



Miskolci Egyetem  
Gépészmérnöki és Informatikai Kar  
Gyártástudományi Intézet



# TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

## A gyémántvasalás energiahatékonyságának vizsgálata

**Smolnicki Szilárd**

MSc II. éves gépészmérnök hallgató

Konzulens:

**Dr. Varga Gyula**

egyetemi docens

Gyártástudományi Intézet

Miskolc, 2022

## Eredetiség nyilatkozat

„Alulírott Smolnicki Szilárd, a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírásommal igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.”

Miskolc, 2022. 09. 28.



.....  
a hallgató aláírása

## A konzulens nyilatkozata

Alulírott, Dr. Varga Gyula, a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetének oktatója *A gyémántvasalás energiahatékonyságának vizsgálata* című TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem.

Miskolc, *2022. október 09.*  
.....

.....  
a konzulens aláírása

## Tartalomjegyzék

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bevezetés .....                                                                                                                           | 2  |
| 1. Az energiahatékonyság kérdései .....                                                                                                   | 3  |
| 1.1. Társadalmi és gazdasági viszonyok .....                                                                                              | 3  |
| 1.2. A fenntartható fejlődésről .....                                                                                                     | 3  |
| 1.3. Folyamatparaméterek hasznossága .....                                                                                                | 5  |
| 1.4. Az energiahatékonyság megvalósítása .....                                                                                            | 5  |
| 1.5. Energhahatékonyságból ökohatékonyság .....                                                                                           | 6  |
| 1.6. Az ökotermelékenység és az ökointensztás .....                                                                                       | 8  |
| 2. A 2D-s felületi érdesség mérőszámai .....                                                                                              | 9  |
| 2.1. Az átlagos érdesség .....                                                                                                            | 9  |
| 2.2. Az egyenetlenség-magasság .....                                                                                                      | 9  |
| 2.3. A maximális egyenetlenség .....                                                                                                      | 10 |
| 2.4. A négyzetes középérték .....                                                                                                         | 10 |
| 2.5. A hordfelületi görbe 2D-s jellemzői .....                                                                                            | 10 |
| 3. A 3D-s felületi érdesség mérőszámai .....                                                                                              | 12 |
| 3.1. A 3D-s felületi érdesség mérésének fejlődése .....                                                                                   | 12 |
| 3.2. A felületi érdesség aritmetikai középértéke .....                                                                                    | 12 |
| 3.3. A felületi érdesség négyzetes középértéke .....                                                                                      | 13 |
| 3.4. A felületi érdesség maximális értéke .....                                                                                           | 13 |
| 3.5. A tízpontmagasság .....                                                                                                              | 14 |
| 3.6. A hordfelületi görbe 3D-s jellemzői .....                                                                                            | 14 |
| 4. A felületek megmunkálása és érdességmérése .....                                                                                       | 15 |
| 4.1. A próbadarab jellemzői .....                                                                                                         | 15 |
| 4.2. Az esztergálás jellemzői .....                                                                                                       | 16 |
| 4.3. A gyémántvasalás jellemzői .....                                                                                                     | 16 |
| 4.4. A felületi érdesség mérése .....                                                                                                     | 18 |
| 4.5. A Kraljic-mátrixok .....                                                                                                             | 18 |
| 5. A kísérleti eredmények ismertetése .....                                                                                               | 20 |
| 5.1. Az esztergált felület érdességmérésének eredményei .....                                                                             | 20 |
| 5.2. A gyémántvasalt felület érdességmérésének kiértékelése .....                                                                         | 22 |
| 5.3. A javulási tényezők meghatározása, kiértékelése .....                                                                                | 28 |
| 6. Érdességi mérőszámok vizsgálata a faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával .....                                                    | 39 |
| 6.1. Az érdességi paraméterek vizsgálata gyémántvasalás esetén a faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával .....                        | 40 |
| 6.2. Az érdességi paraméterek javulási tényezőinek vizsgálata a gyémántvasalás esetén a faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával ..... | 44 |
| Összefoglalás .....                                                                                                                       | 49 |
| Köszönetnyilvánítás .....                                                                                                                 | 50 |
| Felhasznált irodalom .....                                                                                                                | 51 |

## Bevezetés

A minket körülvevő világ hatásai, fenntarthatósági problémái, konfliktusai mindinkább rámutatnak az energiahatékonyság és a környezettudatosság aktualitására. Fontos egészen a legapróbb részletekig megértenünk azt, hogy bolygónk készleteinek korlátok nélküli kizsákmányolása előbb-utóbb természeti katasztrófákhoz vezethet, melyeknek láthatjuk is az előjeleit.

A forgácsoló megmunkálások terén, ha a környezettudatosságra gondolunk, akkor a hűtőkenő folyadék alkalmazása, valamint a nagy energiaigényű megmunkáló eljárások okozhatnak fejtörést: Tudományos Diákköri Dolgozatom célja ezen kérdések vizsgálata esztergálás, valamint gyémántvasalás során.

Kutatásomat az energiahatékonyság legfrissebb eredményeinek felderítésével, feldolgozásával kezdtem, így a Dolgozat első fejezetében ezeket ismertetem. A következő részekben azon 2D-s, illetve 3D-s felületérdességi mérőszámok jellemzőit, származtatásait veszem sorra, melyeket a későbbiekben használok a mérések kiértékelése során.

A negyedik fejezetben bemutatom a próbadarab méreteit, anyagminőségét, melyen vizsgálatokat végzem. Ezt követik az esztergálás, illetve a gyémántvasalás technológiai jellemzőinek bemutatása, valamint az érdességméréshez alkalmazott mérőgép és a mérőszoftver ismertetése. A Kraljic-mátrixot – melyet az eredmények vizuális ábrázolásához használok fel –, szintén ebben a fejezetben mutatom be.

A Dolgozat további részeiben a kísérleti eredmények ismertetése következik a Kraljic-mátrixok segítségével. Összehasonlítom az esztergált és a gyémántvasalt felületek érdességi paramétereit, továbbá meghatározom a javulási tényezőket is, a különböző technológiai adatok által gyémántvasalt felületekre. A faktoriális kísérlettervezés segítségével ajánlásokat teszek a technológiai paraméterek ideális megválasztására.

Végezetül Dolgozatomat egy összefoglalással zárom, ahol levonom következtetéseimet, konklúziómat a kutatásom eredményeiből.

# **1. Az energiahatékonyság kérdései**

## **1.1. Társadalmi és gazdasági viszonyok**

Az emberi társadalom folyamatos fejlődése, a növekvő jólét egyre közelebb visz minket a különféle globális környezeti problémák sürgetőbb megoldásához. Ezek megoldásához általában olyan komplex tervekre van szükség, amelyek hosszú távú, fenntartható megoldást tudnak kínálni a jövőnk szempontjából. A fenntarthatóság nagyban függ a fogyasztás és a termelés arányától, valamint attól, hogy ez milyen teherrel jár a bolygónk számára.

A komplex tervek kialakításához részleteiben kell ismerni a problémát, fontos tehát a mikroszintű döntéseket összhangba hozni a makroszintű követelményekkel [1]. Sajnos gyakran előfordulnak olyan érdekellentétek, melyek a nagyobb értékteremtés kontra gazdaságosabb, környezetkímélőbb gyártás között húzódnak [2]. Sokszor egy-egy új technológia, beruházás túl magas ára riasztja el a vállalatot a befektetéstől, még ha az új berendezés környezetbarátabb működést is garantálhatna.

Egyes kutatások arra a következtetésre jutottak, hogy a legnagyobb piacvezető vállalatok éppen ezért inkább változtatják meg fokozatosan, lépésről lépésre termékeiket, ebből kifolyólag a merészebb innovációk az ezektől kisebb, kiugrásra váró „másodsodrásban” lévő cégektől származhatnak majd [3].

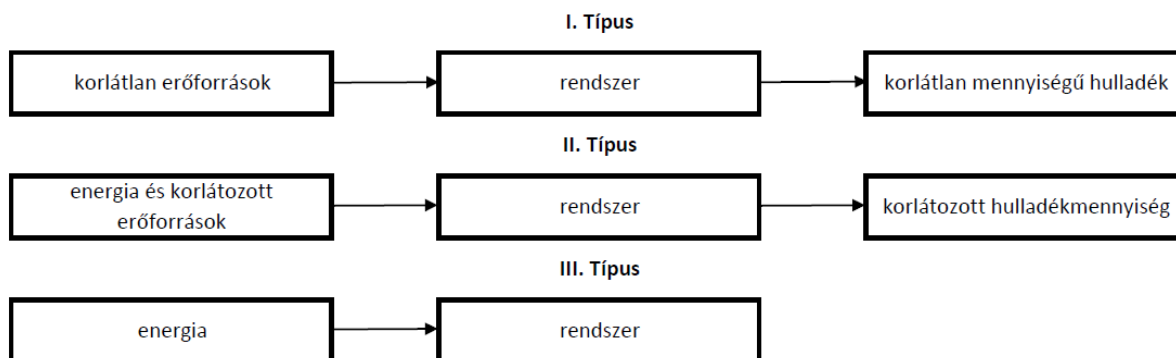
Az említett fejlődés szempontjából egy ipari vállalat esetén gondolhatunk a termelékenység növelésére, az energiaszükséglet csökkentésére, továbbá ezek hatékonyságának javítására. Termelési szempontból ugyanis a termelékenység egy abszolút fogalom, a kibocsátások és a ráfordítások arányán alapul [4], míg a hatékonyság relatív, hiszen akár a termelékenység hatékonyságáról is beszélhetünk. Ha tehát egy folyamat hatékonyságán szeretnénk javítani, azt megtehetjük az előállított érték termelékenységének növelésével, a környezeti hatás intenzitásának csökkentésével vagy a termelékenység növelésével és az intenzitás csökkentésével egyszerre [5].

## **1.2. A fenntartható fejlődésről**

Az ún. *ipari ökológiát* a fenntarthatóság tudományának is nevezik, elsősorban a természeti és az ipari rendszerek összehangolására törekszik, amely a két rendszer teljesítményére és egymás közötti kapcsolataira vonatkozó széleskörű objektív információkon alapul [6]. Története visszanyúlik egészen a 20. század derekára, ugyanis már egy 1972-ben megjelent jelentés is a fenntarthatatlan keresletet és termelést, a környezetszennyezés világméretű növekedését, a természeti erőforrások kimerülését, széles körű alultápláltságot és a világ

népességének növekedését irányozta elő [7]. 1987-ben a Gro Harlem Brundtland vezetésével működő bizottság jelentésében olyan fejlődésnek határozta meg a fenntartható fejlődést, amely kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő nemzedékek képességét saját szükségleteik kielégítésére [8]. 1989-ben aztán Schaltegger és Sturm ökohatékonysági megközelítésben vizsgálta a fenntartható fejlődést, melynek lényege az volt, hogy az áruk és szolgáltatások nagyobb értéket képviselnek, ha kevesebb hulladékot és környezetszennyezést okoznak [9]. Az ENSZ 1992-es ENSZ Rio de Janeiróban tartott Környezetvédelmi és Fejlesztési Konferenciájának eredményeként megszületett az Agenda 21 elnevezésű jelentés, melynek egyik bekezdése kimondta, hogy „a környezetminőség és a fenntartható fejlődés céljainak eléréséhez a termelés hatékonyságára és a fogyasztási szokások megváltoztatására lesz szükség, melyhez az erőforrás-felhasználás optimalizálása és a hulladék minimalizálása kell, hogy előtérbe kerüljön” [10].

Az ipari ökológia tehát az az eszköz, mellyel az emberiség megközelítheti és fenntarthatja a fogyasztói igényeket a folyamatos gazdasági, kulturális és technológiai fejlődés mellett; miközben a koncepció megköveteli, hogy egy ipari rendszert ne a környező rendszerektől elszigetelten, hanem azokkal összhangban vegyünk számításba [6]. Lényegét három különböző rendszermodell bemutatásával lehet szemléltetni, ahogy az az 1. ábrán is látható.

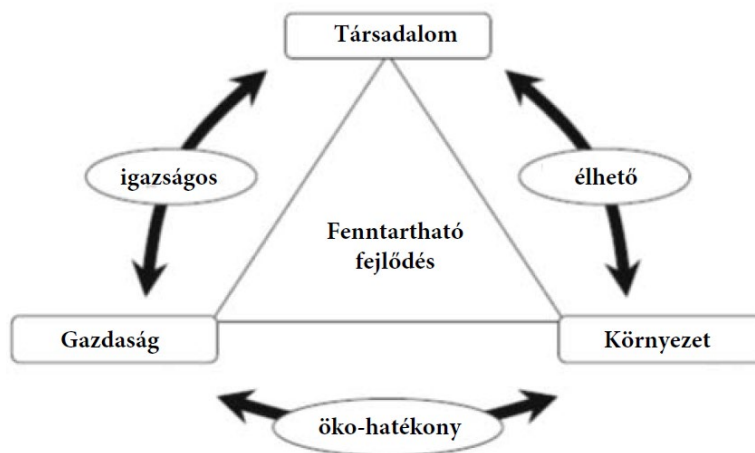


**1. ábra.** Az ipari ökológia rendszertípusai [11]

Az I. típus egy lineáris rendszer, ahová korlátlan mennyiségben implantálnak erőforrásokat, melyek felhasználás után hulladékként megsemmisítésre kerülnek. A II. típusú rendszerben ezzel szemben belső körfolyamatok alakulnak ki, jelentős lesz az anyagok belső újra felhasználása, így a rendszerbe beáramló, illetve kikerülő anyag mennyisége korlátozható. A III. típusú rendszerben pedig megvalósul a teljes anyagciklikusság, ahová csak energiabevitelre van szükség [6].

Látható, hogy a fenntartható fejlődés korántsem nevezhető újdonsült felfogásnak, elérése azonban még napjainkban is nagyon távolinak tűnik. Ennek okai a három alappillérjében kereshető, melyek a 2. ábrán láthatók. A társadalom, a környezet, illetve a gazdaság

összehangolása nem egyszerű, egyik-másik változása felbillentheti az egyensúlyt, mivel a fejlődés egyszerre akar elérhető, igazságos és ökohatékony lenni.



**2. ábra.** A fenntartható fejlődés három alappillére [12]

### 1.3. Folyamatparaméterek hasznossága

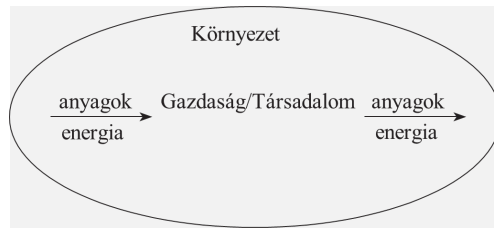
A fenntartható fejlődéshez olyan komplex tervekre van szükség, amelyben az egyes folyamatok részleteiben hordozzák magukban ezt a szemléletet. Az egyes folyamatokat befolyásoló tényezők nevezhetők folyamatparamétereknek is, ezek olyan adatok, melyek alapjaiban határozzák meg egy folyamat végtermékének minőségét, hatékonyságát, illetve károsanyagkibocsátását.

A legtöbb folyamat ugyanis dinamikus rendszer: a folyamatparaméterek változtatása különböző kimeneteket – és ezáltal környezeti hatásokat is – eredményez [13]. A cél tehát az, hogy a folyamatparamétereket egyenként, valamint egymásra gyakorolt hatásait is vizsgálva olyan kombinációk kerüljenek kialakításra, melyek a legmegfelelőbb kimeneti értékekkel rendelkeztek. Ehhez nagy segítséget tud nyújtani a faktoriális kísérlettervezés módszere.

### 1.4. Az energiahatékonyság megvalósítása

Egy folyamat célja környezetvédelmi szempontból az energiahatékonyság növelése. Vagyis az, hogy adott mennyiségű energiával minél nagyobb mennyiségben és/vagy minél jobb minőségben lehessen gyártani.

Ahogy a 3. ábrán is látható, a gazdaság és a társadalom legfőbb motorja az anyag- és energiaforgalom, amely összeköttetésben van a környezettel. Minden rendszer jellemezhető energiahatékonyság szempontjából azáltal, hogy mennyi nyersanyagot igényel input-ként, valamint, hogy mennyi energiát igényel ahhoz, hogy a nyersanyagból javakat és szolgáltatásokat nyújtson output-ként [6].



**3. ábra.** Az anyag- és energiaáramlás [14]

A legújabb felfogások szerint az energiahatékonyság maximalizálásához a környezetre, mint innovációs lehetőségre kell tekinteni, nem pedig a vállalatot potenciálisan fenyegető veszélyre. Ennek lényege, hogy olyan módszereket alakítanak ki a tisztítási/hulladékkezelési normák során, melyek lehetővé teszik az innovációt és a költségcsökkentést [15].

A kérdés tehát az, hogy az energiaszükséglet csökkentése milyen hatással van a folyamat minőségére, veszélyezteti-e annak alapvető előírásait, valamint, hogy milyen kapcsolat van a folyamatparaméterek és a környezeti hatások között [13]. Mindezek figyelembevételével kompromisszumok köthetők, megtalálva azt a folyamatparaméter-kombinációt, mellyel a folyamat egységesen lesz megfelelő minőségű és energiahatékony is. Ez pedig már összefoglalóan ökohatékonny folyamatnak is tekinthető.

### 1.5. Energiahatékonyságból ökohatékonyság

Egy folyamat ökohatékonysága egy látszólagos ellentmondást old fel megfelelő innovációk és szemléletmódok segítségével: „olyan fejlődésre törekszik, amely lehetővé teszi a jólét növekedését mindenki számára, miközben a természet használata csökken” [6].

Az ökohatékonyságra való törekvés okait az alábbi felsorolás foglalja össze [16, 17]:

- a vállalatok figyelmének felkeltése úgy, hogy az innovációra ösztönözze őket;
- a piaci kudarcok, a külső költségek, a közjavak biztosítása, az információs és alkalmazkodási hiányosságok leküzdése;
- ismereteket generálni a valószínűsíthető erőforrás-hatékonysági hiányosságokról és a lehetséges fejlesztési területekről;
- a környezetvédelmi fejlesztések iránti kereslet megteremtése és stabilizálása;
- a technológiai fejlődési pályák közötti átmeneti időszakokban a versenyfeltételek kiegyenlítése;
- a technológiai fejlődés új irányára vonatkozó valószínűség növelése;
- a szigorúbb intézkedések politikai funkcióinak fenntartása olyan esetekben, amikor a környezet állapota tovább romlik, vagy új negatív külső költségek merülnek fel.

Az ökohatékonny felfogás hatására a vállalatok újra gondolják a minőség kérdését is. Azáltal ugyanis, hogy az eddig melléktermékként elfogadott anyagokat visszaforgatják, újra

hasznosítják a folyamatok során, felszabadítják az innováció és a minőségirányítás erejét – például a hulladékkezelés kérdésében –, így az átcsoportosított tudásalap magában a konkrét termelésben tud hasznosulni, mint termelési inputok cseréje vagy újra felhasználása, a folyamatok hozamának növelése, a gondos ellenőrzés és karbantartás, valamint a termék javítása a változás melléktermékeként [15].

Összefoglalva, az ökohatékonyságnak hét lényeges irányelvét különböztethetjük meg [18]:

- az áruk és szolgáltatások anyagintenzitásának csökkentése;
- az áruk és szolgáltatások intenzitásának csökkentése;
- csökkentjük a mérgező anyagok szétszóródását;
- az anyagok újrahasznosíthatóságának javítása;
- a megújuló erőforrások fenntartható felhasználásának maximalizálása;
- a termékek tartósságának meghosszabbítása;
- a termékek szolgáltatásintenzitásának növelése.

Ezen irányelvek mellett fontosak még fontosak az olyan közvetett elemek, mint az emberi szükségletek és az életmód minőségének új szemlélete, az ökoszisztémák kapacitási korlátainak elismerése, valamint a koncepció folyamatos fejlesztése, amely tükrözi annak dinamikus jellegét [15].

A gyártásból ismert nulla hiba koncepció környezetvédelmi megfelelője nem más, mint a veszélyes vagy potenciálisan veszélyes anyagok nulla kibocsátása egy létesítményből vagy termékből. Bár ez szinte lehetetlen, az ökohatékonny szemléletmód a hulladék-kibocsátás minimalizálására törekszik [18]. A gyakorlat azt mutatja, hogy ezen irányelvek gyakran szinkronban vannak a fogyasztói igényekkel, hiszen a számítástechnika fejlődésével az elektronikai eszközök mérete csökkenő tendenciát mutat, miközben a digitális adathordozó eszközök (pendrive-ok, merevlemezek) terjedésével idővel kikopik a papír alapú dokumentáció.

A DIN EN ISO 14045 jelű szabvány foglalkozik az ökohatékonyság értékelésével, a benne található megközelítés alkalmazható egyes gazdasági értékek és a gyártási folyamatok, rendszerek környezeti hatásainak arányának vizsgálatára. Az értékelés öt fázisból áll [19,20]:

- (1) cél és alkalmazási kör meghatározása,
- (2) környezeti értékelés,
- (3) termékrendszer értékének értékelése,
- (4) az ökohatékonyság számszerűsítése és
- (5) értelmezés.

A cél és hatókör meghatározása (1) megfogalmazza az ökológiai hatékonyság értékelésének célját, a célközönséget és az eredmények tervezett felhasználását. A környezeti értékelés (2) a termékrendszer potenciális környezeti hatásának meghatározására szolgál. A termékrendszer értékbecslése (3) a termékrendszer teljes életciklusát figyelembe veszi, az odaítélt funkcionális, pénzübeli vagy egyéb értékek értékének vagy kívánatos voltának értékelésével. Az ökohatékonyság számszerűsítése során (4) a cél és a hatókör meghatározásával összhangban a környezeti értékelés és a termékrendszer értékének értékelése során kapott eredmények arányát határozzák meg [19, 20].

Az azonban, hogy végül a környezetterhelés és a termékminőség arányát milyen nézőpont alapján értelmezik (5), különböző lehet.

### **1.6. Az ökotermelékenység és az ökointensitás**

Egyes kutatások az ökohatékonyságra ökotermelékenység néven hivatkoznak, mivel sok közgazdász a környezetet (beleértve a természeti erőforrásokat is) termelési tényezőnek tekinti, így megfogalmazásukban az ökotermelékenység nem más, mint az áruk és szolgáltatások egy egységnyi felhasznált környezetre jutó jóléti kibocsátása [21]. A mérnöki szemléletmódhoz ennek inverze, az ökointensitás áll közelebb, ez pedig a természeti adottságok felhasználását jelenti egy egységnyi jóléti teljesítményre vetítve [6].

