

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



**HATÁROZOTT ÉLŰ SZERSZÁMMAL FORGÁCSOLT
FELÜLETEK TOPOGRÁFIÁJÁNAK INHOMOGENITÁSA**

PHD ÉRTEKEZÉS

Készítette:
Nagy Antal
okleveles gépészmérnök

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

Doktori Iskola Vezető:
Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella
a műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár

Témacsoport Vezető:
Dr. Maros Zsolt
egyetemi docens

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

Miskolc
2025

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	II
Témavezető ajánlása	IV
Köszönetnyilvánítás	V
Az értekezésben alkalmazott jelölések és rövidítések	VI
Bevezetés	1
1. Határozott élű szerszámmal forgácsolt felületek topográfiája	2
1.1 A megmunkált felületek pontossága és minősége	2
1.2 A megmunkált felület topográfiai felépítése, jellemzői és érdekességi előírásai ...	4
1.3 Határozott élű szerszámmal előállított felületek topográfiája	9
1.4 A megmunkált felület topográfiájának mérése és mérőszámai	15
1.5 Homlokmart felület inhomogenitásának jellemzése	20
2. Az értekezés célkitűzései és a megvalósítás módszerei	25
2.1 Az értekezés célkitűzései	25
2.2 A forgácsolási kísérletek feltételei	26
2.3 A vizsgálatok menete és módszere	29
2.4 A vizsgálandó érdekességi mérőszámok kijelölése	30
3. Mozcásviszonyok hatása	32
3.1 A létrehozott topográfia általános jellemzői az előtolás irányában	32
3.1.1 Érdességi értékek eltérései a szimmetriasíkban	32
3.1.2 Érdességi értékek eltérései az előtolással párhuzamos mérési síkokban ..	37
3.1.3 Érdességi értékek eltérései az adott felületen felvett mérési helyeken	40
3.2 A forgácsoló- és az előtolómozgás együttes változásának hatása	44
3.3 Másodlagos anyagleválasztás hatása	47
3.4 Topográfiai jellemzők vizsgálati eredményeinek összegzése homlokmart felületeknél	52
4. Mérési irány hatása	54
4.1 Az inhomogenitás irányfüggő változása	54
4.2 Inhomogenitás vizsgálata elfordított párhuzamos síkokban	59
4.3 A mérési irány hatásának összefoglalása	62
5. A szerszám és a munkadarab geometriájának hatása	63
5.1 A szerszám névleges átmérőjének és a mart felület szélességének hatása	63
5.1.1 Névleges szerszámátmérő hatása	63
5.1.2 Mart felület szélesség hatása	66
5.1.3 A szerszámátmérő és a mart felületszélesség hatásának összefoglalása .	67
5.2 Szerszám élgeometria hatása	68
5.3 A szerszám és a munkadarab geometria hatásainak összefoglalása	71
6. Forgácsolási adatok hatása	72
6.1 Az előtolás hatása	72
6.2 A forgácsolósebesség hatása	76
6.3 A vizsgált forgácsolási adatok hatásainak összefoglalása	80
7. A mérési síkok és helyek számának és elhelyezésének meghatározása	82
7.1 A mérési síkok és helyek elrendezési módja	82

7.2	Mérési síkok és helyek számosságának hatása az inhomogenitásra	83
7.2.1	Az egyszeres lenyomatú felület mérési eredményei és kiértékelésük	84
7.2.2	A kettős lenyomatú felület mérési eredményei és kiértékelésük	87
8.	Javaslat az inhomogenitás mérési és elemzési módszerére	90
8.1	Mérési beállítások meghatározása	90
8.1.1	Az előtolási és a mérési irány meghatározása	90
8.1.2	A felület vizsgálandó részének kijelölése, a lenyomat fajtájának megállapítása	91
8.1.3	A mérés dimenziójának és a vizsgálandó érdekességi mérőszámok megadása	92
8.1.4	A mérési síkok és helyek elrendezésének és számának megadása, a szimmetriasík helyének meghatározása	92
8.1.5	A mérési-, kiértékelési és szakaszhossz (vágási hossz) meghatározása ..	93
8.1.6	A topográfiai inhomogenitás nagyságának és jellegének megállapítása ..	94
8.2	Mérési terv megadása az inhomogenitás vizsgálathoz	94
9.	Új tudományos eredmények, Tézisek	95
9.1	Tézisek	95
9.2	A hasznosítás és a továbbfejlesztés lehetőségei	97
	Összefoglalás	98
	Summary	99
	Irodalomjegyzék	100
	Az értekezés témájában megjelent saját publikációk	107
	Mellékletek	M-1

Témavezető ajánlása

NAGY ANTAL :”HATÁROZOTT ÉLŰ SZERSZÁMMAL FORGÁCSOLT FELÜLETEK TOPOGRÁFIÁJÁNAK INHOMOGENITÁSA” CÍMŰ PhD ÉRTEKEZÉSÉHEZ

Az alkatrészeket az állandóan növekvő minőségi követelményeket teljesítve kell gazdaságosan előállítani. E követelmények között kiemelt jelentősége van az alkatrészek felületeire vonatkozó előírások betartásának, mert a gyártmányokba beépítve azok pontos működését és élettartamát is meghatározzák.

A forgószerszámokkal végzett megmunkálások mozgásviszonyai a munkadarab felületén az elméleti érdességi mérőszámok pontról-pontra változó elméleti értékeivel jellemezhető, inhomogén topográfiát hoznak létre.

A kutatás célja az inhomogenitást befolyásoló tényezők feltárása, mértékének és eloszlásának elméleti és kísérleti vizsgálata, a ható tényezők közötti összefüggések megadása.

A bemutatott eredmények igazolják, hogy a kutatómunka elérte célját. Ezt a jelölt különböző kinematikájú eljárásokkal megmunkált/forgácsolt felületeinek osztályozásával és a nagyszámú forgácsolási kísérleten és érdességi vizsgálatokon alapuló átfogó, összehasonlító elemzésével, az inhomogenitást befolyásoló - a mozgásviszonyoktól, a szerszám és munkadarab geometriától, a mérendő felületelem helyzetétől függő - paraméterek és összefüggések megadásával, valamint a mérési terv kidolgozásával bizonyította.

A kutatás során nyert, értekezésben bemutatott új eredmények a jelölt saját eredményei, melyeket rendszeresen közzétett elismert hazai és nemzetközi konferenciákon és folyóiratokban.

Nagy Antal elvégzett kutatómunkájával és PhD értekezésének elkészítésével igazolta elméleti és gyakorlati felkészültségét és alkalmasságát önálló tudományos munka végzésére.

Az előzők alapján az értekezés elfogadását és sikeres védelem esetén a PhD fokozat odaítélését messzemenően támogatom.

Miskolc, 2025. 08. 06.

Prof. Dr. Kundrák János
professor emeritus
tudományos vezető

Köszönetnyilvánítás

Az értekezés a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola keretein belül a „Határozott élű szerszámmal forgácsolt felületek topográfiájának inhomogenitása” témájú kutatómunkámat foglalja össze, melyet a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetében végeztem el.

Kiemelten mondok köszönetet témavezetőmnek, Prof. Dr. Kundrák Jánosnak, aki elindított a forgácsoláseleméleti kutatásokban. Tudományos munkámat szakmailag és emberileg maximális profizmussal irányította, megteremtette a kutatásomhoz szükséges tárgyi és technikai háttérrel. Segítette az értekezés kidolgozásakor felmerült elméleti és gyakorlati kérdések megválaszolását. Támogatta tudományos fejlődésemet, valamint lehetőséget teremtett eredményeim közzétételére belföldi és külföldi publikációk, cikkek és konferenciárészvételek formájában.

Köszönettel tartozom a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetének jelenleg aktív és korábbi munkatársainak. Köszönöm korábbi és jelenlegi intézetvezetőimnek, Dr. Maros Zsoltnek és Dr. Felhő Csabának kutatásom támogatását és ösztönzését. Külön köszönöm Dr. Sztankovics Istvánnak a szakmai konzultációkat, a kutatómunkám során nyújtott rengeteg segítséget, felmerült kérdésekben hozzá is fordulhattam. Köszönöm Pásztor Istvánnak az aktív közreműködést az értekezéshez szükséges kísérleti munkámban.

Végezetül, de nem utolsó sorban köszönöm szüleim és feleségem ösztönzését és támogatását a doktori képzésem és kutatásom során.

Az értekezésben alkalmazott jelölések és rövidítések

- $\vec{v}_c^f$ [m/min] – forgácsolómozgás vektor előtolás irányú komponense
 $\vec{v}_f$ [mm/min] – előtolási sebesség vektor
 ΔR [-] – a mért 2D-s érdességi értékek terjedelmének és a felületen mért értékek számtani átlagának hányadosa
 ΔR_a [-] – a mért átlagos érdességi (R_a) értékek terjedelmének és a felületen mért értékek számtani átlagának hányadosa
 ΔR_k [-] – a mért átlagos érdességi (R_k) értékek terjedelmének és a felületen mért értékek számtani átlagának hányadosa
 ΔR_p [-] – a mért átlagos érdességi (R_p) értékek terjedelmének és a felületen mért értékek számtani átlagának hányadosa
 ΔR_z [-] – a mért átlagos érdességi (R_z) értékek terjedelmének és a felületen mért értékek számtani átlagának hányadosa
 ΔS [-] – a mért 3D-s érdességi értékek terjedelmének és a felületen mért értékek számtani átlagának hányadosa
 a_e [mm] – fogásszélesség
 a_p [mm] – fogásmélység
 b_e [mm] – szerszámcsúcs fazetta szélessége
CAD – Computer-Aided Design = számítógéppel segített tervezés
 D_{sz} [mm] – szerszám névleges átmérő
Eltér. – terjedelem nagysága
Elt.% – az értékterjedelem nagyságának és a felületen mért értékek számtani átlagának hányadosa százalékos formában
 f [mm/ford.] – előtolás
 f_z [mm/ford.] – fogankénti előtolás
 h [mm] – megmunkált felület szélessége
 h_v [mm] – vizsgálandó felületrész szélessége
 h_y^{2D} [mm] – szomszédos mérési síkok közötti távolság előtolásra merőleges irányban mérve, 2D-s érdességmérésnél
 h_y^{3D} [mm] – szomszédos felületelemek közötti távolság előtolásra merőleges irányban mérve, 3D-s érdességmérésnél
 iC [mm] – szerszámlapka beleírható kör átmérője
 l [mm] – megmunkált felület hossza
 L [mm] – mérési hossz
 l_e [mm] – kiértékelési hossz
 l_{sc} [mm] – szakaszhossz
 l_v [mm] – vizsgálandó felületrész hossza
 l_x [mm] – mérési helyek közötti távolság előtolással párhuzamos irányban mérve
 n [1/min] – fordulatszám
pm. – paraméter
 R_a [μm] – átlagos érdesség
 $R_e, R_e^A, R_e^B, R_e^S, R_e^D$ [μm] – elméleti érdességmagasság az A, B, S, D mérési síkban
 R_k [μm] – redukált magzóna magasság
 R_p [μm] – maximális csúcsmagasság
 R_q [μm] – simasági mérőszám
 R_t [μm] – maximális egyenetlenség-magasság
 R_{tw} [μm] – a szerszám-munkadarab anyagpárosításból, a képlékeny alakváltozásból származó egyenetlenség magassága

R_v [μm] – maximális völgymélység
 R_z [μm] – egyenetlenség-magasság
 r_e [mm] – szerszámcsúcssugár
 S_a [μm] – átlagos érdesség
 S_k [μm] – redukált magzóna magasság
 S_p [μm] – maximális csúcsmagasság
 S_q [μm] – az eltérések mértani átlaga
 S_{sk} [μm] – maximális egyenetlenség-magasság
 S_z [μm] – maximális egyenetlenség-magasság
 v_c [m/min] – forgácsolósebesség
 v_u [m/min] – üresjárat sebesség
 α_o [$^\circ$] – szerszám ortogonál hátszög
 γ_o [$^\circ$] – szerszám ortogonál homlokszög
 $\Delta R/R(0^\circ)$ [-] – a mért 2D-s érdességi értékeknek a 0° irányszögben mért értékkel képzett aránya
 κ_r [$^\circ$] – szerszám főél-elhelyezési szög
 κ_r' [$^\circ$] – szerszám mellékél-elhelyezési szög
 λ_c [mm] – vágási hossz; L-szűrő határértéke
 φ_1 [$^\circ$] – átfogási szög az ellenirányú marással előállított felületrészen
 φ_2 [$^\circ$] – átfogási szög az egyenirányú marással előállított felületrészen

Bevezetés

A disszertáció témája a határozott élű szerszámmal megmunkált felületek topográfiájának és a szerszám-munkadarab mozgásviszonyaitól és az élgeometriától függő érdesség változásának vizsgálata. Ennek törvényszerűsége nem kellően feltárt, viszont az alkatrész illeszkedésének és működésének minőségét jelentősen befolyásolhatja. A szóban forgó forgácsoló eljárások közül homlokmarásban jelentősek a különbségek. A célom ezen eljárással előállított felületek topográfiájának és az érdességük változásának elméleti és kísérleti vizsgálata, az inhomogenitás nagyságának és megoszlásának, illetve összefüggéseinek feltárása.

A kutatómunkát a határozott élű szerszámmal működő eljárások kinematikai viszonyainak és a megmunkált felületi topográfiák jellegzetességeinek tanulmányozásával kezdem. A hazai és a nemzetközi szakirodalmak áttekintése alapján javaslatot teszek azon eljárásokra, amelyekkel létrehozott felületen az érdesség értékei változnak, és a homlokmarásra összpontosítva összefoglalom az e kutatási területhez tartozó eddigi megállapításokat. Megfogalmazom a kutatómunka célját és megvalósításának módját, kijelölöm a kísérleti feltételeket és a vizsgálatokhoz alkalmazott mérőszámokat.

Elemzem a homlokmarat felületi textúra elméleti geometriáját, különböző irányokban metszett profiljait. Megadom a topográfia inhomogenitásának létrejöttét alapvetően meghatározó paramétereket és az érdességre tett hatásukat.

Ezt követően vizsgálom a marószerszám és a munkadarab mozgásviszonyainak hatását. Elemzem az előtolásvektorral egybeeső és attól eltérő kijelölt mérési irányok változtatásának befolyását az érdesség eltéréseire, mivel síkfelületeknél különböző mozgásiránya lehet az illeszkedő felületpároknak. A továbbiakban elemzem a szerszám-munkadarab geometriai viszonyainak és a forgácsolólapka élgeometriájának hatását az inhomogenitás nagyságára és jellegére a felületen, a korábban kijelölt paraméterekkel. Emellett feltárom a szerszám és a munkadarab relatív helyzetének befolyását az érdességi eltérés mértékére. Ezután vizsgálom a forgácsolási adatok inhomogenitásra tett hatását.

Végül kidolgozok egy elemzési módszert a homlokmarat síkfelületek inhomogenitásának pontos és hatékony elemzéséhez. Megadom a mérési beállításokat és a topográfiai vizsgálatok eredményei alapján meghatározom a szükséges mérési helyek számát és elhelyezkedésüket a felületen. E vizsgálati módszer alkalmazásával a felület topográfiai sajátosságai az eddigi kutatási eredményektől részletesebben felírható és inhomogenitásuk pontosabban megadható az elemzett mérőszámok alapján. Ezáltal a megmunkált felületekre vonatkozó funkcionális követelményeknek jobban megfelelő alkatrészek tervezhetők és állíthatók elő.

1. Határozott élű szerszámmal forgácsolt felületek topográfiája

Először a megmunkált felületek topográfiai és érdességi vizsgálatával foglalkozó szakirodalmat és a témakörben megfogalmazott ismereteket tekintem át. Ezt követően ismertetem az érdességméréskor beállítandó paramétereket, valamint a topográfia jellemzéséhez használt mérőszámokat. Megadom a határozott élű szerszámmal végzett forgácsoló eljárások csoportosítását a forgácsolóél lenyomata, valamint a mozgásviszonyok szerint, és bemutatom a létrehozott felületek lehetséges mikrogeometriáit. Ismertetem a határozott élű szerszámmal forgácsolt felületek érdességi inhomogenitásának előfordulását és jellemzőit.

1.1 A megmunkált felületek pontossága és minősége

Ebben az alfejezetben kifejtem a forgácsoló megmunkálások általános jellemzőit, az alkatrészeken előállított felületek pontosságát és minőségét, illetve ezek jelentőségét.

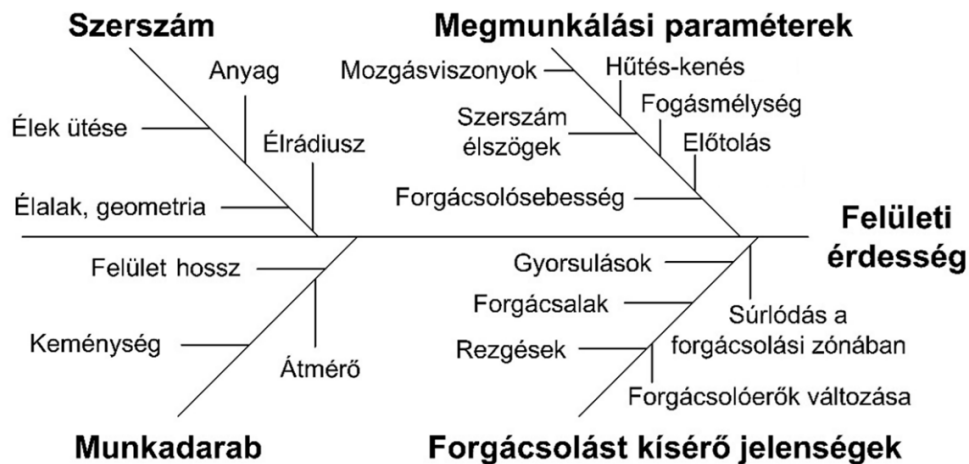
A gyártási folyamatban a gépipari gyártmányok alkotóelemeit, az alkatrészeket az előírt pontossággal és felületminőséggel állítják elő, hogy a meghatározott strukturális, funkcionális és egyéb elvárt követelményeket a tervezett élettartamuk alatt teljesíteni tudják [1]. Ezen elvárások lehetnek a kopás- és korrózióállóság, tömítőképesség, hővezetés, elektromos vezetés, nedvesíthetőség és forrasztási, ragasztási, bevonatképzési lehetőség, esztétika stb. [2] [3]. Ily módon nagyrészt elkerülhetők az idő előtti meghibásodások: kifáradási vagy feszültségkorróziós repedés, dörzsöléses, abrazív vagy adhéziós kopás, korrózió, erózió stb. [4]. Ezeket a jellemzőket pontossági és felületminőségi tűrések előírásával is tudjuk biztosítani.

Az alkatrészek felületeinek adott pontosságú létrehozása alatt az alakjuk, méretük és helyzetük megengedett eltérésen belüli előállítását értjük [5]. Ezek döntően meghatározzák a gyártmányban az alkatrészek felületeinek illeszkedési minőségét. Hozzájárul pl. a rögzítésükhöz, a megfelelő elhelyezkedésükhöz vagy a tervezett elmozdulásukhoz.

A felületek minősége magában foglalja egyfelől a felszín domborzatának, topográfiájának geometriai jellemzőit [5]. Ebben különböző nagyságrendű, makro- és mikrogeometriai elemeket különböztetünk meg, vagyis alaki és hullámossági, valamint érdességi egyenatlenségeket. Ezeket az 1.2. fejezetben értelmezem. Másfelől a felület forgácsolása, ezzel együtt a megmunkálási hibák nemcsak a topográfiát, hanem a felszín alatti réteg állapotát is megváltoztatják, amelyet Davim munkája [6] mutat be részletesen. A módosult anyagréteg vastagsága leggyakrabban 1–100 μm , de erősen függ a megmunkálás módjától, a forgácsolási paraméterektől, a szerszámél állapotától, a hűtés-kenés módjától stb. A fémek forgácsolása során a felszín alatti rétegben jellemzően húzó maradó feszültség alakul ki, amely rontja a felület kifáradási határát, korrózió- és kopásállóságát. Azonban a forgácsvastagságnál nagyobb élekkerekítési sugarú (vagy kicsorbult), vagy nagy negatív homlokszögű szerszámokkal végzett megmunkáláskor nyomófeszültség alakul ki, ami kedvező az előbb említett tulajdonságok szempontjából [6]. Továbbá, anyagszétválasztás során a képlékeny alakváltozást alakítási keményedés (keménység növekedés) követi a felületi rétegben, ami fokozza a kopásállóságot, de csökkenti a szívósságot. Ennek mértéke nagyobb a szerszám előbb említett tulajdonságai esetén [6]. Ezzel együtt a forgácsolás közben történő (pl. a forgácsolás módjától, paramétereitől, illetve a munkadarab anyagának keménységétől függő) hirtelen hőmérséklet-növekedés szövetszerkezeti elváltozást, égést vagy repedés keletkezését idézheti elő. Fémeknél jellemzően oxidréteg alakul ki a felszínen, illetve edzett acélokon gyakori a „fehérreteg” képződése, melyek keményebbek az alapanyagnál, de instabilak, könnyen leszakadnak a felületről [6].

Az előgyártmányokból (pl. kohászati termékekből) az alkatrészek kialakítása az előírt minőségben megmunkáló eljárásokkal teljesíthető, melyek közül kiemelkedő a forgácsolás: precíz, hatékony és sokoldalú lehetőséget nyújt [7] [8]. A folyamatban egy szerszám a munkadarab anyagát szétválasztja, így forgács és egy vagy több megmunkált felület jön létre.

Az utóbbiak a műszaki rajzon ideális – tökéletesen sima, hibátlan – névleges felületek, amelyeken a valóságban egyrészt a szerszámél(ek) alakja rámásolódik, egy sajátos mintázatot, textúrát adva [6]. Emellett a felületek a valóságban mindig megmunkálási hibával rendelkeznek [4]. Ennek alapvető oka a forgácsolásban a mechanikai rendszer merevségének korlátja, amely függ pl. a szerszám gép merevségétől, stabilitásától, a forgácsolószerszám kinyúlásától, kiegyensúlyozottságától, a munkadarab befogásától. Ezenfelül befolyásolja a hűtő-kenő közeg alkalmazása, a szerszám élgeometriája, kopása, a munkadarab anyagminősége, -szerkezete, hőkezeltségi állapota, megelőző alakítások a felületeken stb. [6]. Bajic és mtsai. eszergálásra megadták a felület érdességét befolyásoló legfontosabb tényezőket, amelyek hatással vannak a szerszámélnyomokra és a különféle megmunkálási hibák nagyságaira (1. ábra) [9]. Ezek a szerszám és munkadarab anyagok, geometriák, technológiai adatok és forgácsolást kísérő

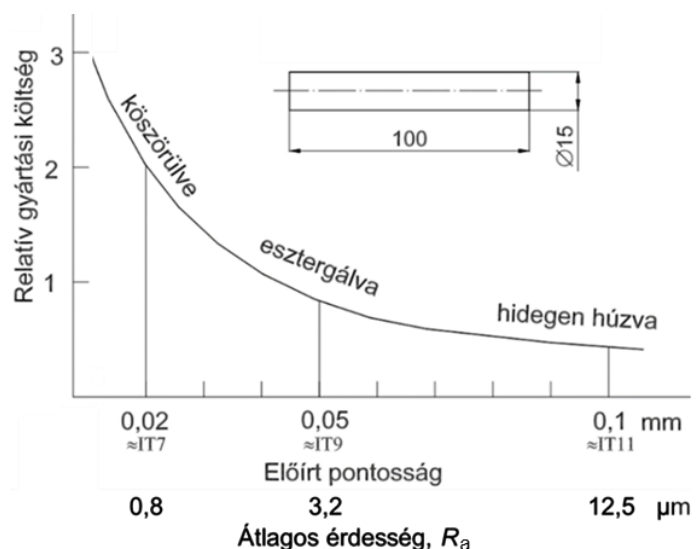


1. ábra: A felületi érdességet befolyásoló tényezők esztergálásnál [9]

jelenségek másfajta eljárások esetén tovább bővíthetők. Például a forgószerszámú megmunkálásoknál (fúrás, marás, fűrészelés) célszerű figyelembe venni a megmunkálási paraméterek közül a szerszám-munkadarab mozgáspálya relatív helyzetét [11] és a szerszámtengely – megmunkálandó felület közt bezárt szög nagyságát [12] is, mivel az előállított topográfián változhat a szerszámélek által képzett nyomok jellege.

A megmunkálási hibák nagyságát befolyásolják a technológiai adatok (szerszám élszögek, fogásmélység, előtolás stb.) is. Ahhoz, hogy a hiba nagysága kellően kicsi legyen – ezáltal a megfelelő pontosságot elérjük –, a fenti paraméterek kis értékeit beállítva kell forgácsolnunk a felületet (2. ábra). Ilyen módon – a szigorúbb előírások esetében fokozottan – nem lenne gazdaságos a megmunkálás egyetlen lépésben. Ezért jellemzően több fokozatban, gyakran különböző eljárásokkal történő (nagyoló, majd simító) megmunkálások szükségesek [1]. Ezzel együtt a befejező alakítással létrehozott textúra határozza meg a topográfiát.

A disszertáció témája a megmunkált felületek geometriai, topográfiai elemzése területhez tartozik, így a továbbiakban azokkal foglalkozom.



2. ábra: Palástfelület megmunkálásának módjai, pontossága és költsége [10]

1.2 A megmunkált felület topográfiai felépítése, jellemzői és érdességi előírásai

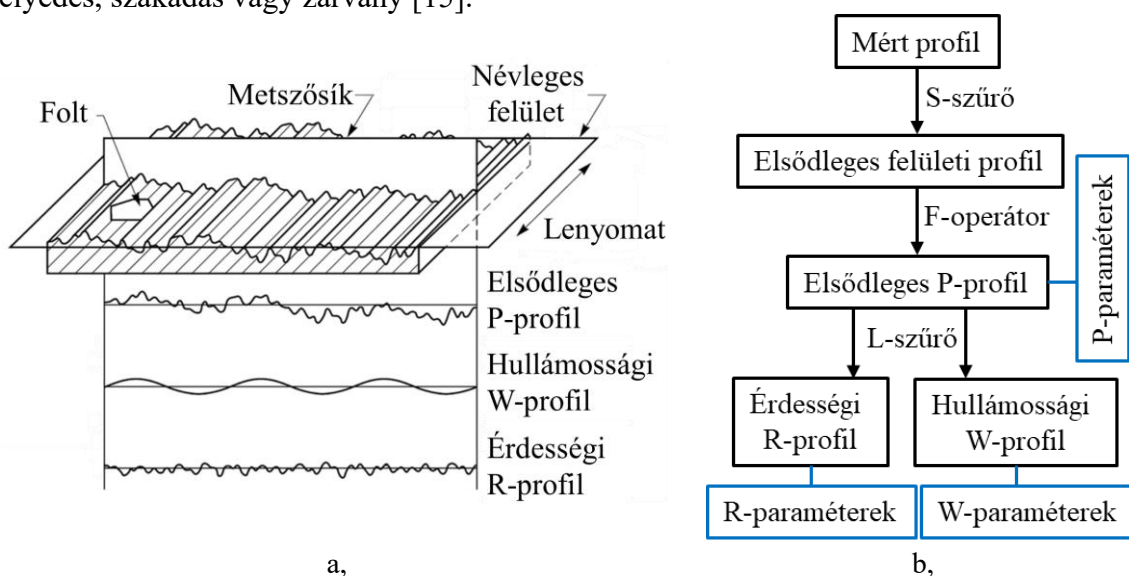
Ebben az alfejezetben ismertetem a megmunkált felületek topográfiai felépítését. Bemutatom, hogy az alkatrészek érdességi jellemzői milyen funkcionális tulajdonságait befolyásolhatják. Végül csoportosítom a megmunkálási módokat a szerszámkialakítás és a topográfia periodicitása szerint.

• A megmunkált felület topográfiájának felépítése

Egy általános forgácsolt felület topográfiájának felépítését a vonatkozó ISO 21920-2 [13] és ASME B46.1 [14] szabványok az alábbi módon határozzák meg (3a. ábra).

