



ACÉL FELÜLET MIKROTOPOGRÁFIAI VÁLTOZÁSA ABRÁZIÓS KOPÁS  
KEZDETI SZAKASZÁN

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Barányi István

Gödöllő  
2017

A doktori iskola  
megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

Tudományága: Agrárműszaki tudományok

Vezetője: Prof. Dr. Farkas István  
egyetemi tanár, DSc  
SZIE, Gépészmérnöki Kar

Témavezető: Dr. Kalácska Gábor  
Egyetemi tanár, DSc  
SZIE, Gépészmérnöki Kar  
Gépipari Technológiai Intézet

Társ-témavezető: Dr. Czifra Árpád  
egyetemi docens, PhD  
OE, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki  
Kar  
Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet

.....  
az iskolavezető jóváhagyása

.....  
a témavezető jóváhagyása

## TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK .....	4
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	5
<b>2.1. A csonkoló algoritmus.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. A próbadarabok és a koptatási kísérlet.....</b>	<b>7</b>
3. EREDMÉNYEK.....	9
<b>3.1. A szimulációs modell eredményei .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Az érdekességmérés kiértékelése .....</b>	<b>10</b>
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	13
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	15
6. ÖSSZEFOGLALÁS .....	16
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖREIHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK.....	17

## 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Gépek, gépegységek méretezésekor fő szempont, hogy – üzemszerű működést feltételezve – az elvárt élettartamig megbízhatóan működjenek. A tradicionális méretezési eljárásokat tekintve elmondhatjuk, hogy az anyagjellemző-terhelés-geometria egymáshoz képesti kapcsolatát határozzuk meg:

- adott anyagjellemzők és terhelés segítségével geometriát,
- adott anyagjellemzők és geometria segítségével a megengedhető terhelést,
- adott terhelés és geometria segítségével minimális szükséges anyagjellemzőket.

A fentebb említett tervezési folyamatokon kívül a részlettervezéskor a megfelelő élettartam elérésének érdekében a tribológiai folyamatok vizsgálata is szükséges.

Az utóbbi években a műszaki felületek érdességi paramétereinek függvény alapú leírására számos modellt találunk. Az alkatrészek érdességi jellemzői viszont a kopási folyamat kezdeti szakaszában folyamatosan változnak, így módosítják például a valós érintkezési zónát, a hőátadást és a kenőanyag megtartó képességet is. A folyamatosan változó érdességi paraméterek valós idejű jellemzéséhez a kutatók vagy szimulációs modelleket dolgoznak ki, vagy pedig szakaszos tribológiai kísérletek segítségével kétdimenziós érdességi paraméterek, vonalmenti anyagösszetétel vizsgálatok, mikrokeménység értékek és elektronmikroszkópos képek segítségével jellemzik a folyamatot az állandósult kopás szakaszáig.

Az utóbbi 10 évben megfigyelhető, hogy az érdességméréssel és kiértékeléssel foglalkozó kutatók széleskörűen alkalmazzák a háromdimenziós érdességmérést a felületek részletesebb kiértékeléséhez. Ez a rendszer természetesen nem ad olyan széles körű és részletes jellemzést egy kopási formáról, mint a fentebb említett tribológiai vizsgálatok, viszont lehetőséget nyújt arra vonatkozóan, hogy az egyes kopási formák és a mikrotopográfia változását vizsgálni tudjuk.

*A fentiek figyelembevételével kutatómunkám céljai az alábbiakban összegezhetők:*

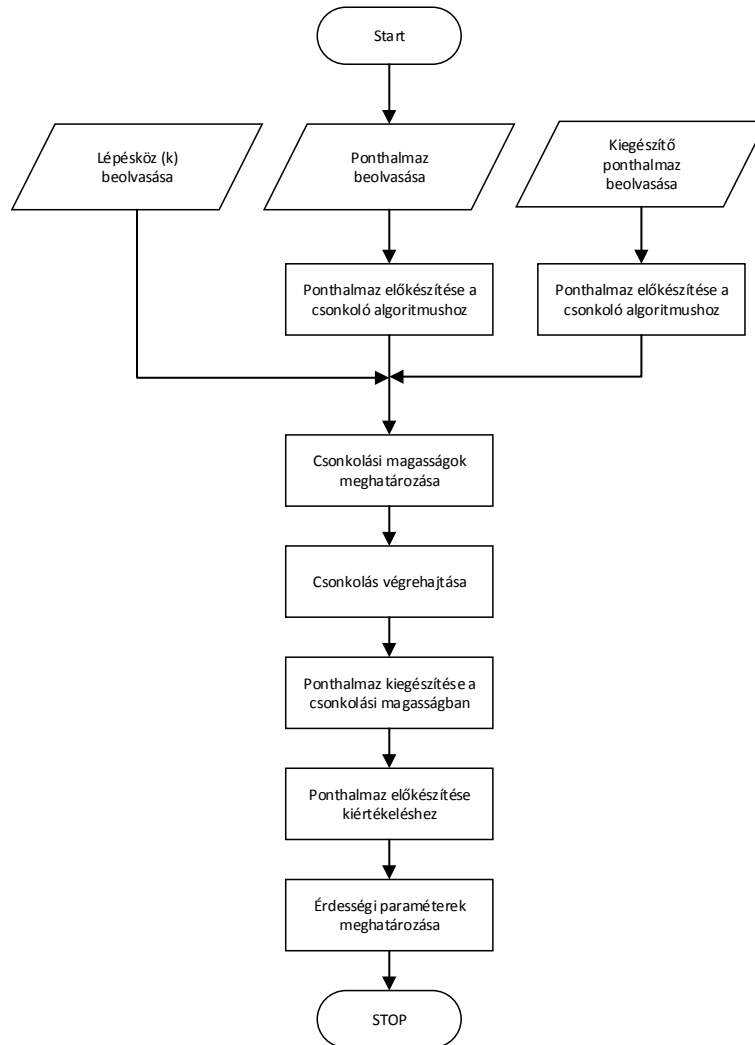
1. Egy olyan csonkoló algoritmus fejlesztése, mely abrúziós kopási folyamatnál a csúcshónában található karcokat is figyelembe veszi a kopás kezdeti szakaszán.
2. A profil és a mikrotopográfiai mérés technika összehasonlítása abrúziósan koptatott felületek esetén.
3. A csonkoló algoritmus segítségével a csúcshóna változások leírása érdességi paraméterek segítségével.
3. Koptatási kísérletek végzése a csonkoló algoritmus validálásaként.
4. Olyan érdességi paraméter vagy paraméterek keresése, melyek előre jelzik a kopás kezdeti szakaszának a végét.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben a kutatási céljaim megvalósításához használt csonkoló algoritmust és a kísérlettervet mutatom be.