Nem igazak ebben az esetben a termodinamika alapvető fogalmai sem, hiszen a piaci viszonyokat az emberek szeszélyes preferenciái határozzák meg (pl. egy szakadt farmer értékesebb, mint egy makulátlan), amely így a keresleti függvényt és az árakat is megváltoztatja. Továbbá, mivel a vállalatok a teljesítményértékelésüket a környezetterhelési szempontokhoz kötik, ezért az ökotermelékenység mértékegységének érdemes a CO<sub>2</sub>/kg, vagy az erőforrás/kg alakú mérőszámot választani [21].

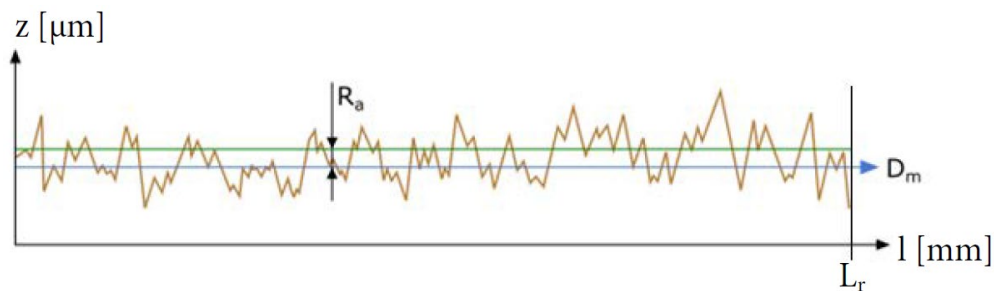
## 2. A 2D-s felületi érdesség mérőszámai

A felületminőség fogalma magába foglalja a megmunkált felület alakeltéréseit, érdességét, hullámosságát [22]. Ebben a fejezetben bemutatom az alkalmazott 2D-s felületérdességi mérőszámok definícióit, képleteit és jellegzetességeit, melyeket majd felhasználok az eredmények kiértékelése során.

### 2.1. Az átlagos érdesség

Az átlagos érdesség az egyik legáltalánosabban használt 2D-s felületérdességi mérőszám. Számításához egy meghatározott alaphosszon egyenlő távolságokban kell definiálni a kiemelkedések, illetve a bemélyedések alapvonalától mért távolságát, majd pedig az eredmények abszolútértékének számtani közepét kell kiszámolni. Középvonalnak tekinthető az a vonal, amely alatt és felett a kiemelkedések és bemélyedések területének összege egyenlő [22]. Az átlagos érdességet a 4. ábra szemlélteti, számítását pedig az (1) jelű képlet.

$$R_a = \frac{1}{L_r} \cdot \int_0^{L_r} |z(x)| dx \quad (1)$$

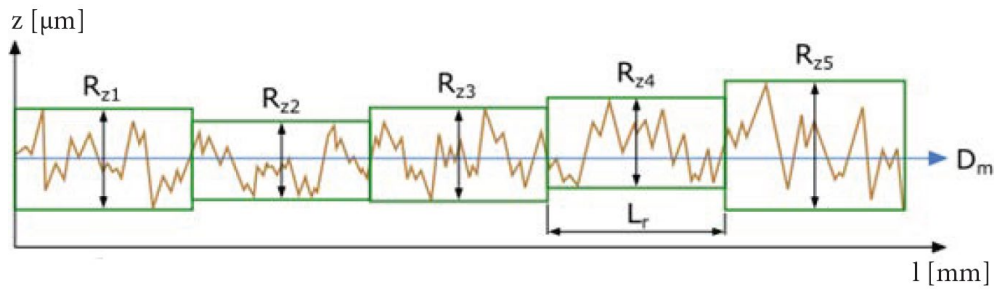


4. ábra. Az átlagos érdesség származtatása [23]

### 2.2. Az egyenetlenség-magasság

Az egyenetlenség-magasság meghatározása során a mintavételezési hosszónként vett 5-5 db legmagasabb csúcs és legmélyebb völgy közti magasságkülönbségek számtani átlagát kell venni [22]. Az egyenetlenség-magasságot az 5. ábra szemlélteti, számítását pedig a (2) jelű képlet.

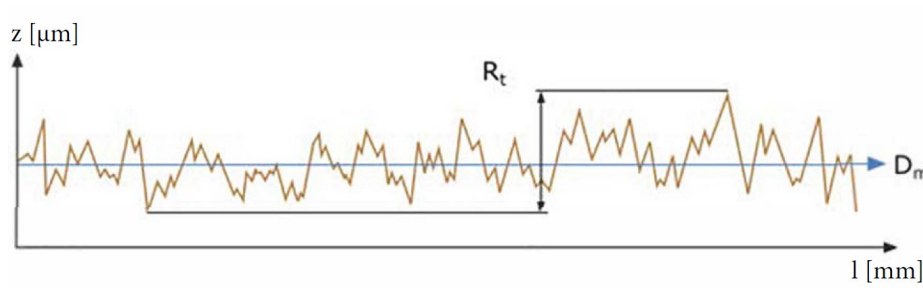
$$R_z = \frac{1}{5} \cdot (R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5}) \quad (2)$$



**5. ábra.** Az egyenetlenség-magasság származtatása [23]

### 2.3. A maximális egyenetlenség

A 6. ábrán látható maximális egyenetlenség származtatása a teljes mérési szakaszon található legmagasabb csúcs, valamint legmélyebb árok magasságkülönbségeként adódik [22].



**6. ábra.** A maximális egyenetlenség származtatása [23]

### 2.4. A négyzetes középérték

A négyzetes középérték a profileltérések négyzetes középértékeként számítható, a 4. ábra jelöléseit használva a (3) jelű képlet segítségével [22].

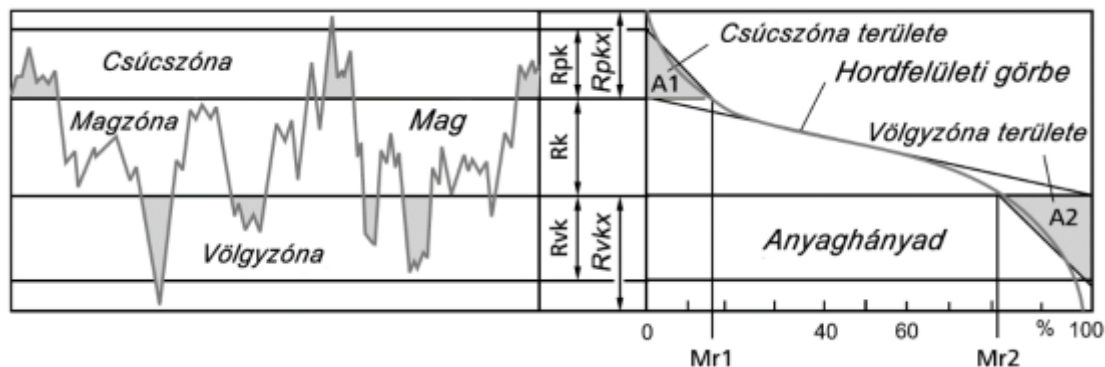
$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L_r} \cdot \int_0^{L_r} z^2(x) dx} \quad (3)$$

### 2.5. A hordfelületi görbe 2D-s jellemzői

A hordfelületi görbe (AFC – Abbott-Fireston Curve) jellemzőit az ISO 13565 szabvány tartalmazza, mely alapján felosztható a felületi görbe csúcs-, mag-, illetve völgyzónára [24]. Ennek megfelelően három felületérdességi jellemzőről beszélhetünk, melyek a felület anyagkitöltöttségéről adnak információt. Ezek az alábbiak:

- $R_k$ : az érdességi profil magrészének mélysége
- $R_{pk}$ : az érdességi profil csúcsrészének mélysége
- $R_{vk}$ : az érdességi profil völgyrészének mélysége

Ahogy az a 7. ábrán is látható, az egyes paraméterek az anyaghányad görbe levetítései. A profil magrészének mélységét ott kapjuk, ahol a hordfelületi görbe meredeksége a legkisebb. Így alakul ki a tőle balra található csúcszóna, illetve a jobbra lévő völgyzóna, melyek meredeksége már jelentős.



**7. ábra.** Hordfelületi görbe paraméterei 2D-s esetben [24]

A kiugró értékekre való érzékenység miatt az  $R_{pk}$  és  $R_{vk}$  paraméterek már redukált értékeknek tekinthetők az  $R_{pkx}$  és  $R_{vqx}$  jellemzőkből. Az  $M_{r1}$  a csúcszóna, az  $M_{r2}$  pedig a völgyzóna kezdeti anyaghányad értékeit adják meg százalékosan. Előbbi kicsi, utóbbi nagy értéke a megmunkált felület ideális hordképességét jelenti [24]. Ezen jellemzők információt adnak a megmunkált alkatrészek későbbi teherbírásáról [25].

### 3. A 3D-s felületi érdesség mérőszámai

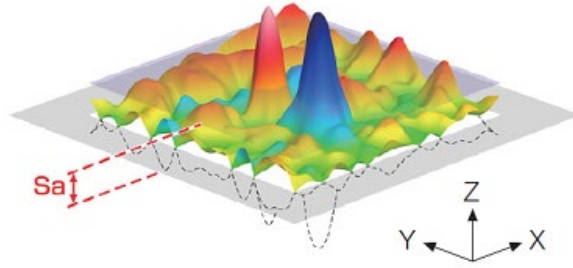
#### 3.1. A 3D-s felületi érdesség mérésének fejlődése

A felületek 3D-s jellemzésének története az 1980-as évekig nyúlik vissza, amikor is Coventry Polytechnic-en K.J. Stout és csapata kifejlesztett egy hardverrendszert és egy azt támogató szoftvert, amely az első kereskedelmi forgalomba kerülő szoftvercsomag prototípusa lett azáltal, hogy a felületek vizualizációs technikáinak széles választékát biztosította. A technológia fejlődése nem ment zökkenőmentesen, a műszergyártók ugyanis azon a véleményen voltak, hogy a 3D-s topográfia csupán „tudományos kuriózum”, annak nincs helye az iparban [26]. A kezdeti szárnybontogatások után az újabb mérőföldkő 1990-ben következett, amikor is az Európai Közösség támogatásával megszületett egy több, mint 300 oldalas jelentés a Birminghami Egyetemen, amely 14 db 3D-s felületérdességi paramétert javasolt használatra, melyek a felület funkcionális, térbeli és amplitúdó tulajdonságait írták le. Az első tapintófejes gyártó a Somicronic volt, amely a paraméterek széles skáláját tette elérhetővé rendszerén. A „Birmingham 14” paramétereket aztán 1996-ban telepítették a Somicronic 3D-s felületvizsgáló készülékén, amely olyan szabványos fájlformátumot is tartalmazott, melyet más számítógépes rendszerekre is továbbítani lehetett [26]. Az európai kutatásokkal párhuzamosan az USA-ban is történtek előrehaladások, főképp az optikai interferometrikus rendszerek fejlesztése terén. A fő műszergyártók a WYKO, illetve a ZYGO cégek voltak, műszereik a kor lehetőségeihez képest rendkívül gyors 3D-s felületmérésre voltak képesek, olyan technikákat alkalmazva, mint a függőleges pásztázó interferometria vagy a kiterjesztett tartományú interferometria, miközben nanométer alatti felbontást is képesek voltak elérni. A kétezres évek elején pedig már a háromszögelési és konfokális technikát alkalmazó műszerek is kezdtek megjelenni, például a Scantron nevű cég gondozásában [26].

#### 3.2. A felületi érdesség aritmetikai középértéke

A felületi érdesség aritmetikai középértéke háromdimenziósan bővíti az  $R_a$  profilparamétert. Az egyik legszélesebb körben használt 3D-s érdességi paraméter, mivel stabil eredményeket biztosít, melyeket nem befolyásolják a karcok, szennyeződések és a mérési zaj [27]. Számítását az (4) jelű képlet és a 8. ábra szemlélteti.

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(x,y)| dx dy \quad (4)$$

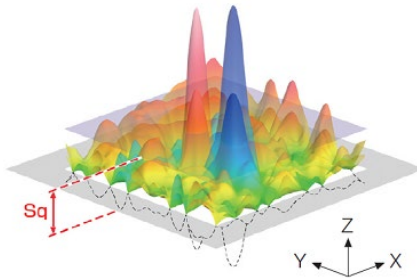


**8. ábra.** A felületi érdesség aritmetikai középértékének szemléltetése [27]

### 3.3. A felületi érdesség négyzetes középértéke

A felületi érdesség négyzetes középértéke háromdimenziósan bővíti az  $R_q$  profilparamétert. Szintén gyakran használt jellemző, mivel jó statisztikát generál és stabil eredményeket, miközben szintén nem befolyásolják a karcok, szennyeződések [27]. Számítását az (5) jelű képlet és a 9. ábra szemlélteti.

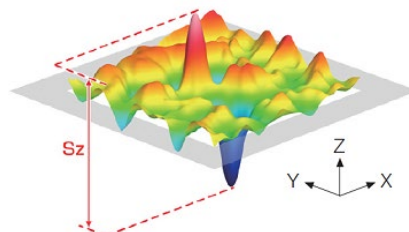
$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A |z^2(x, y)| dx dy} \quad (5)$$



**9. ábra.** A felületi érdesség négyzetes középértékének szemléltetése [27]

### 3.4. A felületi érdesség maximális értéke

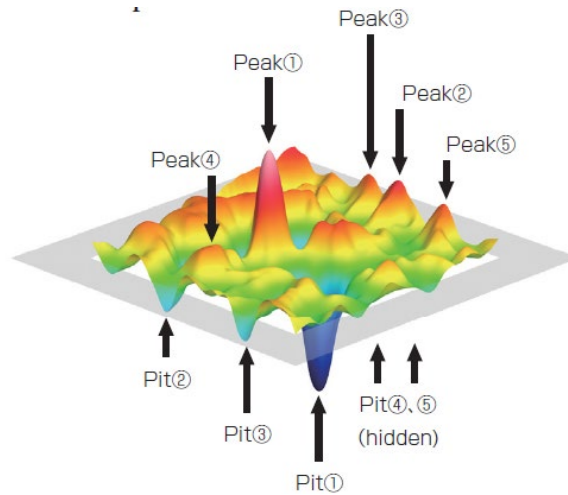
A felületi érdesség maximális értéke háromdimenziósan bővíti az  $R_z$  profilparamétert. Értéke a maximális csúcsmagasság, valamint a maximális völgymélység összegével egyezik meg. Használata már kevésbé jelentős, hiszen nagyságát befolyásolhatják a karcok, szennyeződések, melyeket ugyanakkor a kiértékelés során figyelembe lehet venni [27]. Az  $S_z$  maximális felületi érdességet a 10. ábra szemlélteti.



**10. ábra.** A felületi érdesség maximális értékének szemléltetése [27]

### 3.5. A tízpontmagasság

A tízpontmagasság ( $S_{10z}$ ) a 2D-s egyenetlenség-magassághoz  $R_z$  hasonló jellemzőkkel bír. Nagyságának megállapításához az öt legnagyobb magassággal rendelkező csúcs átlagértékéhez kell hozzáadni az öt legnagyobb mélységgel rendelkező gödör átlagértékét [27]. A tízpontmagasságot a 11. ábra szemlélteti.



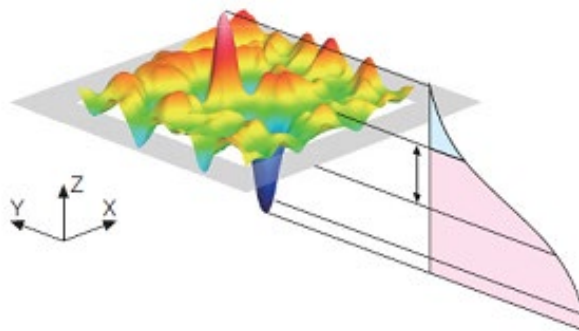
11. ábra. A tízpontmagasság szemléltetése [27]

### 3.6. A hordfelületi görbe 3D-s jellemzői

Az előző fejezetben ismertetett 2D-s hordfelületi görbe jellemzőit is lehet vizsgálni 3D-s esetben. Ezek az alábbiak:

- $S_k$ : a felületi érdesség magzónájának magassága
- $S_{pk}$ : a felületi érdesség csúcszónájának magassága
- $S_{vk}$ : a felületi érdesség völgyzónájának magassága

A 2D-s esethez hasonlóan itt az  $S_{mr1}$  jellemző határozza meg a csúcszóna és a magzóna határát, míg az  $S_{mr2}$  százalékos anyaghányad a mag- és a völgyzóna között jelöl határt. Alkalmas a súrlódások, kopások vizsgálatára, például motorok hengerfelületeinek kenhetőségének értékelésére [27]. A 3D-s hordfelületi görbe paramétereit a 12. ábra szemlélteti.

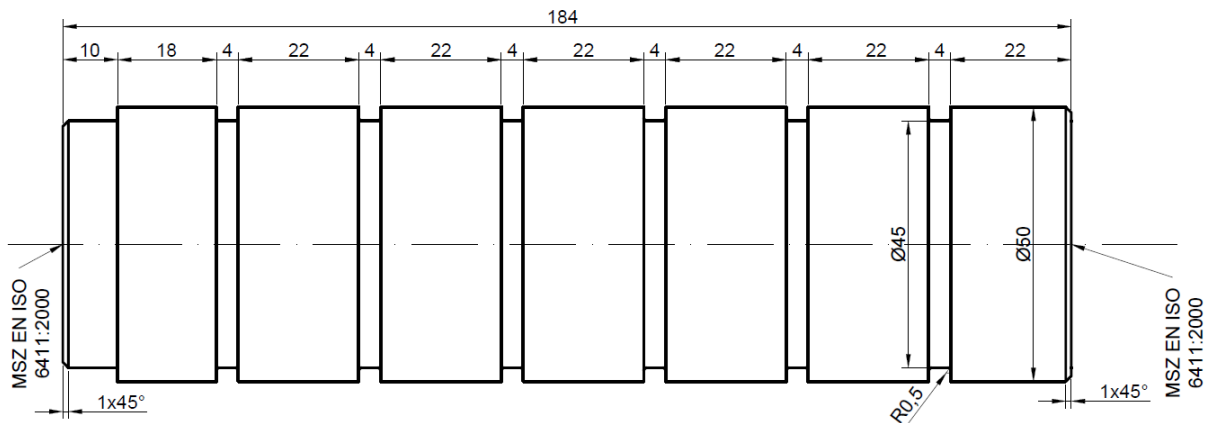


12. ábra. Hordfelületi görbe paramétereit 3D-s esetben [24]

## 4. A felületek megmunkálása és érdességmérése

### 4.1. A próbadarab jellemzői

A kísérletek elvégzéséhez egy speciális, erre a célra tervezett tengely alakú alkatrész volt, melynek műszaki rajzát a 13. ábra szemlélteti. A darabon hat olyan hengeres felület lett kialakítva, ahol méréseket lehet végezni, gyártása pedig a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetének műhelyében található szerszámgépeken történt meg. Összesen négy darab készült el belőle.



13. ábra. A próbadarab műszaki rajza

A megmunkálások alapanyagául az 1.4307 jelölésű (további jelölések: X2CrNi18-9/304L/S30403) ausztenites szövetszerkezetű rozsdamentes króm-nikkel acélötvözet szolgált, amely jó korrózióálló tulajdonságai mellett a hidegalakítást, illetve a hegesztést is jól viseli. Előnyös szennyeződésgátló hatásfoka, az oxidációval szembeni ellenállóképessége, valamint könnyű tisztíthatósága miatt gyakran alkalmazzák élelmiszer feldolgozó berendezések (sörfőzés, tejfeldolgozás, borkészítés), konyhai felszerelések és készülékek és vegyipari berendezések (konténerek, hőcserélők, szappangyártás) gyártására. Kémiai összetételét az 1. táblázat foglalja össze [28].

1. Táblázat. Kémiai összetétele (20 °C-on) – DIN 10088-1:2005 [28]

| Elem | Fe        | C     | Si | Mn | P     | S     | N     | Cr        | Ni     |
|------|-----------|-------|----|----|-------|-------|-------|-----------|--------|
| %    | 66,8-71,3 | ≤0,03 | 1  | 2  | 0,045 | 0,015 | ≤0,11 | 17,5-19,5 | 8-10,5 |

A mechanikai tulajdonságaira térve, folyáshatára  $R_{p0,2} \geq 210 \text{ MPa}$ ; szakítószilárdsága  $R_m = 520 - 700 \text{ MPa}$ , míg szakadási nyúlása  $A \geq 45\%$ . A sűrűsége  $\rho = 7,9 \text{ kg/dm}^3$ , keménysége pedig  $160 - 190 \text{ HB}$ .

## 4.2. Az esztergálás jellemzői

A megmunkálás a darabok méretre fűrészelésével kezdődött, majd az alkatrész bal oldalán található központfurat és a befogásra alkalmas átmérő kialakításával folytatódott EU-400-01 típusjelű esztergagépen. Ezt követte a hosszesztergálás  $d = \varnothing 50$  mm-en, majd pedig a beszúrások a darab jobb végétől kezdődően 22 milliméterenként.

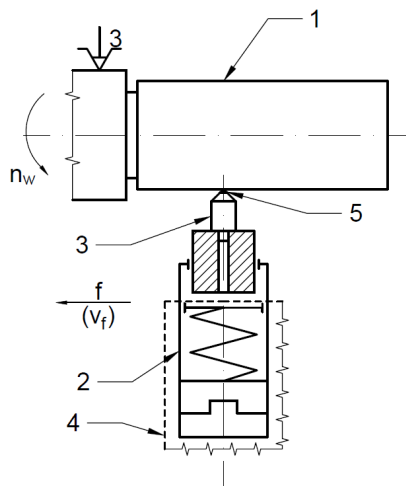
A mérendő felületek kialakításához az esztergagép technológiai paraméterei az alábbiak szerint lettek beállítva:

- forgácsolósebesség:  $v_c = 1,3875 \left[ \frac{m}{s} \right]$  (fordulatszám:  $n = 530 \frac{1}{min}$ )
- előtolás:  $f = 0,05 \frac{mm}{ford}$

Összességében így 24 db (4 próbadarabon, próbadarabonként 6-6 felületen), ugyanolyan körülmények között esztergált felület került kialakításra.