A lenyomat a szerszám-munkadarab kinematikai viszonyai és a szerszám élgeometria által képzett szerszámél nyomok megjelenési formája a felületen.

A valós felületeken előfordulnak nem előre tervezett makrogeometriai szabálytalanságok, ún. foltok, amelyek a felület mérésekor kerülendők. Ez lehet karcolás, repedés, lyuk, mélyedés, szakadás vagy zárvány [15].



3. ábra: A topográfia részei (a) [14] és a szűrési lépések (b) [13]

Az elsődleges felületi profil a topográfia normálsíkjával képzett metszetében az észlelt nyomvonalnak azon része, amelyről a mikroérdességi összetevőt szűréssel eltávolítják. A megjelenő egyenetlenségeket – sokféle hullámhosszúságú, többé-kevésbé periodikus struktúrák összességét – hullámokként kezelik, és a különböző hibaokok szerint további szűrésekkel választják szét az alábbi komponensekre (3b. ábra) [3]. A megkülönböztetéshez alkalmazott L-, vagy S-szűrő a megadott határhullámhossz alatti vagy feletti tartományban található jeleket eltompítja, ezáltal a kívánt összetevő adathalmazát elemezhető.

- A felület névleges alakjától való eltérése (az alakhiba) a profil nagy hullámhosszúságú (alacsony frekvenciájú) összetevője. Kialakulásának oka lehet a szerszám gép vezetékhibája, a gép vagy a munkadarab deformációja, hő okozta torzulása, vagy a szerszám kopása [5] [16]. Jelentősége az alkatrészek illesztésénél mutatkozik meg, az érintkező felületek illeszkedésének minőségében és a viszonylagos helyzetük megfelelőségében. Az alaki eltérés az elsődleges felületi profilról az F-operátorral választható le, aminek eredményeképpen az elemzett görbét a vízszintes középvonalra illesztjük.
- Az elsődleges (Primary) profil az elsődleges felületi profilnak a vízszintes középvonalra igazított megfelelője. Rendszerint annak komponenseit, az érdességi vagy a hullámossági profilgörbét vizsgálják, amelyekhez további szűréssel juthatunk. A profil jellemzői a P-paraméterekkel fejezhetők ki.

- A hullámosság (**Waviness**) a profil közepes hullámhosszúságú (közepes frekvenciájú) összetevője, amelyet a szerszám helytelen befogása vagy kiegyensúlyozatlansága, a szerszám vagy a munkadarab kihajlása, esetleg az MKGS rendszer rezgései, kilengései okozhatnak [3] [16] [17]. Megjelenése a topográfián egyfelől csökkentheti a felületi teherbírást, ronthatja az optikai, másrészt javíthatja a tribológiai tulajdonságokat a kenőanyag tárolásával és a háromtestes kopás elkerülésével [18], valamint csúszó felületeken jelentősen növelheti a súrlódási tényezőt [19]. Az érdességi profilgörbétől az L-szűrővel választható szét, amivel az R- és a W-profil elválasztó határértéktől kisebb hullámhosszúságú jelek csillapítása történik meg. A profil jellemzői a W-paraméterekkel adhatók meg (3b. ábra).
- Az érdesség (**Roughness**) a felület mikroszkopikus nagyságú egyenetlensége [20]. A profil rövid hullámhosszúságú (magas frekvenciájú) összetevői, alapvetően a megmunkálás jellegéből (kinematikai viszonyok, szerszám élgeometria vagy abrazív szemcsenagyság) adódóan jönnek létre, ahogy az anyagleválasztáskor a szerszámelek nyomokat generálnak a felületen [3] [5]. Bizonyos megmunkálási hibák (pl. tépett forgácsképződés) befolyásolhatják a nagyságát, a kopott szerszám, vagy a rosszul megválasztott forgácsolási paraméterek révén [20]. A profil jellemzői az R-paraméterekkel fejezhetők ki (3b. ábra).
- Az érdességtől megkülönböztetik a mikroérdességet, a profil vagy a topográfia nagyon rövid hullámhosszúságú (nagyon magas frekvenciájú) összetevőjét. Ez az előtolástól vagy szemcsenagyságtól legalább 1 nagyságrenddel kisebb méretű zavarokat jelent a profilon vagy a topográfián, amelyet a forgácsolási folyamatban lejátszódó anyagkiszakadás, lerakódás, szerszám kopásnyom stb. okozhat [5]. A kiértékelés során az elemzendő P-, W- vagy R-profilról ezt minden esetben leszűrjük az S-szűrő alkalmazásával.

A profilok részeit az ISO 21920 szabvány [13] az alábbiak szerint definiálja.

A *kiértékelési hossz* (l_e) a profil észlelt hossza, amelyen a mérőszámokat kiértékelik. Értékét az ISO 21920 szabvány [13] határozza meg (4a. ábra).

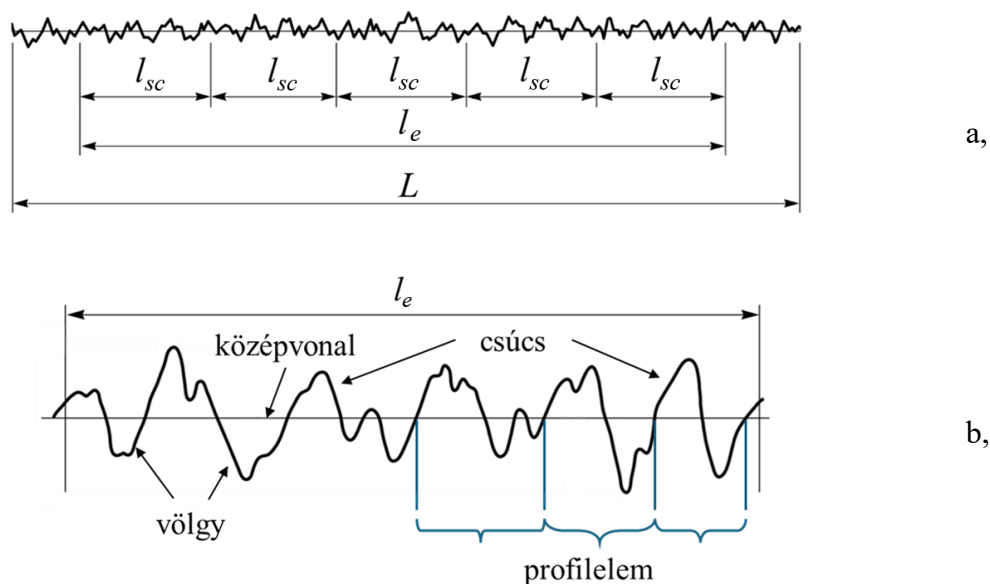
A *mérési hossz* (L) tartalmazza a kiértékelési hosszt, valamint méréskor a mérőeszköz állandó sebességének biztosításához annak felgyorsítási és lelassulási távolságait (4a. ábra).

A *szakasz hossz* (l_{sc}) a kiértékelési hossz (alapvetően öt) egyenlő hosszú részekre felosztásának egyike (4a. ábra). Az ISO 21920 szabvány [13] határozza meg értékét, amely rendszerint megegyezik az L-szűrő határértékével (vágási hossz, λ_c).

A *középvonal* a profilt a kiértékelési hosszban úgy osztja ketté, hogy az alatta és a fölött elhelyezkedő görberészek által a vonallal bezárt területek összege külön-külön egyenlő nagyságúak legyenek (4b. ábra). Az orientációjának számításához a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazzák.

Egy *csúcs* a középvonal felett, egy *völgy* egy alatta lévő, középvonaltól középvonalig tartó görberész (4b. ábra). Egy *profilelem* a profilon egy csúcsot és egy szomszédos völgyet foglal magában, amelyeknek magassága legalább a teljes profilmagasság 10%-a és hossza minimum az l_e -nek 1%-a (4b. ábra).

A régebbi ISO 4287 előd szabványban [21] a legtöbb paraméter esetén az egyes mintavételi hosszokon (a mostani neve a szakasz hossz) történt a görbe pontjaiból a számolás, majd a részeredmények átlagolásából adódtak a mérőszámok értékei. Az új szabványban az R_p , R_v és R_t paraméterek kivételével minden mérőszámot a kiértékelési hosszban definiálnak, azon kerülnek kiszámításra értékeik.



4. ábra: A profil részei [13] [14]

- ***A topográfia jellemzői, érdességi előírásai***

A topográfiai jellemzők részeként – az alaki [3] vagy hullámossági [16] hibák mellett – a felület érdessége kiemelkedő szerepet játszik az alkatrészek illeszkedésének és működésének minőségében a gépipar minden területén. Fontosságát mutatják a felületeken jelölt felületminőségi (leggyakrabban érdességi) előírások a különféle iparterületeken, amelyekből a következőkben példákat mutatok be a felület illeszkedése szerint csoportosítva. Az illesztések az üzem közbeni viselkedés alapján mozgó vagy rögzített kapcsolatként különböztethetők meg.

A gyártmányban csatlakozó, működés közben elmozduló felületeknél alapvetően figyelembe kell venni, hogy a mozgás és a súrlódás következtében kopás és melegedés jön létre a kenési állapottól függő mértékben [22]. Ennek folyamán először a topográfia legmagasabb pontjai (csúcsai) kopnak le. Az alkatrészek élettartamának növelése érdekében a folyamatot célszerű lassítani a felületek simításával, a topográfia érdességmagasságának csökkentésével [23], amit figyelembe vesznek a gördülő- [24] és siklócsapágys [25], golyósorsók [26], fogaskerek [27], dugattyúk és hengerfuratok [28] stb. esetén. Az érdesség csökkentése – például esztergálást követő köszörüléssel – lassítja a mikropedések terjedését is, például a vasúti kerék futófelületén: az érdesség nagyságából – illetve a repedések növekedési sebességéből és az ezáltal megnövekedett feszültségekből – megállapítható annak élettartama [29]. Valamint csökkenti a súrlódási tényezőt, pozitívan hat például a fogaskerek nyomatékátadási hatékonyságára [30], illetve a kifáradás később következik be [31].

Egyes gépelemeknél előfordulhat, hogy minél durvább, nagyobb érdességű működő (súrlódó) felületeket kell létrehozni a működési követelmények teljesítése miatt. Ennek oka lehet egyrészt a súrlódási együttható növelése, így a hatékonyabb fordulatszám-szinkronizálás tengelykapcsolóknál [32] és mechanikus fékeknél [33]. Másfelől a felületen az érdesség fenntartása a kenési jellemzők javulását, a kenőfilm stabilitását szolgálja megfelelő mélységű érdességi völgyek létrehozásával, pl. tengely-ajaktömítés kapcsolódás esetén [23], vagy a hidraulikus hengerrúd palástfelületén [34]. Ugyanis egy túl sima ($R_a < 0,2 \mu m$) felület nem képes megtartani a megfelelő kenőréteget, ami félszáraz súrlódást és tömítési problémákat okozhat [34], valamint a kellenél kisebb érdesség elérése jelentős gyártási költségnövekedéssel is járhat [23].

A működő felületek érdessége befolyásolja a kenési viszonyokat is. Gördülő- [24], siklócsapágyaknál [35], golyósorsóknál [26] megállapították, hogy az egyenetlenség-magasság növekedésével jellemzően vastagabb kenőanyagréteg alakul ki és javul a kenés hatékonysága. Azonban a kis érdesség elősegítheti a vegyes kenési állapot helyett a teljes folyadékfilm kialakulását és így a kopás minimalizálását, például fogaskereké $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ érdességű köszörült fogfelületein [31].

Belsőégésű motorokban a hónolt hengerfuratok és a simított csatlakozó felületek kialakítása (az érdességi völgyek jelentős mélysége és a csúcsok minimális magassága, a hengerbetétén és a dugattyún a csatlakozó felületek simított minősége) több célt szolgál. A legfontosabb fokozni az élettartamot, az üzemanyag-hatékonyságot, a kedvező súrlódási viszonyokat, a kenőolaj megtartásának és utánpótlásának minőségét [28], illetve csökkenteni a motor teljesítményvesztését [36].

A gyártmányban egymáshoz képest nem mozgó alkatrészek érintkező felületeinek érdességét a funkciójuk határozza meg. Rögzítés esetén általában szándékos a felület érdesre, durvára készítése, növelve a tapadó súrlódási együtthatót [20], pl. megfogó, szorító egységeknél vagy önzárhoz felületeknél [23].

Az érdesség jelentős hatással van az illeszkedő felületek teherbírására. Kis terhelésnél csak a topográfiák legmagasabb csúcsai érintkeznek – hiszen a valós felületen a csúcsok nem egyforma magasak. A terhelés növelésével (az anyagtulajdonságok függvényében) rugalmas, majd képlékeny alakváltozást követően a topográfia egyre mélyebb pontjai (egyre nagyobb felületrészek) is közreműködnek a kapcsolódásban [37]. Ezzel összhangban egy kisebb érdességű topográfiának nagyobb az érintkezési merevsége. Ez befolyásolható a megmunkálás jellegével is: homokfűvott felületeken az érdességcsúcsok alakváltozása nagyobb érintkezési felületet eredményez, míg szikraforgácsolás esetén a felszín szilárdsága nő, de a merevség csökken az alakváltozás hiánya miatt [38].

A csatlakozó felületek érdessége jelentős hatással van a tömítőképességre, amely kulcsfontosságú többek között ház jellegű alkatrészeknél, szelepeknél, burkolatokon (pl. csapágyház, hajtóműház, szivattyúház, gáz- és olajkutak [39]), nyílászáróknál [40]. Feladatuk a tárolt folyadékok, gázok megtartása és szennyeződések kizárása különböző környezetben (levegőn, víz alatt, űrben stb.) [40] [41]. A rések lezárása legtöbbször gumiból [41] vagy műanyagból [42] készült tömítéssel történik, melyek tömítőhatását a saját [41], illetve a fészek [43] érdességének csökkenése jelentősen javítja. Ajánlott értéke felhasználás szerint változik: pl. gépjárműben a hűtőrendszerhez $R_z = 9 \mu\text{m}$ [41], úrhajón $R_z = 0,41 \mu\text{m}$ [40]. Speciális esetekben (pl. vákuum-, nukleáris vagy kriotechnikai rendszereknél, ha a hőmérsékleti vagy nyomási feltételek miatt a gumitömítések nem alkalmasak) a tömítést külön alkatrész nélkül, a felületek megfelelő kialakításával érik el. Ilyenkor egyrészt kis előtolású síkesztergálással, másrészt finommegmunkálással (pl. szemcseszórással) készített felületek barázdái labirinttömítésként működnek [37], de a tömítés megvalósítható finom – például tükrösített – felületek párosával is [44]. A tömítőképesség csökken az érdesség (R_q érték) növekedésével, mivel megnő a felületek közötti rések kialakulásának esélye [45]. Ennél azonban nagyobb hatást gyakorolnak a hullámossági és különösen az alaki hibák [44]. A tömítőképesség összefüggésben van a gáz- vagy folyadéknomás mellett az érintkezési feszültséggel, melyre jelentős hatással van az érdesség: a kritikus feszültség csökken az érdesség növekedésével [46].

A csatlakozó felületek hővezetését és elektromos vezetőképességét a felületi érdesség jelentősen befolyásolja. Azonos körülmények között (hőmérséklet és felületi nyomás) a kisebb érdességű topográfia jobb hővezetési értéket eredményez [47]. Az $R_a \approx 5 \mu\text{m}$ érdességű illesztett felületekkel az alkatrészek 30%-kal jobb hővezetési értékét mérték, mint az $R_a \approx 20 \mu\text{m}$ esetén, akár szilárd érintkezés, akár folyadéktöltés mellett [48]. Ilyen szempontból a felület érdessége – a síklapúság mellett – az érintkező felület nagyságot befolyásolja [49]. A felületi érdességnek olyan esetben nincs számottevő hatása, ha az egyik

illeszkedő alkatrész anyaga jó réskitöltő tulajdonsággal bír [50]. Az elektromos vezetőképesség szintén növelhető az érdesség csökkentésével [51], különösen vékony rétegek (pl. bevonatok) esetén [52].

Egyes alkatrészek nem kapcsolódó felületeinél – amelyekre előírnak valamilyen kiemelt pontosságot – szintén meghatározók lehetnek az érdességi jellemzők. Ide sorolhatók a gyártmány külső felületei: repülőgéptörzsek, gépkocsik, hajók [53] és egyéb gépek borítása.

A tartós és jó tapadású bevonatok kialakításához a felület érdesítése elengedhetetlen. Például gépjárművekbe épített szénszállal erősített polimer kompozit panelek közepes szemcseméretű csiszolópapírral előkészített felülete biztosítja a festék vagy ragasztó megfelelő tapadását [54]. Tengerjáró hajók testén a szennyeződésgátló réteggel bevonást követően a felület érdességével együtt csökken a súrlódás és a mozgási ellenállás a határrétegben a lamináris-turbulens átmenet kialakulásával [55] [56], hasonlóan a turbinalapátokhoz [57]. A gépgyártásban használt szerszámlapkák alapanyagának köszörült vagy csiszolt, esetleg utólagosan mikroszemcsés szórással érdesített felszínén tapad meg megfelelően a bevonat [58], aminek célja a súrlódási tényező csökkentése, a kopásállóság és az élettartam növelése [59].

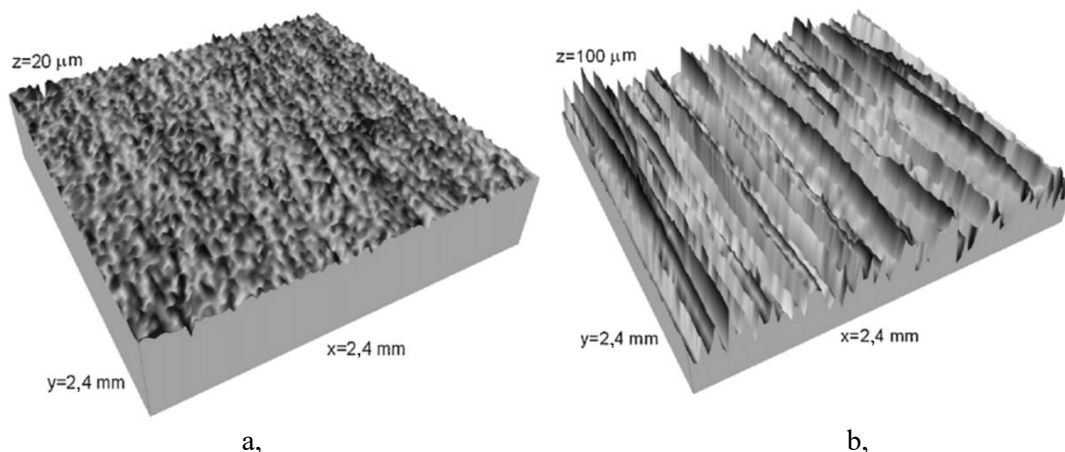
Más esetben a kisebb érdességű topográfia előnyösebb. Hajó gázturbinák felületeinek egyik kritériuma a melegkorrózióállóságuk, amihez a fajlagos felületnagyság csökkentése célszerű, minél kisebb érdességű topográfia előállításával, például csiszolással vagy köszörüléssel [60]. A csőfal érdessége befolyásolja az áramlási veszteségeket és a nyomásesést: kisebb R_a érték kisebb veszteséget és örvényképződési hajlamot eredményez [57] [61]. Orvosi protézisek megfelelő kémiai összetételével és felületeinek megfelelő érdességével ($R_a \approx 1 - 2 \mu\text{m}$ [62]) biztosítják a jó korrózióállóságot, a szövetek kötődését hozzá, és elkerülik a fertőzést, sérülést [63].

A gépipari termékek külső felületeinek fontos jellemzője a megjelenésük, amelyet meghatároz a topográfiájuk és érdességük [53]. Ezt a felhasználás szerint alakítják ki: pl. a letisztult vagy stílusos kinézetért fényesítéssel, szálciszolással, a fényvisszaverődés csökkentéséért vagy a sérülések csillapítása miatt mattítással, esetleg kézi mozgathoz, a tapadást segítve recézéssel érik el [22].

Az alkatrészek gyártása során a munkadarabok felületein végzett érdességmérésnek szerepe lehet a gyártásközi ellenőrzésben, mint szerszámkopás-kritérium: túlzottan kopott, kicsorbult élű szerszámmal durva – akár az elvárttól rosszabb – érdességű felület jön létre [64]. Az üzemelő gyártmányokba épített alkatrészek érdességi vizsgálatának is lehet fontos szerepe: segítségével felismerhetők a meghibásodások vagy a korai kopásnyomok jelei a tönkremenetel előtt [65].

- ***A forgácsolt felületek topográfiai csoportosítása***

A forgácsolási eljárásokat megkülönböztetjük aszerint, hogy az alkalmazott szerszám határozott vagy határozatlan élű, az élek geometriája, száma és helyzete szerint. A határozatlan élű – jellemzően abrazív – szerszámokkal előállított topográfiák általában random jellegűek, amelyeken véletlenszerűen következő, rendezetlen helyzetű és geometriájú élek hozzák létre a változó magasságú barázdákat (5a. ábra). A nyomok lehetnek irányítottak (anizotrópok) kötött szemcsés szerszám alkalmazásakor, pl. köszörülésnél vagy hónolásnál. Az abrazív szemcsék szabad forgácsolómozgása esetén az élnyomok irányítatlanok, véletlenszerűek, ami többek között vibrációs koptató csiszolásnál vagy türköstítésnél fordul elő. A határozott élű szerszámmal dolgozó eljárások (kivéve pl. a hántolás) periodikus topográfiát hoznak létre a szerszám egy vagy több élével. Ez esetben a megmunkált felületen ugyanaz(ok) az él(ek) adott irány(ok)ban ismétlődő, szabályos, közel azonos mélységű élnyomokat alakítanak ki egymástól egyforma távolságra (5b. ábra).



5. ábra: Random, dörzsköszörült (a) és periodikus, esztergált (b) felületen mért topográfia [66]

A kutatási témám a határozott élű szerszámmal dolgozó eljárásokhoz és az előállított topográfiák vizsgálatához kapcsolódik. E megmunkálási módok jellemzően termelékenyebbek, illetve sok esetben – az abrazív megmunkálás kihagyásával – az elérhető pontosság és felületminőség is megfelelő a rajzi előírásokhoz és az adott felület funkcióihoz, gazdaságosabb gyártás és rövidebb átfutási idő mellett. A továbbiakban a határozott élű szerszámmal működő megmunkálásokkal és a létrehozott topográfiákkal foglalkozom.

Az előállított topográfiáknak az – érdességi szempontból értékelt – funkcionális megfelelőségét nem minden esetben csak egy helyen mért érdességi értékekkel lehet megadni. Fontos annak megállapítása is, hogy a felület különböző részein a textúra és az értékek ugyanolyanok-e (a domborzat homogén-e). Ellenkező esetben milyen jellegű és mekkora mértékű a változásuk, mivel az is meghatározó lehet a funkcionális tulajdonságok megállapításában. A különböző módon kialakuló topográfiák ilyen szempontú meghatározására a következő alfejezetben térek ki.

1.3 Határozott élű szerszámmal előállított felületek topográfiája

A határozott élű szerszámmal dolgozó eljárásoknál a mozgásviszonyok és az előtolás nagysága alapján különféle lenyomatok alakulnak ki a forgácsolt felületeken. Ezek az ISO 21920 szabványban [13] rögzített hat alapvető típusba csoportosíthatók, amelyekhez hozzárendelem az azt létrehozó, sík és hengeres felületeket létrehozó jellegzetes eljárásokat és mozgásviszonyait (1. táblázat).

A besorolás megállapításához az elméleti topográfiát kell elemezni, amit a szerszámél alapsíkbeli vetülete, a szerszám-munkadarab kinematikai viszonyai és az előtolás nagysága határoz meg. Továbbá a vizsgálatához alkalmazzuk a következő feltételezéseket [67]:

- a munkadarab anyaga a megmunkált felületen nem deformálható,
- a forgácsolórendszer abszolút merev,
- a forgácsolószerszám éle egy meghatározott geometriai alakzat.

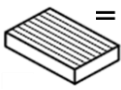
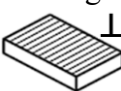
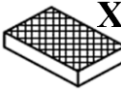
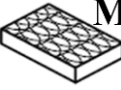
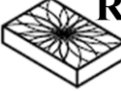
Az egyes típusokat kialakító jellemző eljárásokat az 1. táblázatban tüntetem fel. A következőkben megállapítom a különböző fajtákba sorolható elméleti topográfiák inhomogenitását.

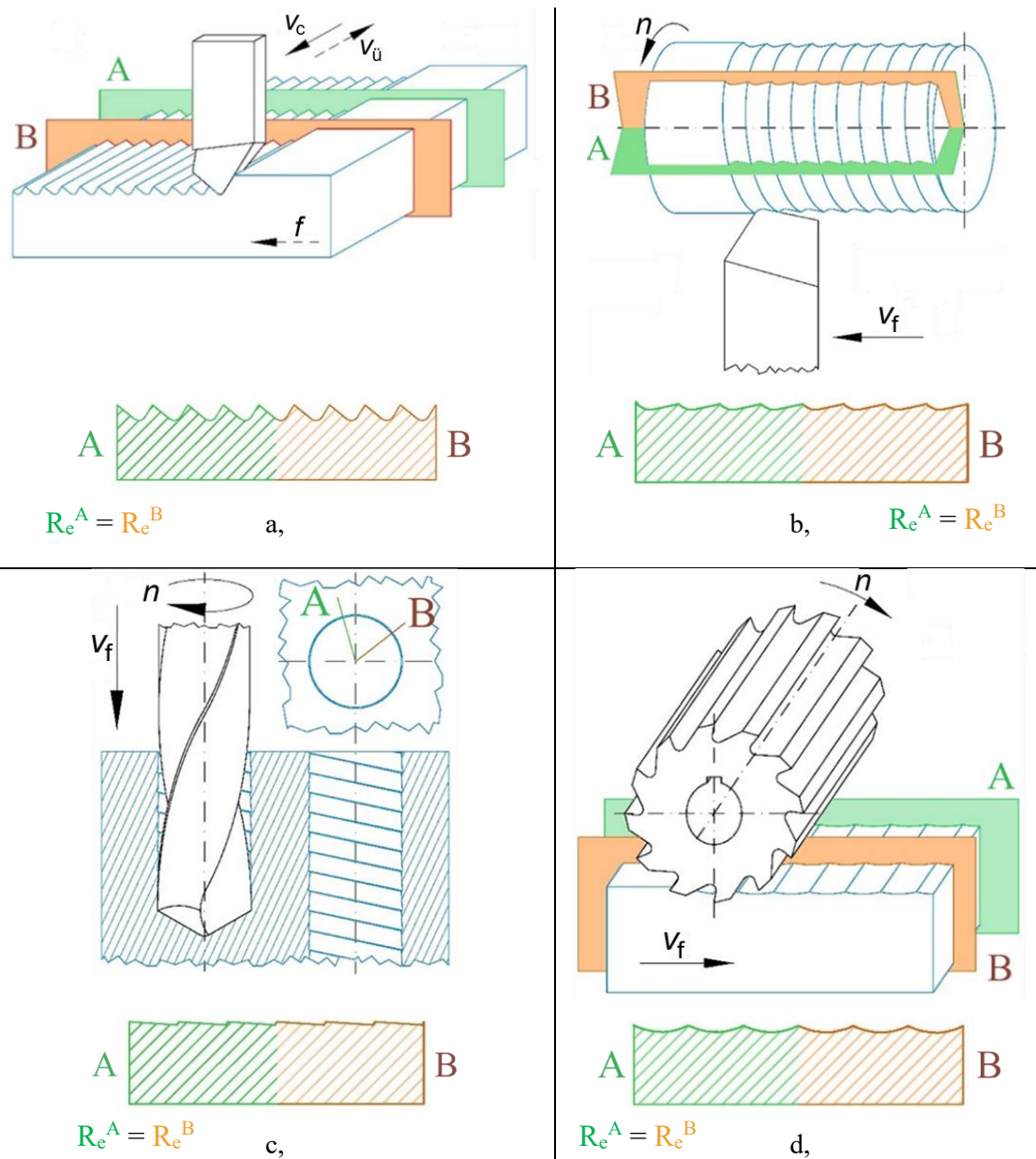
A párhuzamos és a merőleges lenyomat előtolás távolságra eltolt párhuzamos élnyomok összessége, előírás szerint a két fajta csak a nyomok nézeti síkhoz viszonyított helyzetében különbözik. A különféle mozgásviszonyok alapján az alábbi eljárások sorolhatók ide:

- A szerszám éle(i)vel párhuzamos, egyenes élnyomokat hozunk létre:
 - fűrészeléssel, ahol alternáló fő- és egyenesvonalú mellékmozgás jellemző,
 - gyalulással (6a. ábra) és véséssel, ahol egyenesvonalú a fő- és a mellékmozgás is.