### 2.1. A csonkoló algoritmus

A csonkoló algoritmus mikrotopográfiaik esetében lehetőséget nyújt arra vonatkozóan, hogy a csúcszóna folyamatos megsemmisülését vizsgáljuk érdeességi paraméterek segítségével.



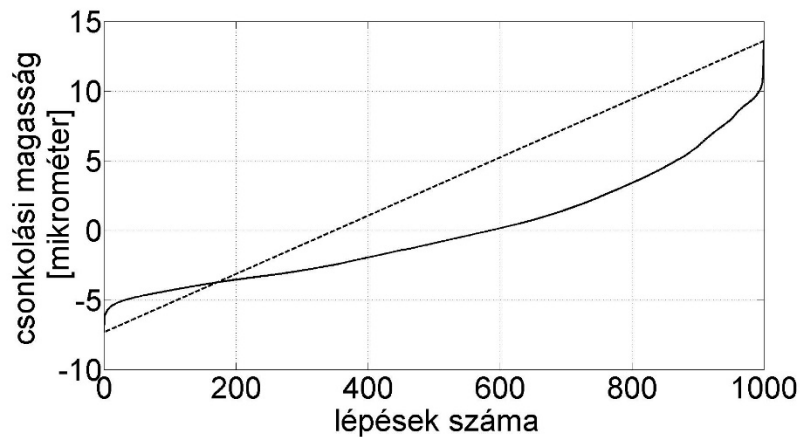
1.ábra A csonkoló algoritmus folyamatábrája

Az általam kifejlesztett algoritmus (1. ábra) a gyártott felület beolvasása után meghatározza a mikrotopográfia teljes megsemmisítéséhez szükséges eltávolítandó anyagtérfogatot, majd a csonkolási magasságokat.

Az vizsgálat részletességét befolyásoló csonkolási magasságok meghatározását két-féleképpen végeztem el (2. ábra):

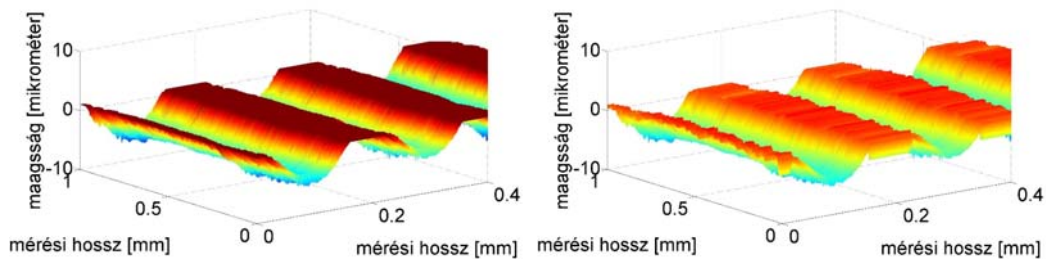
- lineáris osztással,
- az Abbott – Firestone görbe segítségével.

A második módszer segítségével egy olyan csonkolást lehet megvalósítani, melynél a gyakorlati tapasztalatoknak megfelelően az eltávolított anyagtérfogat minden egyes lépésben állandó értékű.



2.ábra A kapcsolat a csonkolási magasság és a lépésszám között lineáris magassági osztás és állandó térfogattávolítás esetén

Az eltávolított pontok a mikrotopográfiában szakadásokat okoznak. Ezek a szakadásokat egyrészt egy magasság normálisú síkkal, másrészt pedig abráziósan teljesen megsemmisített mikrotopográfiai pontokkal helyettesíthetők (3. ábra).



3. ábra Mikrotopográfia foltozása síkkal és másik mikrotopográfiaiával

A síkkal történő normálás esetén az algoritmus eredményei a valóságos folyamatot nem jellemzik megfelelően, mivel a kopás kezdeti szakaszának végén az  $S_a$  és  $S_q$  paraméterek 0 mikrométer értékhez, az  $S_{ku}$  és  $S_{sk}$  abszolútértéke pedig végtelenhez tart.

