2012*, Miskolc, 27-28 March, 2012, J. Kunderák, Gy. Varga, I. Deszpoth, Eds. Miskolc: Bíbor Press, 2012, pp. 83–88.
- [S3] I. Sztankovics and J. Kunderák, “Experimental Investigation on Machined Surface of Aluminium Alloy During Skiving,” in *Proceedings of the XXVI. microCAD International Scientific Conference, microCAD 2012*, Miskolc, 29-30 March, 2012., P. Bikfalvi Ed. Miskolc: Miskolci Egyetem, 2012. L section: Production Engineering and Manufacturing Systems, paper 23
- [S4] I. Sztankovics and J. Kunderák, “Mathematical Description of Machining External Cylindrical Surface in Case of Rotational Turning,” *Rezanie I Instrumenty V Tekhnologicheskikh Sistemah*, vol. 82, pp. 264–269, 2012.
- [S5] J. Kunderák, K. Gyáni, I. Deszpoth, and I. Sztankovics, “Material Removal Characteristics in Rotational and Tangential Turning,” *Rezanie I Instrumenty V Tekhnologicheskikh Sistemah*, vol. 82, pp. 109–116, 2012.
- [S6] J. Kunderák, K. Gyáni, I. Deszpoth, and I. Sztankovics, “Technology planning of hard turning in case of rotational feed,” in *Proceedings of the International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2012*, Rijeka, 26-28. September, 2012, Z. Car, J. Kudláček, T. Pepelnjak, Eds. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2012, pp. 295–299.
- [S7] I. Sztankovics and J. Kunderák, “Maximális érdesség vizsgálata rotációs előtolású esztergálással megmunkált külső hengeres felületen,” *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, vol. 2, no. 1, pp. 135–146, 2012.
- [S8] I. Sztankovics and J. Kunderák, “Theoretical Value of Total Height of Profile in Rotational Turning,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 309, pp. 154–161, 2013.
- [S9] I. Sztankovics, “Az átlagos érdesség elméleti értéke rotációs esztergálás esetén,” in *Proceedings of the Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XVIII., FMTÜ XVIII.*, 21-23 March, 2013, E. Bitay, Ed. Kolozsvár: EME Kiadó, 2013, pp. 391–394.
- [S10] J. Kunderák, K. Gyáni, I. Deszpoth, and I. Sztankovics, “Some Topics in Process Planning of Rotational Turning,” *Engineering Review*, vol. 34, no. 1, pp. 23–32, 2014.
- [S11] J. Kunderák, I. Sztankovics, and I. Deszpoth, “Chip Removal Characteristics in Rotational Turning and the Effect of the Tool Diameter Alteration,” *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 26–29, 2013.

- [S12] I. Sztankovics and J. Kundrák, “Determination of the Chip Width and the Undeformed Chip Thickness in Rotational Turning,” *Key Engineering Materials*, vol. 581, pp. 131–136, 2014.
- [S13] I. Sztankovics and J. Kundrák, “Some Characteristic Parameters of The Run-In Phase in Rotational Turning and Their Determination,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 474, pp. 405–410, 2014.
- [S14] I. Sztankovics and J. Kundrák, “Effect of the Inclination Angle on the Defining Parameters of Chip Removal in Rotational Turning,” *Manufacturing Technology*, vol. 14, no. 1, pp. 97–104, 2014.
- [S15] J. Kundrák, I. Sztankovics, and K. Gyáni, “Analysis of the Theoretical Values of Several Characteristic Parameters of Surface Topography in Rotational Turning,” *World Academy of Science Engineering and Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 907–912, 2014.
- [S16] I. Sztankovics and J. Kundrák, “The Characteristic Parameters of the Twist Structure on Cylindrical Surfaces Machined by Turning Procedures,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 693, pp. 418–423, 2014.
- [S17] I. Sztankovics and J. Kundrák, “Surface Rate and Material Removal Rate in Rotational Turning,” in *Development in Machining Technology* vol.5, Cracow: Cracow University of Technology, 2015, pp. 50–61.
- [S18] I. Sztankovics and J. Kundrák, “A forgácsleválasztás sajátosságai rotációs esztergálás esetén,” in *Publications of the MultiScience - XXIX. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference Miskolc*, 9-10 April, 2015, T. Kékesi Ed. Miskolc: Miskolci Egyetem, 2015. D1 section: Innovative mechanical engineering Technologies, paper 8
- [S19] J. Kundrák and I. Sztankovics, “Surface Roughness in Machining with Single Defined Edged Rotating Cutting Tool,” in *Development in Machining Technology*, vol. 6., Cracow: Cracow University of Technology, 2016, pp. 19-28.
- [S20] I. Sztankovics and J. Kundrák, “A forgácsoló erő változása az előtolás függvényében rotációs esztergálásnál,” *GÉP*, vol. 61, no. 1, pp. 43–46, 2020.
- [S21] I. Sztankovics, “Components of the Cutting Force and Their Specific Values at Different Feeds in Rotational Turning,” *Rezanie I Instrumenty V Tekhnologicheskikh Sistemah*, vol. 93, no. 1, pp. 88–94, 2020.
- [S22] I. Sztankovics, “A forgácsolt felület analitikus meghatározása rotációs esztergálásnál,” *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, vol. 11, no. 4, pp. 102–110, 2021.