- Az él(ek) csavarvonal pályát jár(nak) be külső vagy belső forgásfelületen:
 - hossz-esztergálásnál, ahol forgó főmozgás és a forgástengellyel párhuzamos vagy azzal hegyesszöget bezáró irányú egyenesvonalú mellékmozgás jellemző (6b. ábra),
 - fűrésznél, ahol forgó főmozgás és a forgástengellyel párhuzamos irányú egyenesvonalú mellékmozgás történik (6c. ábra).
- A szerszámélek ciklois íven haladnak palástmarásnál (hengeres palástmaró szerszámmal), ahol a forgó főmozgás mellett a forgástengelyre merőleges irányú eltolómozgás valósul meg, továbbá a megmunkálandó felület párhuzamos a szerszámtengellyel (6d. ábra) [68].

1. táblázat: Alapvető lenyomat fajták (ISO 21920 nyomán) [13]

Fajta	Értelmezés	Jellegzetes eljárások	Mozgások	
			Fő	Mellék
Párhuzamos  Merőleges 	A szerszámélnyomok iránya azon vetítési síkkal (közel) párhuzamos, amelyben az előírást jelölik a felületre. A szerszámélnyomok iránya azon vetítési síkra (közel) merőleges, amelyben az előírást jelölik a felületre.	Gyalulás, vésés		
		Üregelés		nincs
		Palástmarás		
		Fűrészelés alternáló szerszámmal		
		Palást-, furatesztergálás		
		Fúrás, süllyesztés, dörzsárazás		
Szöget bezáró 	A szerszámélnyomok átlósan, két irányban keresztezik egymást.	Esztérálás két irányban		
		Gyalulás két irányban		
Többirányú 	A szerszámélnyomok sok irányban keresztezik egymást vagy kitérnek egymástól.	Homlokmarás		
		Fűrészelés forgószerszámmal		
		Hántolás		nincs
Koncentrikus 	A szerszámélnyomok szinte koncentrikusak a jelzett felület középpontjára.	Síkesztergálás		
Sugárirányú 	A szerszámélnyomok közel sugárirányúak a jelzett felületen.	Körelőtolásos gyalulás, vésés		
 Egyenesvonalú folyamatos,  Egyenesvonalú szakaszos,  Alternáló folyamatos,  Alternáló szakaszos,  Forgó folyamatos,  Forgó szakaszos				

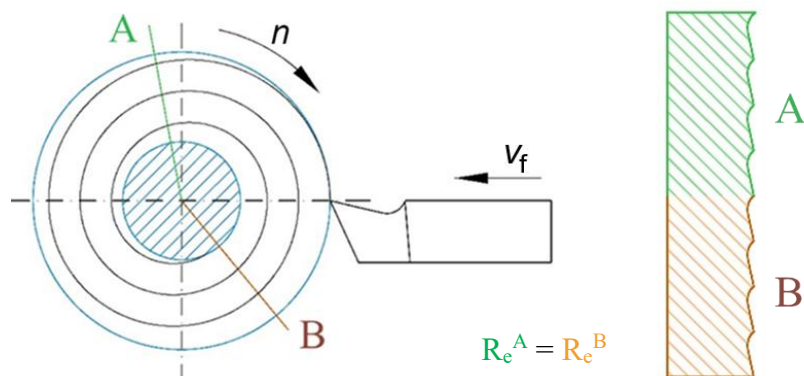


6. ábra: Gyalulással (a), hossz-esztergálással (b), fúrással (c) és palástmarással (d) létrehozott topográfiák és azok A és B metszősíkokban felvett érdességi profiljai

Az eljárások között különleges az üregelés, ahol a megmunkált felületet az utolsó kalibráló- vagy vasalóélek alakítják ki egyenesvonalú főmozgással, mellékmovement nélkül. Így a felületen nem jelennek meg a szokványos elötölással eltolt párhuzamos élnyomok, a topográfia minőségét más jellemzők befolyásolják, pl. az él állapota, az anyagleválasztás jellege.

Az így létrejött felületi textúrákra egyformán jellemző, hogy az elméleti topográfián adott irányban, különböző helyeken egyforma profilt és érdességi értékeket mérünk (lásd a 6. ábrán a zöld és narancssárga síkokat, amelyek egyforma nyomvonallal rendelkező profilokat metszenek ki).

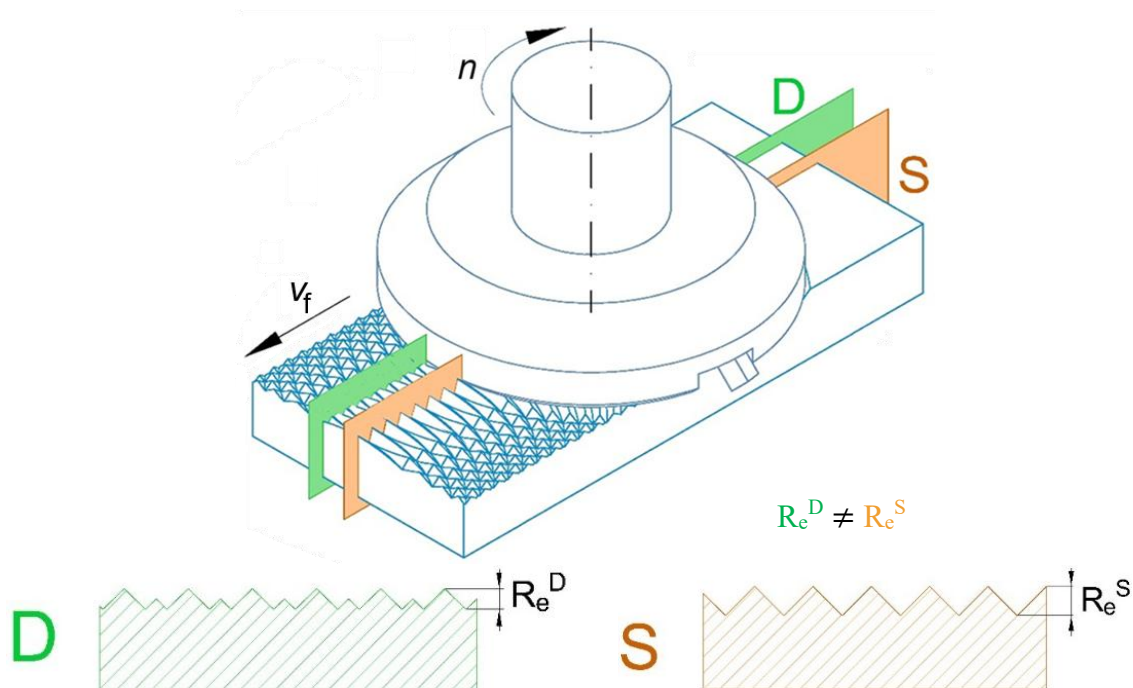
Koncentrikus lenyomatot jellemzően síkesztergálással állíthatunk elő a topográfián, ahol a forgó főmozgást végző munkadarab homlokfelületén a szerszám spirális pályát ír le a szerszám egyenesvonalú, sugárirányú elötölómozgása révén (7. ábra). E textúrára jellemző, hogy az elméleti topográfia különböző pontjaiban felvett profilok alakja és érdességi értékei azonosak elötölás irányban mérve (lásd a 7. ábrán a zöld és narancssárga síkokkal elmetszett egyforma profilokat).



7. ábra: Síkesztergálással létrehozott elméleti topográfia A és B metszősíkokban felvett érdességi profiljai

A **szöget bezáró lenyomat** megvalósítható kétféle forgácsolási irányban végzett gyalulással, véséssel, vagy esztergálásban oda-vissza irányban mozgatott szerszámmal. Azonban ugyanazon felület megmunkálásának időszükséglete kétszeres lenne, ami a termelékenységet jelentősen csökkentené. Emiatt nem jellemző szöget bezáró lenyomatú topográfia előállítása határozott élű szerszámmal dolgozó eljárásokban. A felületi textúra sajátossága, hogy a kereszteződő élnyomok metszéséből adódóan a topográfia elméletileg azonos magasságú csúcsai és mélységű völgyei előtolás irányban és távolságra ismétlődnek. Így azon egy kijelölt irányban, eltolt helyzetekben mért profilok alakja és érdességi értékei periodikus jelleggel változnak.

Többirányú lenyomat forgószerszámmal és egyenesvonalú előtolómozgással végzett megmunkálásnál alakul ki, a megmunkálandó felület szerszámtengelyre (közel) merőleges helyzete mellett, ahol a szerszám a munkadarabfelületen hurkolt ciklois pályát ír le. Ilyen fajta lenyomat keletkezik homlokmarással (8. ábra) és forgószerszamos fűrészeléssel (9. ábra).

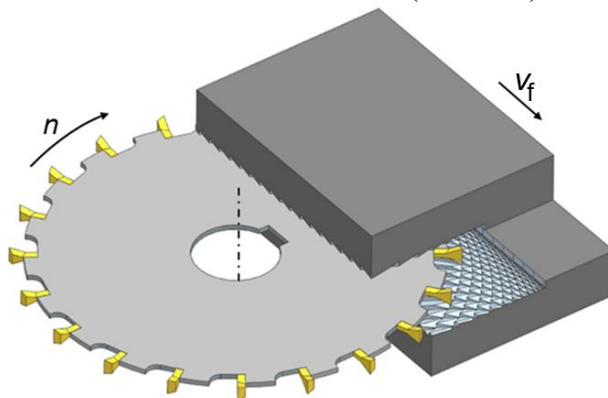


8. ábra: Homlokmarással létrehozott elméleti topográfia érdességi profiljai és magasságai a D és S metszősíkokban

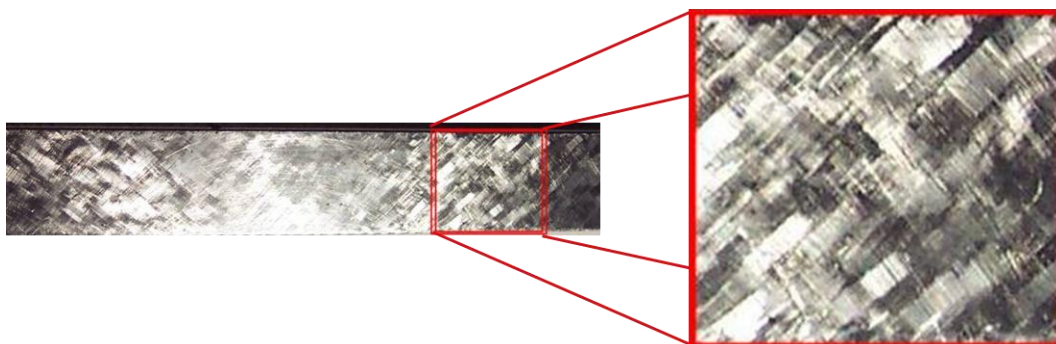
A mozgásviszonyok, valamint a szerszám forgácsolórészének geometriája miatt az élnyomok magassága és szélessége sugárirányban csökken a szerszámtengely haladási síkjától mindkét irányban távolodva. Továbbá a megmunkálandó felület és a szerszámtengely merőleges helyzete

esetén előfordulhat, hogy a szerszámélek fordulatonként kétszer is forgácsolnak, egymást keresztező marónyomokat kialakítva a felületen (8-9. ábra) [69] [70]. Mindezek miatt a topográfia előtolás irányától eltérő irányban felvett profilok érdességi értékei jelentősen különbözhetnek. Ezt az 1.5. fejezetben fejtem ki részletesen.

Ide sorolható a hántolás is, ahol a többirányú lenyomat létrejöttének több oka is van. Elsősorban a forgácsolómozgás irányát változtathatja a dolgozó a munkadarabhoz való hozzáférés és a ráhagyásalakzat függvényében. Másrészt a kézi szerszámmozgatás miatt annak helyzete nem merev, a fogásvételi nagyság nem állandó, így a megmunkáláskor eltérő a fogásmélység és a -szélesség (a hántolási nyomok nem egyformák). Tehát a létrehozott felületen a textúra nem szabályosan ismétlődő jellegű, ezért a topográfia érdessége véletlenszerűen változhat a különböző felületrészekben (10. ábra.).

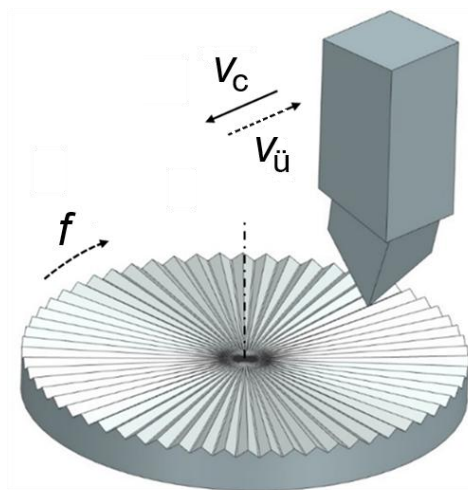


9. ábra: Körfűrészelés modellje és az elméleti topográfia

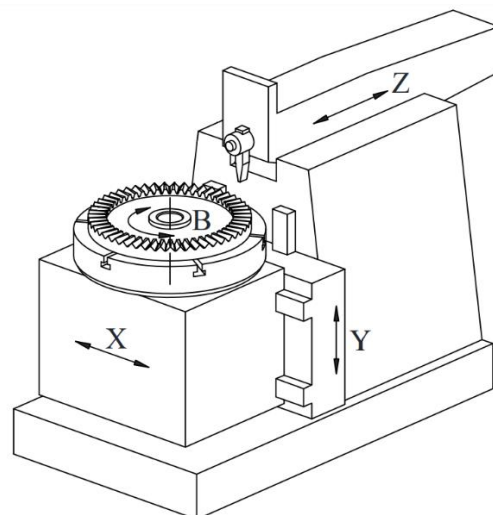


10. ábra: Hántolt felület [71]

Sugárirányú lenyomat alternáló főmozgással és körirányú szakaszos mellékmozgással állítható elő (11. ábra). Bár létezik erre alkalmas szerszámgép konstrukció – a 12. ábrán látható, forgóasztallal felszerelt gyalugép –, azon gyakran síkkerék fogazatot (alakos felületet) munkálnak meg, viszont ily módon a fogoldalakon párhuzamos a lenyomat [72]. A sugárirányú élnyomok kialakítása sík- (11. ábra), kúp- vagy más alakos felület forgácsolásával lenne elérhető, de egy ilyen gépet több okból sem használnak arra. A hagyományos hossz- vagy harántgyaluhoz képest egyrészt a munkatere korlátozottabb, valamint bonyolultabb a megmunkálás kinematikája, ezáltal a gép szerkezete. Ráadásul a kialakított topográfián az élnyomok a forgásponttól kifelé távolodnak egymástól érintő irányban nézve, illetve keresztmetszetük (magasságuk, szélességük) növekszik. Emiatt egyfelől a felület síklapúsága nagy pontossággal sosem érhető el. Másfelől a „körelőtőlásra” érintő irányban, különböző helyeken mért profilok bár hasonlóak, az élnyomok magassága és szélessége, így az érdességi értékek jelentősen eltérnek egymástól.



11. ábra: Forgó munkadarabon végzett gyalulás modellje és az elméleti topográfia



12. ábra: Forgóasztallal felszerelt négytengelyes gyalugép [72]

Összegezve, a felületi textúra jellemzőit befolyásolják a mozgásviszonyok, amelyek variációival – a fentnevezett eljárásokkal elérve – változatos, hat fajta sorolható lenyomatot hozunk létre. Ezek közül a párhuzamos, merőleges és koncentrikus fajtákra egyformán jellemző, hogy a megmunkált felület elméleti topográfiáján az előtolás távolsággal eltoló élnyomok egyforma alakúak és nagyságúak, az előtolás irányban bármely helyen mért érdesség elméleti értékei azonosak. Azonban ugyanezen (azaz előtolás) irányban, de különböző síkban felvett profilok érdességi értékei a szöget bezáró lenyomatokon periodikusan; a többirányú és a radiális lenyomatok esetén nem ismétlődően változnak. Ezekre érvényes a következő definíció.

Egy határozott élű szerszámmal megmunkált felület topográfiája inhomogén, ha a forgácsolás egy periódusában kialakult felületrészen felvett, egymást követő mérési helyeken az érdesség elméleti értékei változnak.

A szöget bezáró, a többirányú és a radiális fajtákhoz tartozó eljárások (lásd az 1. táblázatban) közül a kétirányú előtolással történő esztergálás, gyalulás, vésés és a forgó munkadarabon végzett gyalulás vagy vésés nem hatékony, nem termelékeny megmunkálás, azokat a gyakorlatban nem alkalmazzák, ezért azok vizsgálatával nem célszerű foglalkozni. Egy alkatrész megmunkált felületeinek topográfiáit a befejező megmunkálások határozzák meg, ezért a funkcionális felületek vizsgálatát simított felületeken célszerű elvégezni. Ez a körfűrészeléssel nem valósítható meg. A hántolással előállított felületi topográfián, mivel a forgácsolómozgás iránya és a leválasztott forgács-keresztmetszet is változó, emiatt az inhomogenitás nagysága és jellege is véletlenszerű, csak statisztikai úton határozható meg. A fejezetben elemzett, azon inhomogén textúrát létrehozó eljárások közül, ahol az érdesség eltérése analitikai úton is meghatározható, ez homlokmarással valósítható meg. Ezért a továbbiakban a topográfiai jellemzőket és az érdesség változásait homlokmarat felületeken vizsgálom részletesen.

1.4 A megmunkált felület topográfiájának mérése és mérőszámai

Ebben a fejezetben bemutatom a megmunkált felület topográfiáin lehetséges érdességmérési módszereket, technikákat, az értékeléshez használt paramétereket és a mérés során alkalmazott beállításokat a szabványok és az ipari gyakorlat alapján.

• Érdességi mérőszámok és értelmezésük

A felületi topográfia jellemzéséhez – a mérés kiterjedése szerint – egyrészt profilok mérhetők, melyek a vizsgálandó felületen a mérési síkkal elmetszett nyomvonalak (lásd a 6-8. ábrákon), és a mérési eredmények a $z(x)$ síkban helyezkednek el. A 2D-s mérési előírásokat az ISO 21920:2021 [13] tartalmazza. Másrészt a topográfia háromdimenziós mérése jelentősen több információt szolgáltat, mivel ez a felület egy nagyobb részének – felületelemének – leképezése a $z(x,y)$ térben. Ezáltal pontosabban megismerhetők és megbecsülhetők a felület jellemzői a környezetével vagy a kapcsolódó felületpárral való kölcsönhatása szerint (optikai, tribológiai, biológiai, aerodinamikai stb.) [73]. Ez esetben is azonos módon – háromdimenzióra értelmezve – alkalmazzák a profilnál ismertetett jellemzőket (lásd az 1.1. fejezetben): a középvonal helyett a középsíkot, a kiértékelési hosszt, az F-operátort, az L- és az S-szűrőt, valamint a csúcsot és a völgyet. A felület 3D-s mérésével kapcsolatos leírását az ISO 25178 szabvány [74] tartalmazza.

A felületeken mért profilok vagy felületelemek különböző mérőszámok segítségével jellemezhetők. Sok 2D-s paraméter esetén egyszerűen kiterjeszthető a definíciójuk három dimenzióra, így alakult ki a mikrotopográfiai paraméterek egy része. A többi (pl. a térfogati paraméterek) megjelenése összhangban áll a topográfiai jellemzés teljesebb lehetőségeivel. A 13. ábrán összegyűjtöttem Gadelmawla és mtsai. [75], valamint Zhang és mtsai. [76] nyomán ezen paramétereket, amelyek hét csoportba sorolhatók (magassági, térköz, hibrid, funkcionális, térbeli, térfogati, feature) [16].

Érdességi és mikrotopográfiai mérőszámok	
Magassági R_a/S_a - Átlagos érdesség R_q/S_q - Simasági mérőszám R_p/S_p - Legnagyobb csúcsmagasság R_v/S_v - Legnagyobb völgymélység R_z - Átlagos egyenetlenség-magasság R_t/S_t - Maximális egyenetlenség-magasság R_{sk}/S_{sk} - Ferdeség R_{ku}/S_{ku} - Lapultság	Térfogati V_{mp} - Csúcszóna anyagtérfogati hányad V_{mc} - Magzóna anyagtérfogati hányad V_{vc} - Magzóna ürestérfogati hányad V_{vv} - Völgyzóna ürestérfogati hányad
Hibrid R_{dq}/S_{dq} - Négyzetes átlagos lejtés S_{dr} - Felületarány	Térbeli S_{al} - Autokorrelációs hossz S_{tr} - Textúrahelyzet viszonyyszám S_{td} - Textúra irány
Feature S_{pd} - Csúcssűrűség S_{pc} - Átlagos csúcsgörbület	Funkcionális R_{mr}/S_{mr} - Hordozóhossz/-felületi arány R_{mc}/S_{mc} - Inverz hordozóhossz/-felületi arány R_{pk}/S_{pk} - Redukált csúcszóna magasság R_k/S_k - Redukált magzóna magasság R_{vk}/S_{vk} - Redukált völgyzóna mélység
	Térköz R_{sm} - Profilelemek átlagos térköze

13. ábra: Érdességi és mikrotopográfiai paraméterek csoportosítása

A mérőszámok értékeivel a felület különböző tulajdonságaira lehet következtetni, ami lehet gyártási folyamatjellemző (pl. sorozatgyártásban a forgácsoló szerszám kopására utaló), vagy funkcionális jellemző (kopásállóság, élettartam, kenőanyag megtartó képesség stb.) [77]. A paraméterek értelmezését és korábbi vizsgálatokban feltárt kapcsolatukat a felületek vizsgált jellemzőivel összefoglaltam a 2. táblázatban.

2. táblázat: Érdességi paraméterek és kapcsolatuk a felületek vizsgált jellemzőivel

Típus	Mérőszám jele			Értelmezés	A paraméter és a felület más vizsgált jellemzője közötti feltárt kapcsolat
	Név	2D	3D		
Magassági	Átlagos érdesség	R_a	S_a	A profil/felületelem középvonaltól/ középsíktól mért átlagos magassága.	gyártási folyamat ellenőrzése [75]
	Simasági mérőszám	R_q	S_q	A profil/felületelem középvonaltól/ középsíktól mért négyzetes átlagmagassága.	
	Maximális csúcsmagasság	R_p	S_p	Az n darab vágási hosszban mért legmagasabb csúcsok magasságainak számtani átlaga.	kopásállóság [78], kopottság [79] vagy képlékeny alakítás [66] mértéke
	Maximális völgymélység	R_v	S_v	Az n darab vágási hosszban mért legmélyebb völgyek mélységeinek számtani átlaga.	kenőanyag megtartás [78], kopottság mértéke [79]
	Egyenetlenség-magasság	R_z	-	Az n darab vágási hosszban mért legmagasabb csúcsok és legmélyebb völgyek magasságkülönbségeinek számtani átlaga.	kopásállóság [80]
	Maximális magasság	R_t	S_z	A profil/felületelem legmagasabb és legmélyebb pontjának magasságkülönbsége.	kopottság mértéke [3]
	Ferdeség	R_{sk}	S_{sk}	A profil/felületelem amplitúdó eloszlási görbéjének ferdesége.	kopásállóság, kenőanyag megtartás [81], súrlódási tényező [82], kifáradási szilárdság [83], korrózióállóság [84], profilok alak megkülönböztetése [3]
	Lapultság	R_{ku}	S_{ku}	A profil/felületelem amplitúdó eloszlási görbéjének lapultsága.	
Térköz	Profilelemek átlagos térköze	R_{Sm}	-	Profilelemek (a középvonal által határolt egy kiemelkedés és annak szomszédos bemélyedése együttvéve) szélességeinek számtani átlaga.	súrlódási feltételek [85]
Feature	Csúcssűrűség	-	S_{pd}	A felületelem egységnyi területén mért csúcsok száma.	bevonat tapadása, korrózióvédelem [86], bekopási idő [87], kopottság mértéke [88]
	Átlagos csúcsgörbület	-	S_{pc}	A felületelemen található csúcsok görbületeinek számtani középértéke.	érintkező felület nagyság, kopottság mértéke [88], nedvesíthetőség [89]
Hibrid	Négyzetes átlagos lejtés	R_{dq}	S_{dq}	A profil/felületelem elemeinek négyzetes átlagos lejtése.	súrlódási feltételek [85], kopottság mértéke [90], felületi fényesség [91]
	Felületarány	-	S_{dr}	A topográfia felület nagyságának növekményét fejezi ki a középsík területéhez viszonyítva.	fajlagos felület nagyság [92]

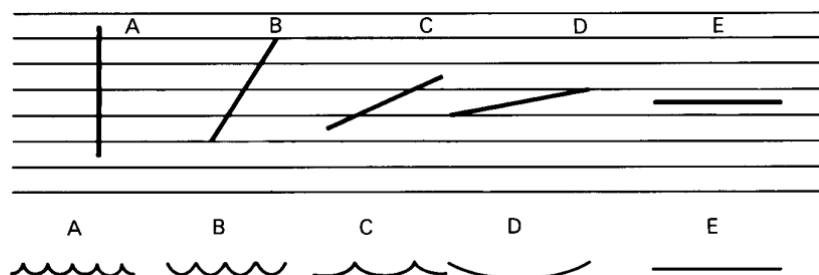
(2. táblázat folytatása)

Típus	Mérőszám jele			Értelmezés	A paraméter és a felület más vizsgált jellemzője közötti feltárt kapcsolat
	Név	2D	3D		
Funkcionális	Hordozóhossz vagy -felületi arány	R_{mr}	S_{mr}	A profil/felületelem anyagrészének c magasságban felvett vonal/sík feletti aránya.	kenőanyag-kapacitás, kopottság mértéke [93]
	Inverz hordozóhossz vagy -felületi arány	R_{mc}	S_{mc}	Adott hordozóhossz vagy -felületi arányhoz tartozó c levágási magasság.	
	Redukált csúcszóna magasság	R_{pk}	S_{pk}	A kiemelkedő csúcsok átlagos magassága a magzóna fölött, a profil/felületelem eloszlás függvényéből meghatározva.	bekopási idő [94], kopásállóság [95], érintkezési feszültség [96]
	Redukált magzóna magasság	R_k	S_k	A profil/felületelem magzónájának magassága, a profil/felületelem eloszlás függvényéből meghatározva.	kopásállóság, élettartam [94], felületi teherbírás [95]
	Redukált völgyzóna mélység	R_{vk}	S_{vk}	A kiemelkedő völgyek átlagos mélysége a magzóna alatt, a profil/felületelem eloszlás függvényéből meghatározva.	kenési feltételek [97]
Térfigat	Csúcszóna anyag-térfigati hányad	-	V_{mp}	A csúcszóna anyagterfigata $p\%$ felületi anyaghányadnál, amelynek alapértéke 10%.	súrlódás [76]
	Magzóna anyag-térfigati hányad	-	V_{mc}	Az anyagterfigat $q\%$ -nál (alapértéke 80%) és $p\%$ -nál (alapértéke 10%) mért értékeinek különbsége.	kenőanyag megtartás, súrlódás [76]
	Magzóna üres-térfigati hányad	-	V_{vc}	Az ürestérfigat $q\%$ -nál (alapértéke 80%) és $p\%$ -nál (alapértéke 10%) mért értékeinek különbsége.	kopásállóság, kopottság mértéke [98]
	Völgyzóna ürestérfigati hányad	-	V_{vv}	A völgyzóna ürestérfigata $q\%$ felületi anyaghányadnál, amelynek alapértéke 80%.	kifáradási élettartam [99]
Térbeli	Autokorrelációs hossz	-	S_{al}	Azon irányú távolság, amely mentén annak a legnagyobb mértékű az autokorrelációs függvény csillapodása egy meghatározott s értékre.	izotrópia [100], kopottság mértéke [101], kifáradási határ [102]
	Textúrahelyzet viszonzszám	-	S_{tr}	A felületi textúra egységességének mértéke, az autokorrelációs függvény leggyorsabb és leglassabb csillapodási hosszainak aránya. Ezáltal kifejezi a topográfia izotrópiáját.	súrlódási feltételek [85], izotrópia [96]
	Textúra irány	-	S_{td}	Egy megadott θ irány és a szögspektrum maximális értéket adó iránya által bezárt szög nagysága. Jellegzetes textúra irány megadásához.	izotrópia [96]

- **Az érdességméréskor alkalmazott beállítások**

A megmunkált felület mérésekor alkalmazott beállításokat célszerű egységes alapon megválasztani, hogy a különböző topográfiák érdességi értékei reprezentatívok és összehasonlíthatók legyenek egymással. Ellenkező esetben adott felületen is eltérhetnek a vizsgált érdességi értékek. Ehhez kell figyelembe venni a vonatkozó szabványok [13] [74] előírásait, vagy ipari és kutatási tapasztalatokat, amelyeket az alábbiakban ismertetek.