## 4.3. A gyémántvasalás jellemzői

A gyémántvasalás ugyanezen EU-400-01 típusjelű esztergagépbe befogott vasalószerszámmal történt. A vasalószerszám feje egyszemcsés gyémánt volt, a megmunkálás körülményeit sematikusán a 14. ábra szemlélteti. Az ábrán 1-es a munkadarab, 2-es a vasalószerszám, 3-as a vasalóbetét, 4-es szerszámbefogó, 5-ös pedig a gyémántcsúcs jelölése.



14. ábra. A gyémántvasalás sematikus ábrája

A felületek vasalása során a felületi érdesség csökkenését és a felületi réteg szilárdítását a megmunkálandó anyagnál jóval nagyobb keménységű gyémántszerszám és a munkadarab felülete közötti csúszási súrlódás eredményezi [29].

A gyémántvasalás technológiai adatai minden felület esetén különbözőek voltak, melyek a fordulatszám, az előtolás és a vasalószerszám által kifejtett erő kombinációiból alakultak ki. Ezen kombinációkat a 2. táblázatban foglaltam össze. A felületek eljelölését a próbadarabok

segítségével hatosával csoportosítottam. A táblázat kiegészült továbbá két számított értékkel, a vasalási sebességgel – (6) jelű képlet –, valamint a megmunkálás teljesítményével – (7) jelű képlet.

$$v_v = d \cdot \pi \cdot n \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (6) \quad P = F \cdot v_v [W] \quad (7)$$

**2. Táblázat.** A gyémántvasalás technológiai adatai

| Sorszám | $f \left[ \frac{mm}{ford} \right]$ | $n \left[ \frac{1}{min} \right]$ | $v_v \left[ \frac{m}{s} \right]$ | $F (N)$ | $P (W)$ |
|---------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|---------|
| 1-1     | 0,05                               | 265                              | 0,6938                           | 120     | 83,25   |
| 1-2     | 0,05                               | 265                              | 0,6938                           | 100     | 69,38   |
| 1-3     | 0,05                               | 265                              | 0,6938                           | 80      | 55,50   |
| 1-4     | 0,05                               | 265                              | 0,6938                           | 60      | 41,63   |
| 1-5     | 0,05                               | 265                              | 0,6938                           | 40      | 27,75   |
| 1-6     | 0,05                               | 265                              | 0,6938                           | 20      | 13,88   |
| 2-1     | 0,1                                | 265                              | 0,6938                           | 120     | 83,25   |
| 2-2     | 0,1                                | 265                              | 0,6938                           | 100     | 69,38   |
| 2-3     | 0,1                                | 265                              | 0,6938                           | 80      | 55,50   |
| 2-4     | 0,1                                | 265                              | 0,6938                           | 60      | 41,63   |
| 2-5     | 0,1                                | 265                              | 0,6938                           | 40      | 27,75   |
| 2-6     | 0,1                                | 265                              | 0,6938                           | 20      | 13,88   |
| 3-1     | 0,05                               | 375                              | 0,9817                           | 120     | 117,81  |
| 3-2     | 0,05                               | 375                              | 0,9817                           | 100     | 98,17   |
| 3-3     | 0,05                               | 375                              | 0,9817                           | 80      | 78,54   |
| 3-4     | 0,05                               | 375                              | 0,9817                           | 60      | 58,90   |
| 3-5     | 0,05                               | 375                              | 0,9817                           | 40      | 39,27   |
| 3-6     | 0,05                               | 375                              | 0,9817                           | 20      | 19,63   |
| 4-1     | 0,1                                | 375                              | 0,9817                           | 120     | 117,81  |
| 4-2     | 0,1                                | 375                              | 0,9817                           | 100     | 98,17   |
| 4-3     | 0,1                                | 375                              | 0,9817                           | 80      | 78,54   |
| 4-4     | 0,1                                | 375                              | 0,9817                           | 60      | 58,90   |
| 4-5     | 0,1                                | 375                              | 0,9817                           | 40      | 39,27   |
| 4-6     | 0,1                                | 375                              | 0,9817                           | 20      | 19,63   |

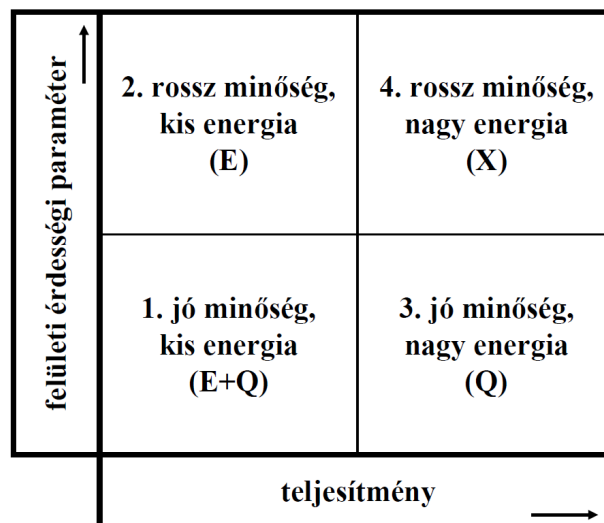
#### 4.4. A felületi érdesség mérése

A felületi érdesség mérőszámainak mérése AltiSurf 520 jelölésű érdességmérő berendezéssel történt, amely a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetének folyosóján található. A mérőgép három, egymásra merőleges x-y-z motorizált egyenáramú tengelyek mentén képes mozogni, tengelyenként 200 mm-en. Maximális sebessége nagyjából 40 mm/sec, akár 0,1  $\mu\text{m}$ -es léptékben [30].

A felületi topográfia részletes elemzését a mérőgéphez tartozó AltiMap szoftver segítségével végeztem el. A gép több érzékelője közül az érintésmentes interferometrikus háromszögelt lézert alkalmaztam. Az általa készített jegyzőkönyvek nagy száma miatt mindet nem lenne célszerű bemutatni, azonban a mellékletek között megtalálható 1-1 példány a szemléltetés kedvéért [1-2. melléklet].

#### 4.5. A Kraljic-mátrixok

A Kraljic-mátrix Peter Kraljic nevéhez kötődik, aki 1983-as cikkében [31] alapjaiban hozott újdonságokat a beszerzési piacon. Ötletét azóta a tudomány és az ipar számos területén alkalmazták, az adott feladat paramétereire átültetve a gondolat lényegét. Az általam alkalmazott mátrix esetén is egy Descartes-féle koordináta-rendszerben kell felvenni pontokat, mégpedig úgy, hogy a függőleges tengelyen a megmunkálás energiaigénye, a vízszintes pedig az egyes felületérdességi mérőszámok kapnak helyet. A leendő értékeket mindkét irányban megfeleztve négy részre osztható a mátrix, ahogyan azt már korábbi munkám [32] során is használtam. Ez látható a 15. ábrán.



15. ábra. A felületérdességre vonatkoztatott Kraljic mátrix [32]

Látható, hogy a bal alsó zóna a célkitűzés, hiszen itt mind a minőség (Q), mind az energiafelhasználás (E) megfelelő; míg a jobb felső zóna kerülendő a rossz felületminőség és nagy energiaigény miatt.

Megfontolandó a Kraljic-mátrix 3x3-as felosztása is, ekkor ugyanis még inkább kiszűrhetők a leginkább ajánlott és kerülendő kombinációk. Ehhez az értékek két irányban vett harmadolására van szükség.

Az is fontos szempont, hogy a gyémántvasalás milyen mértékben javított az esztergált felületen. Ennek megállapításához javulási tényezőket kell számítanom, melyek aztán szintén elhelyezhetők egy Kraljic-mátrixban, a teljesítmény függvényében. Ekkor változik a mátrix celláinak megítélése, ahogy az a 16. ábrán is látható.

|                       |                                          |                                         |
|-----------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| javulási tényező<br>↑ | 1. nagy javulás,<br>kis energia<br>(I+E) | 3. nagy javulás,<br>nagy energia<br>(I) |
|                       | 2. kis javulás,<br>kis energia<br>(E)    | 4. kis javulás,<br>nagy energia<br>(X)  |
|                       | teljesítmény<br>→                        |                                         |

**16. ábra.** A javulási tényezőre vonatkoztatott Kraljic mátrix

Mint látható, a bal felső zóna vált célkitűzéssé, hiszen a kis energiaigény (E) mellett itt találni a legnagyobb javulási tényezőket (I). A 2. és 3. cellák itt is átmeneti zónák, előbbi esetén a javulási tényező, utóbbinál pedig az energiafelhasználás nem megfelelő; míg a 4. szektorban egyik paraméter sem ideális.

## 5. A kísérleti eredmények ismertetése

### 5.1. Az esztergált felület érdességmérésének eredményei

A kísérletek során az esztergált és a gyémántvasalt felületek érdességét hasonlítom össze, figyelembe véve az egyes megmunkálások teljesítmény-igényét. Ehhez először is az esztergálások után mért felületérdesség értékeket foglalom össze a 3. és a 4. táblázatban. Előbbiben a 2D-s, utóbbiban a 3D-s felületérdességi mérőszámokkal. Az értékek  $[\mu\text{m}]$  mértékegységben kerülnek megadásra. Minden felületszelvény 3 ponton került mérésre, a táblázatok már ezen három érték átlagát tartalmazzák.

**3. Táblázat.** A 2D-s felületérdességi eredmények esztergált felület esetén

| Sorszám | $R_a$ $[\mu\text{m}]$ | $R_q$ $[\mu\text{m}]$ | $R_z$ $[\mu\text{m}]$ | $R_t$ $[\mu\text{m}]$ | $R_k$ $[\mu\text{m}]$ | $R_{pk}$ $[\mu\text{m}]$ | $R_{vk}$ $[\mu\text{m}]$ |
|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1-1     | 0,6555                | 0,8127                | 3,9356                | 5,5208                | 2,1046                | 0,9355                   | 0,6420                   |
| 1-2     | 0,4742                | 0,5934                | 2,9194                | 3,5890                | 1,4986                | 0,6592                   | 0,5286                   |
| 1-3     | 0,4394                | 0,5375                | 2,5227                | 3,1892                | 1,4231                | 0,5460                   | 0,4237                   |
| 1-4     | 0,4800                | 0,5876                | 2,8559                | 3,8789                | 1,5009                | 0,6088                   | 0,6137                   |
| 1-5     | 0,5995                | 0,7250                | 3,2508                | 3,8453                | 2,0058                | 0,5771                   | 0,5446                   |
| 1-6     | 0,6117                | 0,7543                | 3,5438                | 4,3123                | 1,9469                | 0,7777                   | 0,7013                   |
| 2-1     | 1,1651                | 1,4261                | 6,3576                | 7,2268                | 3,4394                | 1,3247                   | 0,9834                   |
| 2-2     | 1,0613                | 1,2877                | 5,5586                | 6,6256                | 3,2718                | 1,1155                   | 0,7182                   |
| 2-3     | 1,0489                | 1,2675                | 5,4421                | 6,2716                | 2,9193                | 1,2359                   | 0,9382                   |
| 2-4     | 0,9312                | 1,1607                | 5,4445                | 6,1983                | 2,5955                | 1,2793                   | 1,0536                   |
| 2-5     | 0,6686                | 0,8620                | 4,3666                | 5,2065                | 1,9577                | 0,9869                   | 1,0254                   |
| 2-6     | 0,6368                | 0,7941                | 3,9027                | 4,7670                | 2,0586                | 0,7516                   | 0,8184                   |
| 3-1     | 0,4378                | 0,5489                | 2,7247                | 3,3998                | 1,3746                | 0,6389                   | 0,5168                   |
| 3-2     | 0,4975                | 0,6339                | 3,3424                | 4,1871                | 1,5301                | 0,7952                   | 0,6042                   |
| 3-3     | 0,4530                | 0,5704                | 2,8413                | 3,1831                | 1,3914                | 0,6697                   | 0,5529                   |
| 3-4     | 0,4303                | 0,5438                | 2,6502                | 3,6439                | 1,3443                | 0,6722                   | 0,4380                   |
| 3-5     | 0,4534                | 0,5725                | 2,7735                | 3,8057                | 1,3518                | 0,7159                   | 0,6307                   |
| 3-6     | 0,5613                | 0,7409                | 3,6012                | 5,7649                | 1,4462                | 1,3751                   | 0,9360                   |
| 4-1     | 0,9195                | 1,0868                | 4,4301                | 5,2614                | 2,9300                | 0,5927                   | 0,8114                   |
| 4-2     | 0,8739                | 1,0347                | 4,1377                | 4,7029                | 2,7037                | 0,2976                   | 0,9094                   |
| 4-3     | 0,8346                | 0,9863                | 4,0095                | 4,5198                | 2,6736                | 0,3451                   | 0,8264                   |
| 4-4     | 0,8612                | 1,0278                | 4,2195                | 4,7548                | 2,6916                | 0,6169                   | 0,8863                   |
| 4-5     | 0,8684                | 1,0192                | 4,1175                | 4,7609                | 2,8770                | 0,4588                   | 0,7616                   |
| 4-6     | 0,9452                | 1,1615                | 5,1076                | 5,9694                | 3,0854                | 0,9768                   | 0,9691                   |

**4. Táblázat.** A 3D-s felületérdességi eredmények esztergált felület esetén

| Sorszám | $S_a[\mu\text{m}]$ | $S_q[\mu\text{m}]$ | $S_z[\mu\text{m}]$ | $S_{10z}[\mu\text{m}]$ | $S_k[\mu\text{m}]$ | $S_{pk}[\mu\text{m}]$ | $S_{vk}[\mu\text{m}]$ |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1-1     | 0,7087             | 0,9481             | 7,4002             | 4,5901                 | 2,0059             | 1,2221                | 1,1289                |
| 1-2     | 0,5073             | 0,6344             | 4,5697             | 3,1895                 | 1,5880             | 0,6686                | 0,4649                |
| 1-3     | 0,4704             | 0,5836             | 4,6805             | 3,0639                 | 1,4449             | 0,5500                | 0,3615                |
| 1-4     | 0,4929             | 0,6211             | 5,2362             | 3,9943                 | 1,4552             | 0,6910                | 0,4167                |
| 1-5     | 0,6457             | 0,7916             | 5,2287             | 3,5957                 | 1,9636             | 0,6103                | 0,5352                |
| 1-6     | 0,6558             | 0,8202             | 5,7232             | 3,7356                 | 2,0137             | 0,8299                | 0,5772                |
| 2-1     | 1,1962             | 1,4695             | 10,2233            | 6,2509                 | 3,5209             | 1,2901                | 1,0627                |
| 2-2     | 1,1215             | 1,3570             | 8,5374             | 5,5952                 | 3,4790             | 1,0842                | 0,8243                |
| 2-3     | 1,0976             | 1,3414             | 10,0611            | 5,8599                 | 2,7433             | 1,4007                | 0,9896                |
| 2-4     | 0,9546             | 1,1941             | 7,5710             | 4,2946                 | 2,5770             | 1,2778                | 0,9975                |
| 2-5     | 0,7191             | 0,9350             | 6,7610             | 3,2199                 | 1,9595             | 1,1129                | 1,0183                |
| 2-6     | 0,7099             | 0,9139             | 7,6108             | 5,3666                 | 2,1397             | 0,8546                | 0,9758                |
| 3-1     | 0,4688             | 0,5892             | 4,9489             | 3,4064                 | 1,4007             | 0,6501                | 0,4331                |
| 3-2     | 0,5067             | 0,6346             | 5,5182             | 4,4192                 | 1,5449             | 0,5498                | 0,5354                |
| 3-3     | 0,4745             | 0,5976             | 4,4675             | 3,2350                 | 1,4501             | 0,6462                | 0,4710                |
| 3-4     | 0,4397             | 0,5552             | 4,3636             | 3,0035                 | 1,3295             | 0,6039                | 0,4420                |
| 3-5     | 0,4825             | 0,6124             | 4,7596             | 2,9773                 | 1,4700             | 0,6332                | 0,5933                |
| 3-6     | 0,5230             | 0,6617             | 5,0790             | 3,6488                 | 1,6043             | 0,6353                | 0,5838                |
| 4-1     | 0,9819             | 1,2030             | 7,3160             | 4,1697                 | 2,9780             | 0,9940                | 1,1120                |
| 4-2     | 0,8867             | 1,0500             | 5,8392             | 3,6036                 | 2,8166             | 0,3292                | 0,7635                |
| 4-3     | 0,8432             | 1,0025             | 5,4743             | 3,3625                 | 2,6073             | 0,2846                | 0,8270                |
| 4-4     | 0,8670             | 1,0451             | 6,2153             | 4,0342                 | 2,6690             | 0,5712                | 0,7621                |
| 4-5     | 0,9927             | 1,2176             | 7,2823             | 4,1224                 | 3,1806             | 0,9703                | 1,0269                |
| 4-6     | 1,0341             | 1,2945             | 8,1115             | 4,0193                 | 3,3451             | 1,1456                | 1,3832                |

Ezen adatokról önmagukban egyelőre sok minden nem mondható, azt azonban érdemes összevetni, hogy két, illetve három dimenziós mérőszám-párok hogyan viszonyulnak egymáshoz. Hogy erről egy átfogó képet kapjak, átlagoltam a 24 felületre vett értékeket mindkét esetben, melyeket az 5. táblázatban foglaltam össze.

Páronként vizsgálva az értékeket megállapítható, hogy ha ugyan minimálisan is, de vannak eltérések az eredmények tekintetében, amely arra enged következtetni, hogy ajánlott a 3D-s mérések alkalmazása is.

**5. Táblázat.** Az átlagolt felületérdességek esztergált felület esetén

|                            |        |                             |        |
|----------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]    | 0,7045 | $S_a$ [ $\mu\text{m}$ ]     | 0,7409 |
| $R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]    | 0,8640 | $S_q$ [ $\mu\text{m}$ ]     | 0,9197 |
| $R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]    | 3,9190 | $S_{10z}$ [ $\mu\text{m}$ ] | 4,0316 |
| $R_t$ [ $\mu\text{m}$ ]    | 4,7744 | $S_z$ [ $\mu\text{m}$ ]     | 6,3741 |
| $R_k$ [ $\mu\text{m}$ ]    | 2,1718 | $S_k$ [ $\mu\text{m}$ ]     | 2,2203 |
| $R_{pk}$ [ $\mu\text{m}$ ] | 0,7897 | $S_{pk}$ [ $\mu\text{m}$ ]  | 0,8169 |
| $R_{vk}$ [ $\mu\text{m}$ ] | 0,7431 | $S_{vk}$ [ $\mu\text{m}$ ]  | 0,7619 |

## 5.2. A gyémántvasalt felület érdességmérésének kiértékelése

Az esztergált felületek mérését követően joggal reménykedtem abban, hogy a gyémántvasalt felületek mérése során kisebb értékeket kapok, ez pedig így is lett. Elsősorban ezen értékeket foglalom össze a 6. és a 7. táblázatban, feltüntetve az egyes megmunkálások teljesítmény-igényét is.

**6. Táblázat.** A 2D-s felületérdességi eredmények gyémántvasalt felület esetén

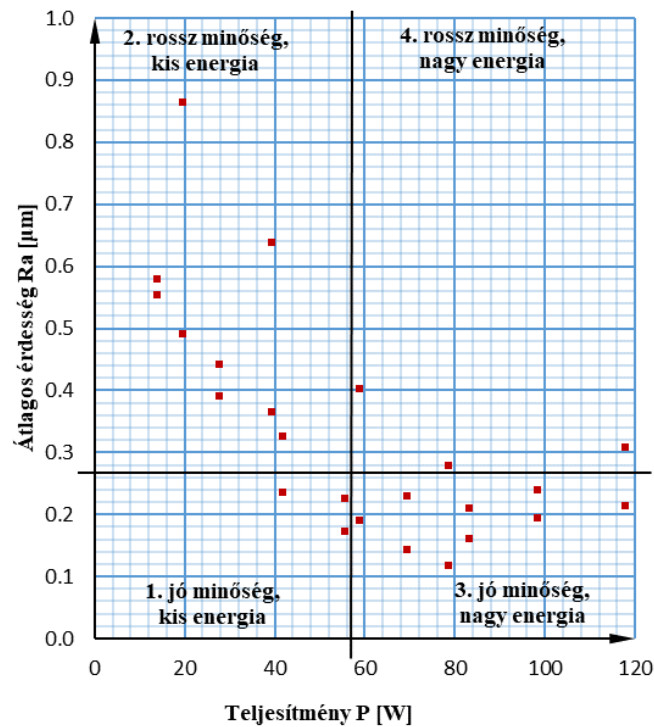
| Sorszám | $P$ (W) | $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ] | $R_q$ [ $\mu\text{m}$ ] | $R_z$ [ $\mu\text{m}$ ] | $R_t$ [ $\mu\text{m}$ ] | $R_k$ [ $\mu\text{m}$ ] | $R_{pk}$ [ $\mu\text{m}$ ] | $R_{vk}$ [ $\mu\text{m}$ ] |
|---------|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1-1     | 83,25   | 0,1613                  | 0,2047                  | 1,0840                  | 1,4252                  | 0,5069                  | 0,2023                     | 0,2148                     |
| 1-2     | 69,38   | 0,1425                  | 0,1856                  | 1,0071                  | 1,3855                  | 0,4087                  | 0,2430                     | 0,1857                     |
| 1-3     | 55,50   | 0,1729                  | 0,2254                  | 1,1969                  | 1,6449                  | 0,4516                  | 0,1597                     | 0,3953                     |
| 1-4     | 41,63   | 0,2365                  | 0,3036                  | 1,5809                  | 1,9624                  | 0,5918                  | 0,2392                     | 0,5601                     |
| 1-5     | 27,75   | 0,3907                  | 0,4828                  | 2,2278                  | 2,6826                  | 1,1913                  | 0,2853                     | 0,6321                     |
| 1-6     | 13,88   | 0,5536                  | 0,6534                  | 2,6881                  | 3,3997                  | 1,8982                  | 0,3871                     | 0,4608                     |
| 2-1     | 83,25   | 0,2097                  | 0,2715                  | 1,4667                  | 1,9745                  | 0,6013                  | 0,3417                     | 0,3040                     |
| 2-2     | 69,38   | 0,2297                  | 0,3151                  | 1,7310                  | 2,3835                  | 0,5975                  | 0,2481                     | 0,6299                     |
| 2-3     | 55,50   | 0,2269                  | 0,3225                  | 2,1284                  | 2,7650                  | 0,5275                  | 0,2951                     | 0,6434                     |
| 2-4     | 41,63   | 0,3263                  | 0,4285                  | 2,2742                  | 2,6612                  | 0,8054                  | 0,2462                     | 0,8208                     |
| 2-5     | 27,75   | 0,4412                  | 0,5620                  | 2,7027                  | 3,1647                  | 1,1289                  | 0,3781                     | 0,9494                     |
| 2-6     | 13,88   | 0,5796                  | 0,6990                  | 3,0775                  | 3,7813                  | 1,9508                  | 0,4861                     | 0,5563                     |
| 3-1     | 117,81  | 0,2148                  | 0,2614                  | 1,2592                  | 1,7121                  | 0,7084                  | 0,2507                     | 0,2560                     |
| 3-2     | 98,17   | 0,1955                  | 0,2705                  | 1,5149                  | 2,8504                  | 0,4850                  | 0,5234                     | 0,3274                     |
| 3-3     | 78,54   | 0,1180                  | 0,1545                  | 0,8771                  | 1,3001                  | 0,3330                  | 0,1926                     | 0,2080                     |
| 3-4     | 58,90   | 0,1910                  | 0,2507                  | 1,3331                  | 1,5717                  | 0,5305                  | 0,1997                     | 0,4332                     |
| 3-5     | 39,27   | 0,3655                  | 0,4710                  | 2,4158                  | 3,5188                  | 1,0136                  | 0,4980                     | 0,6717                     |
| 3-6     | 19,63   | 0,4915                  | 0,6050                  | 2,7448                  | 3,3662                  | 1,5629                  | 0,5459                     | 0,6075                     |

| Sorszám | $P (W)$ | $R_a [\mu m]$ | $R_q [\mu m]$ | $R_z [\mu m]$ | $R_t [\mu m]$ | $R_k [\mu m]$ | $R_{pk} [\mu m]$ | $R_{vk} [\mu m]$ |
|---------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|
| 4-1     | 117,81  | 0,3081        | 0,3865        | 1,9648        | 2,6216        | 0,9515        | 0,4880           | 0,3495           |
| 4-2     | 98,17   | 0,2404        | 0,3206        | 1,9111        | 2,6246        | 0,7022        | 0,2702           | 0,5835           |
| 4-3     | 78,54   | 0,2800        | 0,3960        | 2,1619        | 2,6795        | 0,6340        | 0,2420           | 0,9645           |
| 4-4     | 58,90   | 0,4026        | 0,5435        | 2,6319        | 3,3265        | 0,8462        | 0,2623           | 1,2845           |
| 4-5     | 39,27   | 0,6382        | 0,7685        | 3,2258        | 3,7691        | 1,6857        | 0,3666           | 1,0391           |
| 4-6     | 19,63   | 0,8648        | 1,0369        | 4,3843        | 5,0996        | 2,8499        | 0,3890           | 1,0936           |