A mérési eredményekből így generált „virtuális” mikrotopográfiákat ezután minkét irányban első fokú polinommal szűrtem, hogy leválasszam az alakhibát leíró jelre-  
szeket és megtartsam a mérések hullámossági és érdességi jellemzőit.

Az algoritmus eredményeit ezek után a gyakorlatban elterjedten alkalmazott Sa, Sq, Ssk, Sku paraméterek segítségével értékeltem ki a megsemmisített térfogathányad függvényében az (1), (2), (3), (4), egyenletek segítségével.

$$Sa = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N |z(x, y)| \quad (1)$$

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N (z(x, y))^2} \quad (2)$$

$$Ssk = \frac{1}{MNS_q^3} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N (z(x, y))^3 \quad (3)$$

$$Sku = \frac{1}{MNS_q^4} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N (z(x, y))^4 \quad (4)$$

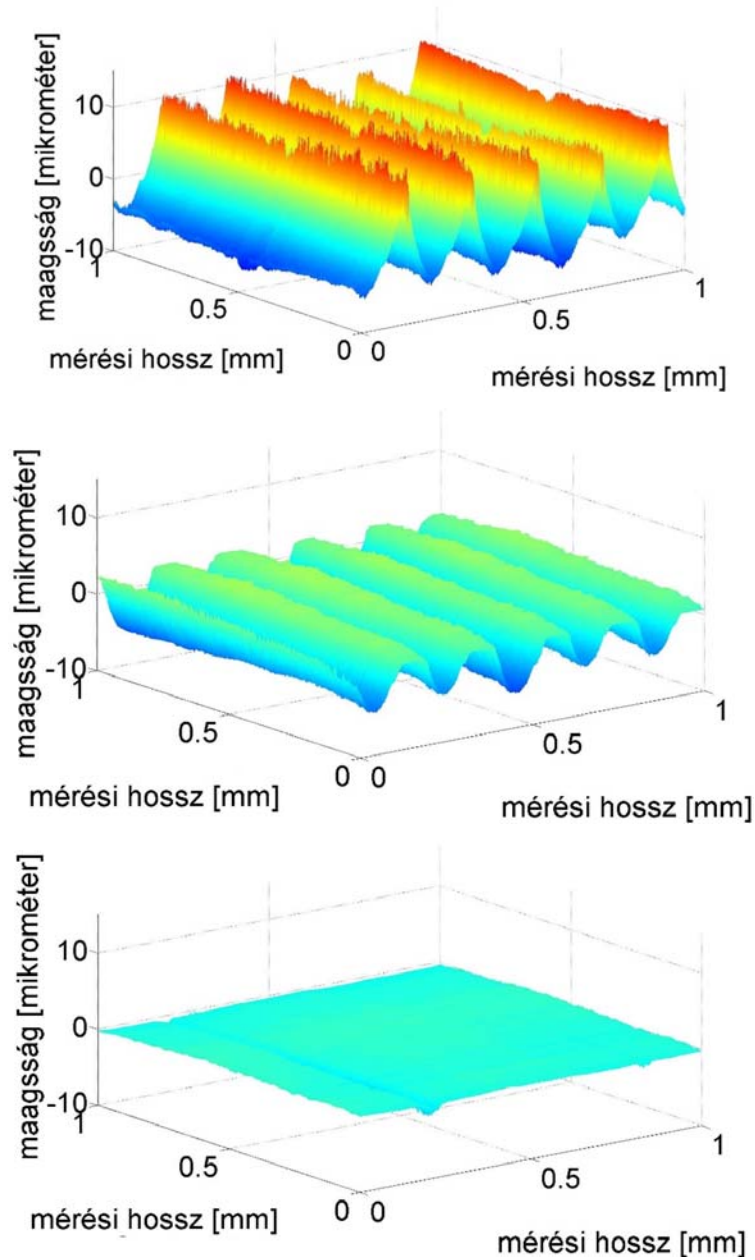
## 2.2. A próbadarabok és a koptatási kísérlet

A vizsgálatok során – melynél a kopás kezdeti szakaszát többszempon-túan leírtam – 1.0503 acél próbatesteket (szállító: BÖHLER-UDDEHOLM Hungary Kft.) használtam normalizált hőkezelési állapotban. A felület megmunkálásakor ütökéses (fordulatszám:400 ford/perc, előtolás 0.2 mm/fordulat, lapka azonosító DCMT 070202-HMP, beszállító: Kolroy Inc.) technológiát alkalmaztam. A gyártott felület általános érdessége átlagosan Sa=3,2 mikrométer, az eltérések mértani átlaga Sq=4 mikrométer volt. A pontok függőleges tengely irányában történő eloszlását jellemző ferdeségi és lapultsági paraméterek átlagos értékei Ssk=0,739 és Sku = 2,72 voltak.

A gyártott tribológiai próbatesteket ezután pin-on-plate elrendezésben, 150 mm-es hosszón, 25 mm/s sebesség mellett, 30 mm x 30 mm-es kontakt felület esetében első lépésben megsemmisítettem 600 N normálerő mellett 1200-as finomságú csiszolóvászonnal (típus: CK721X, beszerzés: Fk-Technika Kft.) a mikrotopográfia orientációjára merőlegesen. A folyamat végét a gyártáskor kialakult hullámossági völgyekben található érdességi völgyek teljes megsemmisülése definiálta 10800 mm-es koptatási úthossznál. A kísérletek második felében a felületeket összeszorító erőt 200 N és 600 N között változtattam 100 N-os, a koptatási utat 600 mm-es lépésközben növeltük 4800 mm-ig, majd 1200 mm-es lépésközben 10800mm-ig 25 mm/s koptatási sebesség mellett.