Előírják a **mérés helyét és irányát** a felületen. Ehhez ismerni kell az adott eljárással megmunkált felület alakját (sík, henger, kúp, gömb stb.) és textúráját, lenyomatát (periodikus vagy random; lásd a 2. ábrán és az 1. táblázatban). A szabvány megadja [13], illetve az iparban is a leggyakoribb módszerek tartják, hogy alapvetően a lenyomatra merőleges irányban mérnek, kivéve egy erre vonatkozó előírás szerint, pl. súrlódási problémák [3] vagy tömítések [103] esetén. Erősen anizotróp topográfián a különböző mérési irányokban nagymértékben eltérő profilmenti (2D-s) érdességi értékek mérhetők [104], amelyek közül a felületet leginkább jellemző eredmény érhető el a lenyomatra merőleges irányban [105]. Ez esetben szűk tűrésen belül azonos mért értéket kapunk. A helyes mérési irány megválasztásának fontosságát a 14. ábrával kívánom érzékeltetni a párhuzamos lenyomatú felületi textúrának különböző irányokban mért profiljaival. Olyan esetben, hogy ha nem lehet pontosan meghatározni a lenyomatot, akkor a felületen több irányban kell méréseket végezni, és a maximális (amplitúdó) érdességi paraméter értéket kell megválasztani. Előfordulhat, hogy egyes felületeken egyáltalán nincsenek jellemző irányú barázdák (pl. homokfűvott, szemcseszórt alkatrészek, szórt bevonatokon [106]), ebben az esetben a textúra izotróp, és a paraméterek közel azonos értékei adódnak a mérések során, függetlenül a mérési iránytól [107]. Azonban 3D-s méréskor a topográfia anizotrópiája a mérési iránytól függetlenül nem befolyásolja a paraméterek értékeit [105].



14. ábra: A mérési irány hatása a párhuzamos vagy merőleges lenyomatú topográfiánál [107]

A mérendő **felület alakját** két szempontból is figyelembe kell venni. Egyrészt szükséges, hogy a megmunkált felületeket (alaktól függetlenül) az érdességmérő szenzor, tapintó a kijelölt mérési helyen be tudja járni. Másrészt a [13] szabvány előírása alapján a kiértékelés során a névleges (ideális) felületalakot le kell választani a mérési eredményből. Megfelelő esetben ezután a profil vagy felületelem hullámossága és érdessége marad meg a kiértékelte állományban (adathalmazban), amely a középvonalra vagy középsíkra illeszkedik.

A **kiértékelési- és a vágási hossz** megválasztásának módját szintén előírja a [13] szabvány, aminek beállításával a hullámossági vagy az érdességi profil szétválasztható és különállóan elemezhető. E paraméterek (l_e és λ_c) értékei eltérő alapon határozandó meg. Ismétlődő textúrájú, periodikus felületeknél a periódusok átlagos távolsága (R_{sm} paraméter értéke, lásd a 2. táblázatban), a szabálytalan topográfiájú random felületeknél előzetes érdességmérési eredmény (R_a vagy R_z érték) alapján kell megválasztani (3. táblázat). Amennyiben a szabványos értékek felvétele nem lehetséges a felület korlátozott kiterjedése miatt, úgy a szabvány megengedi egy kisebb kiértékelési hossz (l_e) megválasztását, a vágási hossz (λ_c) változatlansága mellett. Ezt egy kísérleti vizsgálatban [108] is megerősítették.

3. táblázat: Szabványos kiértékelési- és vágási hosszok [109]

Profil jellege			Kiértékelési hossz	Vágási
Periodikus	Random			
R_{Sm} [mm]	R_z [μm]	R_a [μm]	l_e [mm]	λ_c [mm]
>0,013-0,04	≤0,1	≤0,02	0,4	0,08
>0,04-0,13	>0,1-0,5	>0,02-0,1	1,25	0,25
>0,13-0,4	>0,5-10	>0,1-2	4	0,8
>0,4-1,3	>10-50	>2-10	12,5	2,5
>1,3-4	>50	>10	40	8

Az ISO 25178 **topográfia** (3D-s) **vizsgálati** szabványban [74] több mérési beállításra is csak ajánlás van, egzakt értékmeghatározás nincs. Egyrészt a mérendő **felületelem oldalhosszainak** az ISO 21920 szabványban [13] megadott (3. táblázatban jelölt) értékek beállítását javasolja, amelyet érthetően nem lehet szigorúan előírni a korlátozott mérési hely vagy felület nagyság esetében. Pontos meghatározásuk híján azonban a javaslatból való eltérés lehetséges és előfordul a topográfiai vizsgálatokban [110], aminek hatása a mérési eredményre ismeretlen. Ezért is foglalkoznak vele kutatómunkák keretében. Egy erre irányuló vizsgálatot végeztek el edzett acél keményesztergált, illetve köszörült furatain azzal a céllal, hogy megfelelően pontos eredmény mellett minimalizálható legyen a ráfordított munka és idő. A terület csökkentésével az érdesség értékeiben egyre jelentősebb ingadozást tapasztaltak a szerzők. Megállapították, hogy a különböző jellemzőkre mutató topográfiai mérőszámoknál a megfelelően pontos eredményt adó minimális terület nagyságok és az értékük változási jellegei is különböztek. Az eltérések a vizsgált előtolásnak megfelelő 1,25 mm $\times$ 1,25 mm szabványban ajánlott kiértékelési terület nagyság alatt voltak jelentősek [111].

Az ISO 25178 [74] szabvány a **mért felületelem oldalait** egyenlő hosszúnak (négyzet alakúnak) javasolja. Azonban ettől eltérhetünk a korlátozott mérési hely vagy felület nagyság esetén, amennyiben a topográfia jellegzetességei ily módon is megmutatkoznak és pontosan kiértékelhetők.

A mért felületelem hullámossági vagy érdességi kiértékeléséhez szintén szűrést kell alkalmazni a **kiértékelési és a vágási hosszok** beállításával, amelyhez ugyanúgy a [13] szabványban (a 3. táblázatban) megadott értékeket javasolja a vonatkozó [74] irányelv. Azonban ezek felvétele gyakran nem lehetséges a felület korlátozott kiterjedése miatt, és a mérési eredmény nem feltétlenül lesz pontos és összehasonlítható. Ezért vizsgálatokat végeztek, hogy a szűrési feltételek változtatásának hatását jobban megállapítsák a 2D-s és 3D-s érdességi paraméter értékeire. Ennek eredményeként javasolták a vágási hossz szabványos értékének rögzítését, ami nagymértékben befolyásolta az érdességet, és szükség szerint csak a kiértékelési hossz változtatását, minimális hatása révén. Ez utóbbi értéke lehetőleg a vágási hossz ötszöröse, de minimum a kétszerese legyen [108].

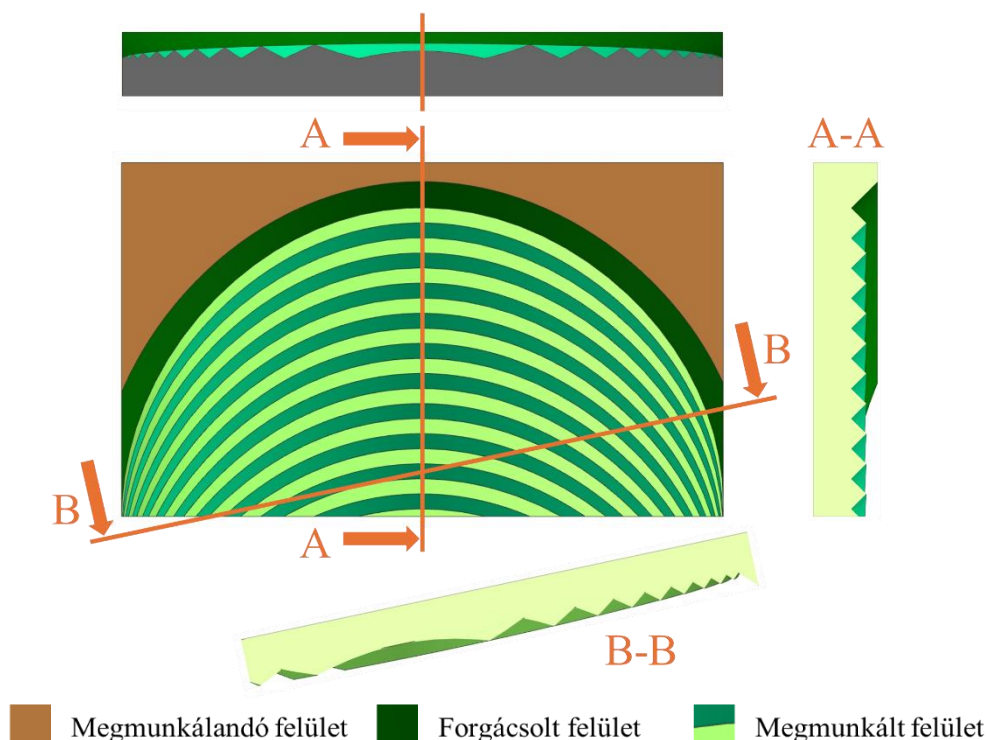
A **mért profilt vagy felületelemet** – mint digitális adathalmazt – **alkotó pontok sűrűségének**, vagyis **egymás közötti távolságának** beállítására vonatkozó előírásokat a [13] [74] szabványok nem tartalmazzák, ezért a megfelelő értékek megválasztásához kutatási eredményekre támaszkodhatunk. E paraméter megfelelő beállításának kérdését megalapozza, hogy bár a valós felületek folytonosak, a felületi textúra bármilyen műszerrel való mérése egy diszkrét adathalmazt eredményez, amiben a névleges geometriától való eltérések a felvett pontok közötti távolságok függvényében vannak kifejezve [112]. Ilyen szempontból a mérési eredmények csak megközelítik a felületek „valódi” érdességi jellemzőit, ezért a minél pontosabb, hitelesebb eredmények érdekében megfelelően kell beállítani a ponttávolságokat [113]. E hatásának megismeréséhez a szerző elemezte különböző lenyomatú megmunkált felületeken a mérési pontsűrűség változtatásának hatását különféle érdességi paraméterek értékeire ahhoz, hogy megfelelő beállítással a mért pontok

a felület egyenetlenségeit teljesen lefedjék, biztosítva a kiértékelés pontosságát. Megállapította – ahogy mások [114] is –, hogy a vizsgált felületi textúrákon a mérési pontok távolságának csökkentése az eredmények pontosságának javulásához vezet. Mechanikai, tapintós eszközzel végzett mérés esetére összefüggést írtak fel az optimális értékek meghatározásához, a tapintó csúcssugarának függvényében [115].

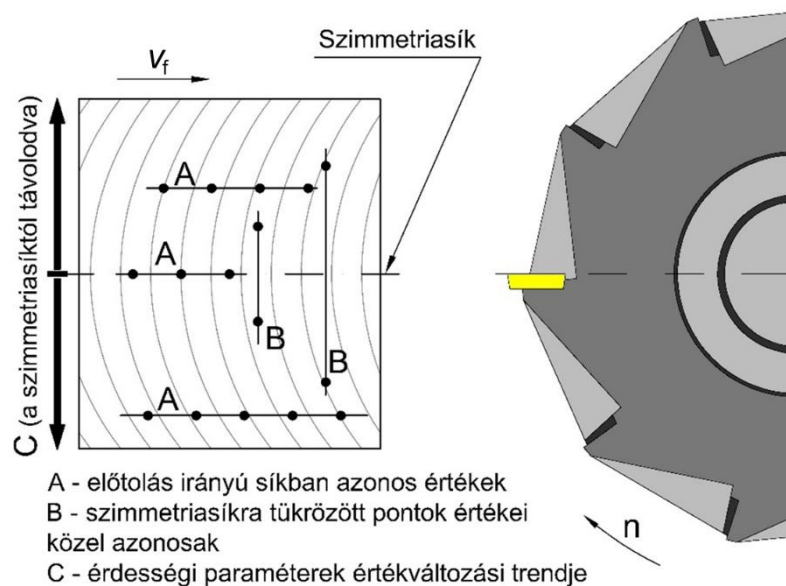
1.5 Homlokmart felület inhomogenitásának jellemzése

Az 1.3. fejezetben megállapítottam, hogy homlokmarással előállított felületen különböző – előtolási sebesség vektortól eltérő irányban eltolt – helyeken mért érdesség értékei számottevően eltérők. Ebben a fejezetben a célom elméleti homlokmart topográfián bemutatni a geometriai és érdességi jellemzőket, ezzel együtt ismertetni az érdességi eltérések vizsgálatainak hazai és nemzetközi irodalmakban leírt eredményeit.

A felületi textúra az előtolás irányában eltolt ciklois ívekből áll. Így ez irányban a marónyomok szabályosan ismétlődnek [17], bármely helyzetben mért profilon a periódus elméleti nagysága megegyezik f értékével (15. ábra). Valamint egy előtolás irányú síkban bármilyen helyen felvett profilok érdességének elméleti értékei – a topográfián csak ilyen esetben – azonosak (16. ábra, A jel). A szimmetriasíkban (a szerszámtengely és az előtolási sebesség vektor által kifeszített sík, ami a 15. ábrán az A-A metszősík) a szerszám élgeometria, a forgács-keresztmetszet, az élnyomok szempontjából hasonlít az esztergáláshoz [70]. Azonban attól mindkét irányban távolodva a barázdák sugárirányban csökkenő szélességűek és magasságúak, valamint közöttük a radiális irányú távolság is csökken (15. ábra). Továbbá, mivel a maró szerszámokon a fő- és mellékélek elhelyezési szögei az alapsíkban $\kappa_r > 0^\circ$ és $\kappa'_r > 0^\circ$ (vagyis a mart felülethez a csúcs van a legközelebb), emiatt a kialakított barázdák oldalai közelítőleg kúpfelület-részletek, alkotóik alakja követi az élalakot (17. ábra) [70]. Ezeket együttevén megállapítható, hogy az élnyomok szimmetriasík környezetében mérhető maximális szélessége – ahogy a keresztmetszete is – attól mindkét irányban távolodva csökken, közelítőleg az előtolástól 90° -os elfordulásig.



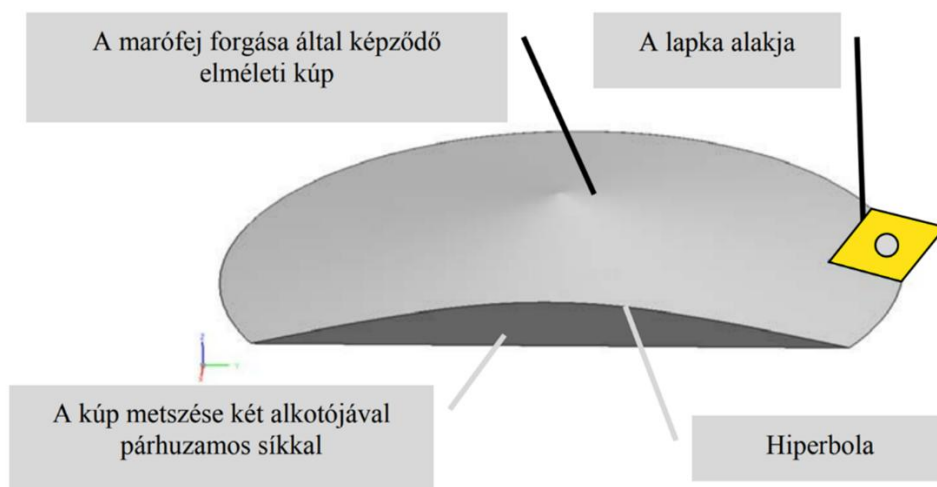
15. ábra: Egyszeres élnyommal kialakított elméleti homlokmart topográfia (A-A: szimmetriasík)



16. ábra: Elméleti homlok-mart topográfia jellegzetességei

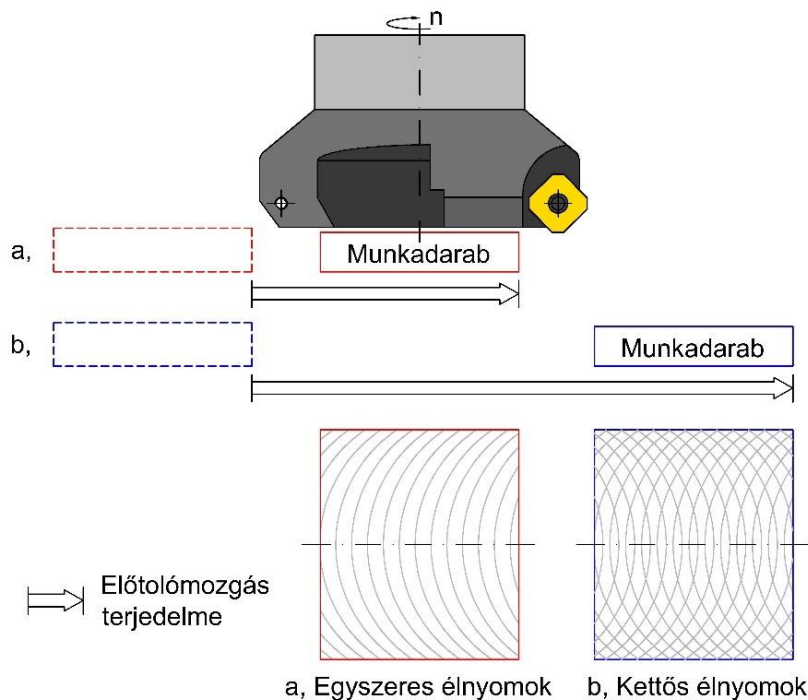
Ezek alapján elméleti topográfián a szimmetriasíkban maximálisak az érdességmagasságot kifejező R_a , R_q , R_z , R_t , R_p , R_v és S_a , S_q , S_z , S_p , S_v , illetve a teljes magassággal összefüggő funkcionális R_{pk} , R_k , R_{vk} és S_{pk} , S_k , S_{vk} paraméterek értékei (lásd a 2. táblázatban). Ugyanakkor az R_{mr} és S_{mr} mérőszámok elméleti értékei itt minimálisak és a szimmetriasíktól távolodva az érdességmagasság csökkenésével növekednek, azonos levágási szint mellett (16. ábra, C jel). Az eltolás irányában – a szabályos ismétlődési jellegből adódóan ez irányban – bármely helyen mért profil R_{sm} elméleti értéke azonos (16. ábra, A jel).

Ha a felületi textúrán az élnyomokat körívvel egyszerűsítjük, akkor azon elméletileg a szimmetriasíkra szimmetrikus a geometria, így az eltolás irányú profilok érdességi értékei is. A ciklois élnyomok esetében a textúra nem tükrözött a szimmetriasíkra. Előfordul, hogy a két élpályát meghatározó paraméter, a szerszámtávolság és a fogankénti eltolás forgácsoláskor beállított értékei között sokszoros a különbség ($D_{sz} \gg f_z$), ekkor a görbe szimmetriát torzító hatása kicsiny. Tehát egyszeres lenyomatú topográfián a szimmetriasíkra tükrözött mérési helyek elméleti érdességi értékei között jellemzően kismértékű a különbség (16. ábra, B jel). Az eltéréssel összefügg, hogy a szerszámél fogásba lépésétől annak kilépéséig a forgácsoló- és az eltolósebességek irányai folyamatosan megváltoznak, ennek következtében eltérő a forgács-keresztmetszet és a forgácsolóerő nagysága is [116].



17. ábra: Homlok-mart topográfián az élnyom geometriai meghatározása [70]

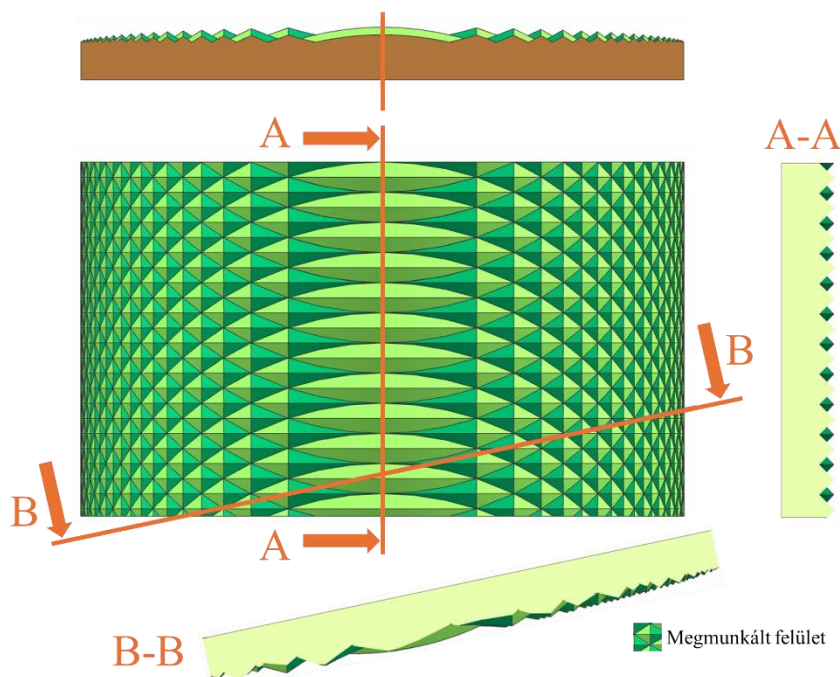
Homlokmarásnál előfordul, hogy a szerszámélek kétszer is forgácsolják a felületet, először előrefutó mozgásuk [117], illetve a további előtolómozgásban a visszafordulásuk során is. Ennek egyik feltétele, hogy forgácsoláskor a szerszámtengely merőleges legyen a megmunkálandó felületre. Másrészt az előtolómozgás hossza (a szerszám munkautja) legyen elegendően nagy, amelynek értéke függ a szerszám névleges átmérőtől, az élgeometriától és a fogásszélességtől. Egy téglalap alakú síkfelület esetében a feltételek megvalósulására mutat példát a 18. ábra. Ekkor újabb anyagleválasztás történik és a felületen kettős marónyom alakul ki: az ellenkező irányba ívelő ciklois görbék metszik egymást. Ezáltal a textúra rombuszhoz hasonló kiemelkedésekből áll, amelyeknek a szimmetriasíktól távolodva csökken a magassága és radiális szélessége, de előtolás irányban mért szélességük változatlan – az egyszeres lenyomatú textúrájánál leírtakkal azonosan (19. ábra) [12].



18. ábra: A munkadarab előtolásának függvényében kialakuló egyszeres (a) és kettős (b) lenyomatú topográfia

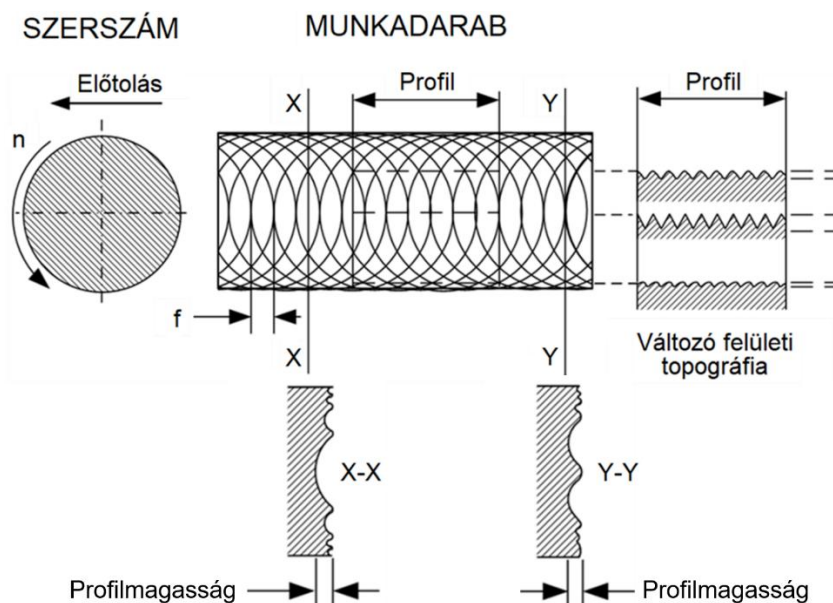
A kettős lenyomatú topográfia előtolás irányban ismétlődő jellegű marad, ugyanakkor az érdességmérés jelentős eltéréseket mutat attól függően, hogy a vizsgálat a szerszám tengelyvonalának síkjában vagy attól eltérő párhuzamos síkban történik. Az eltérő irányokban és pozíciókban végzett mérések szintén változatos profilokat és érdességi értékeket eredményeznek (lásd a 20. ábrán az X–X és az Y–Y síkban metszett profilokat) [17].

Egyszeres mellett kettős élnyomokkal előállított homlokmarat felületek is előfordulnak azonos jellegű felhasználási céllal [118] [119], azonban a topográfiák jellemzői eltérők. A kettős marónyommal készült topográfián az érdesség magasságának kisebb értékei mérhetők az egyszeres lenyomatú textúrához képest, ahogy a visszafutó élék a már megmunkált felület mikrogeometriai csúcsait újból alakítják [116]. A csökkenés mértéke függ az előre- és a visszafutó élnyomok metszésének sajátosságaitól: alapvetően a D_{sz} és az f_z nagyságától, valamint a szerszám merevségétől és a munkadarab keménységétől. Ennek részeként értelmezhető a fáziskülönbség, ha a szerszámélpálya az él előre- és visszafutása során a szimmetriasíkban nem találkozik [120]. Ennek hatására (az előtolás kismértékű változtatására) jelentősen eltérhetnek a magassági érdességi paraméterek értékei [116]. A fáziskülönbség a 18b. ábrán látható, azonban a 19-20. ábrákon megjelenő textúrákon nem. Másfelől az élék nem egyforma mélységben forgácsolnak előre-, illetve visszafutó mozgásuk során, ha az MKGS rendszer merevsége nem megfelelő, vagy a szerszám tengelye a megmunkálandó felületre nem merőleges [121] [122].



19. ábra: Kettős élnyomokkal rendelkező elméleti homlokmart topográfia (A-A: szimmetriasík)

Mindezek alapján megállapítható, hogy a homlokmart felületi topográfia komplex és érdekessége jelentősen eltérő annak különböző helyein vizsgálva [69] [116] [117]. A fejezetben bemutatott sajátos, különleges textúrát teljeskörűen nem lehet a megszokott módon jellemezni, feltételezeten a legnagyobb érdekességi értéket mutató egy helyen mérve. Ahhoz több, tudatosan megválasztott helyen végzett mérésre van szükség. Ugyanakkor, a magyar és a nemzetközi szakirodalomban viszonylag kevés számú publikációban foglalkoztak a homlokmart felület topográfiájának átfogó elemzésével. Chuchala és mtsai. a mart felületeken 5 felületelemet mértek meg a szimmetriasíkokban és arra tükrözött helyeken. Elemezték a felületrészek érdekességi eredményeit összehasonlítva, a szerszámél-munkadarab mozgásviszonyok által meghatározott ellen-, egyenirányú felületrész, valamint a szimmetriasík környezete szerint [123]. Varga és Kundrák figyelembe vették a kinematikai viszonyok, így a szerszámélpálya által alkotott eltérő topográfiai részeket a mart felületen, aminek elemzéséhez 5×5 helyen végeztek mérést [124].