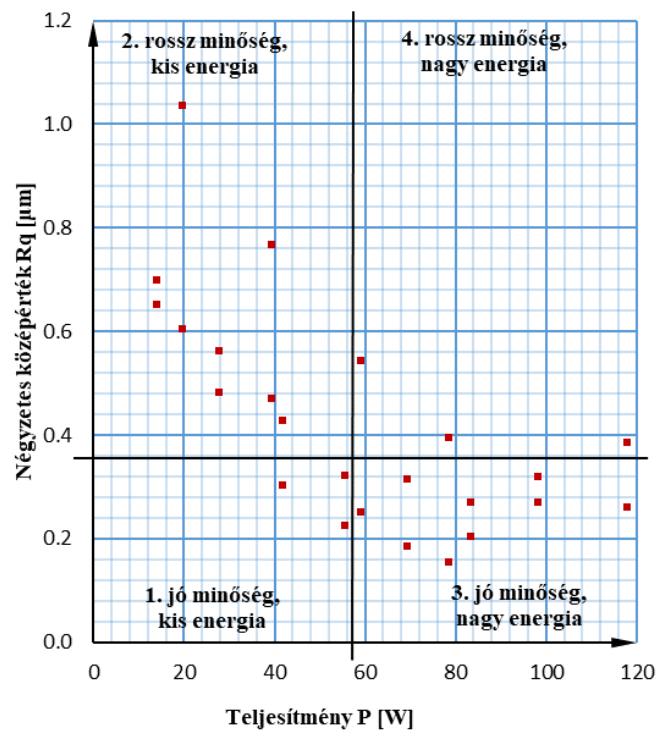
**7. Táblázat.** A 3D-s felületérdességi eredmények gyémántvasalt felület esetén

| Sorszám | $P (W)$ | $S_a [\mu m]$ | $S_q [\mu m]$ | $S_z [\mu m]$ | $S_{10z} [\mu m]$ | $S_k [\mu m]$ | $S_{pk} [\mu m]$ | $S_{vk} [\mu m]$ |
|---------|---------|---------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|------------------|------------------|
| 1-1     | 83,25   | 0,1918        | 0,2465        | 2,5665        | 1,7513            | 0,5350        | 0,2237           | 0,2639           |
| 1-2     | 69,38   | 0,1408        | 0,1816        | 2,1121        | 1,4630            | 0,3913        | 0,1477           | 0,2046           |
| 1-3     | 55,50   | 0,1743        | 0,2338        | 2,5619        | 1,6018            | 0,4292        | 0,1359           | 0,3743           |
| 1-4     | 41,63   | 0,2597        | 0,3423        | 3,1740        | 2,0017            | 0,6947        | 0,2087           | 0,5107           |
| 1-5     | 27,75   | 0,4295        | 0,5365        | 3,6529        | 1,8628            | 1,1953        | 0,3251           | 0,5571           |
| 1-6     | 13,88   | 0,5779        | 0,6953        | 4,7680        | 3,1592            | 1,7870        | 0,3928           | 0,4929           |
| 2-1     | 83,25   | 0,2534        | 0,3262        | 2,9837        | 2,5693            | 0,7396        | 0,3372           | 0,3066           |
| 2-2     | 69,38   | 0,2217        | 0,3026        | 2,9268        | 2,1298            | 0,5777        | 0,2053           | 0,4962           |
| 2-3     | 55,50   | 0,2395        | 0,3406        | 3,5610        | 2,3246            | 0,5986        | 0,1620           | 0,6460           |
| 2-4     | 41,63   | 0,3440        | 0,4713        | 4,0565        | 2,9900            | 0,8123        | 0,2748           | 0,8786           |
| 2-5     | 27,75   | 0,4821        | 0,6130        | 4,3735        | 2,7265            | 1,2607        | 0,3073           | 0,8487           |
| 2-6     | 13,88   | 0,6135        | 0,7502        | 5,1680        | 2,9274            | 1,9249        | 0,4481           | 0,6440           |
| 3-1     | 117,81  | 0,2152        | 0,2940        | 2,8711        | 1,7068            | 0,5901        | 0,3597           | 0,3674           |
| 3-2     | 98,17   | 0,1784        | 0,2505        | 3,5280        | 2,2763            | 0,4511        | 0,2905           | 0,3433           |
| 3-3     | 78,54   | 0,1201        | 0,1559        | 1,9228        | 1,3864            | 0,3201        | 0,1214           | 0,1852           |
| 3-4     | 58,90   | 0,2208        | 0,3047        | 3,1220        | 1,9191            | 0,5752        | 0,2597           | 0,4973           |
| 3-5     | 39,27   | 0,4030        | 0,5197        | 4,7612        | 3,1715            | 1,1925        | 0,4088           | 0,6539           |
| 3-6     | 19,63   | 0,5285        | 0,6698        | 5,3015        | 3,0461            | 1,5772        | 0,5799           | 0,7132           |
| 4-1     | 117,81  | 0,3805        | 0,5016        | 4,2046        | 2,2032            | 1,1328        | 0,6078           | 0,5544           |
| 4-2     | 98,17   | 0,2983        | 0,3909        | 3,8059        | 2,4686            | 0,8685        | 0,3284           | 0,5294           |
| 4-3     | 78,54   | 0,2951        | 0,4235        | 3,5570        | 2,2872            | 0,6851        | 0,2511           | 0,8967           |
| 4-4     | 58,90   | 0,4719        | 0,6252        | 4,3060        | 2,3616            | 1,1114        | 0,3419           | 1,1266           |
| 4-5     | 39,27   | 0,7783        | 0,9420        | 5,2330        | 2,8578            | 2,3308        | 0,3834           | 0,9787           |
| 4-6     | 19,63   | 0,9707        | 1,1840        | 7,2883        | 4,2552            | 3,0745        | 0,7045           | 0,9462           |

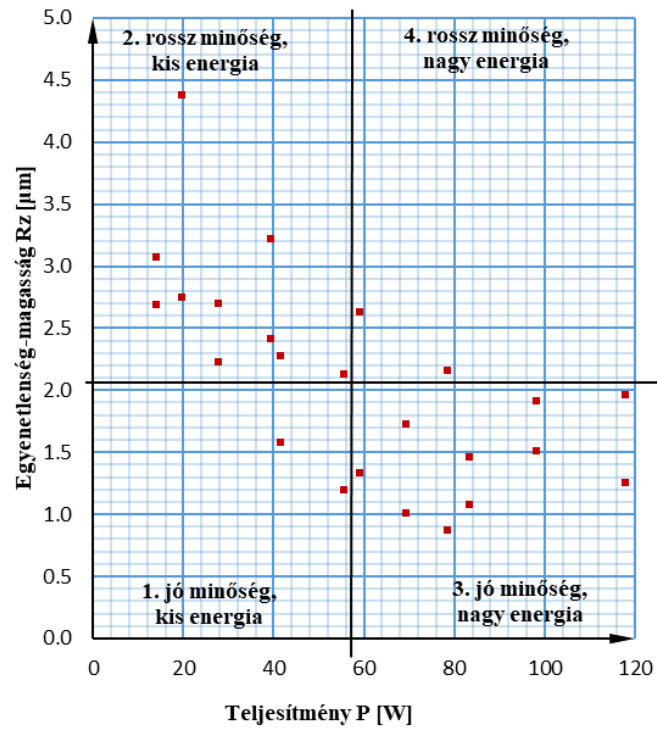
Ezen adatokból elkészítettem a 4.5. fejezetpontban ismertetett Kraljic-mátrixokat, ezeket 17-24. számú ábrák foglalják össze. Az első négy ábra a 2D-s, az utolsó négy pedig a 3D-s felületérdességi mérőszámokat tartalmazza a teljesítmény függvényében. A hordfelületi görbe jellemzőivel a későbbiekben fogok foglalkozni.



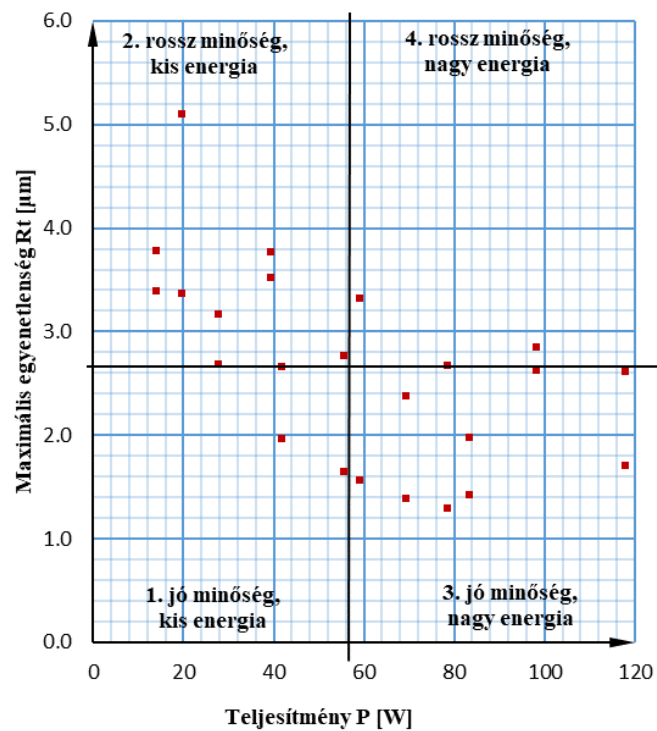
17. ábra. Az átlagos érdesség és a teljesítmény értékei gyémántvasalás során



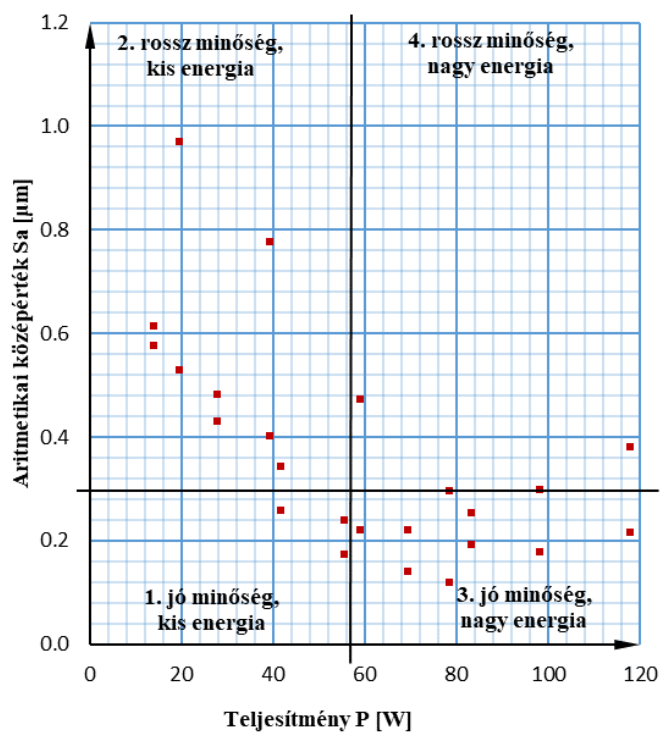
18. ábra. A négyzetes középérték és a teljesítmény értékei gyémántvasalás során



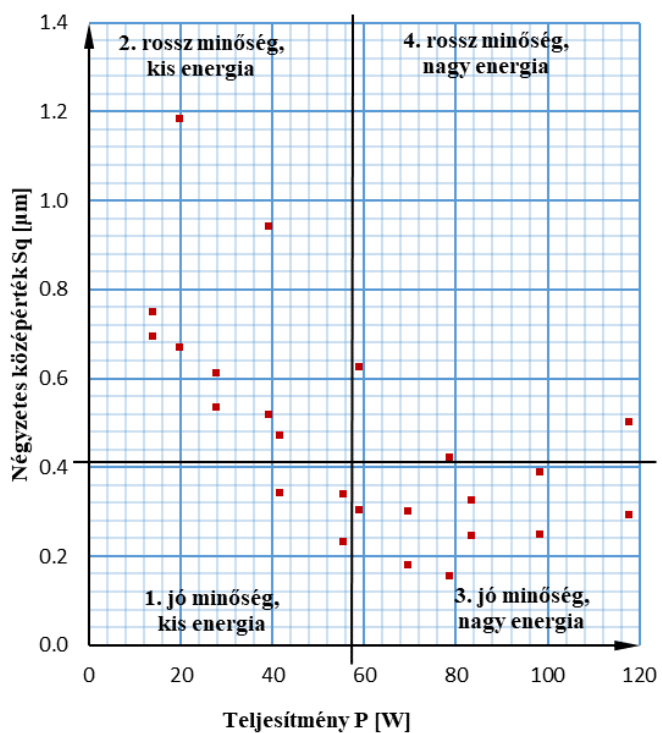
**19. ábra.** Az egyenetlenség-magasság és a teljesítmény értékei gyémántvasalás során



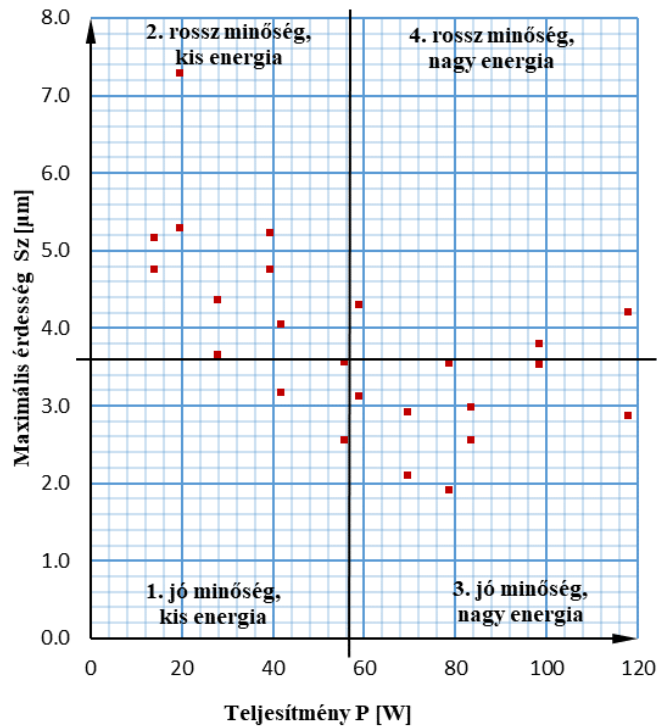
**20. ábra.** A maximális egyenetlenség és a teljesítmény értékei gyémántvasalás során



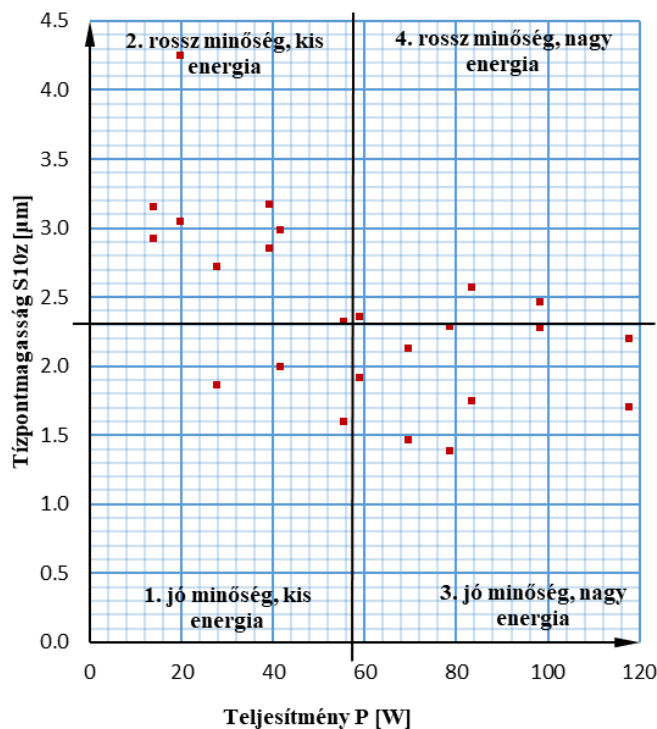
**21. ábra.** Az aritmetikai középérték és a teljesítmény értékei gyémántvasalás során



**22. ábra.** A négyzetes középérték és a teljesítmény értékei gyémántvasalás során



**23. ábra.** A maximális érdesség és a teljesítmény értékei gyémántvasalás során



**24. ábra.** A tízpontmagasság és a teljesítmény értékei gyémántvasalás során

Az ábrákból egységesen rajzolódik ki az, hogy a teljesítmény növelésével csökken az érdesség egy bizonyos fokig, majd pedig elér egy minimumpontot 60-80 W környékén, ahonnan a teljesítmény növelése a felületérdesség romlását vonja magával. Megállapítható

tehát az, hogy ezen technológiai paraméter-kombinációkkal történő megmunkálások kerülendők, ezek pontos értékeit a 2. táblázat tartalmazza.

A legjobb felületérdességi értékeket az alábbi paraméterkombinációval értem el:

- $f = 0,05 \frac{mm}{fordulat}$
- $v_v = 0,9817 \frac{m}{s}$
- $F = 80 \text{ N}; P = 78,54 \text{ W}$

Ez az adatpont azonban a Kraljic-mátrix 3. zónájába esett, tehát az energiahatékonyság szempontjából nem ideális választás. Mind a nyolc felületérdességi mérőszámot figyelembe véve két olyan paraméterkombináció volt, melyek kivétel nélkül a Kraljic-mátrix célkitűzésnek tekinthető, első zónájába kerültek; ezek csupán a vasalóerő – és ezáltal a teljesítmény – nagyságában tértek el egymástól:

- $f = 0,05 \frac{mm}{fordulat}$
- $v_v = 0,6938 \frac{m}{s}$
- $F_1 = 60 \text{ N}; P_1 = 41,63 \text{ W}$  és  $F_2 = 80 \text{ N}; P_2 = 55,5 \text{ W}$

A legjobb felületérdességet produkáló megmunkálással összevetve a technológiai adatokat belátható, hogy a nagyobb vasalási sebesség eredményezte a jobb felületminőséget, ami ugyanakkor a (6) és (7) jelű képleteknek megfelelően növelte a megmunkálás teljesítményigényét, rontva az energiahatékonyságot.

### 5.3. A javulási tényezők meghatározása, kiértékelése

A következőkben olyan paramétereit keresem a gyémántvasalásnak, amikor amellet, hogy az energiahatékonyság szempontjából megfelelő volt a megmunkálás, az esztergálást követően a legnagyobb javulást sikerült elérni a felület minőségét illetően gyémántvasalással.

Az ehhez szükséges javulási tényezőt a (8) jelű egyenlet segítségével számítom ki, ez egy százalékos érték, amely megadja, hogy mennyit javult a felületminőség a gyémántvasalásnak hála. Erre azért van szükség, mert az esztergálás során eltérő minőségű felületek adódnak, melyek kiindulópontjai a gyémántvasalásnak. A formula egy általánosító képlet, a benne szereplő „X” a 2D-s felületérdességek esetén használatos „R”, illetve a 3D-s esetben használt „S” betűket helyettesíti, míg az „y” a különböző mérőszám-típusok alsó indexeit általánosítja.

$$IX_y = \frac{X_{y;esztergált} - X_{y;vasalt}}{X_{y;vasalt}} \cdot 100 [\%] \quad (8)$$

A 8-9. táblázatokban már ezen számított adatok százalékos értékeit ismertetem, feltüntetve az egyes megmunkálások teljesítményigényét is.