A próbatestek felületi mikrotopográfiáját minden kísérlet után megmértem Mahr metszetaipintós érdességmérővel. Méréskor FRW750-es tapintót alkalmaztam, melynek a csúcshögt. 90°, a lekerekítési sugara 5 mikrométer volt. A mérést

1mmx1mm-es felületen végeztem mindkét irányban 2 mikrométeres lépésközzel. A kapott eredményeket szűrés nélkül vettem figyelembe a további kiértékelés során (4. ábra).



4. ábra A felületi mikrotopográfia három különböző állapotban: a., gyártott b., 200N erővel 4800 mm-en koptatva c., 600N erővel 10800 mm-en koptatva

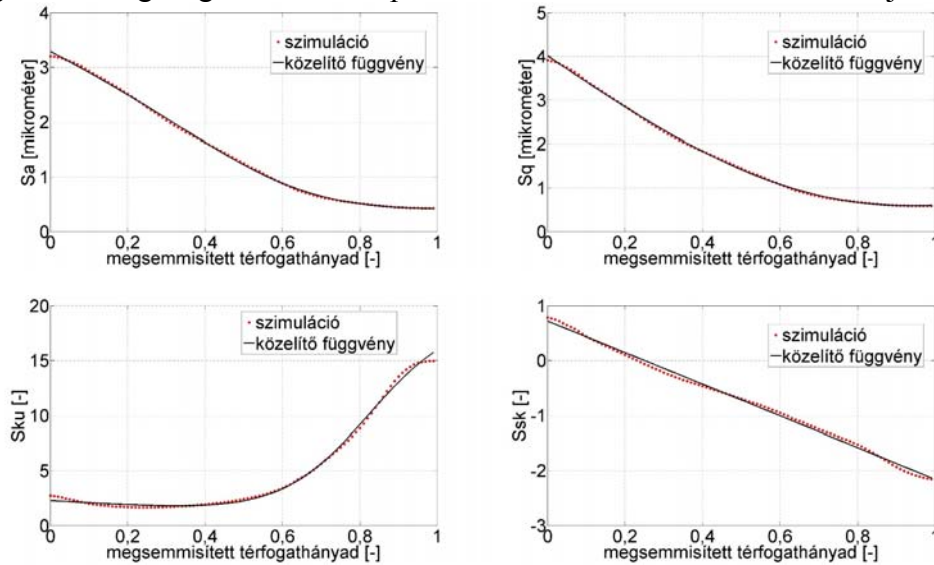


### 3. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben a csonkoló algoritmus és a kísérletterv eredményeit mutatom be és meghatározom az érdekes paraméterek változását logisztikus függvény segítségével.

#### 3.1. A szimulációs modell eredményei

A szimulációs modell használatkor a mikrotopográfiát magasság irányban 100 olyan részre osztottam, melynél az eltávolított anyagmennyiség térfogata állandó. Az algoritmus segítségével definiált paraméterek változását az 5. ábra mutatja be.



5. ábra Az Sa, Sq, Sku, Ssk paraméterek változása a megsemmisített térfogathányad függvényében

A kapott eredmények matematikai leírásához módosított logisztikus függvényt alkalmaztam az (5) alakban. A függvényközelítések eredményeit és a variancia értékét az 1. táblázat foglalja össze:

$$f = \frac{ax + b}{1 + e^{cx+d}} + g \quad (5)$$

1. táblázat A függvény együtthatói

	a	b	c	d	g	R <sup>2</sup>
Sa [μm]	-3.271	2.954	5.827	-3.273	0.444	0.9995
Sq [μm]	-6.086	2.176	2.875	-2.321	2.031	0.9995
Sku [-]	-2.137	-16.88	8.75	-7.144	19.14	0.9973
Ssk [-]	-6.58	-1.204	-0.011	0.2644	1.24	0.9962

### 3.2. Az érdességmérés kiértékelése

Az eredmények validálásának érdekében teljes faktoros kísérletsorozatot végeztem. A kísérleteknél arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a csonkoló algoritmus megfelelően közelíti-e a modellkísérletek által szolgáltatott eredményt. Az eredmények összehasonlításához három dimenzióba terjesztettem ki a módosított logisztikus függvényt a (6) alakban:

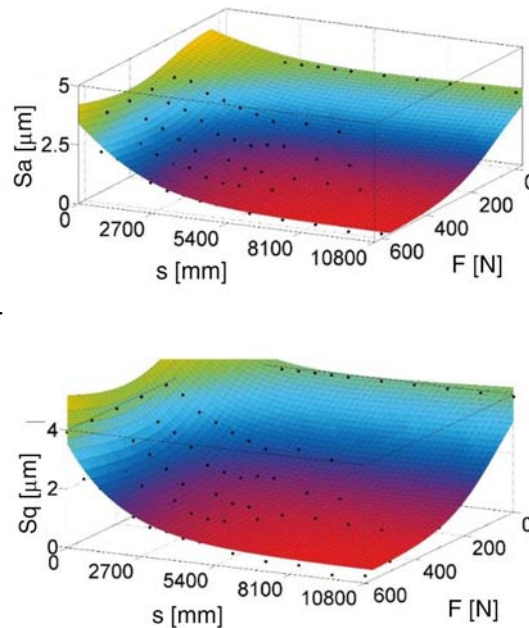
$$f(x, y) = \frac{(ax + b)}{1 + e^{(cy+d)}} + \frac{(hy + k)}{1 + e^{(lx+m)}} + n \quad (6)$$