---

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] N. Kummer, „Method and device for machining rotationally symmetrical surfaces of a workpiece”. Szabadalom száma: DE102004026675C5, 2004.
- [2] J.G. WEISSER SÖHNE GmbH & Co. KG, „Rotational Turning,” [Online]. Available: <https://www.weisser-web.com/en/technology/rotational-turning/>. [Hozzáférés dátuma: 10 03 2021].
- [3] M. T. & Engineering, “MAS innovations,” [Online]. Available: <https://www.mas-tools.de/en/mas-innovationen.html#rotationsdrehenwellen>. [Accessed 10 03 2021].
- [4] F. Klocke, T. Bergs, F. Degen and P. Ganser, “Presentation of a novel cutting technology for precision machining of hardened, rotationally symmetric parts,” *Production Engineering*, vol. 7, no. 2-3, pp. 177-184, 2013.
- [5] N. Kummer and B. VOGT, “Drallfreies Drehen ersetzt aufwändige Schleifprozesse,” *IDR*, vol. 38, no. IV, pp. 332-335, 2004.
- [6] R. Neugebauer, R. Wertheim and C. Harzbecker, “Energy and Resources Efficiency in the Metal Cutting Industry,” in *Seliger G., Khraisheh M., Jawahir I. (eds) Advances in Sustainable Manufacturing*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, p. 249–259.
- [7] M. C. Shaw, *Metal Cutting Principles - Oxford Series on Advanced Manufacturing*, New York (USA): Oxford University Press, 2005.
- [8] W. R. DeVries, *Analysis of Material Removal Processes*, New York: Springer-Verlag, 1992.
- [9] J. Kunderák, K. Gyáni and I. Deszpoth, “Precision Hard Turning of External Cylindrical Surfaces by Rotation Procedure,” *Cutting & Tool in Technological Systems*, vol. 77, pp. 108-117, 2011.
- [10] J. Kunderák, K. Gyáni, I. Deszpoth and S. Szabó, “Hard turning with rotational feed procedure,” in *Development in Machining Technology - Scientific Research Report, Vol. 2*, Cracow, Cracow University of Technology, 2012, pp. 42-49.
- [11] F. Degen, F. Klocke, T. Bergs and P. Ganser, “Comparison of rotational turning and hard turning regarding surface generation,” *Production Engineering*, vol. 8, pp. 309-317, 2014.
- [12] M. Šajgalík, A. Martikáň, A. Czán, J. Pilc, J. Holubják and J. Mrázik, “Computing of the Theoretical Value of Roughness Parameter Rz when Turning with Helical Cutting Edge,” *Technological Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 9-10, 2016.
- [13] P. Martikáň, A. Czán, J. Holubják, D. Varga, J. Martinček and T. Czánová, “Verification