**8. Táblázat.** A 2D-s felületérdességi paraméterek javulási tényezői

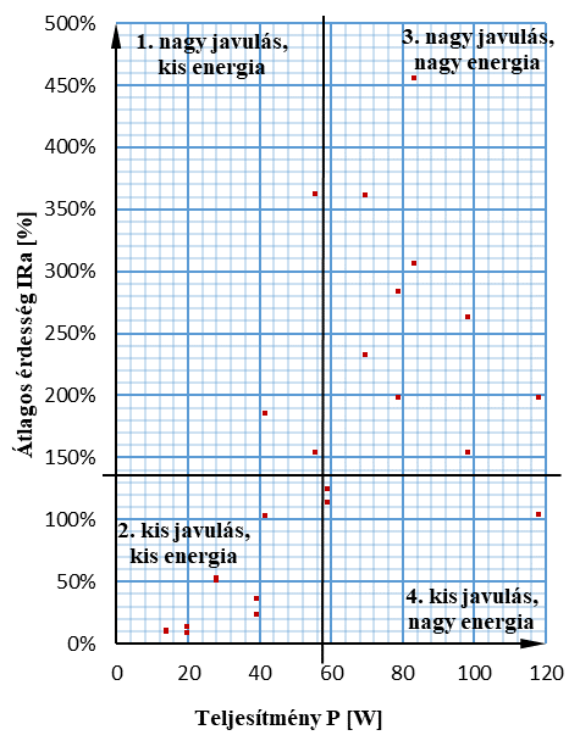
| Sorszám | $P (W)$ | $IR_a$  | $IR_q$  | $IR_z$  | $IR_t$  | $IR_k$  | $IR_{pk}$ | $IR_{vk}$ |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| 1-1     | 83,25   | 306,45% | 297,08% | 263,05% | 287,37% | 315,18% | 362,43%   | 198,87%   |
| 1-2     | 69,38   | 232,72% | 219,76% | 189,89% | 159,03% | 266,65% | 171,25%   | 184,72%   |
| 1-3     | 55,50   | 154,12% | 138,50% | 110,76% | 93,88%  | 215,14% | 241,87%   | 7,18%     |
| 1-4     | 41,63   | 102,97% | 93,54%  | 80,66%  | 97,66%  | 153,61% | 154,56%   | 9,56%     |
| 1-5     | 27,75   | 53,44%  | 50,17%  | 45,92%  | 43,34%  | 68,37%  | 102,27%   | -13,84%   |
| 1-6     | 13,88   | 10,49%  | 15,45%  | 31,83%  | 26,84%  | 2,56%   | 100,90%   | 52,18%    |
| 2-1     | 83,25   | 455,68% | 425,34% | 333,46% | 266,00% | 471,97% | 287,73%   | 223,52%   |
| 2-2     | 69,38   | 361,96% | 308,66% | 221,12% | 177,98% | 447,55% | 349,68%   | 14,03%    |
| 2-3     | 55,50   | 362,33% | 292,99% | 155,69% | 126,82% | 453,46% | 318,80%   | 45,83%    |
| 2-4     | 41,63   | 185,36% | 170,86% | 139,40% | 132,91% | 222,25% | 419,53%   | 28,35%    |
| 2-5     | 27,75   | 51,53%  | 53,37%  | 61,56%  | 64,52%  | 73,42%  | 161,01%   | 8,00%     |
| 2-6     | 13,88   | 9,87%   | 13,60%  | 26,81%  | 26,07%  | 5,53%   | 54,61%    | 47,11%    |
| 3-1     | 117,81  | 103,82% | 109,97% | 116,38% | 98,57%  | 94,04%  | 154,86%   | 101,85%   |
| 3-2     | 98,17   | 154,49% | 134,36% | 120,63% | 46,89%  | 215,47% | 51,91%    | 84,57%    |
| 3-3     | 78,54   | 284,04% | 269,25% | 223,94% | 144,84% | 317,85% | 247,76%   | 165,82%   |
| 3-4     | 58,90   | 125,31% | 116,90% | 98,80%  | 131,84% | 153,38% | 236,68%   | 1,09%     |
| 3-5     | 39,27   | 24,05%  | 21,56%  | 14,81%  | 8,15%   | 33,36%  | 43,77%    | -6,11%    |
| 3-6     | 19,63   | 14,21%  | 22,46%  | 31,20%  | 71,26%  | -7,47%  | 151,90%   | 54,07%    |
| 4-1     | 117,81  | 198,42% | 181,18% | 125,47% | 100,70% | 207,95% | 21,46%    | 132,14%   |
| 4-2     | 98,17   | 263,51% | 222,76% | 116,51% | 79,18%  | 285,03% | 10,17%    | 55,87%    |
| 4-3     | 78,54   | 198,10% | 149,07% | 85,46%  | 68,68%  | 321,71% | 42,64%    | -14,31%   |
| 4-4     | 58,90   | 113,90% | 89,10%  | 60,32%  | 42,93%  | 218,07% | 135,15%   | -31,00%   |
| 4-5     | 39,27   | 36,06%  | 32,62%  | 27,64%  | 26,32%  | 70,67%  | 25,13%    | -26,71%   |
| 4-6     | 19,63   | 9,29%   | 12,01%  | 16,50%  | 17,06%  | 8,26%   | 151,09%   | -11,38%   |

**9. Táblázat.** A 3D-s felületérdességi paraméterek javulási tényezői

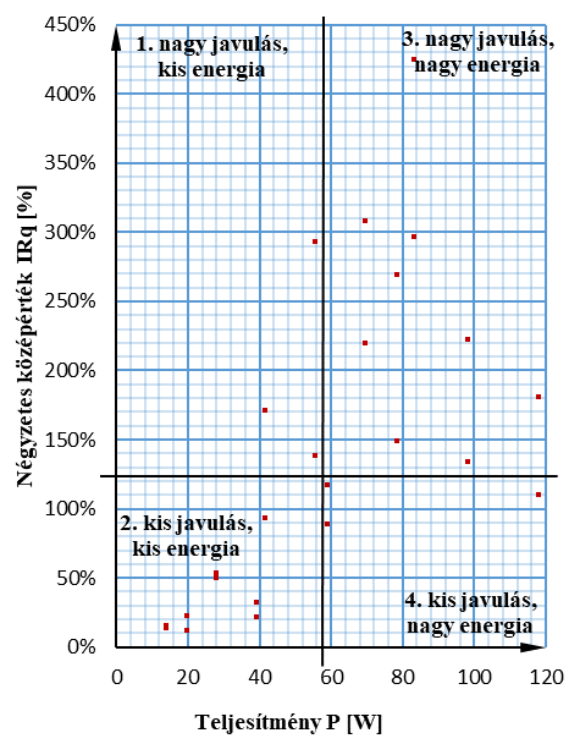
| Sorszám | $P (W)$ | $IS_a$  | $IS_q$  | $IS_z$  | $IS_{10z}$ | $IS_k$  | $IS_{pk}$ | $IS_{vk}$ |
|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|
| 1-1     | 83,25   | 269,56% | 284,64% | 188,34% | 162,10%    | 274,96% | 446,41%   | 327,71%   |
| 1-2     | 69,38   | 260,27% | 249,34% | 116,36% | 118,01%    | 305,82% | 352,65%   | 127,19%   |
| 1-3     | 55,50   | 169,88% | 149,62% | 82,70%  | 91,28%     | 236,62% | 304,73%   | -3,40%    |
| 1-4     | 41,63   | 89,83%  | 81,42%  | 64,97%  | 99,55%     | 109,48% | 231,06%   | -18,39%   |
| 1-5     | 27,75   | 50,34%  | 47,56%  | 43,14%  | 93,03%     | 64,28%  | 87,74%    | -3,93%    |
| 1-6     | 13,88   | 13,49%  | 17,96%  | 20,03%  | 18,25%     | 12,69%  | 111,27%   | 17,09%    |

| Sorszám | $P (W)$ | $IS_a$  | $IS_q$  | $IS_z$  | $IS_{10z}$ | $IS_k$  | $IS_{pk}$ | $IS_{vk}$ |
|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|
| 2-1     | 83,25   | 372,11% | 350,50% | 242,64% | 143,29%    | 376,05% | 282,55%   | 246,63%   |
| 2-2     | 69,38   | 405,94% | 348,45% | 191,70% | 162,71%    | 502,22% | 428,17%   | 66,12%    |
| 2-3     | 55,50   | 358,27% | 293,87% | 182,54% | 152,09%    | 358,25% | 764,47%   | 53,20%    |
| 2-4     | 41,63   | 177,52% | 153,39% | 86,64%  | 43,63%     | 217,24% | 365,05%   | 13,54%    |
| 2-5     | 27,75   | 49,16%  | 52,54%  | 54,59%  | 18,10%     | 55,43%  | 262,17%   | 19,98%    |
| 2-6     | 13,88   | 15,71%  | 21,82%  | 47,27%  | 83,32%     | 11,16%  | 90,69%    | 51,51%    |
| 3-1     | 117,81  | 117,88% | 100,40% | 72,37%  | 99,58%     | 137,39% | 80,73%    | 17,89%    |
| 3-2     | 98,17   | 183,97% | 153,33% | 56,41%  | 94,14%     | 242,49% | 89,28%    | 55,95%    |
| 3-3     | 78,54   | 295,09% | 283,40% | 132,34% | 133,34%    | 352,98% | 432,41%   | 154,34%   |
| 3-4     | 58,90   | 99,12%  | 82,23%  | 39,77%  | 56,51%     | 131,14% | 132,51%   | -11,13%   |
| 3-5     | 39,27   | 19,71%  | 17,84%  | -0,03%  | -6,12%     | 23,27%  | 54,88%    | -9,26%    |
| 3-6     | 19,63   | -1,03%  | -1,22%  | -4,20%  | 19,79%     | 1,72%   | 9,55%     | -18,14%   |
| 4-1     | 117,81  | 158,03% | 139,86% | 74,00%  | 89,26%     | 162,89% | 63,53%    | 100,59%   |
| 4-2     | 98,17   | 197,27% | 168,60% | 53,42%  | 45,98%     | 224,32% | 0,25%     | 44,21%    |
| 4-3     | 78,54   | 185,74% | 136,71% | 53,90%  | 47,01%     | 280,60% | 13,35%    | -7,78%    |
| 4-4     | 58,90   | 83,71%  | 67,16%  | 44,34%  | 70,82%     | 140,14% | 67,09%    | -32,35%   |
| 4-5     | 39,27   | 27,54%  | 29,26%  | 39,16%  | 44,25%     | 36,46%  | 153,08%   | 4,92%     |
| 4-6     | 19,63   | 6,54%   | 9,34%   | 11,30%  | -5,54%     | 8,80%   | 62,62%    | 46,18%    |

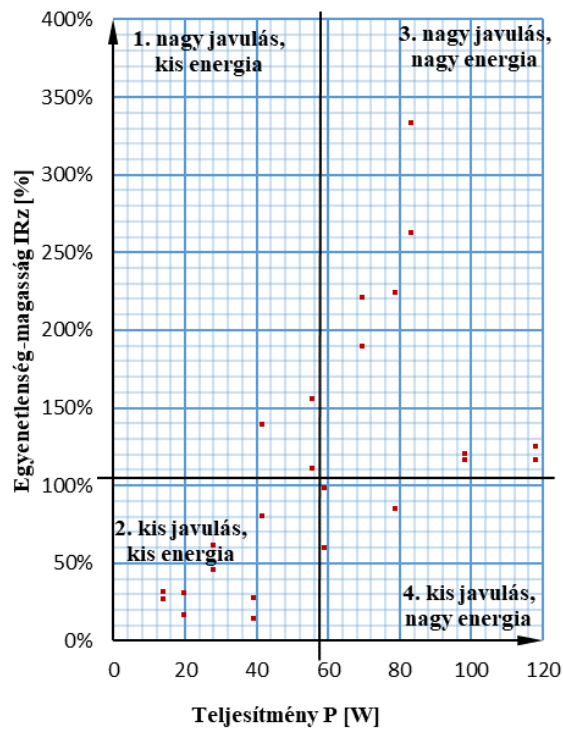
Ezen adatok segítségével szintén elkészítettem a 4.5. fejezetpontban ismertetett Kraljic-mátrixokat, csak most a 16. ábra jelöléseit alkalmazva. Ezeket 25-32. számú ábrák szemléltetik. Az első négy ábra a 2D-s, a következő négy pedig a 3D-s felületérdességi mérőszámokat tartalmazza a teljesítmény függvényében.



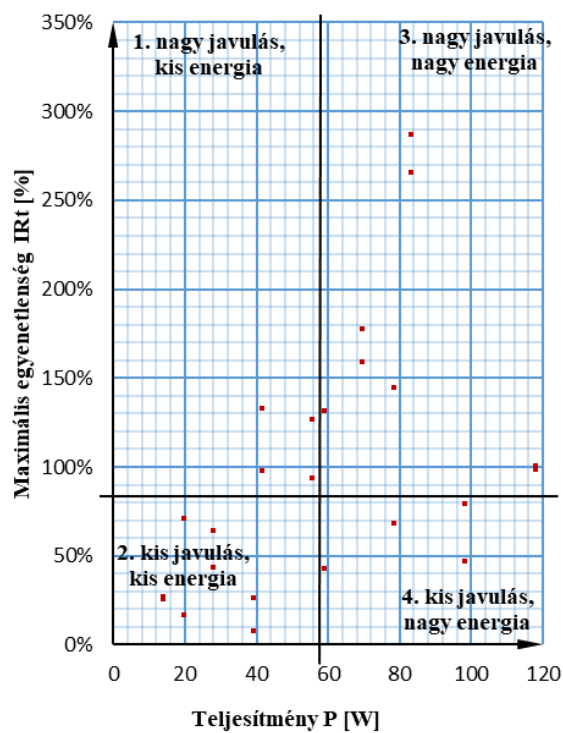
25. ábra. Az átlagos érdesség javulási tényezője gyémántvasalás után



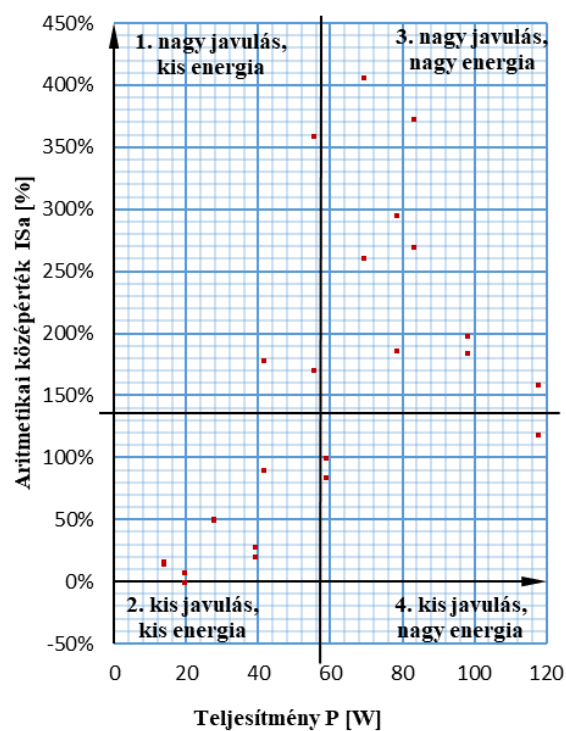
26. ábra. A négyzetes középérték javulási tényezője gyémántvasalás után



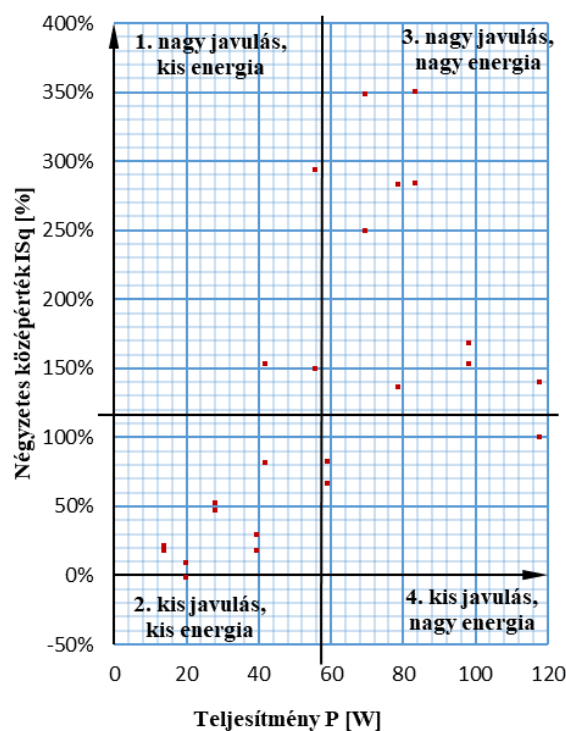
**27. ábra.** Az egyenetlenség-magasság javulási tényezője gyémántvasalás után



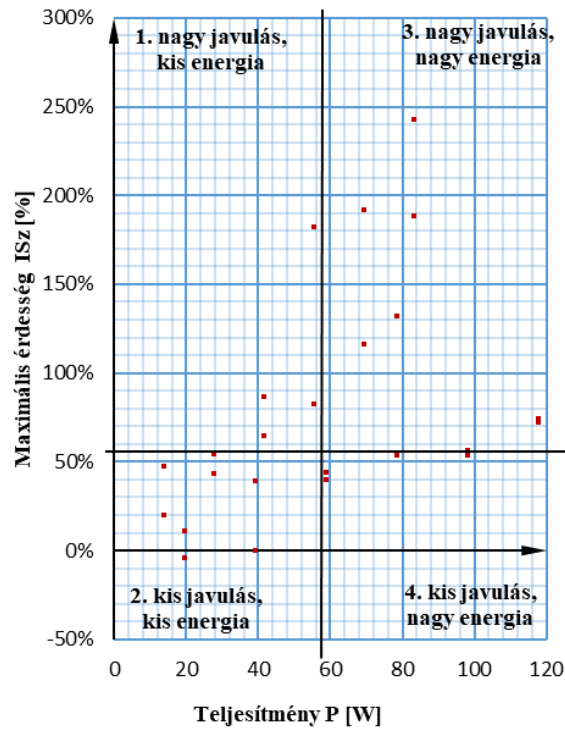
**28. ábra.** A maximális egyenetlenség javulási tényezője gyémántvasalás után



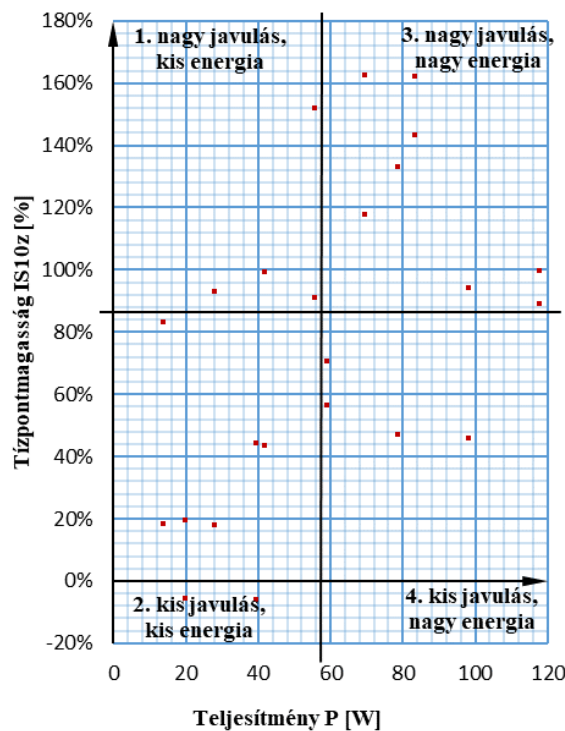
**29. ábra.** Az aritmetikai középérték javulási tényezője gyémántvasalás után



**30. ábra.** A négyzetes középérték javulási tényezője gyémántvasalás után



**31. ábra.** A maximális érdesség javulási tényezője gyémántvasalás után



**32. ábra.** A tízpontmagasság javulási tényezője gyémántvasalás után

A javulási tényezőket bemutató ábrákon is megfigyelhető ugyanaz a trend, melyet a gyémántvasalt felület érdességének kiértékelése során megállapítottam: a teljesítmény növelésével egyre nagyobb javulási tényezők érhetők el minden felületérdességi mérőszám esetén, a maximális értékek azonban ebben az esetben is 60-80 W között lesznek, onnantól

ugyanis a teljesítményt tovább növelve ugyan javul a felületminőség a gyémántvasalás hatására, de nem olyan mértékben, mint a kisebb teljesítmények esetén. Elmondható tehát, hogy azon nagy teljesítmény-igényű paraméterkombinációk minden esetben kerülendők (2. táblázat), hiszen amellett, hogy nagy energiaigényű megmunkálások, nem javítanak olyan mértékben a felületminőségen.

A legnagyobb javulási tényezőket az alábbi paraméterkombináció produkálta, ezt azonban érdemes fenntartásokkal kezelni, hiszen – rámutatva ezzel a javulási tényezők Achilles-sarkára –, ez a felület rendelkezett a legrosszabb érdességi paraméterekkel az esztergálást követően.