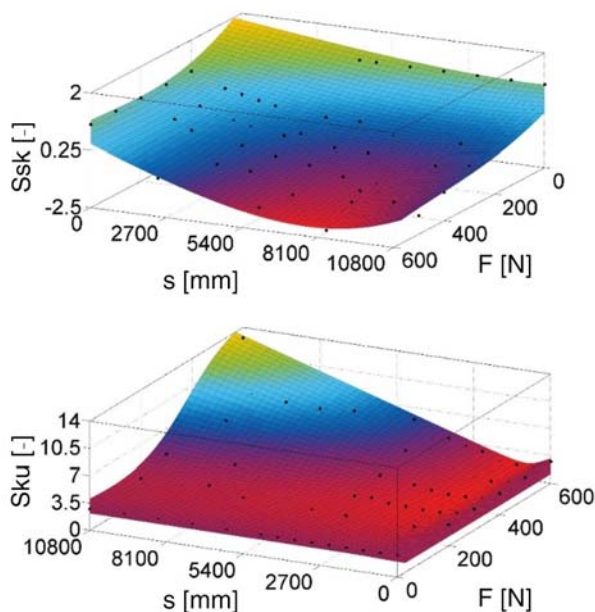
Az egyenlet alakja az erő, út, érdességi paraméterben a (7) egyenlet szerint használtam függvényközelítéskor:

$$S = \frac{\left(\frac{a \cdot F}{1000} + b\right)}{1 + e^{\left(\frac{c \cdot s}{1000} + d\right)}} + \frac{\left(\frac{h \cdot s}{1000} + k\right)}{1 + e^{\left(\frac{l \cdot F}{1000} + m\right)}} + const \quad (7)$$

Az egyenletbe, ha az erő (F) értéke [N]-ban, az út (s) [mm]-ben kerül behelyettesítésre, akkor az amplitúdótól függő érdességi paraméterek mértékegysége mikrométer, a statisztikai paraméterek pedig dimenzió nélküliek. A (8) egyenlet konstans értéke a függvényközelítéskor alkalmazott függőleges tengely irányú eltolást definiálja, értéke a teljesen megsemmisült mikrotopográfia értékével megegyező.

A mérési eredmények függvényközelítését a 6. ábra, az egyes paraméterek értékeit a 2. táblázat foglalja össze.



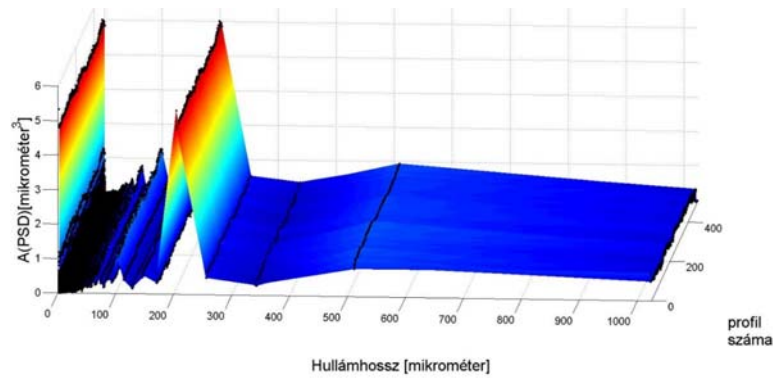


6. ábra Az Sa, Sq, Sku, Ssk paraméterek változása

2. táblázat A kísérlettervből meghatározott logisztikus függvény együtthatók

	a [ $\mu\text{m}/\text{N}$ ]	b [ $\mu\text{m}$ ]	c [ $1/\text{mm}$ ]	d [-]	h [ $\mu\text{m}/\text{mm}$ ]
Sa [ $\mu\text{m}$ ]	7,375	2,601	0,6106	0,3725	0,03795
Sq [ $\mu\text{m}$ ]	72,5	31,81	0,5326	3,044	0,06937
	a[1/N]	b [-]	c[1/mm]	d [-]	h [1/mm]
Ssk [-]	-19,42	-3,657	0,3096	-4,58	-0,7837
Sku [-]	-6,063	-0,0491	-3,14	1,418	1,286
	k [ $\mu\text{m}$ ]	l [1/N]	m [-]	const [ $\mu\text{m}$ ]	R <sup>2</sup>
Sa [ $\mu\text{m}$ ]	2,875	10,02	-1,516	0,4294	0,9397
Sq [ $\mu\text{m}$ ]	3,524	10,01	-1,224	0,5928	0,9465
	k [-]	l [1/N]	m [-]	const [-]	R <sup>2</sup>
Ssk [-]	27,58	-2,853	1,359	-0,715	0,852
Sku [-]	0,8471	-10,8	4,791	2,7376	0,9398

Munkám során a vonalmenti spektrum analízist úgy terjesztettem ki három dimenzióra, hogy az orientált mikrotopográfiát előtolás irányra merőlegesen profilokra bontottam és így készítettem el minden profilnak a spektrum függvényét, majd ezeket a függvényeket profilonként rendezve „felületet” építettem belőle. Az eljárás eredményét a kísérletterv megvalósításakor használt mikrotopográfiára a 7. ábra mutatja be (a további jelfeldolgozás könnyítése miatt az amplitúdókat ábrázolásakor a hullámhosszra merőleges síkra vetítettem).