20. ábra: Homlokmart topográfián felvett profilok különböző helyeken és irányokban [17]

Megállapították, ahogyan Zhenyu és mtsai. is [125], hogy a maximális érdességi értékek a szimmetriasíkban mérhetők, és attól távolodva más párhuzamos síkokban az értékek egyre csökkennek. Ezzel összhangban változtak az érdességi profilgörbék magasságai az előbbi síkokban. Továbbá míg elméleti topográfián a szimmetriasík két oldalán, attól egyforma távolságra az amplitúdó paraméterek értékei azonosak, addig a valós felületen a szerszámél belépési oldalán nagyobb értékeket tapasztaltak. Felhő és Kundrák növekvő előtolással mart felületek elméleti és valós érdességét vizsgálták három párhuzamos mérési síkban (a szimmetriasíkban és attól két oldalt azonos távolságokban) [126]. Rámutattak a topográfia különböző részein az érdességi értékek eltéréseire, melyek nagyobb előtolásoknál jelentős mértékűek.

Összegezve megállapítható, hogy az érdesség változásának törvényszerűsége nincs átfogó mértékben meghatározva, viszont az illesztett felületek működési tulajdonságait jelentősen befolyásolhatja. Emiatt tűztem ki célul a forgácsolt felületek inhomogenitásának vizsgálatát, a jellegzetességeinek feltárását.

Számos magyar vonatkozású kutatási eredmény is megjelent az utóbbi évtizedben a homlokmarással előállított felületi topográfia vizsgálatával kapcsolatban.

Szalay és kollégái homlokmarásnál vizsgálták a forgácsolási adatok (v_c , a_p , f_z , marási irány), a hűtés módja és a szerszámél mozgáspálya változtatásának hatását az érdességre, melyekre becslési modelleket alkottak meg [127].

Mikó sík- [114] és alakos felületek marásával foglalkozik, köztük lejtős síkfelületek homlokmarásával. Meghatározta azokon az érdességi csúcsok elméleti magasságát geometriai alapon, és az eredményeit kísérleti úton validálta [128], valamint felhasználta közelítő egyenletek felírásához, az érdességi csúcsmagasság (Ch) – forgácsolósebesség (v_c) – fogásmélység (a_p) – előtolás (f_z) – maximális egyenetlenség-magasság (R_z) függvényében [129]. Vizsgálta továbbá hagyományos és CNC szerszámgépeken homlokmart síkfelületek érdességét [114].

Felhő jelentősen hozzájárult a homlokmart felületi textúra elemzéséhez. Az eljárással előállított felületek elméleti topográfiájának érdességi jellegzetességeit Felhő pontosan bemutatta az általa kidolgozott CAD modell segítségével [130], amelyet csak a szerszámélgeometria és a kinematikai viszonyok határoznak meg [70]. Egyúttal kialakította a kívánt érdességi értékek becslésének és tervezhetőségének lehetőségét [117]. Kundrákkal együttműködve, a modell adottságai révén rámutattak a síkfelület különböző részein végzett mérésekkel, hogy a homlokmart felület érdesség értékei pozícióként változóak [126]. Ismertették az elméleti és a kísérleti érdességi mérőszámok közti kapcsolat leírására alkalmas módszert határozott élű szerszamos megmunkálásra [117]. Az összefüggések meghatározásához a kiszámított elméleti érdességi értékeket, valamint a kísérletek során előállított felületek mért érdességét használták fel.

2. Az értekezés célkitűzései és a megvalósítás módszerei

A szakirodalmi elemzés figyelembevételével kijelölöm a kutatómunkám célját és meghatározom az értekezésem tárgyát. Ismertetem a vizsgálatok elvégzésének menetét, a forgácsolási kísérletek és az érdességmérések feltételeit. Meghatározom azon vizsgálandó érdességi paramétereket, amelyekkel megfelelően értékelhető az inhomogenitás.

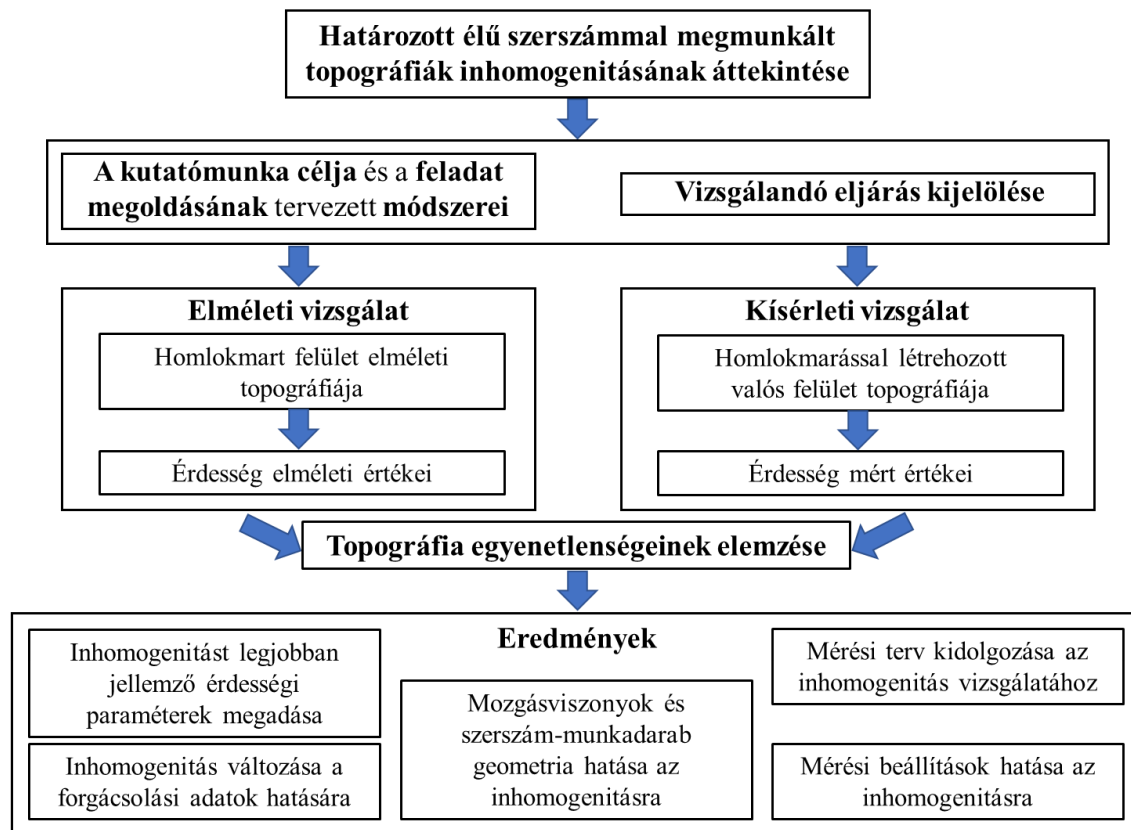
2.1 Az értekezés célkitűzései

Az irodalmi áttekintésben megállapítottam, hogy a homlokmarás inhomogén textúrájú felületet alakít ki, a szerszám forgó és a munkadarab egyenesvonalú mozgása következtében. Az ilyen felületen, előtolás irányban mért helyeken az egymáshoz viszonyított érdességi értékek jelentős – más határozott élű szerszámmal dolgozó eljárásnál (pl. esztergálásnál, fúrásnál, palástmarásnál, gyalulásnál, lásd az 1. táblázatban) mérhető szóródáshoz képest nagyobb mértékű – eltérése jellemző. Ezáltal az érdességi sajátosságok szempontjából a periodikus felületektől eltérő az így előállított topográfia. Ez indokolja a homlokmarás felületek topográfiájának e területen való vizsgálatának fontosságát, melyet eddig nem kellően tártak fel, és változásának törvényszerűségeit eddig nem fogalmazták meg.

A kutatómunkám célja a határozott élű szerszámmal megmunkált felületek topográfiájának és az érdességük változásának elméleti és kísérleti vizsgálata, az inhomogenitás nagyságának és jellegének, illetve összefüggéseinek feltárása. A kutatást az alábbi lépésekben valósítom meg:

- A határozott élű szerszámmal előállított felületek topográfiájának elméleti áttekintése, a lenyomatuk elemzése.
- A megmunkált felületi topográfiák csoportosítása a lenyomat fajta szerint és az inhomogén topográfiát létrehozó megmunkálási módok megnevezése. Azon eljárás kijelölése, amellyel a befejező megmunkálással készített felületen jelentős érdességi eltérés várható, ami az alkatrész minőségében szerepet játszhat.
- A kijelölt eljárással, homlokmarással létrehozott felületi topográfiák inhomogenitásának bemutatása és elméleti (geometriai) jellemzése, a kinematikai viszonyok és a szerszám élgeometria kialakítás szerint. A vizsgált paraméterek hatásainak bemutatása.
- Az inhomogenitást a legnagyobb mértékű eltéréssel és az elméleti topográfián az értékek viszonylagos megoszlási jellemzőit leginkább kifejező topográfiai paraméter(ek) megadása.
- A szerszám és a munkadarab mozgások hatásának vizsgálata a felületi textúrára és annak érdességi eltéréseire. Az egyszeres és a kettős marónyomokkal rendelkező homlokmarás topográfiák inhomogenitásának elméleti – kinematikai viszonyokat és szerszám élgeometriát figyelembe véve – és kísérleti összehasonlító elemzése, nagyságának és jellegének feltárása. A mérési irány befolyásának megállapítása a vizsgált topográfiai paraméterek értékeire.
- A marószerszám és munkadarab geometria hatásának vizsgálata a homlokmarás topográfia inhomogenitásának mértékére és jellegére, összefüggések megadása. Különböző szerszám élgeometriával előállított topográfiák összehasonlító elemzése, inhomogenitásuk megállapítása és rangsorolása.
- A vizsgált felületek érdességi inhomogenitásának elemzése a fogankénti előtolás és a forgácsolósebesség változtatásának hatására.
- A mérési beállítások, a mérési helyek számának és a felületen való elhelyezkedésük hatásának elemzése az inhomogenitás nagyságára. Az eredmények alapján érdességmérési terv meghatározása homlokmaráshoz, az eljárás sajátosságait figyelembe véve.

A topográfiai inhomogenitás vizsgálatának lépéseit a 21. ábra tartalmazza. Várható eredmény a vizsgált eljárással előállított felületek topográfiai és inhomogenitási jellemzőinek meghatározása, illetve a beállított forgácsolási paraméterek, a szerszám és munkadarab geometria és az érdességi eltérések összefüggéseinek megadása. Ezáltal a megmunkált felületek funkcionális elvárásaihoz jobban igazodó alkatrészek tervezése és gyártása válik lehetővé.



21. ábra: A vizsgálatok menete

2.2 A forgácsolási kísérletek feltételei

A homlokmart felület topográfiai inhomogenitásának vizsgálatához kísérleteket végeztem a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézet gép- és eszközparkjával. A megmunkálások egy PerfectJet MCV-M8 típusú függőleges orsójú CNC marógépen valósultak meg, amely rendelkezik a kísérletekhez szükséges teljesítménnyel és merevséggel. A gépasztalra felszerelt egymozgópofás satuval megfelelő befogást és szorítást értem el. Normalizált állapotú, C45 minőségű ötvözetlen acél (1.0503) munkadarabokon forgácsoltam síkfelületeket, amelyek szélessége 58 mm és 100 mm, hossza 50 mm. Ezen anyagminőség alkalmas a kutatási célkitűzések megvalósítására és az ipari gyakorlatban elterjedten alkalmazzák. A homlokmarás hűtés-kenés nélkül történt. A vizsgálatokhoz olyan szerszámokat és lapkákat választottam, amelyeket gyakran alkalmaznak az iparban homlokmarásra. Azok főbb adatait a 4. táblázatban gyűjtöttem össze. A forgácsolásban használt marófejekre 1-1 lapkát szereltem, ezáltal a topográfiák kialakulását nem befolyásolta a szerszámélek ütése. A kísérletek során a felületeket új, éles szerszámélekkel munkáltam meg.

A szerszámlapkák közül az **SZ1** geometriája olyan, hogy a szerszámcsúcs helyén van egy 1,6 mm hosszú, síkfelülettel párhuzamos fazetta (Wiper élszakasz). Ennek választását az indokolta, hogy az ilyen élgeometriájú szerszámnak éppen a befejező megmunkálásokban van jelentősége.

4. táblázat: Alkalmazott szerszámok adatai

Szerszám jele	Szerszám-test	Névleges átmérő D_{sz} [mm]	Forgácsoló-lapka	Anyag-minőség, lapkaalak	Főbb élgeometriai adatok
SZ1	Canela 074890063	63	Dijet SEKN 1203 AFTN	JC5030 	$\kappa_r = 45^\circ$, $\gamma_o = 0^\circ$, $\alpha_o = 20^\circ$, $b_e = 0,85 \times 45^\circ$
SZ2.1	ATORN 10612120	80 (effektív: 64)	ATORN RCKX 1606-MO-TR	HC4640 	$iC = 16$ mm, $\gamma_o = 23^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$
SZ2.2		80	ATORN OCKX 0606-AD-TR	HC4640 	$\kappa_r = 43^\circ$, $\gamma_o = 25^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$, $r_e = 0,5$ mm
SZ3	Tungaloy T2845 PM 063.05Z5W	63	BFT Burzoni OFEX 05T3AE	KH100 	$\kappa_r = 43^\circ$, $\gamma_o = 25^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$, $r_e = 0,4$ mm
SZ4	Tungaloy T2845 PM 050.05Z4	50			
SZ5	Tungaloy T2845 PM 100.05Z8	100			
SZ6	Sandvik R252.44- 080027-15M	80	Sandvik R215.44- 15T308M-WL	GC4030 	$\kappa_r = 90^\circ$, $\kappa_r' = 3^\circ$, $\gamma_o = 0^\circ$, $\alpha_o = 11^\circ$, $r_e = 0,8$ mm

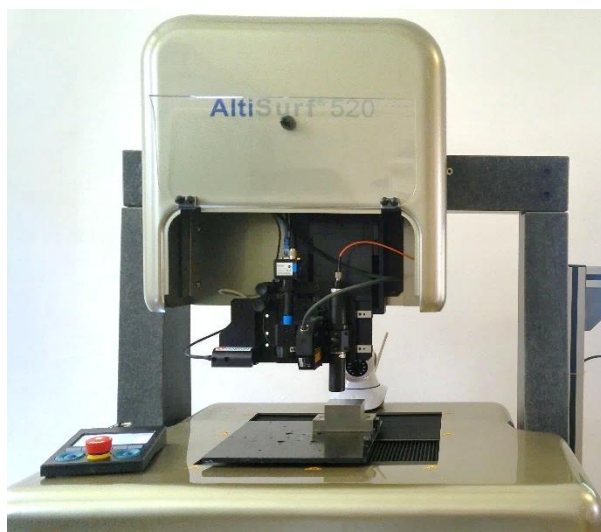
Forgácsolás során a szerszámtengely merőleges volt a mart felületekre. A szerszám viszonylatában egyrészt a megmunkálandó felület szimmetriasíkját a szerszámtengelyhez igazítottam, ekkor szimmetrikus beállításról beszélünk (a topográfia tartalmaz ellen- és egyenirányú élnyomokat egyaránt). Másfelől a szerszámtengelyhez a felület egyik szélét pozicionáltam, ez esetben – a szerszámél mozgásirányát tekintve az előtolás irányához képest – csak ellen- vagy egyenirányban mart élnyomok jöttek létre a topográfián. Valamint a munkadarab előtolómozgásának úthossza meghatározta a kialakult szerszámélnyomokat. Annak közelítése a szerszámhoz és előtolása a szerszámtengely vonaláig egyszeres, csak előre futó élnyomokat, a további lineáris mozgással – az élek visszafutása során is karcolva a felületet – kettős marónyomot generált.

A kísérletek során beállított forgácsolási adatok kombinációit az 5. táblázatban foglaltam össze. A megadott v_c forgácsolósebesség, f_z fogankénti előtolás, a_p axiális fogásmélység és a_e fogásszélesség értékeit a szerszámgeometriai korlátok figyelembevételével, illetve a szerszámgyártók által ajánlott értékek alapján választottam meg. A bázisértékektől való eltéréseket egyforma nagyságú különbségekkel határoztam meg a forgácsolósebességben (± 100 m/min), illetve a fogankénti előtolásban ($\pm 0,2$ mm/ford.). Továbbá szerepeltetem a szerszámtengely helyzetét a megmunkálandó felülethez viszonyítva („Szerszámtengely helyzete”), a szerszámél mozgását az előtolás irányához mérten („Szerszámél forgácsolási iránya”), valamint a felületen kialakult élnyomok jellegét. A táblázatban a **K1** jelű beállításoknál a v_c és az f_z értékei változnak. A **K2** kombinációknál a munkadarabok helyzete különbözik a forgácsolásuk során. A **K3** beállítások megegyeznek a **K1.1-K1.4** adataival, a különbséget az előállított textúra jellege jelenti. A **K4** kombinációknál a fogásszélesség értéke változik.

5. táblázat: A vizsgálatok során beállított forgácsolási adatok

Vizsgálat jele	v_c [m/min]	f_z [mm/ford.]	a_p [mm]	a_e [mm]	Szerszám-tengely helyzete	Szerszámél forgácsolási iránya	Él-nyomok	
K1	<u>K1.1</u>	200	<u>0,2</u>	0,4	58	szimmetrikus	vegyes	előrefutó
	<u>K1.2</u>		<u>0,4</u>					
	<u>K1.3</u>	300	<u>0,2</u>					
	<u>K1.4</u>		<u>0,4</u>					
	<u>K1.5</u>		<u>0,6</u>					
	<u>K1.6</u>	400	<u>0,4</u>					
K2	<u>K2.1</u>	300	0,4	0,4	31,5	felület szélén	<u>ellenirányú</u>	előrefutó
	<u>K2.2</u>						<u>egyenirányú</u>	
K3	<u>K3.1</u>	200	<u>0,2</u>	0,4	58	szimmetrikus	vegyes	kettős
	<u>K3.2</u>		<u>0,4</u>					
	<u>K3.3</u>	300	<u>0,2</u>					
	<u>K3.4</u>		<u>0,4</u>					
K4	<u>K4.1</u>	300	0,4	0,4	<u>50</u>	szimmetrikus	vegyes	előrefutó
	<u>K4.2</u>				<u>100</u>			
	<u>K4.3</u>				<u>63</u>			
	<u>K4.4</u>				<u>31,5</u>			
	<u>K4.5</u>				<u>56,54</u>			

A megmunkált felületeken az érdességméréseket egy AltiSurf 520 háromdimenziós felületi topográfia mérő berendezésen végeztem el (22a. ábra). Azon egy CL2 konfokális kromatikus szenzort használtam egy MG140 nagyítóval ellátva (22b. ábra). E mérési módszer korszerű, roncsolásmentes, és a 12 nm függőleges felbontással a mart felületek érdességi vizsgálatához megfelelő pontosságú. A méréseket az AltiMap Premium v6.2 szoftverben értékeltem ki. A mérések és a kiértékelések során az ISO 4287 [21], az ISO 4288 [131] és az ISO 25178 [74] szabványok előírásait vettem figyelembe és tartottam be. A 6. táblázatban összegzem a vizsgálatok során alkalmazott mérési beállításokat, így a mérési síkok számát, a mérés és a síkok irányát, a kiértékelési hosszt vagy felületnagyságot és a vágási hosszt (ami megegyezik a szakaszhosszal, lásd az 1.2. fejezetben).



a,



b,

22. ábra: A topográfia mérő berendezés (a), a próbadarab és az érdességmérő szenzor (b)

6. táblázat: A vizsgálatok során alkalmazott mérési beállítások

Jel	Mérési síkok száma	Mérési síkok iránya	Mérési irány	Kiértékelési		Vágási hossz $\lambda_c = l_{sc}$ [mm]
				hossz (2D) l_e [mm]	terület (3D) $l_e \times l_e$ [mm $\times$ mm]	
M1.1	1	$\parallel \vec{f}_z$	$\parallel \vec{f}_z$	4 ($f_z = 0,2-0,4$	4 $\times$ 4	0,8 ($f_z = 0,2-0,4$
M1.2	3			mm/ford.)		mm/ford.)
M1.3	5			12,5 ($f_z = 0,6$		2,5 ($f_z = 0,6$
M1.4	9			mm/ford.)		mm/ford.)
M2.1	9	$\angle \vec{f}_z$	$\angle \vec{f}_z$	4	4 $\times$ 4	0,8
M2.2	3				-	

2.3 A vizsgálatok menete és módszere

A szakirodalmi áttekintés alapján meghatározott, inhomogén textúrájú felületet előállító eljárások közül részletesen elemeztem a homlokmarást.

Először elméleti vizsgálatot végeztem el a kijelölt eljárásra. Elkészítettem a ciklois szerszámélpályával leírt felületi topográfia modelljeit, amelyet az adott vizsgálatnak megfelelő szerszámél alapsíkbeli metszete és a szerszám-munkadarab kinematikai viszonyok határoztak meg. A megalkotott topográfiákon megállapítottam az elméleti textúrát, valamint a vizsgált érdességi mérőszámok elméleti értékeit, változásuk nagyságát és jellegét. Ehhez a kiértékelést a Felhő által megalkotott illesztőprogram [70] segítségével végeztem el.

Kijelöltem a topográfiai inhomogenitás vizsgálatához elemzendő 2D-s és 3D-s érdességi paramétereket. Ehhez előkísérleteket végeztem el a leírt kísérleti feltételek szerint (lásd a 2.2. fejezetben). A vizsgálat menetét és eredményeit a 2.4. fejezetben fejtem ki.

A kijelölt homlokmarási eljárással, a kiválasztott forgácsolási paraméterekkel megmunkáltam felületeket, a leírt kísérleti feltételek szerint (lásd a 2.2. fejezetben). Ezt követően megmértem azok 2D-s és 3D-s érdességét a megadott kutatási terv szerint, a kijelölt mérőszámok értékeivel. A méréskor és kiértékeléskor beállítandó paraméterek értékeit a vonatkozó szabványok [13] [74] alapján jelöltem ki. Az eltérés elemzéséhez egyrészt a felületeken a szimmetriasíkokban és attól kétirányban azonos távolságban eltolt párhuzamos mérési síkokban felvett helyeken mértem meg az érdességet. Másfelől a topográfiákat az előtolástól eltérő irányú mérési síkok által kimetszett profilokkal vizsgáltam, az előzetes vizsgálati tapasztalatokat is figyelembe véve, feltételezve az elemzett felületnek a működésben kapcsolódó felülethez képest megadott irányú elmozdulását.

A szerszámgyártók forgácsolási adatainak ajánlásait figyelembe véve választottam meg a kiinduló forgácsolási adatokat. E paraméterek változtatásának hatáselemzéséhez a vizsgált mérőszám bázisértékétől ($f_z = 0,4$ mm/ford. fogankénti előtolás, $v_c = 300$ m/min forgácsolósebesség) kisebb és nagyobb értéket egyaránt beállítottam (a 2.2. fejezetben leírtak szerint).

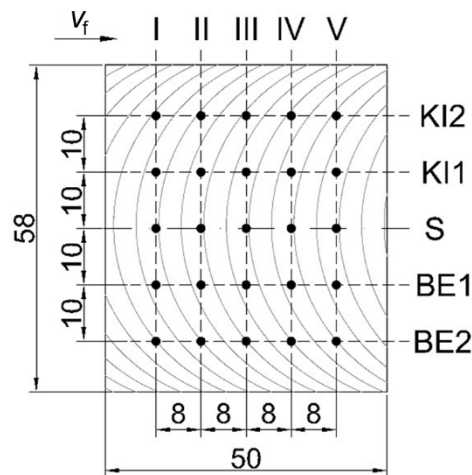
Figyelembe véve a homlokmarat felület topográfiai jellemzőinek változatosságát, kidolgoztam annak mérési és inhomogenitásának elemzési tervét, amelyben megadtam a mérés irányát, a mérendő profilok vagy felületelemek számát és helyét a felületen. Így kifejezhető a mart felület maximális érdességmagassága és az attól való eltérés a mérési hely szerint.

2.4 A vizsgálandó érdességi mérőszámok kijelölése

Áttekintettem a felületi topográfia leírására alkalmas 2D-s és 3D-s érdességi mérőszámokat (lásd az 1.4. fejezetben). Közülük kijelöltem azon paramétereket az inhomogenitás jellemzéséhez, amelyek értelmezése összefügg a topográfia magasságával (lásd az 1.4. fejezetben). A további vizsgálatoknál nem veszem figyelembe az alábbiakat:

- az R_{sk} és R_{ku} , valamint az S_{sk} és S_{ku} mérőszámokat, mert értékükkel a topográfia pontjainak magassági eloszlása kifejezhető, de a magassága nem [107],
- az R_t , valamint az R_{mr} , R_{mc} és az S_{mr} , S_{mc} paramétereket, mivel azok értékeit megmunkálási és egyéb felületi véletlen hibák közvetlenül megváltoztathatják [107],
- előkísérleteim eredményei alapján az R_{pk} , R_{vk} és S_{pk} , S_{vk} mérőszámokat, mivel a véletlen felületi hibák jelenléte – a vizsgált érdességi profilok részein – ezek értékeit is túl nagy mértékben befolyásolja [132].

Ezt követően az elméleti elemzés és gyakorlati tapasztalataink alapján előkísérleteket végeztem a kijelölt érdességi paraméterek rangsorolása és közülük az inhomogenitás meghatározásához legjobban alkalmas mérőszámok kiválasztása céljából. Síkfelületeket állítottam elő háromféle élgeometriájú szerszámmal (4. táblázat, **SZ1**, **SZ2**, **SZ3.1**) és a forgácsolási adatok bázisértékeinek ($f_z = 0,4$ mm/ford., $v_c = 300$ m/min, $a_p = 0,4$ mm) és $a_e = 58$ mm fogásszélesség beállításával, egyszeres élnyomok képzésével (5. táblázat, **K1.4**). A mart felületeken kijelöltem egy-egy 36 mm × 44 mm nagyságú területet, a szimmetriasíkhoz középre igazítva. Ezeken egyenletes elosztásban megmértem az érdességi paraméterek értékeit 5 × 5 helyen (23. ábra, **BE2**, **BE1**, **S**, **KI1**, **KI2** sorban, **I-V** sorszámmal jelölt pontokban, a mért profilok és felületelemek középpontját jelölve). A 23. ábrán jelölt pontokban mért érdességi értékeket térképdiagramokon ábrázolom a mérés helye szerint az 1. mellékletben. Emellett meghatároztam adott szerszámmal mart felületen a mért értékek terjedelmének százalékos nagyságát az értékek számtani átlagához viszonyítva (7. táblázat, 24. ábra). A különbségek mértéke szerint csökkenő sorrendbe rangsoroltam a vizsgált paramétereket az alkalmazott szerszámoknál (7. táblázat).



23. ábra: A vizsgált felületeken felvett mérési pontok (az élnyomok illusztrációk)

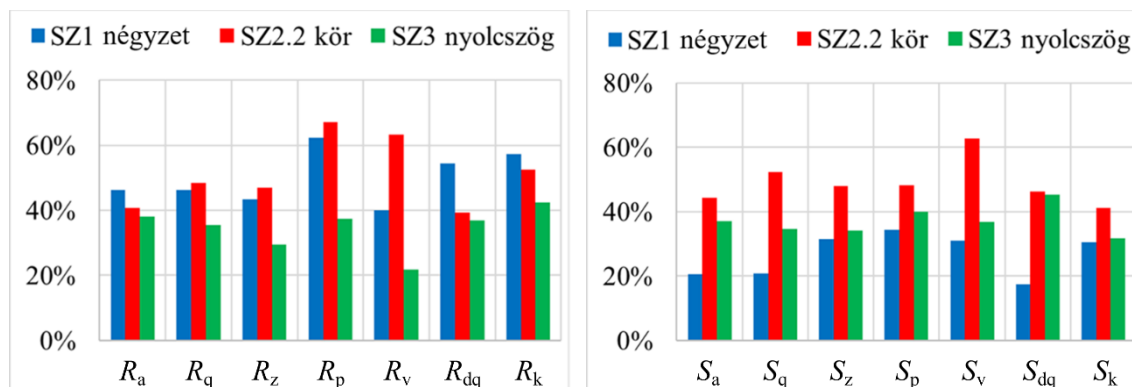
A mért értékek viszonylagos megoszlásai (1. melléklet) és terjedelmei (7. táblázat) alapján összehasonlítom a vizsgált paramétereket. A 2D-s és a 3D-s mérőszámok közül az R_p és S_p paraméterek értékváltozási nagysága mindhárom felületen nagymértékű (34–67%-os) és a megoszlás jellege közel azonos az elméleti topográfia e jellemzőjével – közel azonos rangsorba kerültek. A terjedelem nagyságában ugyanez megállapítható a 2D-s mérőszámoknál az R_k (43–57%-os), a 3D-s paramétereknél az S_v (31–63%-os) esetén, de az értékváltozás jellegében jelentős a különbség az előbbiektől, az **SZ2.1** (és utóbbinál az **SZ3**) szerszámmal mart felületnél.