- $f = 0,1 \frac{mm}{fordulat}$
- $v_v = 0,6938 \frac{m}{s}$
- $F = 120 N; P = 83,25 W$

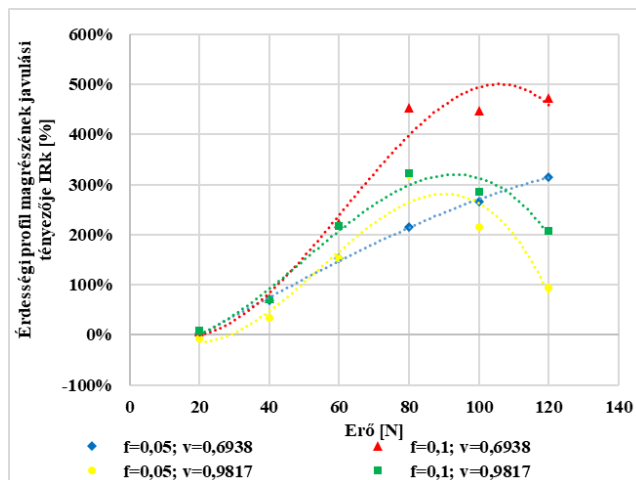
Ha azonban a Kraljic-mátrix szempontjából vizsgálom az ábrákat, akkor már vannak egyezések a korábbiakkal kapcsolatban. Három olyan paraméterkombináció is volt ugyanis, amely mind a nyolc felületérdességi mérőszámot figyelembe véve a mátrix első, kedvező zónájába esett. Ezek vasalási sebességükben megegyeztek, csupán az előtolás és a vasalóerő értékeiben tértek el egymástól. Azonosításukat a 2. táblázat sorszámozása alapján végezve, értékeik az alábbiak:

- 1-3:  $f = 0,05 \frac{mm}{fordulat}; v_v = 0,6938 \frac{m}{s}; F = 80 N; P = 55,5 W$
- 2-3:  $f = 0,1 \frac{mm}{fordulat}; v_v = 0,6938 \frac{m}{s}; F = 80 N; P = 55,5 W$
- 2-4:  $f = 0,1 \frac{mm}{fordulat}; v_v = 0,6938 \frac{m}{s}; F = 60 N; P = 41,63 W$

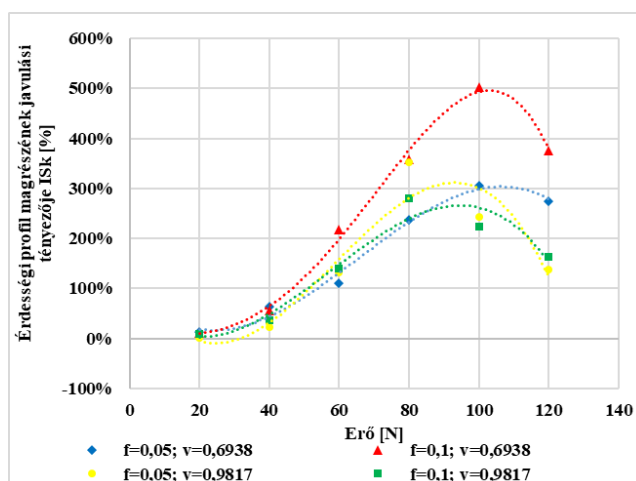
A gyémántvasalt felület érdességének kiértékelésével összevetve ezen adatokat, tapasztaltam hasonlóságokat – a vasalási sebesség, a vasalóerő és így a teljesítmény értékeiben –, amely az energiahatékonysági szempontok figyelembevételé miatt történt; ezek ugyanis azok a paraméterek, melyek befolyásolják a megmunkálás energiaigényét. A nagyobb előtolás azonban az 5.2. fejezetpontban bemutatott felületminőség-értékek alapján valójában nem kedvez a felületnek, jelen esetben is tehát csak a kedvezőtlen esztergált felület okozta a nagy javulást a felületminőségben ezen két megmunkálás (2-3 és 2-4) esetén. Általánosan megállapítható tehát, hogy a javulási tényezők értékeit fenntartásokkal kell kezelni, értéke ugyanis nagyban függ a kiinduló felület minőségétől (egy érdesebb felületen könnyű nagy javulást elérni, mint egy kevésbé érdesen), kiugró értékek esetén össze kell vetni a kiinduló felületek érdességét is, azokat esetlegesen súlyozó tényezőkkel ellátni.

A már többször említett hordfelületi görbe jellemzőit az eddigiektől eltérő filozófia alapján értékelem, mivel ezen paraméterek alakulása nem annyira egyértelmű, mint az előző esetekben.

A 33-38. ábrák a hordfelületi görbe jellemzőinek javulási tényezőit tartalmazzák az előtolás, a vasalási sebesség, illetve a vasalóerő függvényében. Első körben azonban csak a hordfelületi görbe magrészének ábráit vizsgálom a javulási tényező szempontjából, a 2D-s esetet a 33. ábra, a 3D-st pedig a 34. ábra prezentálja.



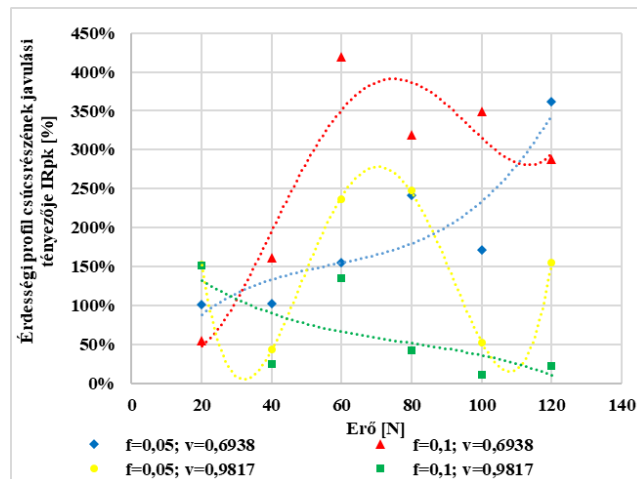
**33. ábra.** Érdességi profil magrészének javulási tényezője a vasalási sebesség, az előtolás és a vasalóerő függvényében – 2D



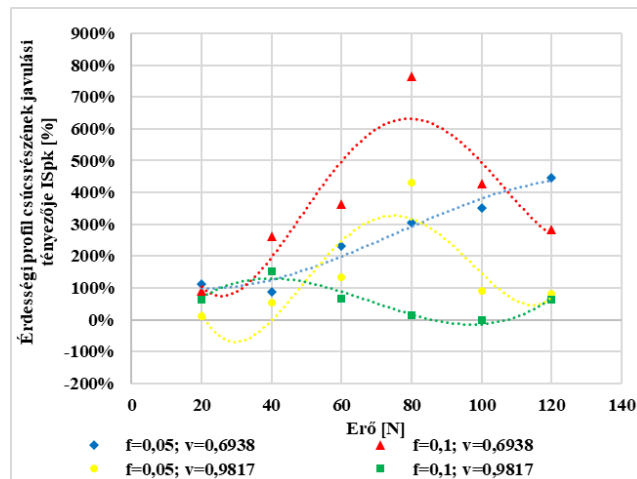
**34. ábra.** Érdességi profil magrészének javulási tényezője a vasalási sebesség, az előtolás és a vasalóerő függvényében – 3D

Az ábrák kedvezőbb nyomon követéséhez az egyes adatpont-halmazokhoz trendvonalakat vettem fel, melyekből többségében hasonló görbék adódtak. Az ábrákon az látszik, hogy a vasalóerő növelésével folyamatosan növekszik a javulási tényező mértéke, míg nem elér egy maximumpontot, ahonnan már csökkenésnek indul. Ez megegyezik az eddigi megfigyeléseimmel a többi felületérdességi mérőszámmal kapcsolatosan. Az ábrákon – főképp a 3D-s paramétert elemző, 34. ábrán – az is látszik, hogy az egyező vasalási sebességek esetén (piros-kék, illetve zöld-sárga trendvonal) a görbék maximumhelye, vagyis a vasalóerő megegyezik, csak a javulási tényező értékeiben térnek el egymástól.

A 35-36. ábrákon az érdességi profil csúcsrészének javulási tényezői láthatók.



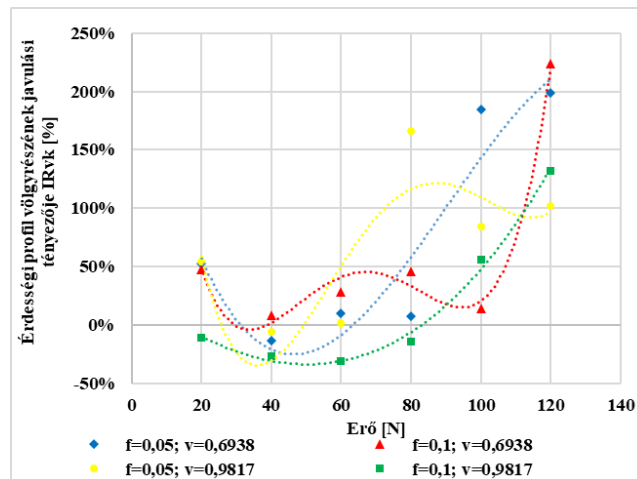
**35. ábra.** Érdességi profil csúcsrészének javulási tényezője a vasalási sebesség, az előtolás és a vasalóerő függvényében – 2D



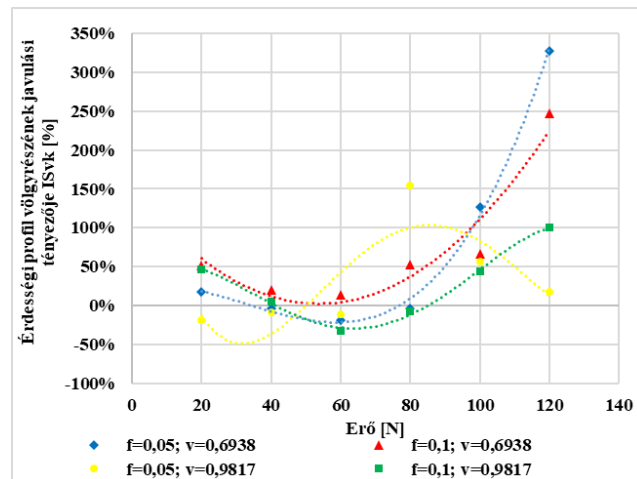
**36. ábra.** Érdességi profil csúcsrészének javulási tényezője a vasalási sebesség, az előtolás és a vasalóerő függvényében – 3D

Az érdességi profil csúcsrészének javulási tényezőiben már sokkal nagyobb szórást találni a technológiai paraméterek változtatásától függően. Az érdességi profil csúcsrésze a profil legfelső pontjait jelenti, a 7. ábrán ismertetett módon arányosítva a magzóna és a völgyzóna anyaghányadával. Ezt a tényezőt érdemesebb inkább csupán a 3D-s esetre vetítve értékelni, a 2D-s adatok ugyanis nem adtak értékelhető képet a témáról. Megállapítható, hogy a minimális előtolás és vasalási sebesség esetén (kék trendvonal) a vasalóerő növelésével folyamatosan nőtt a javulási tényező, míg ezen paraméterek maximális értékeinél (zöld trendvonal) a vasalóerő növelése idővel még rontott is az érdességi profil csúcsrészének nagyságán. Az értékek minimális-maximális kombinációja esetén ellenben (piros, sárga trendvonal) megint volt a javulási tényezőnek maximális értéke, 70-80 N vasalóerő felett az előbbiekhöz hasonlóan már kisebb javulás volt elérhető.

Végül pedig, a 37-38. ábrákon az érdességi profil völgyrészének javulási tényezői láthatók.



**37. ábra.** Érdességi profil völgyrészének javulási tényezője a vasalási sebesség, az előtolás és a vasalóerő függvényében – 2D



**38. ábra.** Érdességi profil völgyrészének javulási tényezője a vasalási sebesség, az előtolás és a vasalóerő függvényében – 3D

A hordfelületi görbe völgyrészének javulási tényezői a csúcsrészhez hasonlóan elég változatosan alakultak a technológiai paraméterek változtatásával. A hordfelület völgyrésze a felület legmélyebb rétegeiről ad visszajelzést, a 7. ábra jelöléseinek megfelelően. A profil csúcsrészéhez hasonlóan megint csak a 3D-s mérőszámra hagyatkozva megállapítható, hogy a vasalóerő növelése előbb még negatívan hat a javulási tényezőre (negatív értékek is előfordulnak), míg elérve egy minimumpontot, a legnagyobb vasalóerők már nagymértékben javítanak a hordfelületi görbe völgyrészének nagyságán. Ebből tehát azt a fontos következtetést tudom megállapítani, hogy a legmélyebb „völgyek” a felületen valójában csak akkor „tömődnek be” a gyémántvasalás hatására, ha elég nagy erővel történik a megmunkálás!

## 6. Érdességi mérőszámok vizsgálata a faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával

Faktoriális kísérlettervezés során a rendelkezésre álló mérési eredmények segítségével lehet tapasztalati képleteket készíteni matematikai módszerekkel, ehhez a MathCad programot alkalmaztam. Az egymástól független technológiai paraméterkombinációk száma függ egyrészt a felhasznált technológiai paraméterektől – ezek az ún. faktorok –, illetve ezen paraméterek különböző értékeitől – ezek az ún. szintek, a leggyakoribb esetben egy minimum, illetve egy maximum értékből tevődik össze.

Esetemben a faktorok száma azon technológiai paraméterek számával egyezik meg, melyek értékeit változtattam a megmunkálás során. Ilyen volt az előtolás, a vasalási sebesség (a fordulatszámából számítva), valamint a vasalóerő. Minden paraméterhez két értéket rendeltek, így a szintek száma kettő lesz. Ezekre a későbbiekben minimum, illetve maximum értékeként hivatkozom.

Ezek alapján a független beállítások száma az alábbiak szerint alakul:

- faktorok száma:  $f = 3$
- szintek száma:  $p = 2$
- elvégzendő kísérletek száma:  $n = p^f = 2^3 = 8$

Ezt a nyolc beállítást a 10. táblázatban foglaltam össze, értékeit a 4.3. fejezetpontban bemutatott 2. táblázatból nyertem ki.

**10. Táblázat.** A felhasznált technológiai adatok a faktoriális kísérlettervezéshez

| Sorszám | $f \left[ \frac{mm}{fordulat} \right]$ | $v_v \left[ \frac{m}{s} \right]$ | $F (N)$ | $P (W)$ |
|---------|----------------------------------------|----------------------------------|---------|---------|
| 1-1     | 0,05                                   | 0,6938                           | 120     | 83,25   |
| 1-6     | 0,05                                   | 0,6938                           | 20      | 13,88   |
| 2-1     | 0,1                                    | 0,6938                           | 120     | 83,25   |
| 2-6     | 0,1                                    | 0,6938                           | 20      | 13,88   |
| 3-1     | 0,05                                   | 0,9817                           | 120     | 117,81  |
| 3-6     | 0,05                                   | 0,9817                           | 20      | 19,63   |
| 4-1     | 0,1                                    | 0,9817                           | 120     | 117,81  |
| 4-6     | 0,1                                    | 0,9817                           | 20      | 19,63   |

A táblázatban négyesével váltakozik a vasalási sebesség, kettesével az előtolás, míg egyesével a vasalóerő értéke; így generálva nyolc különböző megmunkálási variációt.

Minden esetben a (9) jelű egyenlet alakjában keresem a megoldásokat, a képletben szereplő  $k_0; k_1; k_2; k_3; k_{12}; k_{13}; k_{23}; k_{123}$  tetszőleges valós számok, melyek a számítások végén adódnak, míg az „X” a 2D-s felületérdességek esetén használatos „R”, illetve a 3D-s esetben használt „S” betűket helyettesíti, továbbá az „y” a különböző mérőszám-típusok alsó indexeit általánosítja:

$$(I)X_y = k_0 + k_1 \cdot f + k_2 \cdot F + k_3 \cdot v_v + k_{12} \cdot f \cdot F + k_{13} \cdot f \cdot v_v + k_{23} \cdot F \cdot v_v + k_{123} \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (9)$$

## 6.1. Az érdességi paraméterek vizsgálata gyémántvasalás esetén a faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával

Először a gyémántvasalás során mért felületérdességi mérőszámokra végzem el a faktoriális kísérlettervezést, ehhez először is bemutatom a felhasznált mérési eredményeket 2D-s, illetve 3D-s esetben a 11-12. táblázatokban.

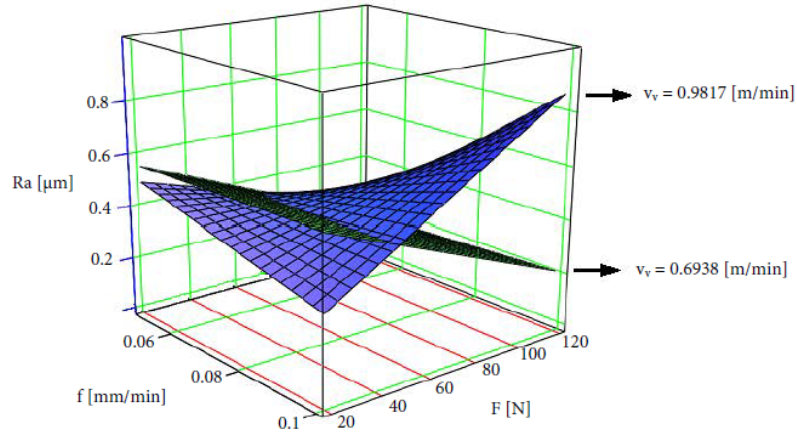
**11. Táblázat.** A gyémántvasalás kísérlettervezéséhez használt 2D-s felületérdességek

| Sorszám | $R_a [\mu\text{m}]$ | $R_q [\mu\text{m}]$ | $R_z [\mu\text{m}]$ | $R_t [\mu\text{m}]$ |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1-1     | 0,1613              | 0,2047              | 1,0840              | 1,4252              |
| 1-6     | 0,5536              | 0,6534              | 2,6881              | 3,3997              |
| 2-1     | 0,2097              | 0,2715              | 1,4667              | 1,9745              |
| 2-6     | 0,5796              | 0,6990              | 3,0775              | 3,7813              |
| 3-1     | 0,2148              | 0,2614              | 1,2592              | 1,7121              |
| 3-6     | 0,4915              | 0,6050              | 2,7448              | 3,3662              |
| 4-1     | 0,3081              | 0,3865              | 1,9648              | 2,6216              |
| 4-6     | 0,8648              | 1,0369              | 4,3843              | 5,0996              |

**12. Táblázat.** A gyémántvasalás kísérlettervezéséhez használt 3D-s felületérdességek

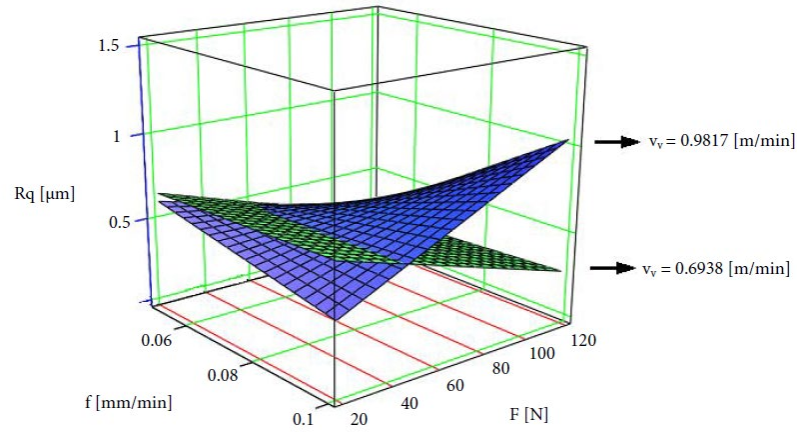
| Sorszám | $S_a [\mu\text{m}]$ | $S_q [\mu\text{m}]$ | $S_z [\mu\text{m}]$ | $S_{10z} [\mu\text{m}]$ |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| 1-1     | 0,1918              | 0,2465              | 2,5665              | 1,7513                  |
| 1-6     | 0,5779              | 0,6953              | 4,7680              | 3,1592                  |
| 2-1     | 0,2534              | 0,3262              | 2,9837              | 2,5693                  |
| 2-6     | 0,6135              | 0,7502              | 5,1680              | 2,9274                  |
| 3-1     | 0,2152              | 0,2940              | 2,8711              | 1,7068                  |
| 3-6     | 0,5285              | 0,6698              | 5,3015              | 3,0461                  |
| 4-1     | 0,3805              | 0,5016              | 4,2046              | 2,2032                  |
| 4-6     | 0,9707              | 1,1840              | 7,2883              | 4,2552                  |

A gyémántvasalás során, a 2D-s felületérdességi paraméterekre számított képleteket a (10)-(13) jelű egyenletek, valamint a 39-42. ábrák, míg a 3D-s felületérdességi paraméterekre számított képleteket a (14)-(17) jelű egyenletek, valamint a 43-46. ábrák szemléltetik.