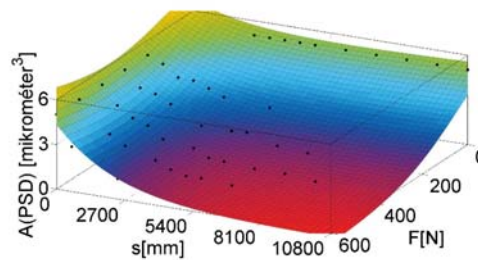


7. ábra A profilok hullámhosszösszetevői

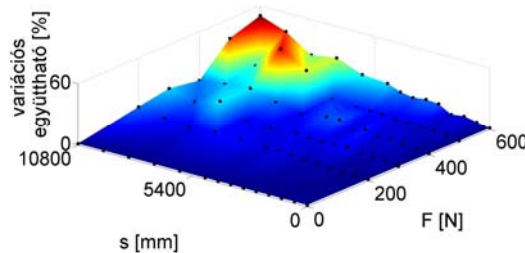
A 7. ábrán láthatjuk, hogy a profilok egy domináns hullámhosszal rendelkeznek 204 mikronos hullámhossznál (az ütökéses megmunkálásnál a fogankénti előtolás 200 mikrométer volt).

Az ábrán a kisebb hullámhosszúságú jelek az érdeességi jellemzőket, a nagyobb hullámhosszúságúak pedig a hullámossági jellemzőket tartalmazzák. Az ábra alapján megfigyelhetjük, hogy a kisebb hullámhosszaknál több a mintavételezési hullámhossz, így esetünkben az domináns hullámhossz és a kisebb hullámhosszúságú összetevők jellemzésére nyílik lehetőségünk. A nagyobb hullámhosszaknál a Shannon mintavételezési törvény miatt nem tudunk konkrét és pontos információkat megfogalmazni. Esetünkben, például hogyha van egy 800 mikrométeres jelösszetevőnk, akkor azt más hullámhosszak kompozíciójaként definiálja a PSD analízis.

Az előtoláshoz tartozó hullámhosszak amplitúdójának a koptató kísérlet közbeni változását és variációs együtthatóit foglalják össze a 8. és 9. ábrák.



8. ábra Az PSD amplitúdók változása



9. ábra Az PSD variációs együtthatóinak változása koptatási úthossz és az erő függvényében

## 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. *A szimulációs algoritmus eredményei abráziósan koptatott mikrotopográfiával történő foltozás esetén*

Szimulációs modellt dolgoztam ki, mely lehetővé teszi tetszőleges sík megmunkálású felület mikrotopográfiai változásának vizsgálatát abráziós körülmények között a kopás kezdeti szakaszában. Az algoritmus az azonos méretű és lépésközü megmunkált és kopott mikrotopográfia, valamint a lépésszám segítségével – lépésenként állandó térfogateltávolítást alkalmazva – kapcsolatot teremt a csonkoláskor eltávolított anyagmennyiség és az érdességi paraméterek között, figyelembe véve a csúcsonában található abráziós karcok befolyásoló hatását.

2. *A profil és a mikrotopográfiai mérési technika alkalmazhatóságának vizsgálata abráziósan koptatott felületek esetén*

Abráziósan koptatott felületek esetében profilmérésekkel és mikrotopográfiai mérésekkel igazoltam, hogy az alkalmazott abráziós szemcseszervezet (600-as, 800-as és 1200-as finomságú csiszolóvászson) és az érdességmérési technológia (profil vagy mikrotopográfiai mérés) befolyásolja az általam használt felületi minőséget leíró paraméterek variációs együtthatójának értékét.

Méréseimmel megállapítottam, hogy az amplitúdótól függő paraméterek közül az átlagos egyenetlenség és az eltérések mértani átlaga paraméterek kisebb variációs együtthatóval rendelkeznek, mint a ferdeségi és lapultsági paraméterek, valamint a mikrotopográfiai mérés erősebb korrelációval jellemzi a kiválasztott paraméterek segítségével a kopási folyamatot, mint a vonal menti érdességmérési technológia.

3. *A kísérletterv érdességi paraméter alapú kiértékelése*

Módosított logisztikus függvény segítségével definiáltam az amplitúdó függő érdességi paraméterek kapcsolatát a normálerővel és a koptatási úthosszal, adott mérési körülmények között ( $F=0$  N-600 N,  $s=0$  mm-10800 mm, száraz súrlódás esetén 1200-as finomságú csiszolóvászson) az abráziós kopás kezdeti szakaszában.

$$S = \frac{\left(\frac{a \cdot F}{1000} + b\right)}{1 + e^{\left(\frac{c \cdot s}{1000} + d\right)}} + \frac{\left(\frac{h \cdot s}{1000} + k\right)}{1 + e^{\left(\frac{l \cdot F}{1000} + m\right)}} + \text{const}.$$

Az abráziós koptatási modellrendszerben, a teljes faktoros kísérlettervnek megfelelően meghatároztam a 9 paraméteres függvény dimenziós együtthatóit az  $S_a$ ,  $S_q$ ,  $S_{sk}$ ,  $S_{ku}$  érdességi jelzőszámokhoz.