A többi elemzett mérőszámnál jellemzően kisebbek az eltérések, valamint a nagyságuk sok esetben jelentősen különbözik a három topográfiánál (24. ábra). A mért értékek megoszlása az R_a , R_q , R_z , R_p , valamint az S_a , S_q , S_p és S_{dq} mérőszámoknál mindhárom vizsgált felületen, az R_v , R_k és R_{dq} és az S_z , S_v , S_k esetén csak 2-2 topográfián szabályos és hasonló az érdesség elméleti értékeinek megoszlásához (1. melléklet).

7. táblázat: Érdességi paraméterek rangsorolása a topográfiai inhomogenitás kifejezéséhez (az eltérés mértéke szerint csökkenő sorrendben)

2D							3D						
Pm.	Eltérés [%]			Rangsor			Pm.	Eltérés [%]			Rangsor		
	SZ1	SZ2.1	SZ3	SZ1	SZ2.1	SZ3		SZ1	SZ2.1	SZ3	SZ1	SZ2.1	SZ3
R_a	46,1	40,9	38,1	5	6	2	S_a	20,5	44,3	36,9	6	6	3
R_q	46,3	48,5	35,4	4	4	5	S_q	20,7	52,3	34,7	5	2	5
R_z	43,5	46,9	29,5	6	5	6	S_z	31,5	47,9	34,1	2	4	6
R_p	62,3	67,1	37,4	1	1	3	S_p	34,4	48,3	40,0	1	3	2
R_v	40,1	63,3	21,7	7	2	7	S_v	31,0	62,8	36,8	3	1	4
R_{dq}	54,5	39,3	36,9	3	7	4	S_{dq}	17,3	46,2	45,4	7	5	1
R_k	57,2	52,5	42,5	2	3	1	S_k	30,4	41,1	31,8	4	7	7

A vizsgálatban bemutatott eredmények alapján kijelölöm 7 db 2D-s és 7 db 3D-s paraméter közül az érdességi érték változását legjobban kifejező 2-2 elemzendő mérőszámot. A választás alapját képezi a terjedeleme nagyságok maximuma (a 7. táblázatban a legkisebb rangok), illetve a mért értékek megoszlása az elméleti topográfia e jellemzőjének figyelembevételével (1. melléklet). A maximális csúcsmagasság (R_p és S_p) mérőszámok mindkét szempontból az első választást jelentik. A 2D-s paraméterek közül a redukált magzóna magasság (R_k) kijelölését a terjedeleme értékek alapozzák meg, továbbá az értékváltozások jellege két felületen hasonlít az elméleti topográfia megoszlására. A második elemzendő 3D-s mérőszám választásánál döntő szempont volt az értékváltozás jellege és hasonló nagysága az S_p -vel. Így a legnagyobb eltéréssel bemutatott maximális völgymélység (S_v) helyett a redukált magzóna magasságát (S_k) jelölöm ki.



24. ábra: A mrt felületeken mért eltérések nagysága a vizsgált érdességi paraméterekre

Elemeztem topográfiai mérőszámokat a felületi érdességi változás megadásának alkalmasságára. Rangsoroltam a vizsgált 2D-s és 3D-s paramétereket a mért értékek terjedelme szerint és figyelembe vettem a viszonylagos megoszlásukat. Megállapítottam, hogy a topográfiai inhomogenitás a maximális csúcsmagasság (R_p és S_p), valamint a redukált magzóna magasság (R_k és S_k) mérőszámokkal határozható meg nagymértékkel és a leginkább szabályos megoszlással. Az értekezés következő fejezeteiben e paraméterekkel elemzem a mrt topográfiai inhomogenitását. Ugyanakkor vizsgálom az R_a és S_a , illetve az R_z és S_z paramétereket is, amelyeket az ipari gyakorlatban a leggyakrabban előírnak az alkatrészrajzokon és ellenőriznek a felületeken [133].

3. Mozcásviszonyok hatása

Amint azt az 1.5. fejezetben bemutattam, homlokmarásnál a mozgásviszonyok következtében a megmunkált felület érdességi jellemzői és értékei az elötólás irányában eltolt mérési helyeken közel azonosak. Ezzel szemben a szerszámél haladása mentén egymás után felvett profilok, felületelemek érdességi értékei változnak. Ebben a fejezetben a homlokmart felületek topográfiáján a mozgásviszonyok hatását vizsgálom az érdességi értékek eltéréseire, olyan céllal, hogy megállapítsam a topográfia inhomogenitását a felület elötólás irányára felvett szimmetriasíkjában és további párhuzamos mérési síkokban, valamint a felület különböző részein.

3.1 A létrehozott topográfia általános jellemzői az elötólás irányában

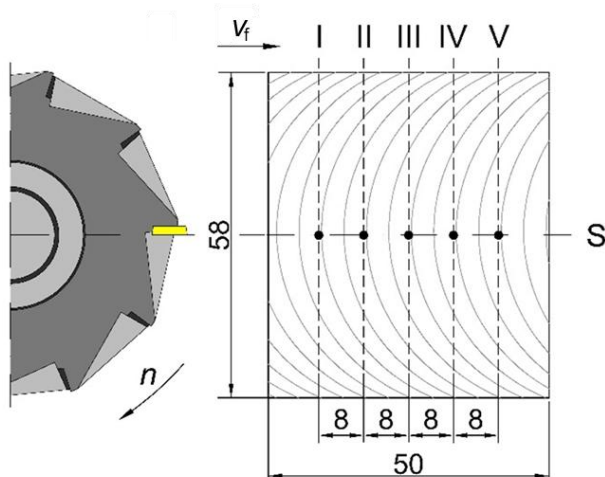
Homlokmarásnál a szerszámél mozgása – hurkolt ciklois pálya – és a munkadarab viszonylagos helyzete miatt az előállított felületen az élnyomok iránya, magassága és alakja változó (15. ábra). Így a különböző helyeken a textúra és az érdességi paraméterek értékeinek különbsége – inhomogenitása – jellemző. Az érdességmérést a szabvány [13] előírását követve elötólással párhuzamos – lenyomatra merőleges – irányban végezzük el, a mart felületen is.

3.1.1 Érdességi értékek eltérései a szimmetriasíkban

A szabvány [13] előírása alapján a szimmetriasíkban tervezem elvégezni az érdességmérést. Ezért először ebben a síkban elemeztem az érdesség eltéréseit. A vizsgálathoz két különböző élgeometriájú szerszámmal homlokmart felületeken mértem meg az érdességet az elötólómozgás irányával párhuzamos középsíkban (az S szimmetriasíkban), 5 felvett pontban (a 25. ábrán a mért profilok, felületelemek középpontját jelölve). A 25. ábrán rajzolt élnyomok csak illusztrációk. A kiértékelést a szabvány [13] által előírt 4 mm kiértékelési- és 0,8 mm vágási hossz beállításával végeztem el (6. táblázat, **M1.1**).

A megmunkálásban egy Canela 074890063 marófejben egy SEKN 1203

AFTN négyzet alakú keményfém lapkát (4. táblázat, **SZ1**), valamint egy ATORN 10612120 szerszámon egy RCKX 1606-MO-TR keményfém körlapkát (4. táblázat, **SZ2.1**) alkalmaztam. A 4-4 síkfelület marása során az $a_p = 0,4$ mm fogásmélységet és az $a_e = 58$ mm fogásszélességet állandó értéken tartottam, és kétféle forgácsolósebesség ($v_c = 200$ és 300 m/min), illetve kétféle fogankénti elötólás ($f_z = 0,2$ és $0,4$ mm/ford.) érték kombinációit alkalmaztam (5. táblázat, **K1.1-K1.4**). A felületeken mért 1-1 érdességi profilgörbét és felületelemet bemutatok a 26-28. ábrákon. A vizsgált 2D-s és 3D-s, magassági (R_a és S_a , R_z , S_z , R_p és S_p) és funkcionális (R_k és S_k) mérőszámok öt helyen (25. ábra) mért értékeit, illetve a terjedelmük nagyságát és a számtani átlagukkal képzett hányadosukat (ΔR , ΔS) a 8-9. táblázatokban foglalom össze. Az **SZ1** szerszám esetében a feltételezett munkasíkkal párhuzamos mellékél-szakasszal, valamint annak hosszától kisebb fogankénti elötólás beállításával képzett elméleti – a szerszám-munkadarab kinematikai viszonyok és a szerszámél alapsíkbeli vetülete által meghatározott – topográfia sík,

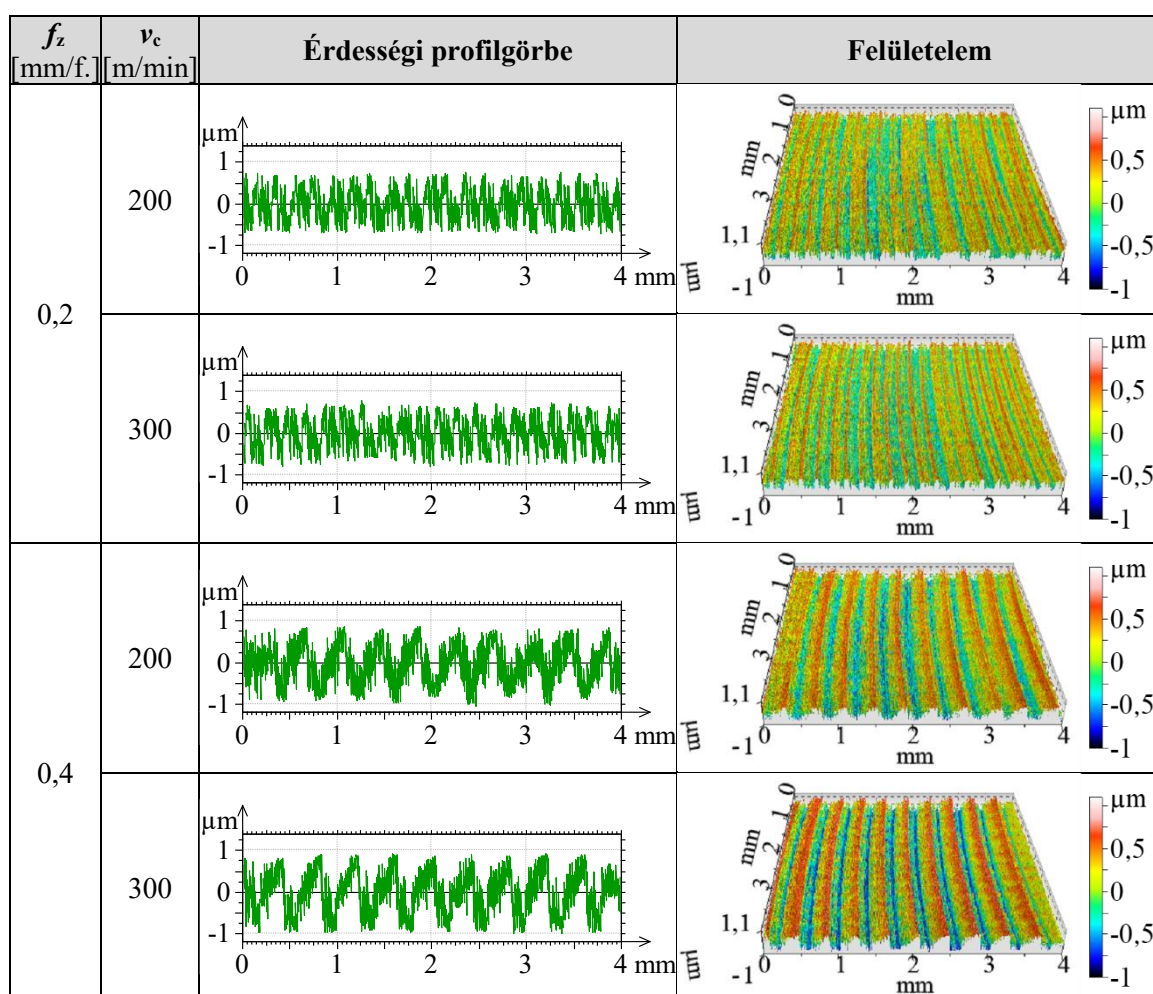


25. ábra: Mérés pontok elhelyezkedése az egyszeres lenyomatú homlokmart felület S szimmetriasíkjában

érdességi értékei zérusok. A körlapkás szerszámmal és $f_z = 0,4$ mm/ford. előtolás beállításával képzett elméleti felületen – az elkészített CAD modellem Felhő illesztőprogramjával [70] végzett kiértékelését követően – felvett profilt és felületelemet a 27-28. ábrákon mutatom be és azok érdességi értékeit a 10. táblázatban adom meg.

• **Négyzet alakú lapkával megmunkált felületeken**

A négyzet alakú lapkával mart felületeken a mért érdességi profilgörbék és felületelemek periodikussága jellemzően (nagyobb előtolásnál könnyebben) kivehető, de az élnyomok néhol nehezen felismerhetők és a geometriájuk pontosan nem meghatározott (26. ábra). Ez a Wiper mellékél-szakasszal történt forgácsolásban az anyagleválasztás jellegéből adódik. A felületelemeken az élnyomok közel merőlegesek a mérés – az előtolás – irányára és egymással párhuzamosak. Az ábrán a görbék hasonlítanak az egyenesvonalú mozgással megmunkált (esztergált, gyalult stb.) felületeken mérhető profilokra [70]. A szimmetriasíkon, 40 mm hosszön kijelölt helyeken mért profilok és felületelemek jellemzői – az élnyomok geometriája – felületenként közel azonosak.



26. ábra: Négyzet alakú lapkával, különböző forgácsolási adatok beállításával mart felületek szimmetriasíkjában felvett érdességi profilgörbék és felületelemek

E felületeken – a 300 m/min sebesség alkalmazása esetén – a szimmetriasíkokban kismértékű az értékek terjedelme: 10%-on belüliek az R_a , R_z és az S_a paramétereknél, a többi esetben 20% alatt maradnak (8. táblázat). A kisebb beállított sebességgel megmunkált felületeken a különbségek minden mérőszámnál nagyobbak (legfeljebb 25,5%-osak) és a topográfián kialakult élnyomok kevésbé szabályosak (ahogy ez a 26. ábrán bemutatott profilokon és felületelemeken látszik). Ennek oka, hogy az alacsonyabb forgácsolósebesség

mellett az anyagleválasztás kedvezőtlenebb módon történik a felület topográfiájának szempontjából: a forgácsolás során kevesebb hő fejlődik, így a munkadarab anyagának képlékeny alakváltozása (nyírása) nehezebben megy végbe, és a szerszám mellékélének simító hatása kevésbé érvényesül [134]. A síkban az értékek véletlenszerűen változnak.

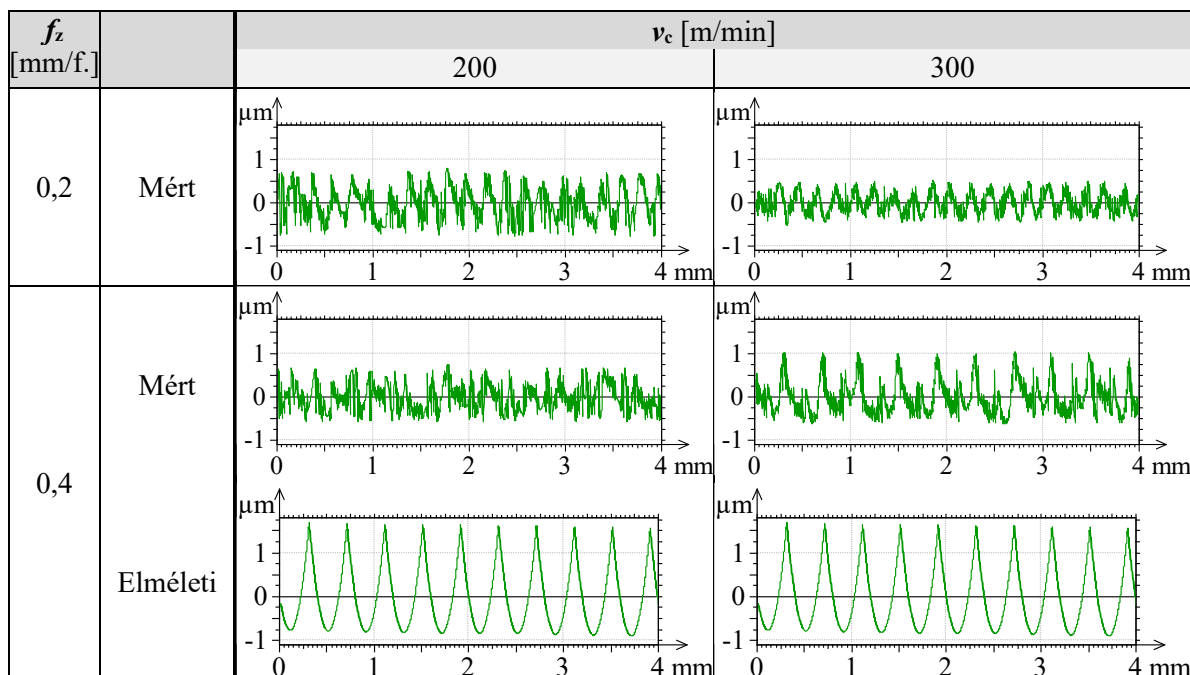
8. táblázat: Négyzet alakú lapkával mart felületeken mért érdességi értékek a szimmetriasíkban

	I	II	III	IV	V	ΔR	v_c [m/min]	f_z [mm/f.]	I	II	III	IV	V	ΔS	
R_a [μm]	0,26	0,29	0,26	0,27	0,27	11,1%	200	0,2	0,28	0,29	0,28	0,26	0,25	12,2%	S_a [μm]
	0,33	0,34	0,32	0,31	0,30	14,4%		0,4	0,35	0,35	0,34	0,31	0,32	10,3%	
	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25	4,7%	300	0,2	0,27	0,27	0,26	0,27	0,26	6,8%	
	0,37	0,39	0,39	0,38	0,38	4,9%		0,4	0,39	0,40	0,40	0,40	0,37	6,6%	
R_z [μm]	1,08	1,33	1,16	1,19	1,18	20,7%	200	0,2	1,46	1,63	1,56	1,37	1,43	17,7%	S_z [μm]
	1,48	1,51	1,48	1,31	1,38	14,2%		0,4	1,85	1,90	2,13	1,73	1,75	21,6%	
	1,09	1,12	1,09	1,11	1,13	3,6%	300	0,2	1,44	1,29	1,30	1,47	1,30	13,2%	
	1,67	1,64	1,75	1,71	1,62	8,0%		0,4	1,88	1,95	2,10	1,96	1,73	19,2%	
R_p [μm]	0,60	0,73	0,57	0,59	0,60	25,5%	200	0,2	0,77	0,80	0,81	0,69	0,70	16,9%	S_p [μm]
	0,82	0,81	0,79	0,63	0,71	24,6%		0,4	0,88	0,94	1,03	0,82	0,82	23,0%	
	0,63	0,64	0,63	0,61	0,64	5,2%	300	0,2	0,78	0,74	0,74	0,79	0,71	11,0%	
	0,88	0,86	0,94	0,92	0,84	11,1%		0,4	1,00	1,01	1,04	1,04	0,91	13,3%	
R_k [μm]	0,88	1,05	0,96	0,91	0,85	21,4%	200	0,2	1,03	1,06	1,03	0,94	0,87	19,0%	S_k [μm]
	1,05	1,10	0,93	0,93	0,91	19,8%		0,4	1,13	1,19	1,08	1,01	1,04	15,7%	
	0,81	0,85	0,84	0,88	0,86	7,6%	300	0,2	0,97	0,85	0,84	0,96	0,91	15,0%	
	1,18	1,38	1,33	1,22	1,26	16,2%		0,4	1,36	1,39	1,36	1,33	1,25	9,9%	

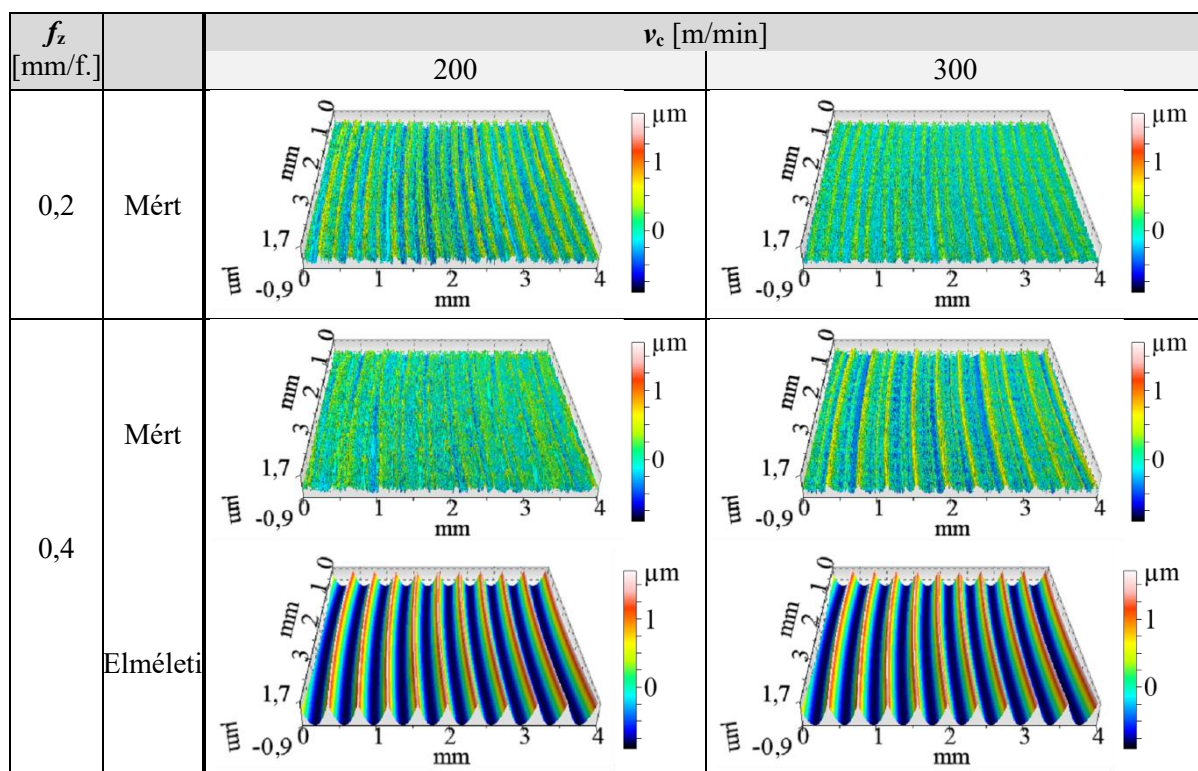
• **Kör alakú lapkával megmunkált felületeken**

A körlapkával forgácsolt felületeken mért profilgörbék és felületelemek periodikus, de többnyire szabálytalan és nehezen felismerhető (körív alaktól eltérő) élnyomokat mutatnak (27-28. ábrák). Például a $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. adatokkal mart felület topográfiáján az ismétlődő barázdák völgyében 1-1 kisebb kiemelkedésű csúcs és helyenként keskeny, mély vágatok is találhatók, az elméleti görbektől és felületektől eltérően. Ezek a szerszámél-munkadarab érintkezési szakaszon mért kis effektív élelhelyezési szögek miatt az anyagleválasztás – topográfiai szempontból kedvezőtlen – jellegéből, a szerszámél alatt a munkadarab anyagának beékelődéséből adódnak [134]. Ugyanezen okból, valamint a munkadarab anyagának kis szilárdsága miatt forgácsolás közben egy kialakult élnyom csúcsát a szerszámél a következő fordulat során lemettszette – a kisebb forgácsolósebesség alkalmazása esetén egy nagyobb anyagrészt. Így a profilok és a felületelemek jellemzői csak részben hasonlítanak az elméleti megfelelőikre. Adott felületen a különböző mérési pontokban letapogatott barázdák közel azonos geometriájúak (alak, magasság, lejtés stb.). A változásukat a profilokon és felületelemeken a karcnyomok szélessége és mélysége, valamint más, megmunkálásból származó felületi hiba nagysága és előfordulásának gyakorisága befolyásolta.

A körlapkával mart felületeken a mért 2D-s és 3D-s értékek (azaz az élnyomok magassági jellemzői) jelentősen (16–67%-kal) kisebbek az elméleti értékektől (9-10. táblázatok). Ez összefügg a 27-28. ábránál leírt anyagleválasztási jellemzőkkel, a munkadarab anyagának beékelődéséből adódóan [134]. Ezenkívül a négy vizsgált felületen – nagyobb terjedelem értékek mellett – a 8. táblázatnál bemutatott jellemzők érvényesek (9. táblázat). A kisebb forgácsolósebesség alkalmazása esetén az értékek különbségei jelentősen növekedtek. Tehát a terjedelmük a síkban a vizsgált magassági (R_a , R_z , R_p és S_a , S_z , S_p) mérőszámoknál 8–19%-ról 15–56%-ra, a – legnagyobb változásokat mutató – funkcionális (R_k és S_k) paramétereknél 14–32%-ról 25–94%-ra módosultak.



27. ábra: Körlapkával, különböző forgácsolási adatok beállításával mart felületek szimmetriasíkjában felvett, valós és elméleti érdességi profilgörbék



28. ábra: Körlapkával, különböző forgácsolási adatok beállításával mart felületek szimmetriasíkjában felvett, valós és elméleti felületelemek

A fent leírt nagymértékű eltérések okai a 27-28. ábránál említett felületi hibák és karcnyomok, valamint az anyagleválasztásban a minimális forgácsvastagság érdességi értéket befolyásoló hatása [134], melyek a különböző mérési helyeken változatos nagyságúak (magasságúak vagy mélységűek és szélességűek). A profilok és felületelemek kiértékelésekor ezen mért kiugró csúcsokat és völgyeket ugyan leszűrtem, de így – az eltávolított hibák helyén – hiányoztak az élnyomok részei. Emiatt a kihagyott elemek határain az ismert mért pontokat spline-okkal kötöttem össze. Ennek következtében a

kiértékelt profilokon, felületelemeken jellemzően torzult (körív alaktól eltérő) élnyomok keletkeztek, ami miatt a kiértékelő program az érdességi értékeket nagyobb pontatlansággal határozta meg, a legnagyobb érzékenységgel az R_k és S_k mérőszámok értékeit befolyásolta.