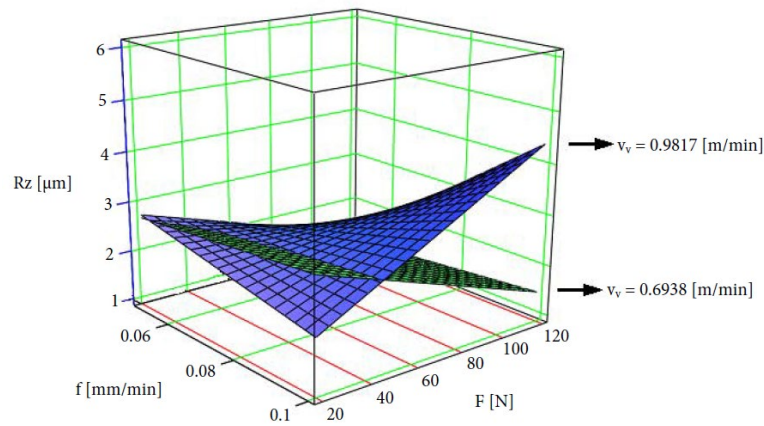
**39. ábra.** Kísérleti eredmény gyémántvasalás során  $R_a$ -ra

$$R_a = -0,08 + 18,341 \cdot f + 0,013 \cdot F + 0,995 \cdot v_v - 0,386 \cdot f \cdot F - 25,815 \cdot f \cdot v_v - 0,024 \cdot F \cdot v_v + 0,563 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (10)$$



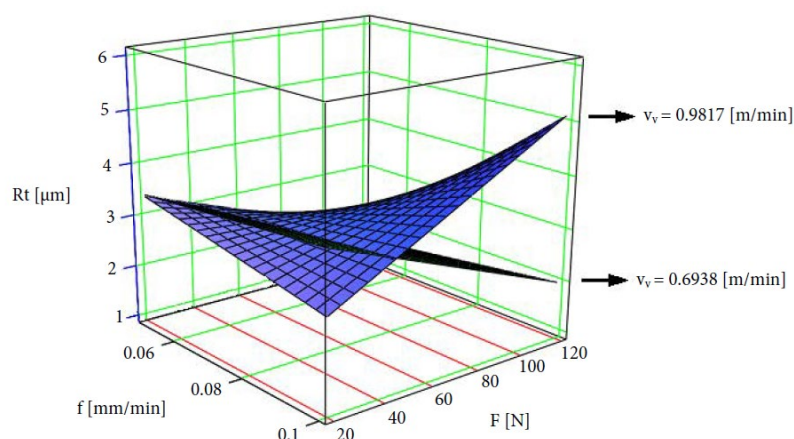
**40. ábra.** Kísérleti eredmény gyémántvasalás során  $R_q$ -ra

$$R_q = -0,236 + 22,933 \cdot f + 0,016 \cdot F + 1,352 \cdot v_v - 0,465 \cdot f \cdot F - 31,862 \cdot f \cdot v_v - 0,03 \cdot F \cdot v_v + 0,676 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (11)$$



**41. ábra.** Kísérleti eredmény gyémántvasalás során  $R_z$ -re

$$R_z = -2,165 + 101,884 \cdot f + 0,075 \cdot F + 6,894 \cdot v_v - 1,887 \cdot f \cdot F - 135,586 \cdot f \cdot v_v - 0,132 \cdot F \cdot v_v + 2,717 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (12)$$



**42. ábra.** Kísérleti eredmény gyémántvasalás során  $R_t$ -re

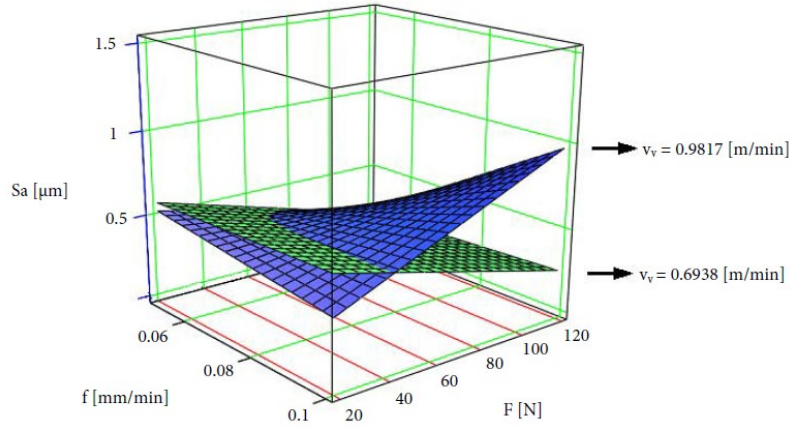
$$R_t = -0,943 + 99,456 \cdot f + 0,066 \cdot F + 6,327 \cdot v_v - 1,877 \cdot f \cdot F - 133,316 \cdot f \cdot v_v - 0,127 \cdot F \cdot v_v + 2,754 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (13)$$

A négy 2D-s felületérdességi paraméter hasonló viselkedést mutatott, így érdemes egységesen vizsgálni őket az ismételések elkerülése végett. Minimális vasalási sebesség és tetszőleges vasalóerő mellett az előtolás csökkentése az  $R_a$  és az  $R_q$  értékén szinte nem változtatott, miközben az  $R_z$ , illetve  $R_t$  értékeket csökkentette, tehát kiugró értékeket a lassú előtoló sebességgel minimalizálni lehet. Ugyanakkor szintén minimális vasalási sebesség és tetszőleges előtolás mellett a vasalóerő növelése csökkentette felületérdességi paramétereiket. Ebből arra következtettek, hogy az 5. fejezet Kraljic-mátrixaiban 60-80 W környékén tapasztalt felületérdességi-minimumok valójában a kisebb vasalási sebességnek voltak köszönhetők. A maximális vasalási sebesség ugyanis rosszabb felületérdességet eredményezett. Ezen megmunkálások esetén maximális előtolás mellett a vasalóerő növelése rontott, míg minimális előtolás mellett javított a felületérdességi mérőszámokon. Az ideális paraméterkombináció azonban az alábbiak szerint alakul a 2D-s felületérdességi mérőszámok faktoriális kísérlettervezése alapján:

- $f = 0,05 \frac{mm}{fordulat}$
- $v_v = 0,6938 \frac{m}{min}$
- $F = 120 N$

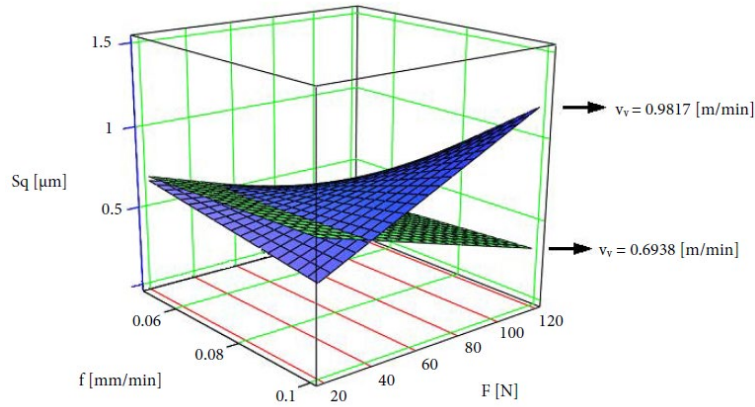
Ezen adatok az energiahatékonysági szempontokat figyelembe véve kompromisszum-képes értékek, hiszen a megmunkálás teljesítmény-igénye szempontjából alapvetően is kedvezőbb kisebb vasalási sebesség jobb felületminőséget eredményez, miközben a nagyobb vasalóerő növeli a teljesítményt, rontva az energiahatékonyságon. A felületminőség „kárára”, a kedvezőbb energiahatékonyság céljából ugyanakkor érdemes lehet megfontolni a maximális vasalási sebesség és előtolás alkalmazását minimális vasalóerő mellett, hiszen ezen megmunkálás felületérdességi mérőszámai ugyan elmaradtak az előbb említett

paraméterkombináció felületérdességi értékeitől, de kevesebb energiát fogyasztanak. A kérdés az, hogy mik a felületminőségre vonatkozó igények.



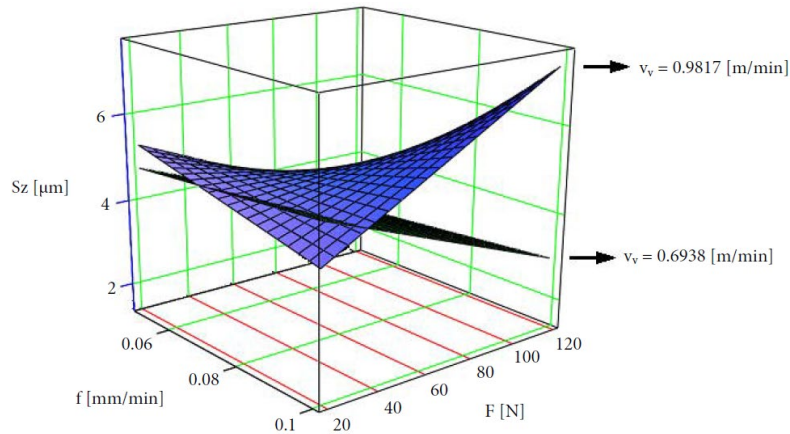
**43. ábra.** Kísérleti eredmény gyémántvasalás során  $S_a$ -ra

$$S_a = -0,087 + 17,916 \cdot f + 0,015 \cdot F + 1,025 \cdot v_v - 0,418 \cdot f \cdot F - 24,946 \cdot f \cdot v_v - 0,028 \cdot F \cdot v_v + 0,61 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (14)$$



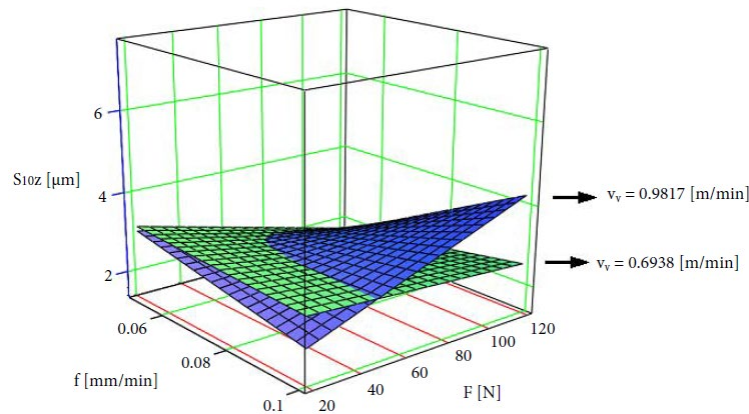
**44. ábra.** Kísérleti eredmény gyémántvasalás során  $S_q$ -ra

$$S_q = -0,204 + 21,713 \cdot f + 0,018 \cdot F + 1,354 \cdot v_v - 0,493 \cdot f \cdot F - 29,856 \cdot f \cdot v_v - 0,033 \cdot F \cdot v_v + 0,718 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (15)$$



**45. ábra.** Kísérleti eredmény gyémántvasalás során  $S_z$ -re

$$S_z = -2,841 + 133,065 \cdot f + 0,116 \cdot F + 11,03 \cdot v_v - 2,646 \cdot f \cdot F - 180,36 \cdot f \cdot v_v - 0,199 \cdot F \cdot v_v + 3,819 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (16)$$



**46. ábra.** Kísérleti eredmény gyémántvasalás során  $S_{10z}$ -re

$$S_{10z} = 1,587 + 43,189 \cdot f + 0,03 \cdot F + 3,309 \cdot v_v - 0,91 \cdot f \cdot F - 74,9 \cdot f \cdot v_v - 0,079 \cdot F \cdot v_v + 1,627 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (17)$$

A 3D-s felületérdességi mérőszámok is hasonló trendeket mutattak egymáshoz képest. Minimális vasalósebesség mellett csökkent a felületérdesség, gyakorlatilag függetlenül az előtolás mértékétől, miközben a maximális vasalási sebesség alkalmazása rosszabb felületminőséget eredményezett azonos előtolás és vasalóerő mellett (kivéve a legkisebb vasalóerő-értékeket). A legideálisabb paraméter-kombináció tehát a 3D-s felületérdességi mérőszámok alapján:

- $f = 0,05 \frac{mm}{fordulat}$
- $v_v = 0,6938 \frac{m}{min}$
- $F = 120 N$

Az energiahatékonysági elveket figyelembe itt is érdemes lehet megfontolni ezek helyett a nagyobb vasalási sebesség alkalmazását kis vasalóerő mellett, amely csökkenti a megmunkálás teljesítmény-igényét.

## 6.2. Az érdességi paraméterek javulási tényezőinek vizsgálata a gyémántvasalás esetén a faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával

A gyémántvasalás felületérdességi mérőszámainak faktoriális kísérlettervezése után a javulási tényezőkre is elvégzem a kísérlettervezést, ehhez ugyancsak összegzem a felhasznált javulási tényező értékeket a 13-14. táblázatokban.

**13. Táblázat.** A javulási tényező kísérlettervezéséhez használt 2D-s felületérdességek

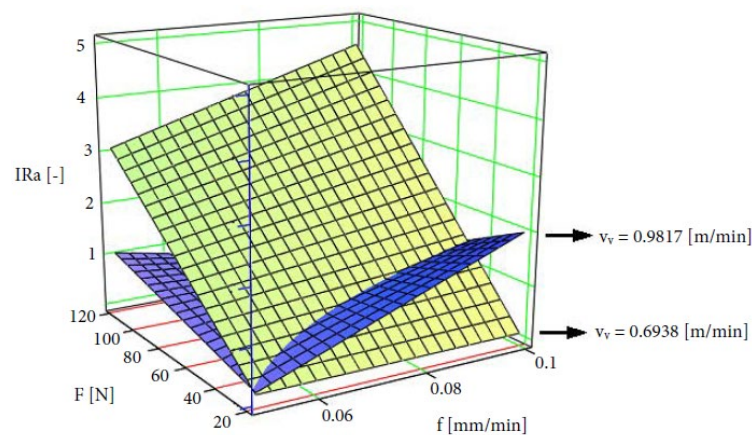
| Sorszám | $IR_a$ | $IR_q$ | $IR_z$ | $IR_t$ |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| 1-1     | 3,0645 | 2,9708 | 2,6305 | 2,8737 |
| 1-6     | 0,1049 | 0,1545 | 0,3183 | 0,2684 |
| 2-1     | 4,5568 | 4,2534 | 3,3346 | 2,6600 |

| Sorszám | $IR_a$ | $IR_q$ | $IR_z$ | $IR_t$ |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| 2-6     | 0,0987 | 0,1360 | 0,2681 | 0,2607 |
| 3-1     | 1,0382 | 1,0997 | 1,1638 | 0,9857 |
| 3-6     | 0,1421 | 0,2246 | 0,3120 | 0,7126 |
| 4-1     | 1,9842 | 1,8118 | 1,2547 | 1,0070 |
| 4-6     | 0,0929 | 0,1201 | 0,1650 | 0,1706 |

**14. Táblázat.** A javulási tényező kísérlettervezéséhez használt 3D-s felületérdekességek

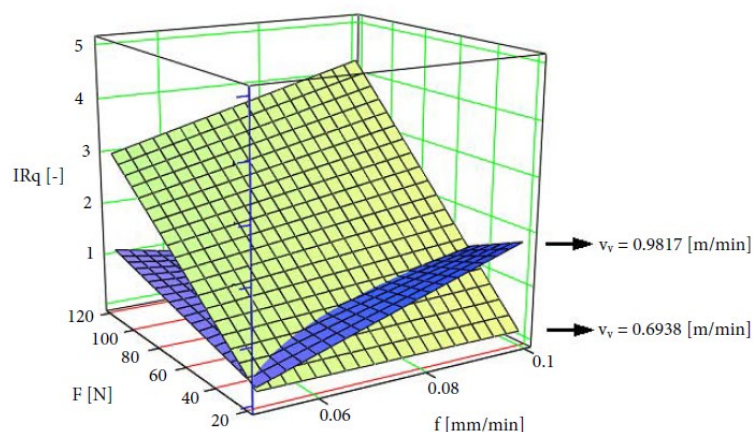
| Sorszám | $IS_a$  | $IS_q$  | $IS_z$  | $IS_{10z}$ |
|---------|---------|---------|---------|------------|
| 1-1     | 2,6956  | 2,8464  | 1,8834  | 1,6210     |
| 1-6     | 0,1349  | 0,1796  | 0,2003  | 0,1825     |
| 2-1     | 3,7211  | 3,5050  | 2,4264  | 1,4329     |
| 2-6     | 0,1571  | 0,2182  | 0,4727  | 0,8332     |
| 3-1     | 1,1788  | 1,0040  | 0,7237  | 0,9958     |
| 3-6     | -0,0103 | -0,0122 | -0,0420 | 0,1979     |
| 4-1     | 1,5803  | 1,3986  | 0,7400  | 0,8926     |
| 4-6     | 0,0654  | 0,0934  | 0,1130  | -0,0554    |

A gyémántvasalás utáni javulási tényezők 2D-s felületérdekességi paraméterekre számított értékeit a (18)-(21) jelű egyenletek, valamint a 47-50. ábrák, míg a 3D-s felületérdekességi paraméterekre számított értékeit a (22)-(25) jelű egyenletek, valamint az 51-54. ábrák szemléltetik.



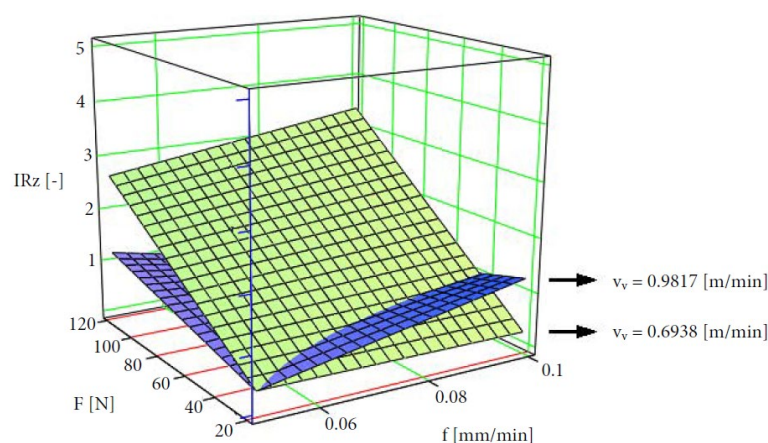
**47. ábra.** A javulási tényező értéke gyémántvasalás után  $R_a$ -ra

$$IR_a = 5,255 - 136,515 \cdot f - 0,039 \cdot F - 7,835 \cdot v_v + 2,365 \cdot f \cdot F + 187,946 \cdot f \cdot v_v + 0,077 \cdot F \cdot v_v - 2,977 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (18)$$



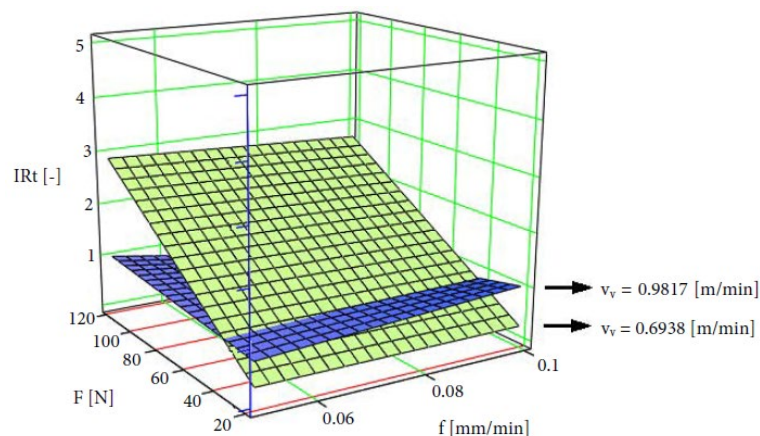
**48. ábra.** A javulási tényező értéke gyémántvasalás után  $R_q$ -ra

$$IR_q = 4,499 - 120,249 \cdot f - 0,031 \cdot F - 6,672 \cdot v_v + 2,124 \cdot f \cdot F + 165,285 \cdot f \cdot v_v + 0,067 \cdot F \cdot v_v - 2,687 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (19)$$



**49. ábra.** A javulási tényező értéke gyémántvasalás után  $R_z$ -re

$$IR_z = 3,081 - 78,276 \cdot f - 0,014 \cdot F - 4,35 \cdot v_v + 1,454 \cdot f \cdot F + 106,851 \cdot f \cdot v_v + 0,043 \cdot F \cdot v_v - 1,876 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (20)$$



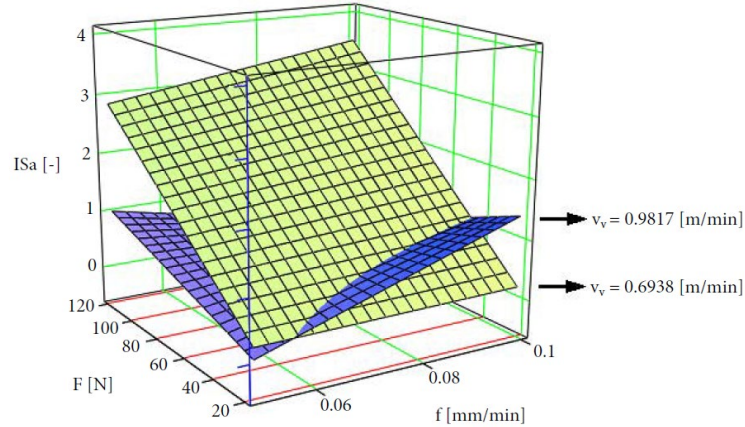
**50. ábra.** A javulási tényező értéke gyémántvasalás után  $R_t$ -re

$$IR_t = -1,317 - 22,6 \cdot f + 0,063 \cdot F + 1,486 \cdot v_v + 0,394 \cdot f \cdot F + 33,539 \cdot f \cdot v_v - 0,05 \cdot F \cdot v_v - 0,628 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (21)$$

A 2D-s felületérdességi mérőszámok javulási tényezői szintén hasonlóan viselkedtek az egyes technológiai paraméterek változtatásának hatására, így érdemes őket együttesen értékelni. Megállapítható, hogy a legnagyobb javulási értékeket a minimális vasalási sebességgel értem el – ez kedvező az energiahatékonyság szempontjából –, a legnagyobb vasaló

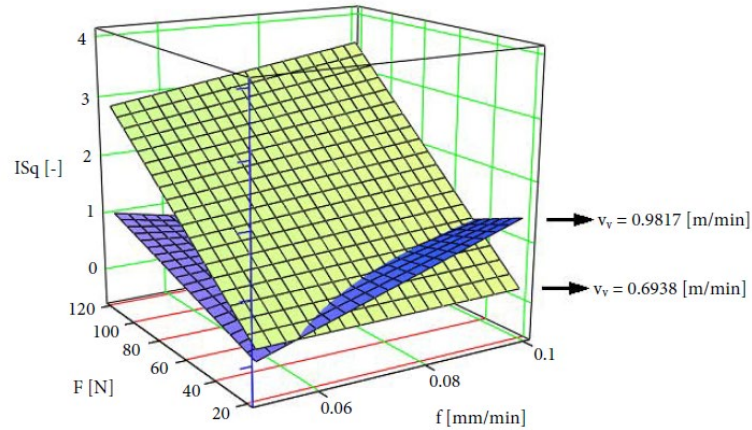
erő mellett; miközben az előtolás növelésével – a maximális egyenetlenséget kivéve – még nagyobb javulás volt elérhető; a vasalóerő csökkentése azonban csökkentette a javulás mértékét. Az ajánlott technológiai paraméterkombináció tehát a 2D-s felületérdességi mérőszámok javulási tényezői alapján:

- $f = 0,1 \frac{mm}{fordulat}$
- $v_v = 0,6938 \frac{m}{min}$
- $F = 120 N$



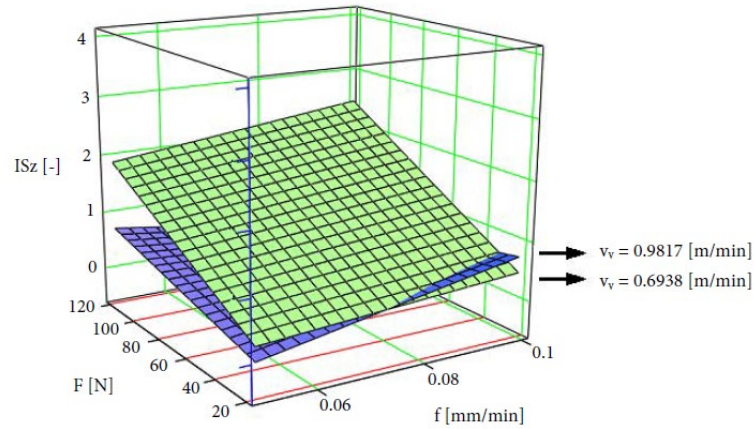
**51. ábra.** A javulási tényező értéke gyémántvasalás után  $S_a$ -ra

$$IS_a = 5,057 - 114,898 \cdot f - 0,041 \cdot F - 7,575 \cdot v_v + 1,987 \cdot f \cdot F + 160,463 \cdot f \cdot v_v + 0,081 \cdot F \cdot v_v - 2,575 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (22)$$