- of New Method of Determining the Roughness Parameters for Rotational Turning with Non-linear Cutting Edge,” *Procedia Engineering*, vol. 192, pp. 563-568, 2017.
- [14] J. Mrázik, P. Martikáš, A. Czán, J. Holubják, D. Varga, J. Martinček and T. Czánová, “Verification of New Computing Method for Determining of the Roughness Parameters for Rotational Turning with Non-Linear Cutting Edge,” *Technological Engineering*, vol. 13, pp. 44-46, 2017.
- [15] F. Litvin, *A fogaskerékkapcsolás elmélete*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1972.
- [16] B. A. Perepelica, *Otobračenija affinnogo prostranstva v teorii formoobrazovanija poverchnostej rezaniem*, Harkov: Višča škola, 1981.
- [17] B. A. Perepelica, *Osznovü Teoriji proektyiroványija rézsusih insztrumentov*, Harkov, 1974, p. 55.
- [18] K. Vasilko, “Kinematics analysis of the movement of cutting tool against the workpiece and creation of new schemes , pp.,” *Manufacturing and industrial engineering*, vol. 1, pp. 8-15, 2010.
- [19] B. A. Perepelica and J. Kunderák, “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. Kunderák, Eds.*, Miskolc, University of Miskolc, 1994, pp. 95-98.
- [20] L. Szeniczai, *Csigahajtoművek*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1957.
- [21] J. Tajnafői, *Szerszámgépek mozgásleképező tulajdonságainak elvei és néhány alkalmazása*, Kandidátusi értekezés, Miskolc, 1965.
- [22] I. Lévai, *Kitérő tengelyek közt változó mozgásátvitelt megvalósító – egyenesélű szerszámmal lefejthető – fogazott kerek*, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1966.
- [23] J. Drobni, *Köszörülhető globoid csigahajtások*, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1968.
- [24] I. Drahos, *A kinematikai gyártásgeometria alapjai (Akadémiai doktori értekezés)*, Budapest, 1987.
- [25] T. Bercsey, *Globoid csiga és sík fogfelületű hengeres kerék kapcsolódási viszonyainak*, Egyetemi doktori értekezés, Budapest, 1971.
- [26] T. Bercsey, *Toroidhajtások elmélete*, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977.
- [27] I. Dudás, *Ívelt profilú csigahajtások szerszámozásának és gyártásának fejlesztése*, Kandidátusi értekezés, Miskolc, 1980.
- [28] I. Dudás, *Csavarfelületek gyártásának elmélete*, Akadémiai doktori disszertáció, Miskolc, 1991.
- [29] I. Dudás, *The theory and practice of worm gear drives*, Butterworth-Heinemann, 2005.
- [30] Z. Balajti, *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, Ph.D. disszertáció (p. 170), Miskolc: Miskolci Egyetem, 2007.
- [31] Z. Balajti and I. Dudás, “The Monge theorem and its application in engineering

- 
- practice,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 91, p. 739–749, 2017.
- [32] Sandvik Coromant, „R390-016A16L-11L CoroMill® 390 derékszögű marószerszám,” [Online]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/>. [Hozzáférés dátuma: 16 február 2021].
- [33] Sandvik Coromant, „R390-032EH25-17M,” CoroMill® 390 sarokmaró szerszám, [Online]. Available: [https://www.sandvik.coromant.com](https://www.sandvik.coromant.com/). [Hozzáférés dátuma: 17 február 2021].
- [34] Fraisa, “P5300 Hengeres maró,” [Online]. Available: <http://www.fraisadirect.com>. [Accessed 16 február 2021].
- [35] Sandvik Coromant, „1P341-1600-XB CoroMill® Plura tömör keményfém szármaró,” [Online]. Available: [https://www.sandvik.coromant.com](https://www.sandvik.coromant.com/). [Hozzáférés dátuma: 16 február 2021].
- [36] Sandvik Coromant, „R215.38-20050-AC38L 1620 CoroMill® Plura tömör keményfém szármaró,” [Online]. Available: [https://www.sandvik.coromant.com](https://www.sandvik.coromant.com/). [Hozzáférés dátuma: 16 február 2021].
- [37] Sandvik Coromant, “DCLNL 2525M 12 T-Max® P száras szerszám esztergáláshoz,” [Online]. Available: [https://www.sandvik.coromant.com](https://www.sandvik.coromant.com/). [Accessed 16 február 2021].
- [38] ISO4288:1996, *Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture*, 1996.