9. táblázat: Körlapkával mart felületen mért érdességi értékek a szimmetriasíkokban

	I	II	III	IV	V	ΔR	v_c [m/min]	f_z [mm/f.]	I	II	III	IV	V	ΔS	
R_a [μm]	0,43	0,36	0,42	0,42	0,49	31,8%	200	0,2	0,59	0,35	0,37	0,51	0,51	52,0%	S_a [μm]
	0,30	0,30	0,32	0,26	0,30	20,9%		0,4	0,26	0,25	0,28	0,22	0,21	27,6%	
	0,22	0,24	0,23	0,23	0,20	14,8%	300	0,2	0,21	0,23	0,24	0,21	0,22	12,7%	
	0,30	0,31	0,29	0,30	0,27	11,6%		0,4	0,29	0,28	0,28	0,29	0,27	8,5%	
R_z [μm]	2,18	1,93	2,14	2,09	2,24	14,6%	200	0,2	3,61	2,14	2,04	3,46	2,77	55,9%	S_z [μm]
	1,42	1,28	1,46	1,06	1,12	31,3%		0,4	1,29	1,29	1,41	1,01	0,93	40,3%	
	1,08	1,14	1,20	1,14	1,10	10,6%	300	0,2	1,07	1,21	1,28	1,11	1,24	18,5%	
	1,88	1,90	1,74	1,81	1,70	11,0%		0,4	1,86	1,79	1,62	1,68	1,63	14,5%	
R_p [μm]	1,24	1,19	1,12	1,06	1,22	15,1%	200	0,2	2,01	1,25	1,17	1,85	1,51	53,5%	S_p [μm]
	0,84	0,75	0,84	0,64	0,62	29,8%		0,4	0,77	0,76	0,77	0,59	0,55	33,3%	
	0,59	0,57	0,63	0,64	0,61	12,2%	300	0,2	0,58	0,65	0,68	0,64	0,66	14,8%	
	1,25	1,17	1,14	1,19	1,09	13,3%		0,4	1,19	1,15	1,07	1,10	1,03	14,4%	
R_k [μm]	1,41	1,17	1,24	1,25	1,50	25,4%	200	0,2	1,88	1,11	1,30	1,49	1,66	51,7%	S_k [μm]
	1,10	1,10	1,12	0,74	1,02	36,8%		0,4	0,70	0,50	0,90	0,45	0,35	93,9%	
	0,75	0,80	0,79	0,77	0,65	20,4%	300	0,2	0,72	0,83	0,84	0,68	0,73	20,5%	
	0,67	0,79	0,67	0,72	0,57	32,2%		0,4	0,72	0,69	0,70	0,74	0,65	13,6%	

10. táblázat: Körlapkával előállított felületek elméleti topográfiáján meghatározott érdességi értékek a szimmetriasíkokban

R_a [μm]	R_z [μm]	R_p [μm]	R_k [μm]	f_z [mm/f.]	S_a [μm]	S_z [μm]	S_p [μm]	S_k [μm]
0,59	2,38	1,60	0,98	0,4	0,64	2,50	1,67	1,00

A két különböző élgeometriájú szerszámmal forgácsolt felületek vizsgálata megmutatta, hogy a homlokmart topográfia középsíkjában jellemzően szabályosak és periodikusak az élnyomok. A szimmetriasíkokban az érdességi értékek azonosak az elméleti topográfián, de eltérők a mart felületeken, forgácsolás közben a munkadarab anyag nyírási jellegéből adódóan. Azonban a vizsgálati eredmények alapján hasonló a változásuk nagysága (pl. $\Delta R_a = 4\text{--}15\%$), mint egy másik, homogén topográfiánál, pl. esztergálásnál [135]. E megállapítások a kisebb beállított forgácsolósebesség esetén csak kis részben teljesültek, ahol az anyagleválasztás kedvezőtlenebb volt, így gyakrabban fordultak elő és durvábbak voltak a megmunkálásból eredő felületi hibák. Ezáltal a kialakult élnyomok kevésbé szabályosak, a felület különböző pontjaiban mérve a geometriájuk és kiértékelt értékük nagyobb mértékben eltért.

A vizsgált magassági érdességi mérőszámok (R_a , R_z , R_p és S_a , S_z , S_p) eltérései hasonló nagyságúak voltak. Azoktól nagyobb mértékben különböztek a funkcionális paraméterek (R_k és S_k) értékei, a legérzékenyebben reagálva az élnyomok geometriájának változására az anyagleválasztás jellegéből adódóan.

• Megállapítások

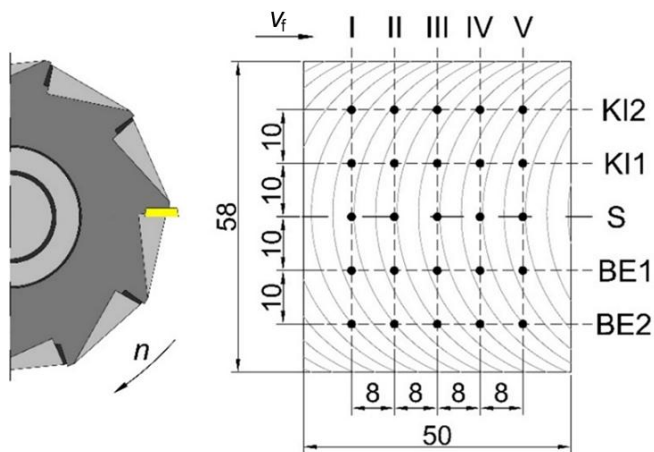
Megállapítottam, hogy az egyszeres élnyomokkal homlokmart felületek szimmetriasíkjában mért érdességi profilok és felületelemek jellemzői és vizsgált értékeik kismértékben eltérők (terjedelmük maximum 20,5%-os). Azok jellegükben megegyeznek az előtolás nagyság és a szerszám élgeometria azonossága esetén az egyenesvonalú előtolómozgású szerszámmal forgácsolt, forgómozgást végző munkadarabon mért adatokkal [70]. Az elemzett mérőszámok közül az R_k , S_k redukált magzóna magasság értékei között mértem a legnagyobb különbségeket (13,6–20,5% között), azt követően az R_z átlagos és az S_z

maximális egyenetlenség-magasságnál (3,6–19,2% között), az R_p , S_p maximális csúcsmagasságnál (5,2–14,8% között) és a legkisebbet az R_a , S_a átlagos érdességnél (4,7–14,8% között). A kisebb beállított forgácsolósebességgel mart felületeken jelentősen nagyobb eltéréseket tapasztaltam a fenti értékekhez viszonyítva, mértéke ezeknek 2–3-szorosa.

A négyzet alakú lapkás szerszámmal (**SZ1**) forgácsolt, egyszeres lenyomatú felületek további vizsgálata során a szimmetriasíokban mért értékeket és terjedelmük nagyságát bázisadatoknak tekintem, az elméleti érdességi értékek hiányában.

3.1.2 Érdességi értékek eltérései az előtolással párhuzamos mérési síkokban

Elemzem a középsíkkal párhuzamos felvett síkokban az érdességi mérőszámok változását. Ehhez a korábban bemutatott, **SZ1**, valamint **SZ2.1** jelű szerszámmal (4. táblázat) és $a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $f_z = 0,2$ és $0,4$ mm/ford., $v_c = 200$ és 300 m/min alkalmazásával (5. táblázat, **K1.1-K1.4**) homlokmart felületeket vizsgáltam. Megmértem az érdességi profilokat és felületelemeket a topográfia szimmetriasíkján (**S**) és annak két oldalán egyforma távolságra eltolt 2-2 (**BE2**, **BE1**, **KI1**, **KI2** jelű) párhuzamos síkon felvett 5-5 helyen (a 29. ábrán pontokkal a mérések középpontját jelöltem). A kiértékeléskor a szabvány [131] által előírt 4 mm kiértékelési- és 0,8 mm vágási hosszt állítottam be (6. táblázat, **M1.3**). A $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. beállításával mart felületek középső (**S**) és két szélső (**BE2**, **KI2**) síkjában, 2-2 pontban felvett érdességi profilgörbét és felütelemet a következők szerint mutatom meg: a 30. ábrán a négyzet alakú lapkával megmunkált felület **III** és **V** mérési pontjaiban, a 31. ábrán a körlapkával előállított topográfia **II** és **V** jelű helyein. A vizsgált felületeken mért érdességi értékeket, illetve a síkokban számolt terjedelmük nagyságát és arányát a felületen mért értékek számtani átlagához viszonyítva (az „Eltérés” sorban és oszlopban) a 2. mellékletben táblázatokban foglaltam össze. A vizsgált topográfiaikon a mérési pontok értékeihez igazított parabolikus közelítő felületekkel mutatom meg az értékek viszonylagos megoszlását a 2. mellékletben térképdigramokon, a felületek és a paraméterek szerint rendszerezve.

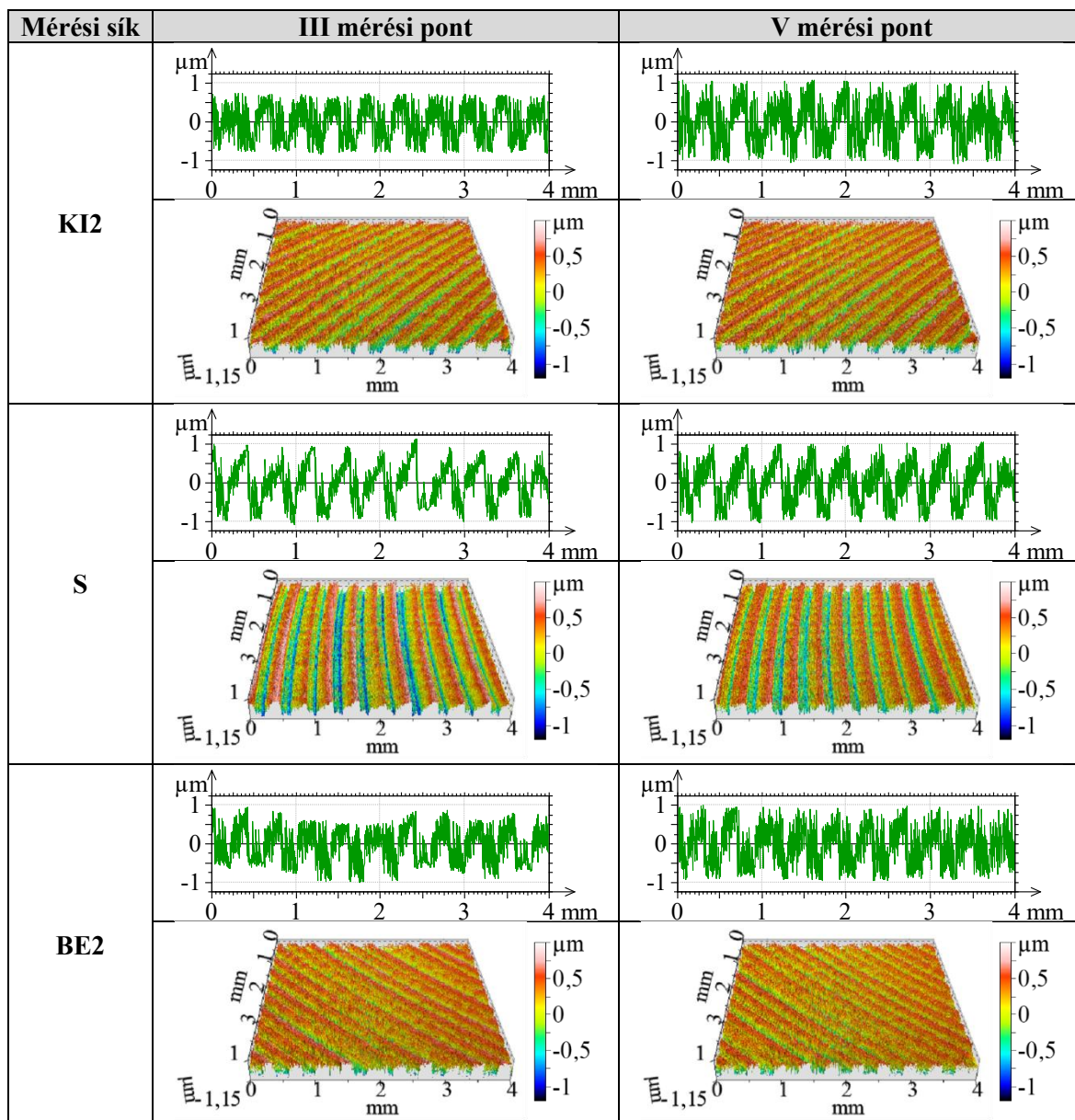


29. ábra: Mérési síkok, pontok elhelyezkedése a homlokmart felületeken (az élnyomok illusztrációk)

• Négyzet alakú lapkával megmunkált felületeken

A négyzet alakú lapkával megmunkált felületeken látható, hogy az egyes mérési síkokban felvett profilokon és felütelelemeken a megjelenő élnyomok egyformán periodikusak és azonos irányúak (30. ábra). Azonban a geometriájuk változott: míg a szimmetriasíokban azok hasonlóak voltak, addig attól két irányban távolodva egyre jobban különböztek egymástól. Ennek oka az élnyomok növekvő mértékű torzulása a felület széleihez közeledve, ahogy a szerszámmal a felületen egyre kisebb keresztmetszetű (vastagságú) forgácsot választ le. Ezáltal a forgácsolólapka kisebb effektív élelhelyezési szögek mellett forgácsolt. Így a munkadarab anyag beékelődésének a szerszámmal alatt erőteljesebb hatása volt az élnyomok elváltozására [134].

E síkfelületeken a kijelölt mérési síkokban az értékek terjedelme és nagyságának változása jelentős, 4–42% közötti (2.1-2.8. melléklet). Azok a szimmetriasíkokban jellemzően minimálisak (5–20%-osak), de előfordul – elsősorban az R_z , S_z , R_p és S_p mérőszámok értékeinél – akár 38%-os nagyságuk is. A többi síkban – a 30. ábránál megállapítottakkal összhangban – a különbségek többnyire számottevőek (legtöbbször 8–28%-osak, de már a 42%-ot nem éri el).

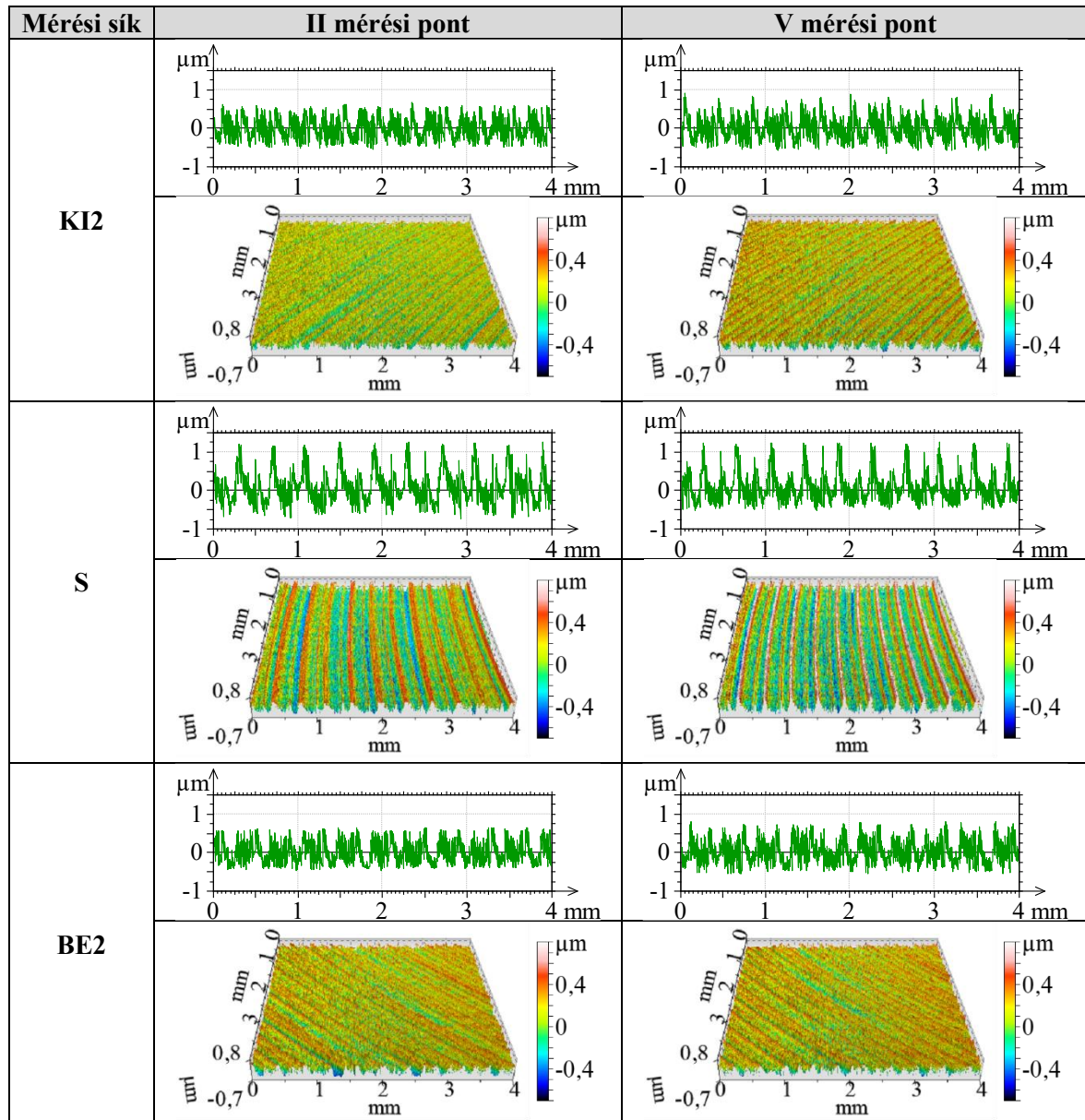


30. ábra: Négyzet alakú lapkával, $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. beállításával mart felületek III és V mérési pontjaiban felvett érdességi profilgörbék és felületelemek

- **Kör alakú lapkával forgácsolt felületeken**

A kör alakú lapkával forgácsolt felületeken felvett profilgörbéken és felületelemeken az élnyomok geometriájának változása a szimmetriasíkokban kismértékű, míg egy attól távolabbi síkban jelentősebb (31. ábra). E felületeknél, a négyzet alakú lapkával előállított felületekhez viszonyítva a különbségek nagyobb mértékűek. Ennek okai a 3.1.1. fejezetben, a 27-28. ábránál említett, megmunkálásból eredő felületi hibák, karcnyomok, a munkadarab anyagának beékelődése a nagy csúcssugarú élkialakítás és így a kis effektív élelhelyezési szögek miatt [134].

E vizsgált felületeken a közbenső (**BE1, S, KI1**) mérési síkokban jellemzően kisebb értékeket mértem az elméleti topográfia mérési síkjaiban meghatározott értékektől (2.13.-2.20. melléklet). Ennek mértéke a szimmetriasíktól (ahol 25–78%-os) a felület szélei felé csökkenő (0–71%-ra). Azonban a szélső **BE2** és **KI2** síkokban a mért értékek többnyire nagyobbak az elméleti értékektől, a változásuk nagysága $\pm 69\%$ -on belüli. A felületeken mért értékek terjedelme 4–94% között nagymértékben különböző (2.13.-2.20. melléklet). Az a szimmetriasíkokban a legkisebb (de többnyire jelentős, 10–50%-os). A szerszámél munkadarab anyagba belépésétől a középsíkgig forgácsolt részén (a szerszámél belépési oldalán) a különbségek minimálisan nagyobb mértékűek (jellemzően 10–60%-osak, de maximum 94%-os). A topográfia másik oldalán a két mérési síkban többnyire a legnagyobbak a különbségek (7–62%-osak).



31. ábra: Körlapkával, $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. beállításával mart felületek **II** és **V** mérési pontjaiban felvett érdességi profilgörbék és felületelemek

• Megállapítások

Megállapítottam az elemzett mérőszámok értékeivel, két különböző élgeometriával megmunkált felületek vizsgálata alapján, hogy az előtolás iránnyal párhuzamosan felvett mérési síkokban az értékek terjedelme jellemzően 5–30%-os. A különbségek a síkok közül

a szimmetriasíkokban a legkisebbek és a felület szélei felé növekednek. A **KI** síkokban (ahol a szerszámél fordulatonként a szimmetriasíkon túl forgácsolta a felületet) mértem maximális eltéréseket. A tapasztalt, jellegzetes változásokat a kisebb beállított forgácsolósebességgel mart felületek csak részben mutatják. Továbbá a körlapkával előállított felületeken a mérési síkokban legtöbbször nagymértékű (4–94% közötti) különbségeket mértem, amelyeken a kialakult élnyomok jelentősen eltértek az elméleti topográfián a maróélnyomoktól. Mindezek alapján tehát a homlokmart felületet a szimmetriasíkokban és más párhuzamos síkokban is vizsgálni kell az érdességének és inhomogenitásának megállapításához.

A vizsgált R_a és S_a átlagos érdesség, valamint az R_k és S_k redukált magzóna magasság mérőszámok értékeinek terjedelméhez képest (maximum 50%-os) az R_z átlagos és az S_z maximális egyenetlenség-magasság, valamint az R_p és S_p maximális csúcsmagasság értékei nagyobb mértékben (maximum 62%-kal) különböztek egymástól, amelyek a csúcsmagasság és völgymélység változásait nagyobb érzékenységgel fejezik ki.

3.1.3 Érdességi értékek eltérései az adott felületen felvett mérési helyeken

Síkfelületek bármilyen irányú elmozdulása válhat szükségessé a beépítésüket követően a gyártmányban. Különböző irányokban elmozdulva, a felületen más és más tribológiai viszonyok jöhetnek létre. Ezért funkcionális elemzés alapján szükségessé válhat a lehetséges érintkezési irányokban is a topográfia érdességi változásának ismerete. Ehhez vizsgálom a korábban bemutatott (4-5. táblázatok, **SZ1** és **SZ2.1** jelű szerszám, valamint **K1.1-K1.4** jelű forgácsolási adatok alkalmazásával) homlokmart felületeken mért értékek viszonylagos megoszlását, valamint terjedelmük nagyságát. Emellett összehasonlítással elemzem a topográfiák közepére igazított, bázisnak választott 36 mm × 44 mm nagyságú felületrész különböző meghatározott pontjaiban (29. ábra) mért profilokat és felületelemeket. Az **SZ1** szerszámmal kialakított elméleti topográfia sík, érdességi értékei zérusok, mivel a mellékél csúcshoz közeli szakasza párhuzamos a feltételezett munkasíkkal. A körlapkás szerszámmal és $f_z = 0,4$ mm/ford. előtolás beállításával képzett elméleti felületen – a CAD modellem Felhő illesztőprogramjával [70] végzett kiértékelését követően – felvett profilt és felületelemet a 32-33. ábrákon mutatom be és azok érdességi értékeit a 2. melléklet vonatkozó táblázataiban adom meg.

- **Négyzet alakú lapkával megmunkált felületeken**

A négyzet alakú lapkával megmunkált felületeken, a középsíktól különböző távolságra, két oldalon felvett profilgörbék és felületelemek jól tükrözik a homlokmart topográfia jellegzetességeit és változatosságát. A 30. ábrán láthatóan a periodikus élnyomok a szimmetriasíktól két irányban távolodva csökkenő magasságúak és egyre nagyobb szögben fordulnak el (lásd az 1.5. fejezetben). A felületek szélei felé a középén szabályos alakú marónyomok egyre torzabbak és egyre nehezebben ismerhetők fel. Ennek oka a középsíktól távolodva az egyre kisebb keresztmetszetű forgács leválasztása miatti kedvezőtlenebb anyagleválasztás (lásd az 3.1.3. fejezetben), valamint a felületelemeket alkotó pontok különböző beállított osztása vízszintes (előtolás) és függőleges irányban: a szomszédos pontok közötti távolság 1 μ m és 10 μ m.

A mérési síkok között az érdességi értékek jellegzetes változását, a szimmetriasíktól két irányban távolodva a csökkenésüket tapasztaltam (2.1.-2.8. melléklet). Ennek mértéke – a 11. táblázatban adott síkban mért értékek számtani átlagával képzett arányával megadva – felületenként és mérőszámoként jelentősen változó. A szimmetriasík értékeihez viszonyítva míg (a felület mindkét oldalán egyformán) a közbenső síkokban mért értékek kismértékben (rendszerint 0–16%-kal), addig azok a szélső síkokban jelentősen (5–42%-kal) kisebbek.

A felületeken a mért értékek terjedelme jelentősen meghaladta az egyes síkokban megállapított különbségeket (2.1.-2.8. melléklet). Az R_a , S_a és R_k , S_k mérőszámok jellemzően kisebb (22–71%-os), míg a csúcsmagasság és völgymélység változásait nagyobb

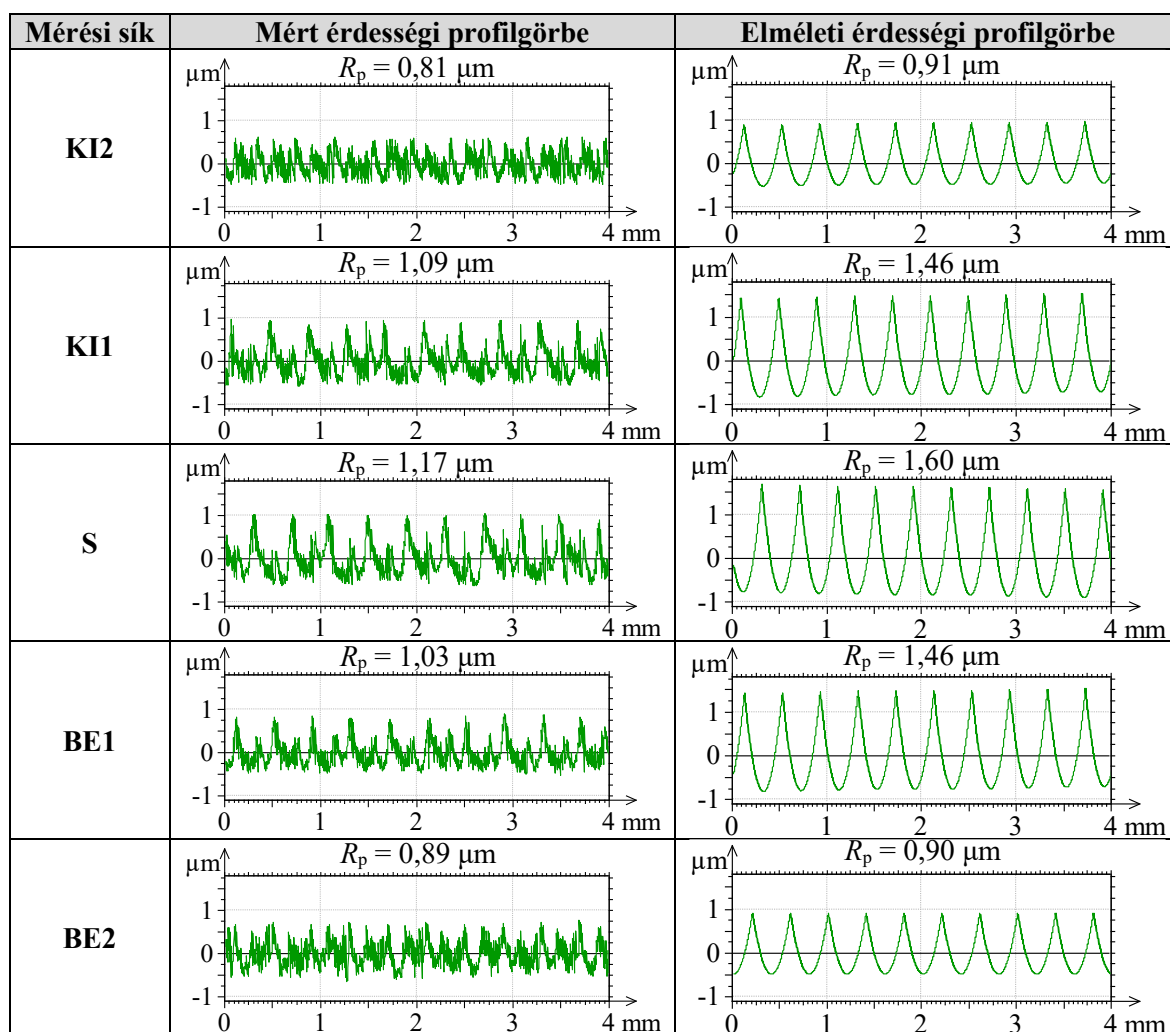
érzékenységgel kifejező R_z , R_p és S_z , S_p értékei nagyobb (29–76%-os) különbségeket mutatnak, ami felületenként nagymértékben változó. A 2D-s paramétereket és 3D-s megfelelőiket összehasonlítva, az utóbbiaknál az eltérések kismértékben (legtöbbször 10–25%-kal) kisebbek.