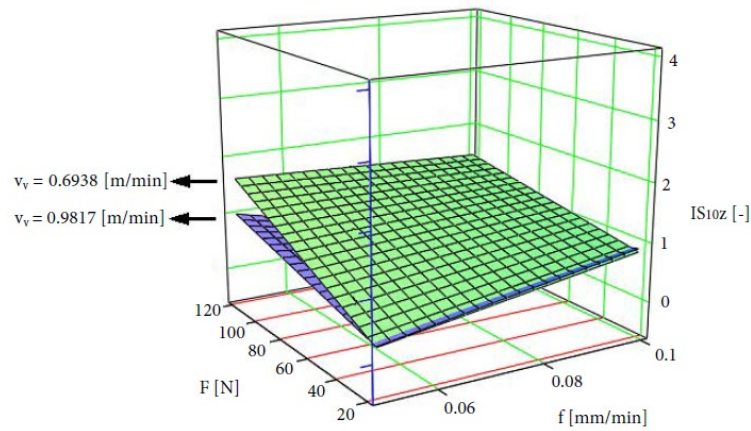
**52. ábra.** A javulási tényező értéke gyémántvasalás után  $S_q$ -ra

$$IS_q = 4,123 - 96,198 \cdot f - 0,011 \cdot F - 6,329 \cdot v_v + 1,542 \cdot f \cdot F + 136,192 \cdot f \cdot v_v + 0,045 \cdot F \cdot v_v - 2,043 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (23)$$



**53. ábra.** A javulási tényező értéke gyémántvasalás után  $S_z$ -re

$$IS_z = 1,817 - 36,229 \cdot f - 3,85 \cdot 10^{-3} \cdot F - 3,13 \cdot v_v + 0,856 \cdot f \cdot F + 58,511 \cdot f \cdot v_v + 0,026 \cdot F \cdot v_v - 1,155 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (24)$$



**54. ábra.** A javulási tényező értéke gyémántvasalás után  $S_{10z}$ -re

$$IS_{10z} = -0,726 + 5,505 \cdot f + 0,016 \cdot F - 0,284 \cdot v_v + 0,269 \cdot f \cdot F + 15,66 \cdot f \cdot v_v + 9,257 \cdot 10^{-3} \cdot F \cdot v_v - 0,63 \cdot f \cdot F \cdot v_v \quad (25)$$

A 3D-s felületérdeességi mérőszámainak javulási tényezőit vizsgálva megállapítható, hogy a minimális vasalási sebesség alkalmazása eredményezett kedvezőbb javulási értékeket a maximálissal szemben. Ebben az esetben a nagyobb vasalóerők voltak képesek nagyobb javulást elérni, szintén a maximális előtolási értékek mellett. Ebből kifolyólag az ajánlott legkedvezőbb paraméterkombináció megegyezik a 2D-s esetben alkalmazottal, amely az energiahatékonyság szempontjából is egy kompromisszumos választás:

- $f = 0,1 \frac{mm}{fordulat}$
- $v_v = 0,6938 \frac{m}{min}$
- $F = 120 N$

## Összefoglalás

Kutatásomat az energiahatékonyság legfrissebb eredményeinek felderítésével, feldolgozásával kezdtem, így a Dolgozat első fejezetében ezeket ismertettem. A következő részekben azon 2D-s, illetve 3D-s felületérdességi mérőszámok jellemzőit, származtatásait vettem sorra, melyeket a későbbiekben felhasználtam a mérések kiértékelése során.

A negyedik fejezetben bemutatam a próbadarab méreteit, anyagminőségét, melyen a vizsgálatokat végeztem. Ezt követően az esztergálás, illetve a gyémántvasalás technológiai jellemzőinek bemutatását, valamint az érdességméréshez alkalmazott mérőgép és a mérőszoftver ismertetését készítettem el. A Kraljic-mátrixot – melyet az eredmények vizuális ábrázolásához használtam fel –, szintén ebben a fejezetben mutattam be.

A Dolgozat további részeiben a kísérleti eredmények ismertetése következett a Kraljic-mátrixok segítségével. Összehasonlítottam az esztergált és a gyémántvasalt felületek érdességi paramétereit, továbbá meghatároztam a javulási tényezőket is, a különböző technológiai adatok által gyémántvasalt felületekre. A faktoriális kísérlettervezés segítségével ajánlásokat tettem a technológiai paraméterek ideális megválasztására.

Megállapítottam, hogy a gyémántvasalt felület érdessége nagyban függ az előtolás, a vasalási sebesség és a vasalóerő megválasztásától. A legjobb felületérdességet produkáló megmunkálással összevetve a technológiai adatokat beláttam, hogy a nagyobb vasalási sebesség eredményezte a jobb felületminőséget, ami ugyanakkor növelte a megmunkálás teljesítmény-igényét, rontva az energiahatékonyságot.

Ezt követően arra a következtetésre jutottam, hogy a javulási tényezők értékeit fenntartásokkal kell kezelni, értéke ugyanis nagyban függ a kiinduló felület minőségétől (egy érdesebb felületen könnyű nagy javulást elérni, mint egy kevésbé érdesen), kiugró értékek esetén össze kell vetni a kiinduló felületek érdességét is, azokat esetlegesen súlyozó tényezőkkel ellátni.

A Dolgozat utolsó fejezetében a faktoriális kísérlettervezés segítségével ideális paraméterkombinációit kerestem a gyémántvasalásnak a felületérdességi mérőszámok vizsgálatával. A javulási tényezőket is figyelembe véve megállapítottam, hogy a felületminőség és az energiahatékonyság szempontjából a minimális előtolás és vasalási sebesség mellett alkalmazott maximális vasalóerő alkalmazása a legideálisabb választás. Ha nem célkitűzés a legjobb felületminőség elérése, akkor – tovább javítva az energiahatékonyságot – alkalmazható a maximális vasalási sebesség, minimális vasalóerő mellett.

## **Köszönetnyilvánítás**

A kutatómunka az NKFI-125117 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a K\_17 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

## Felhasznált irodalom

- [1] Huppel, G., Ishikawa, M. (2007). An introduction to quantified eco-efficiency analysis. In: Huppel, G., Ishikawa, M. (eds) Quantified Eco-Efficiency. Eco-Efficiency in Industry and Science, vol 22. Springer, Dordrecht
- [2] Michelsen, O. (2007). Eco-efficiency in redesigned extended supply chains; furniture as an example. In: Huppel, G., Ishikawa, M. (eds) Quantified Eco-Efficiency. Eco-Efficiency in Industry and Science, vol 22. Springer, Dordrecht
- [3] Organisation for Economic Co-operation and Development. Eco-efficiency. Pages 83, 1998
- [4] M. Winter. Eco-efficiency of Grinding Processes and Systems. Springer International Publishing, 2016
- [5] Koskela, M., Vehmas, J. (2012): Defining Eco-efficiency: A Case Study on the Finnish Forest Industry. Business Strategy and the Environment, 21:546–566.
- [6] Bartelmus, Peter & Moll, Stephan & Bringezu, S. & Nowak, S. & Bleischwitz, Raimund. (2004). Translating sustainable development into practice: A 'patchwork' of some new concepts and an introduction to material flows analysis. 10.4337/9781845420574.00011.
- [7] Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens III, W.W. (1972): The limits to growth. Universe Books, New York, USA.]
- [8] Brundtland Commission (1987): Our Common Future. Oxford University Press, Oxford, UK.]
- [9] Schaltegger, S., Sturm, A. (1989): Ökologieinduzierte Entscheidungsprobleme des Managements: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von Instrumenten. WWZ-Discussion Paper No. 8914.
- [10] UN (United Nations) (Ed.) (1992): Earth Summit. Agenda 21. The United Nations Programme of Action from Rio. The final text of agreements negotiated by Governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED).
- [11] Allenby, B.R. (1999) Industrial Ecology – Policy Framework and Implementation, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [12] Herrmann, C. (2010): Ganzheitliches Life Cycle Management - Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen. Springer Verlag, Berlin, Germany.

- [13] Li, Wen & Winter, Marius & Kara, Sami & Herrmann, Christoph. (2012). Eco-Efficiency of Manufacturing Processes: A Grinding Case. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 61. 59–62. 10.1016/j.cirp.2012.03.029.
- [14] Allenby, B.R. (1999) Industrial Ecology – Policy Framework and Implementation, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [15] Bleischwitz, Raimund & Hennicke, Peter. (2004). Eco-efficiency, regulation and sustainable business: Towards a governance structure for sustainable development. Eco-Efficiency, Regulation and Sustainable Business: Towards a Governance Structure for Sustainable Development. 1-228. 10.4337/9781845420574.00001.
- [16] Porter, M. and C.v.d. Linde (2001), ‘Green and Competitive: Ending the Stalemate’, in E.v.d. Wubben (ed.), The Dynamics of the Eco-Efficient Economy, Cheltenham, UK and Northampton, MA: Edward Elgar, pp. 33–55.
- [17] Bleischwitz, R. (2003), ‘Governance of Eco-Efficiency in Japan – An Institutional Approach’, International Asian Quarterly, 34 (1–2), 107–26.
- [18] DeSimone, Livio D. and Popoff, Frank, (2000), Eco-Efficiency: The Business Link to Sustainable Development, vol. 1, 1 ed., The MIT Press
- [19] DIN EN ISO 14040 (2009): Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006). Beuth Verlag, Berlin, Germany.
- [20] DIN EN ISO 14045 (2012): Umweltmanagement - Ökoeffizienzbewertung von Produktsystemen - Prinzipien, Anforderungen und Leitlinien (ISO 14045:2012). Beuth Verlag, Berlin, Germany.
- [21] Heijungs, R. (2007). From thermodynamic efficiency to eco-efficiency. In: Huppes, G., Ishikawa, M. (eds) Quantified Eco-Efficiency. Eco-Efficiency in Industry and Science, vol 22. Springer, Dordrecht
- [22] [https://perfor.hu/erdesseg\\_67](https://perfor.hu/erdesseg_67) (2022. 10. 16.)
- [23] <https://www.technisches-zeichnen.net/technisches-zeichnen/diverses/rauheitswerte.php> (2022. 10. 17.)
- [24] Szalóki, István és Sipos, Sándor és Viharos, Zsolt János (2016) Szintaktikus fémhabok marással megmunkált felületi struktúrájának elemzése. In: Proceedings of 8th International Engineering Symposium at Bánki (IESB 2016). Óbudai Egyetem, Budapest, pp. 1-21. ISBN 978-615-5460-95-1
- [25] Kubatova, D. & Melichar, M. (2019). Roughness Evaluation Using Abbott-Firestone Curve Parameters, Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium, pp.0467-0475, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-

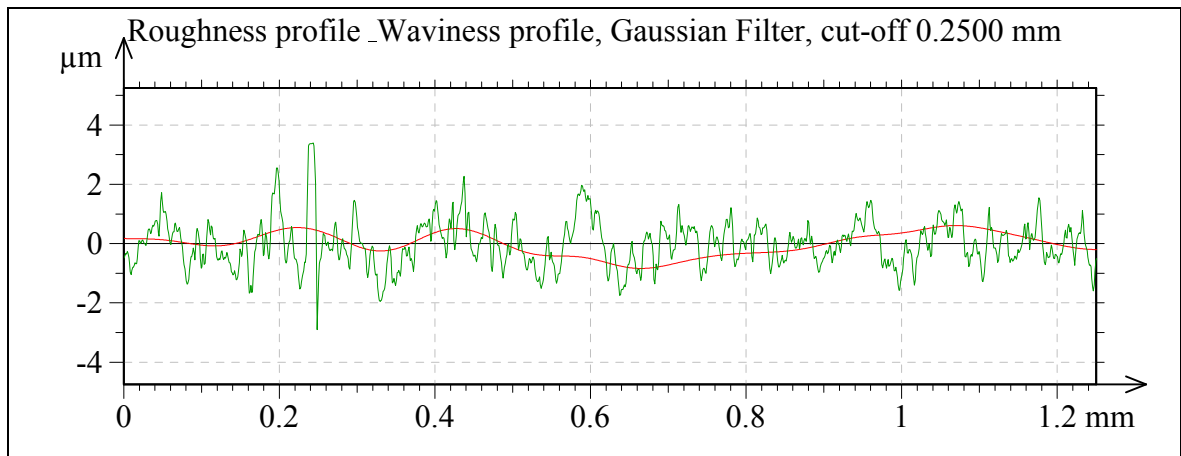
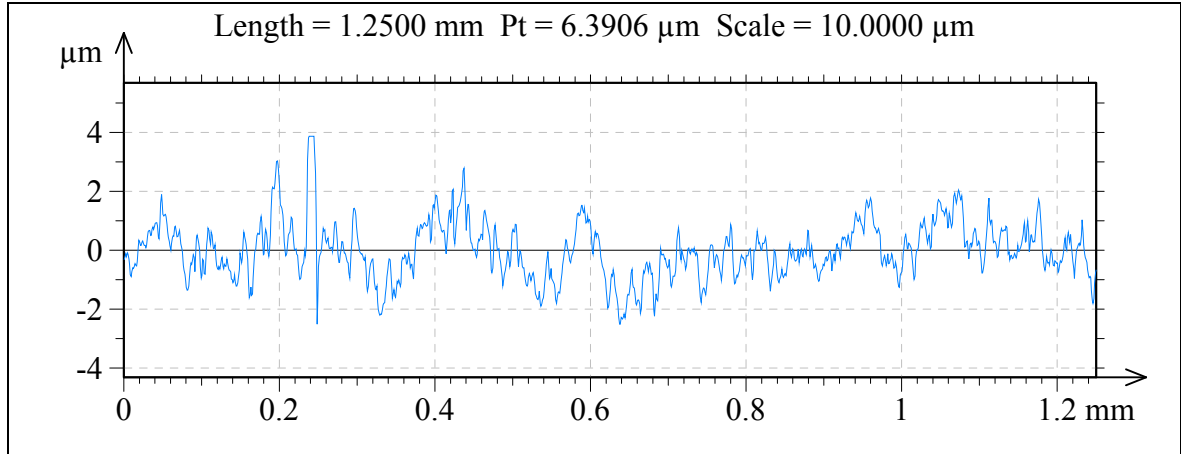
- [26] Blunt, Liam & Jiang, Xinnian. (2003). Advanced Techniques for Assessment Surface Topography: Development of a Basis for 3D Surface Texture Standards "Surfstand". 1-355.
- [27] <https://www.olympus-ims.com/en/> (2022. 10. 15.)
- [28] <https://www.inoxservice.hu/upload/inline/adatlapok/durvalemezek/1.4307%20-%20ADATLAP.pdf> (2022. 10. 11)
- [29] Varga, Gyula & Ferencsik, Viktória. (2015). Gyémántvasalt munkadarab-felületek felületi érdességének 3D-s vizsgálata. 10.26649/musci.2015.060.
- [30] [https://www.altimet.fr/?page\\_id=236&lang=en](https://www.altimet.fr/?page_id=236&lang=en) (2020. 10. 15.)
- [31] Kraljic, Peter. (1983). Purchasing Must Become Supply Management. Harvard Business Review. 61.
- [32] Smolnicki Szilárd: Ökohatékonysági elemzés különböző gépipari megmunkálások esetén TDK dolgozat, konzulens Dr. Varga Gyula, Miskolc, 2022

## **Mellékletek**

1. Jegyzőkönyv minta 2D-s felületérdességi mérésről (1 oldal)
2. Jegyzőkönyv minta 3D-s felületérdességi mérésről (1 oldal)

# JEGYZŐKÖNYV

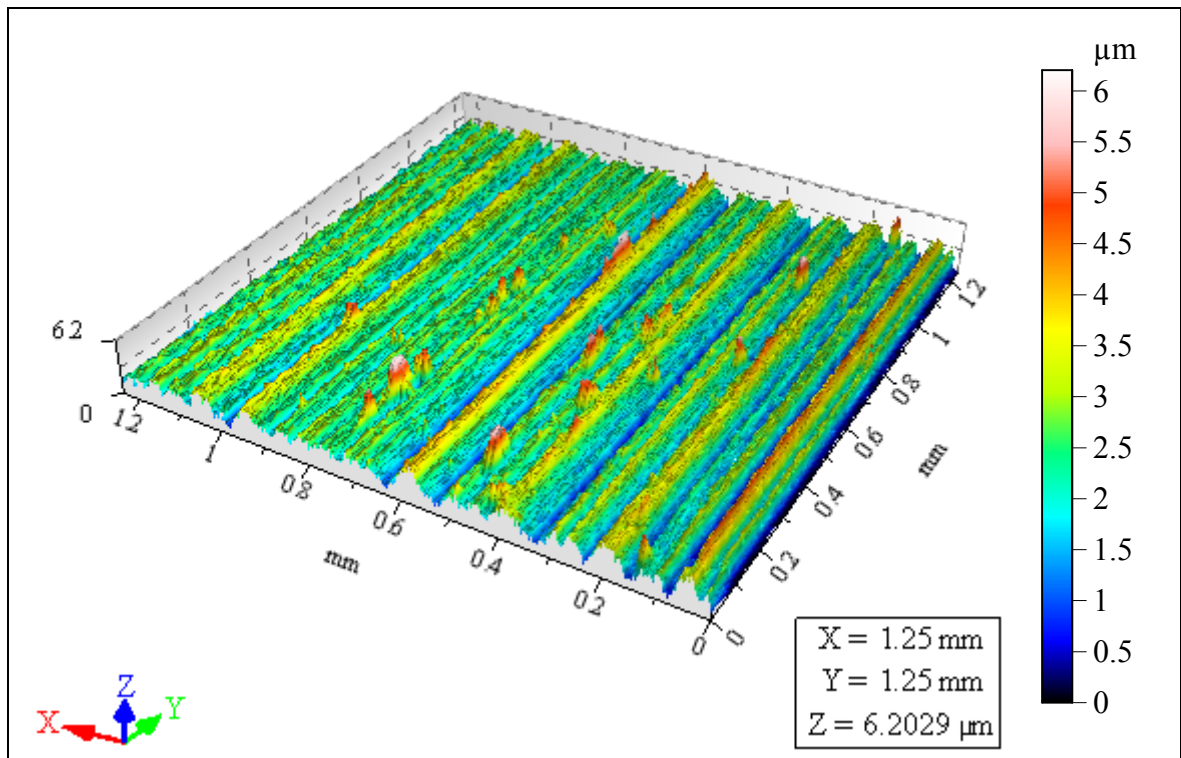
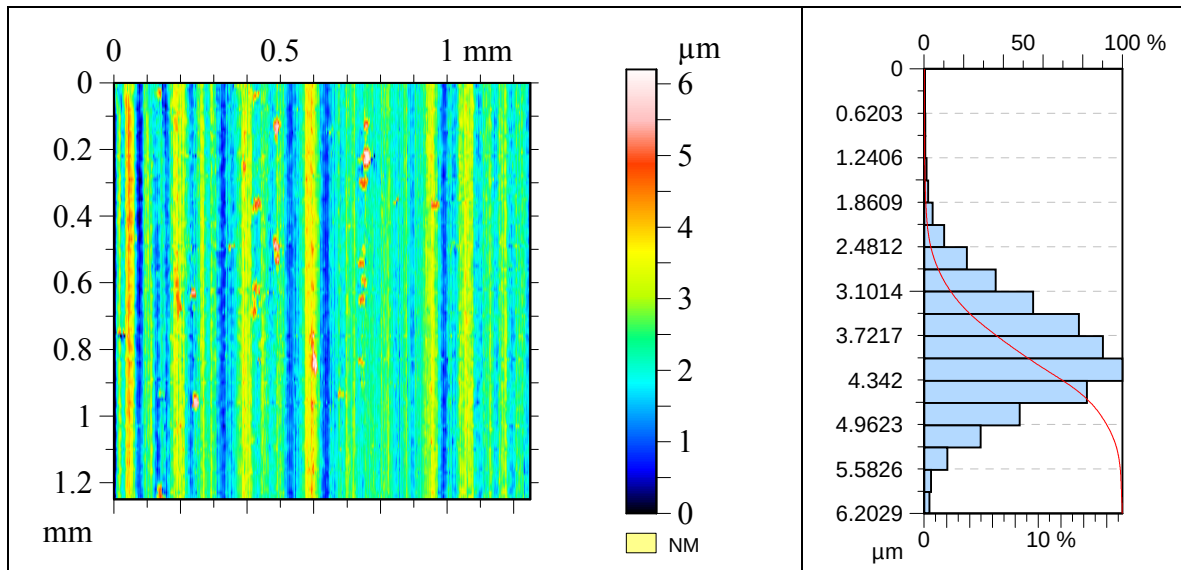
## 1. Munkadarab, 1. szelvény, A helyzet Vasalás előtt



|            |        |               |                                                            |
|------------|--------|---------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Ra</b>  | 0.6097 | $\mu\text{m}$ | Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.        |
| <b>Rq</b>  | 0.7758 | $\mu\text{m}$ | Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile. |
| <b>Rz</b>  | 4.0815 | $\mu\text{m}$ | Maximum Height of roughness profile.                       |
| <b>Rt</b>  | 6.2899 | $\mu\text{m}$ | Total Height of roughness profile.                         |
| <b>Rk</b>  | 1.8870 | $\mu\text{m}$ | Kernel Roughness Depth.                                    |
| <b>Rpk</b> | 1.1250 | $\mu\text{m}$ | Reduced Peak Height.                                       |
| <b>Rvk</b> | 0.6418 | $\mu\text{m}$ | Reduced Valley Depth.                                      |

# JEGYZŐKÖNYV

## 1. Munkadarab, 1. szelvény, A helyzet Vasalás előtt



|             |        |    |                         |
|-------------|--------|----|-------------------------|
| <b>Sa</b>   | 0.5991 | μm | Arithmetic mean height  |
| <b>Sq</b>   | 0.7633 | μm | Root mean square height |
| <b>Sz</b>   | 6.2029 | μm | Maximum height          |
| <b>S10z</b> | 4.2338 | μm | Ten point height        |
| <b>Sk</b>   | 1.7791 | μm | Core roughness depth    |
| <b>Spk</b>  | 0.8233 | μm | Reduced summit height   |
| <b>Svk</b>  | 0.6237 | μm | Reduced valley depth    |