4. *A kísérletterv és a szimulációs algoritmus kiértékelése a lapultsági mérőszám segítségével*

A kifejlesztett csonkoló algoritmus segítségével és a méréseimkor alkalmazott kísérlettervben kimutattam – állandó normálerő, csúszási sebesség és abrázíós szemcse-szerkezet esetén – az  $Sku$  paraméter nagyságrendi megváltozása a felület eredeti mikrotopográfiájának megsemmisülését jelzi. A kopás kezdeti szakaszának végén az abrázíós karcok dominanciája a csúcshólyag egyre szélesedő platós jellege miatt nő, melyet a topográfiai pontok magasság-eloszlási hegyességének változását vonja maga után.

5. *A kísérletterv kiértékelése hullámhossz térbe történő transzformációval*

Méréseimmel igazoltam, hogy az előtoláshoz tartozó hullámhossz amplitúdók időfüggvénye számszerűsítve jellemzi az abrázíós kopási folyamat dinamikáját. A vizsgált kísérlettervben megállapítottam, hogy az erő és a koptatási úthossz növekedésével az előtoláshoz tartozó amplitúdó értéke nullához tart, az amplitúdók variációs együtthatója a mikrotopográfia megsemmisülését nagyságrendi növekedésével előre jelzi.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Kutatásom során az abráziós kopás kezdeti szakaszának többszemponútú leírásával foglalkoztam algoritmus és modellkísérletek segítségével száraz súrlódás esetén. A kopási diagram e szakasza összetett fizikai folyamat, melynek csak a kutatási célokban meghatározott részét vizsgáltam. Munkám során a létrehozott csonkoló algoritmus és a modellkísérletek eredménye alkalmas arra, hogy érdességmérési szempontból jellemezhető legyen a kopás kezdeti szakasza és általános következtetéseket lehessen megállapítani

A kutatásomkor definiáltam egy olyan algoritmust, mely az abráziós karcok figyelembevételével írja le a kopás kezdeti szakaszát. Az algoritmus tesztelése során bizonyítottam, hogy az abráziós karcok szerepe a kopás kezdeti szakaszának végén nagymértékben befolyásolja a kialakult felületi érdességet. Az algoritmus segítségével meghatároztam az iparban és a kutatási gyakorlatban is széleskörűen alkalmazott érdességi paraméterek értékét.

Kutatásom másik területe az érdességmérés alkalmazásának feltételeivel és abráziós folyamatnál kialakuló felületi minőség kiértékelésével foglalkozott. Orientációval nem rendelkező mikrotopográfia esetében megvizsgáltam a hullámossági és érdességi profil alakját különböző szűrési technológia segítségével. Elemzéskor arra a megállapításra jutottam, hogy az M-rendszerben alkalmazott különböző szűrők átviteli függvényük alakja miatt nem definiálják egyértelműen a hullámossági és érdességi profilokat, így munkám során a jelek adatvesztésének elkerüléseként az érdességi és hullámossági jeleket használtam, az alakhibát pedig elsőfokú polinom szűréssel választottam le. Munkám során abráziósan koptatott felületi minőségek segítségével igazoltam, hogy a profilméréssel szemben a mikrotopográfiai mérés pontosabban jellemzi a kialakult felület minőségét.

Kutatásom során adott erő és koptatási úthossz mellett megvizsgáltam az érdességi paraméterek változását és megállapítottam, hogy a csonkoló algoritmus kiértékelésekor használt logisztikus függvény három dimenzióba kiterjesztett alakjával az átlagos egyenetlenség ( $S_a$ ), az eltérések mértani átlaga ( $S_q$ ), a ferdeségi ( $S_{sk}$ ) és lapultsági ( $S_{ku}$ ) mérőszámok változása jellemezhető a vizsgált erő és koptatási úthossz mellett. A mérések és a csonkoló algoritmus segítségével megállapítottam, hogy az  $S_{ku}$  paraméter ugrásszerű növekedése előrejelzi a mikrotopográfia megsemmisülését.

A kutatásom során létrehozott modellek továbbfejleszthetőek, az egyes összefüggések a modellkísérlet alapján kiterjeszhetően más erő- és útintervallumokra is ameny nyiben az abráziós szemcse csak a csúcsonában változtatja meg a mikrotopográfiát. A csonkoló algoritmus és a statisztikai közelítő függvények lehetővé teszik a mérnöki gyakorlatban, hogy abráziós kopási nyomok esetében az alkatrész a kezdeti kopás szakaszában hol helyezkedik el és a mikrotopográfia hány százaléka semmisült meg.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az alkatrészek tribológiai viselkedésének szempontjából jelentős a kezdeti kopás szakasza. Az adott gyártási technológia által definiált felületi minőség a működés során folyamatosan változik. Ezek a változások határozzák meg az alkatrészek további viselkedését: módosítják például a valós érintkezési tartományt, a hőátadást, a súrlódást és a kenőanyagmegtartó képességet.

Kutatásom célja az volt, hogy érdességmérési technológia segítségével jellemezsem a kopás kezdeti szakaszát. Munkám során megvizsgáltam gyártott felületek minősítésekor széleskörűen alkalmazott érdességi (R) paraméterek alkalmazhatóságát és megállapítottam, hogy a megfelelő jellemzés érdekében a hullámossági (W) és érdességi (R) profil adatok együttes vizsgálata célravezetőbb.

További vizsgálataimnál összehasonlítást végeztem abrúziósan koptatott felületek profil és mikrotopográfiai mérése segítségével. Az érdességi paraméterek variációs együtthatóinak segítségével megállapítottam, hogy a kopás kezdeti szakaszának vizsgálatakor az abrúziós szemcse mérete befolyásolja a mérés variációs együtthatóját. Összehasonlító vizsgálatot végeztem profilmérés és mikrotopográfiai mérés segítségével és megállapítottam, hogy a mikrotopográfiai mérés kisebb variációs együtthatóval jellemzi az abrúziósan koptatott felületet.

Kutatásom során egy olyan csonkoló algoritmust fejlesztettem ki, mely az abrúziós karcok hatását is figyelembe veszi a csúcsonában. Az algoritmus tesztelésekor megállapítottam, hogy az érdességi karcoknak a befolyásoló hatása jelentős a kopás kezdeti szakaszának végén. Az algoritmus számolási eredményeinek segítségével adott bemenet (orientált mikrotopográfia és abrúziósan koptatott mikrotopográfia) függvényében meghatároztam 100 lépéses csonkolás esetén az átlagos egyenetlenség ( $S_a$ ), az eltérések mértani átlaga ( $S_q$ ), a ferdeségi ( $S_{sk}$ ) és lapultsági ( $S_{ku}$ ) pereméteket. Eredményeim statisztikai kiértékelésénél logisztikus függvény segítségével meghatároztam a megsemmisített térfogathányad – érdességi paraméter függvényeket. A modell felépítése alkalmas arra, hogy más megmunkált mikrotopográfia esetén is meghatározza az abrúziós folyamat leírását.

Kutatásom következő lépéseként egy olyan teljes faktoros kísérlettervet valósítottam meg, melynél széles erő és koptatási úthossz tartományban végeztem méréseket 1200-as finomságú csiszolóvászonnal száraz súrlódás esetén. A kísérleteket érdességmérés segítségével kiértékeltem, majd a modellenél alkalmazott függvényalak háromdimenziós kiterjesztésével meghatároztam a függvény paramétereit. Méréseimmel igazoltam továbbá, hogy a kopás kezdeti szakaszának végén az abrúziós karcok domináns hatása miatt az  $S_{ku}$  paraméter nagymértékű változása előre jelzi a mikrotopográfia megsemmisülését. Az érdességméréssel meghatározott mikrotopográfiát hullámtérbe transzformáltam, majd megállapítottam, hogy az előtoláshoz tartozó hullámhossz amplitúdó változásának értéke jellemzi csúcsona megsemmisülést.



## 7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖREIHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK

*Lektorált cikk világnyelven:*

1. **Barányi I.**, Keresztes R., Szakál Z., Kalácska G. (2010), Power spectral density analysis of machined surfaces, Hungarian Journal of Industrial Chemistry, Vol. 38, Issue 2, pp. 83-88.
2. **Barányi I.**, Keresztes R., Szakál Z., Kalácska G. (2016), Prediction of surface roughness parameters by new experimentally validated modelling algorithm under abrasive condition, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 13, Issue 7, pp. 197-208, ISSN 1785-8860
3. **Barányi I.**, Czifra Á., Kalácska G. (2011), Height-independent topographic parameters of worn surfaces, Sustainable Construction and Design, Vol. 2, Issue 1, pp. 35-40, ISSN: 2032-7471
4. **Barányi I.**, Kalácska G., Czifra Á. (2011), Three dimensional Fourier analysis of the surface microtopography, Mechanical Engineering Letters, Vol. 5, pp. 161-165, HU ISSN 2060-3789
5. **István Barányi** (2013), Influence of abrasion wear process on amplitude roughness parameters, Mechanical Engineering Letters, Vol. 9, pp. 16-20, HU ISSN 2060-3789
6. **Barányi I.**, Kalácska G., P. De Baets (2013), Characterisation of abrasive worn surfaces by surface microtopography parameters, Sustainable Construction and Design, Vol. 4, Issue 2, pp. 1-4, ISSN: 2032-7471, <http://ojs.ugent.be/SCAD/article/view/1036/1052>

*Lektorált cikk magyar nyelven:*

1. **Barányi I.**, Czifra Á. (2009), Különböző megmunkálású felületek vizsgálata amplitúdó sűrűség spektrum (PSD) analízissel, GÉP, 60. évf., 10-11 sz., 7-10. o.
2. **Barányi I.**, Czifra Á., Kalácska G. (2010), Felületi mikrotopográfiák fraktál dimenziójának meghatározása, GÉP, 61. évf., 9-10 sz., 7-10. o.
3. **Barányi I.** (2016), Abráziós kopás kezdeti szakaszának jellemzési lehetőségei érdességméréssel, Mezőgazdasági Technika, Mezőgazdasági Technika, 2016. augusztus, 2-4. o.
4. **Barányi István** (2016), Abráziósan koptatott felületek érdességi paramétereinek vizsgálata, GÉP, 67. évf., 5-6 sz., 10-13. o.