11. táblázat: Mérési síkok átlagértékeinek csökkenése a szimmetriasíkhhoz (S) viszonyítva (negatív érték esetén növekedés)

	ΔR [%]	ΔS [%]	ΔR [%]	ΔS [%]	ΔR [%]	ΔS [%]	ΔR [%]	ΔS [%]
v_c [m/min]	200				300			
f_z [mm/f.]	0,2		0,4		0,2		0,4	
KI2 sík	22...31	10...15	25...42	11...21	19...29	9...20	20...39	5...9
KI1 sík	11...25	7...15	10...25	4...15	-3...1	-3...4	9...23	2...7
S sík	-	-	-	-	-	-	-	-
BE1 sík	13...24	10...15	17...27	1...16	3...7	2...7	8...16	-5...8
BE2 sík	21...32	14...21	25...42	12...30	24...33	13...29	21...38	9...15

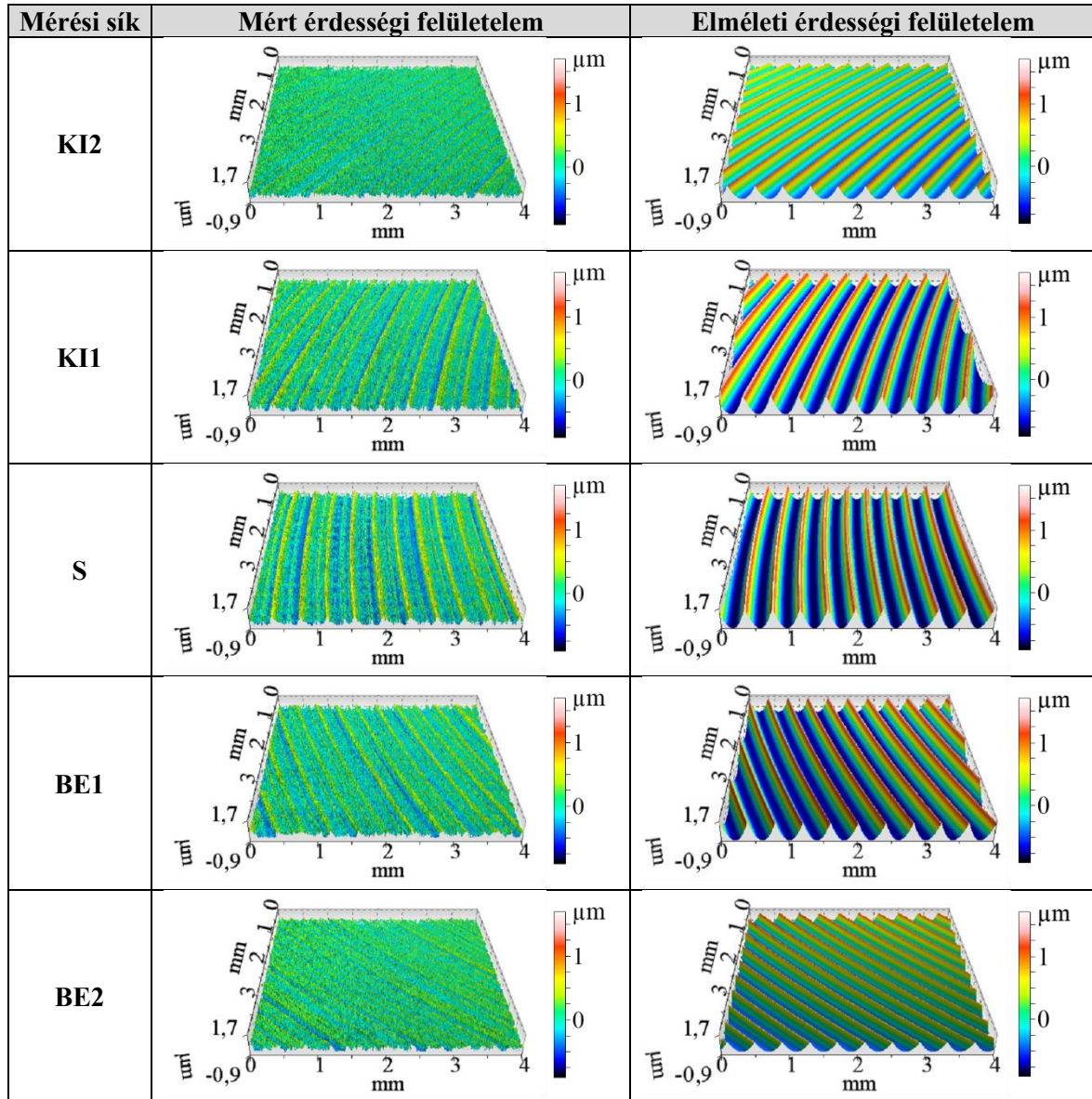
• **Kör alakú lapkával forgácsolt felületeken**

A körlapkával forgácsolt síkfelületeken felvett profilgörbék és a felületelemek ez esetben is rámutatnak a homlokmart topográfia elméleti sajátosságaira: a megjelenő élnyomok a szimmetriasíktól két irányban távolodva egyre kisebb keresztmetszetűek és egyre sűrűbben helyezkednek el egymás mellett (32–33. ábrák). Továbbá, míg a középsíkban az élnyomok



32. ábra: Körlapkával, $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. beállításával mart felületek II mérési pontjaiban felvett, valós és elméleti érdességi profilgörbék, valamint R_p értékei

periodicitása és körív alakja jól kivehető és hasonlít az elméleti megfelelőjére, addig attól két irányban távolodva az egyre kevésbé felismerhető, egyre torzabb. Ennek oka az anyagleválasztási jelleg változása (lásd a 3.1.3. fejezetben). A forgácsolás során a felület szélei felé csökkenő szerszámél–munkadarab érintkezési hossz következtében kisebbek az effektív élelhelyezési szögek, ami miatt a munkadarab anyagának a szerszámél alatti beékelődése nagyobb mértékben befolyásolta az élnyomok torzulását [134]. A valós felületről felvett profilgörbék és felületelemek magassága jelentősen kisebb az elméleti megfelelőiktől, mivel – a 3.1.1. fejezetben megfogalmazott módon – a forgácsolásban a szerszámél a barázdák keskeny csúcsát lemetszette. Ez megmagyarázza a 3.1.2. fejezetben is tapasztalt kisebb mért értékeket.



33. ábra: Körlapkával, $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. beállításával mart felületek **II** mérési pontjaiban felvett, valós és elméleti érdességi felületelemek

A szimmetriasíkhöz képest a többi síkban az elemzett érdességi mérőszámok jelentősen különböző – kisebb és nagyobb – értékei láthatók (2.13.-2.20. melléklet). Azok változása csak egy beállításnál – a legnagyobb forgácsolósebesség és fogankénti előtolás alkalmazásánál – hasonló az elméleti topográfia e jellemzőjére: azok a szimmetriasíktól két irányban távolodva csökkennek (ahogy a 2.13.-2.20. mellékletekben szereplő elméleti

értékek egymáshoz viszonyulnak). A többi topográfián jelentősen eltérő az értékek megoszlása – az egyik felületen ellentét az előzőleg bemutatott változási jelleggel. Az értékek további helyfüggő elemzéséhez a változásuk nagyságát a síkban mért értékek számtani átlagához viszonyítva adom meg a 12. táblázatban. Ebben ugyanaz a változási jelleg látható, amelyet a négyzet alakú lapkával mart felületeknél megfigyeltem: a szimmetriasíkhhoz képest a közbenső síkokra eső pontok mért értékei kismértékben (rendszerint 20% alatt), míg azok a felület széleihez legközelebbi pontokban jelentősen (legtöbbször 40%-kal, de maximum 70%-kal) különböznek.

12. táblázat: Mérési síkok átlagértékeinek változása a szimmetriasíkhhoz (S) viszonyítva (növekedés esetén pozitív, csökkenés esetén negatív érték)

	ΔR [%]	ΔS [%]	ΔR [%]	ΔS [%]	ΔR [%]	ΔS [%]	ΔR [%]	ΔS [%]
v_c [m/min]	200				300			
f_z [mm/f.]	0,2		0,4		0,2		0,4	
KI2 sík	-13...-10	-6...-20	37...53	53...56	-8...-3	-16...-2	-32...18	-36...1
KI1 sík	3...7	-7...14	-5...4	-7...0	1...4	-3...12	-8...7	-13...-2
S sík	-	-	-	-	-	-	-	-
BE1 sík	-4...0	-11...-8	4...10	-10...0	1...7	-6...4	-13...-4	-20...-7
BE2 sík	-17...-7	-5...10	23...46	67...70	2...13	-6...6	-29...9	-32...5

Így a nem azonos mérési síkra eső pontok közötti eltérések maximális nagyságai jelentősek és számottevően nagyobbak a síkokban mért értékek különbségeitől (lásd a 3.1.3. fejezetben), amelyek aránya ráadásul a vizsgált felületek között nagymértékben változik (2.13.-2.20. melléklet). A mérőszámok közül legtöbbször az átlagos érdesség (R_a és S_a) különbségei a legkisebbek (21–100%-os). Ezt követik növekvő sorrendben a magassági R_z , S_z , R_p , S_p paraméterek adott felületen hasonló nagyságú, 31–108%-os eltérései. A funkcionális R_k és S_k mérőszámok értékei változtak (27–110%-kal) a legnagyobb érzékenységgel az élnyomok geometriai változatosságára. A terjedelmek nagysága gyakran számottevően eltér egymástól a 2D-s paraméterekkel és azok 3D-s megfelelőivel kifejezve, mely változás nem mutat trendet.

Összegezve, a körlapkás szerszámmal végzett megmunkálásban a beállított forgácsolási feltételek mellett kialakult élnyomok az elméleti lenyomathoz képest jelentősen eltértek. A felületeken beállításonként különböző nagyságú és gyakoriságú mély karcokat és anyagkiszakadási nyomokat tapasztaltam. Ezen – 32-33. ábrákon bemutatott – számottevő megmunkálásból eredő felületi hibák okozták az érdességi értékek nagymértékben változó eltéréseit és értékváltozási jellegét.

• Megállapítások

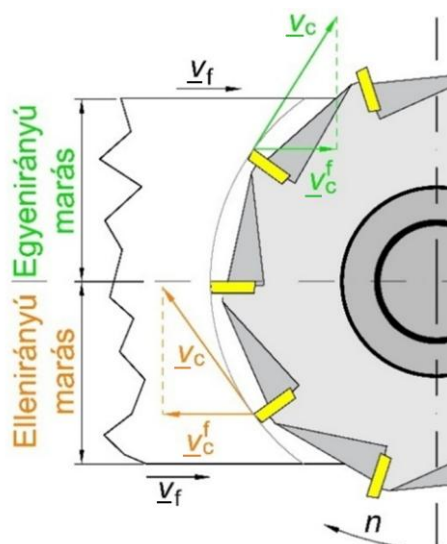
Az egyszeres lenyomatú felületeken bemutatott vizsgálatok elméleti és mérési eredményeivel megállapítottam, hogy a szimmetriasíktól egy távolabb felvett pontban a 2D-s és 3D-s, magassági (R_a , R_z , R_p és S_a , S_z , S_p) és funkcionális (R_k és S_k) érdességi mérőszámok értékei csökkennek. Ennek nagysága 10–40% közötti, szinte egyforma a középsík két oldalán adott felületen és mérőszámnál. Az érdességi értékcsökkenés alapvetően meghatározza a felület inhomogenitását, amelynek nagysága (lásd az alábbiakban) jelentősen meghaladta az egyes előtolás irányú síkokban mért értékek terjedelmét (lásd a 3.1.3. fejezetben). A kísérletek azt mutatták, hogy a forgácsleválasztás változó feltételeinél ez a jelleg csak részben jelenik meg körlapkával végzett marásnál. Továbbá, e jellemző változásokat a forgácsolósebesség nagyobb értékének beállításával mart felületek teljes mértékben, míg a kisebb értékével megmunkáltak csak részben követték.

A 2.4. fejezetben kiválasztott 2D-s érdességi paraméterek értékeinek közel azonos a megoszlása és hasonló a terjedelem nagysága, mint az elemzett 3D-s mérőszámoknál. A vizsgált paraméterek értékei a homlokmart topográfiára jellemző változásokat mutatták. A

felületeken megfigyelt élnyomok torzulására legnagyobb érzékenységgel (mértékben) a funkcionális R_k és S_k redukált magzóna magasság paraméterek értékei változtak (maximum 78%-kal). Ezt követték az érdességmagasságot közvetlenebb módon kifejező R_p és S_p maximális csúsmagasság, valamint az R_z átlagos és az S_z maximális egyenetlenség-magasság mérőszámok értékeinek maximum 77%-os és 65%-os különbségei. Az R_a és S_a átlagos érdesség paraméterek a legkisebb mértékű (maximum 56%-os) változásokat mutatták.

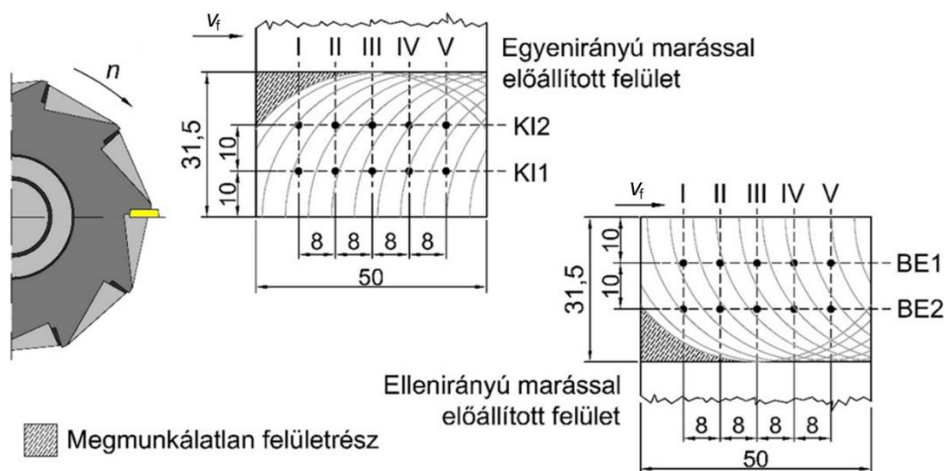
3.2 A forgácsoló- és az előtolómozgás együttes változásának hatása

Marásnál a fő- és mellékmozgás viszonylagos pillanatnyi irányai is befolyásolják a felület topográfiáját. A forgácsolósebesség előtolás irányú komponense ($\vec{v}_c^f$) és az előtolási sebesség ($\vec{v}_f$) irányainak viszonya alapján megkülönböztethetünk ellenirányú és egyenirányú marást a szimmetriasíkkal elválasztott két felületrészen (34. ábra). Ezek közt változnak a forgácsleválasztási jellemzők (forgács-keresztmetszet, anyagleválasztás jellege, a vektoriálisan összegzett sebességek, azaz az eredő forgácsolósebesség nagysága és iránya), ami miatt eltérhetnek az érdesség értékei. A vizsgálatom célja megállapítani a változásuk nagyságát és jellegét.



34. ábra: Ellen- és egyenirányú marás mozgásviszonyai homlokmarásnál

A mozgásviszonyok hatásának topográfiai inhomogenitásra való feltárásához összehasonlító vizsgálatokat végeztem el. Ehhez a 2.3. fejezetben leírt módon két különböző élgeometriájú szerszámot (4. táblázat, **SZ1** és **SZ2.1**) és a forgácsolási adatok bázisértékeit (5. táblázat, **K2**: $a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $f_z = 0,4$ mm/ford., $v_c = 300$ m/min) alkalmazva állítottam elő homlokmart felületeket. A 35. ábrán látható módon a munkadarab szélét igazítottam a szerszámtengelyhez és a szimmetriasíkhhoz. Ezután megmértem a topográfia érdességét 2-2 előtolás iránnyal párhuzamos síkban kijelölt 5-5 (I–V jelű) mérési helyen – a 3.1.2. fejezetben ismertetett mérési pontokkal azonos helyzetben, a szimmetriasíkhhoz viszonyítva –, az **M3** (6. táblázat) mérési beállítások szerint (35. ábra). Ennek megfelelően a **KI1** és **KI2** sík az egyenirányban, az **BE1** és **BE2** sík az ellenirányban mart felületen helyezkedik el. A 2.4. fejezetben kijelölt paraméterek értékeit, illetve a síkokban számolt terjedelmük nagyságát és a számtani átlagukkal képzett hányadosát (az „Eltérés” sorban és oszlopban) a 3. mellékletben táblázatok mutatják. E táblázatok tartalmazzák a körlapkával előállított elméleti topográfia mérési síkokban megállapított érdességi értékeit is. A négyzet alakú lapka alkalmazása esetén az elméleti felület sík, aminek érdességi értékei zérusok. A 2-2 vizsgált topográfián a mérési pontok értékeihez igazított parabolikus közelítő felületeket 1-1 térképdiaagramon egyesítve mutatom meg a 3. mellékletben, az érdességi paraméterek szerint rendezve.



35. ábra: Az egyen- és ellenirányban mart felületeken felvett mérési síkok és pontok elhelyezkedése (az élnyomok illusztrációk)

• *Négyzet alakú lapkával megmunkált felületeken*

A négyzet alakú lapkával forgácsolt felületeken a szimmetriasíktól (a felületek szélétől) távolabb felvett síkokban kisebb értékeket mértem (3.1. melléklet). A szimmetriasíktól azonos távra eső síkok között az értékek minimálisan különböznek egymástól, az ellenirányban mart topográfián 5–15%-kal kisebbek. A felületeken mért értékek a térképdigrammok alsó részén adott vízszintes sávban (mérési síkban) közel azonosak, és csak függőleges irányban különböznek, míg az egyenirányban mart topográfián (a diagramok másik oldalán) a különbségek előtolás irányban jelentősebbek (3.2. melléklet).

A 3.1. fejezetben elemzett, azonos szerszámmal és forgácsolási adatokkal (**SZ1**, **K1.4**, 4-5. táblázatok), szimmetrikusan mart felület eredményeivel (2.7. melléklet) összehasonlítva a kijelölt pontokban (35. ábra) mért érdességi értékek jelentősen (legtöbbször 10–76%-kal, néhány esetben 95–110%-kal) nagyobbak. A különbségek a szerszámra ható dinamikus terhelés változó nagyságával vannak összefüggésben, a fordulatonként eltérő kezdeti forgács-keresztmetszet miatt, ezáltal a szerszám kihajlása és rezgése is különböző [134]. Ezen korrelációk pontos megállapításához további vizsgálatokra van szükség.

A két felületen felvett mérési síkokban kismértékű (jellemzően 11% alattiak) a mért értékek terjedelme (3.1. melléklet). Ezt a vizsgált 2D-s mérőszámok értékei csak részben támasztják alá, amelyek közül a magassági paramétereknél előfordulnak jelentős, 16–31%-os különbségek is. Közülük az ellenirányban mart felületen kisebbek (3–10%-osak) az eltérések. Ezek összhangban vannak a térképdigrammok – fent leírt – jellegzetességeivel (3.2. melléklet).

A két vizsgált felületen a mért értékek terjedelme jelentős és hasonló nagyságú az egyenirányban (30–54%-os), illetve az ellenirányban (29–58%-os) mart topográfián (3.1. melléklet). Az eltérések a két felületen mért értékeket összegezve jelentősek (40–67%-osak).

A 3.1. fejezetben elemzett, szimmetrikus beállítással mart (és az érdességet 5×5 pontban mért) felülethez (2.7. melléklet) viszonyítva a terjedelmek nagysága a **BE** és **KI** jelű mérési síkokban, valamint az azonos jellegű felület(rész)eken jellemzően közel egyforma. Tehát, míg az elemzett topográfiák érdessége nagymértékben változó, az inhomogenitási jellemzőik szinte egyformák.

Az elemzett 2D-s mérőszámok hasonló (az ellenirányú marással előállított felületen közel azonos) értékmegoszlást, de az előbbieknél nagyobb mértékű (a mérési síkokban 6–31%-os, a felületeken 33–57%-os) különbséget mutatnak, mint a kijelölt 3D-s paraméterek értékei (amelyek terjedelme a síkokban 3–11%-os, a felületeken 28–47%-os). A vizsgált magassági és funkcionális paraméterek értékeinek eltérése – a 2D-s és 3D-s típusúakat megkülönböztetve – hasonló nagyságú (3.1. melléklet).

- **Kör alakú lapkával forgácsolt felületeken**

A kör alakú lapkával mart felületeken a szimmetriasíktól (a felületek szélétől) távolabb eső pontokban kisebbek az elméleti és rendszerint a mért értékek is (3.3. melléklet). Az utóbbiak azonban előtolással párhuzamos és attól eltérő irányban egyaránt számottevően változnak, az elméleti topográfia e jellemzőjétől eltérően (3.4. melléklet). A középsíktól azonos távra elhelyezett síkok között az értékek kismértékben (legfeljebb $\pm 15\%$ -kal) különböznek egymástól, amelyek helyfüggő viszonya nem mutat szabályosságot. Ugyanez az elméleti értékeknél elhanyagolható nagyságú.

A 3.1. fejezetben vizsgált, azonos forgácsolási (**SZ2.1, K1.4**, 4-5. táblázatok) adatokkal és szimmetrikus helyzetben mart felület eredményeivel (2.7. melléklet) összehasonlítva a kijelölt pontokban (35. ábra) mért érdességi értékek 0–65%-kal kisebbek. Ennek oka egyelőre nem ismert, a feltáráshoz további vizsgálatok szükségesek.

A két felületen felvett síkokban a mért értékek a mérési pontok növekvő sorrendjében rendszerint növekednek, amely a forgácsolás során keletkező hővel magyarázható. A szerszám munkautja során – az **V** mérési helyektől az **I** pontok felé – a hőmérséklet emelkedik, ami növeli a munkadarab anyag képlékenységet, így a nyírás könnyebben megy végbe. Ennek során a mellékél simító hatása is kedvezőbben érvényesül [134]. A mérési síkokban az érdességi értékek terjedelmei jelentősek (14–61% közöttiek) és egymás között is számottevően változnak (3.3. melléklet). Azok az elemzett 2D-s és a 3D-s mérőszámok csoportjaival eltérő módon jellemezhetők a felületeken. A vonalmenti *R* paramétereknél a változások nagysága kisebb mértékű az egyenirányban mart topográfia síkjaiban (ahol 17–38%-os), mint a másik felületen (ahol 18–61%-os). Ennek oka a kezdeti forgácskeresztmetszet – így a szerszámmra ható dinamikus terhelések – fordulatonként változó nagysága: az előtolás irányában, az előbbi felületnél azonos, míg az utóbbinál először nagymértékben csökkenő, majd közel zérus. Ellentétes jelleget mutatnak a mikrotopográfiai *S* mérőszámok értékei, ahol az előbbi felületen felvett síkokban mért (29–51%-os) különbségek nagyobbak, mint a másik felületen mért 14–33%-os terjedelem. A síkokban mért terjedelem nagysága a – 3.1.1. fejezetben bemutatott, szimmetrikusan mart felületen a – szimmetriasíkokban tapasztalt különbségekhez (2.19. melléklet) képest jelentős, a százalékos aránya 6–53%-ról 14–61%-ra növekedett.

A vizsgált topográfiákon mért értékek terjedelmei jelentős nagyságúak, amelyek törtrészei (legtöbbször fele-harmada) az elméleti értékeknek (3.3. melléklet). Az elemzett 2D-s paramétereknél az egyenirányban mart topográfián számottevően kisebbek a 31–45%-os különbségek, mint a másik felületen (ahol azok 36–61%-osak). Ezzel szemben a 3D-s mérőszámok értékei az ellenirányban mart topográfián mérsékeltén (25–33%-kal) térnek el a tükrözött síkfelületen tapasztalt számottevő (35–56%-os) arányokhoz képest. A két felületen mért értékek összesített terjedelme jelentős (35–61%-os) és hasonló mértékű, mint a szimmetrikus beállítással mart felületen.

A 2D-s mérőszámok és azok 3D-s megfelelői hasonló terjedelem nagyságokat, de jelentősen eltérő – a felületek egyes részein a szimmetriasíkra tükrözött jellegű – értékmegoszlásokat mutatnak (3.4. melléklet). Valamint – e csoportokon belül – a magassági mérőszámok értékei hasonló változási jelleget mutatnak a felületeken, amely kismértékben eltérő a funkcionális paraméterek esetében.

A terjedelmek jelentős különbsége és az értékmegoszlások változása mögött a – 3.1.2. fejezetben leírt – megmunkálásból származó felületi hibák, mély karcnyomok érdességi értéket nagymértékben befolyásoló hatása áll.

- **Megállapítások**

Megállapítottam, hogy a tisztán ellen- és egyenirányú marással előállított felületeken, a szimmetriasíktól adott távolságra felvett pontokban az érdesség mért értékei között

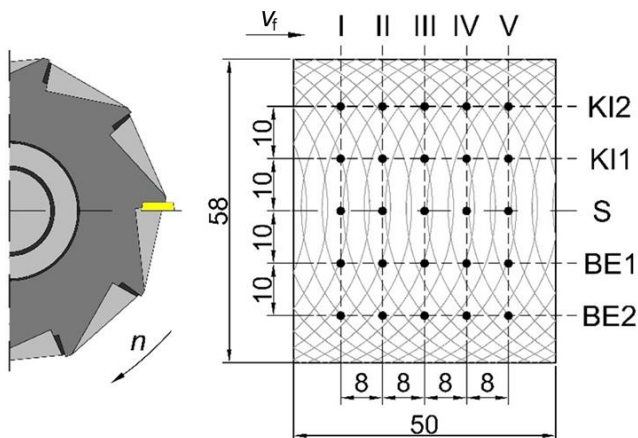
kismértékűek (20% alattiak) a különbségek, ugyanakkor az elméleti értékeknél elhanyagolható. Az adott szerszámmal előállított felületeken a mért értékek közel azonos terjedelem nagysága (maximum 67%-os) mellett a mérési síkokban megállapított különbségek jelentősen eltértek (a négyzet alakú lapkával mart felületeken 3–31%, a körlapka esetében 14–61% közt). A vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy az ellen- és egyenirányban mart felületeken mért érdességi értékek megoszlása változhat. Tehát a mozgásvizonyok együttes hatása is befolyásolja a topográfia érdességének változását.

A topográfiai változásokra a legnagyobb különbségeket a vizsgált érdességi mérőszámok közül a funkcionális R_k és S_k értékei mutatták (maximum 61%-os a síkokban és a felületeken). Ezt követték a maximális csúcsmagasság (R_p és S_p) paraméterek a síkokban maximum 39%-os és a felületeken 67%-os terjedelmekkel, majd az egyenletlenség-magasságot kifejező R_z és S_z mérőszámok értékeinek különbsége (legfeljebb 44%-os a síkokban és 60%-os a felületeken). A legkisebb mértékben az átlagos érdességi (R_a és S_a) mérőszámok értékei változtak a síkokban (maximum 43%-kal) és a felületeken (legfeljebb 49%-kal).

3.3 Másodlagos anyagleválasztás hatása

Homlokmarásban a marószerszám tengelyhelyzete és az előtolómozgás terjedelme szerint előfordulhat, hogy a már forgácsolt felületet a szerszámél(ek) másodszor is érintik, azáltal karcolásszerű lenyomatot képezve (lásd az 1.5. fejezetben kifejtve). Ezzel megváltoznak annak topográfiai és érdességi jellemzői, amely hatással lehet az inhomogenitásra is. Ennek mértékét (az érdesség változását) vizsgálok ebben a fejezetben.

A másodlagos anyagleválasztás hatásának elemzéséhez a 2.3. fejezetben leírt módon kísérleti úton állítottam elő homlokmart síkfelületeket. Az összehasonlító vizsgálat kivitelezéséhez a megmunkálási (SZ1 és SZ2.1 szerszámok, K3 forgácsolási adatok és szerszám-munkadarab helyzet, 4-5. táblázatok) és az érdességmérési (M1.3, 36 mm × 44 mm méréssel vizsgált felületnagyságon, 6. táblázat) beállítások azonosak a 3.1. fejezetben leírt feltételekkel. A különbséget a megmunkálásban az előtolómozgás terjedelme jelentette, ugyanis a most vizsgálandó felületeknél a munkadarabok munkaútja a szerszám első fogásba

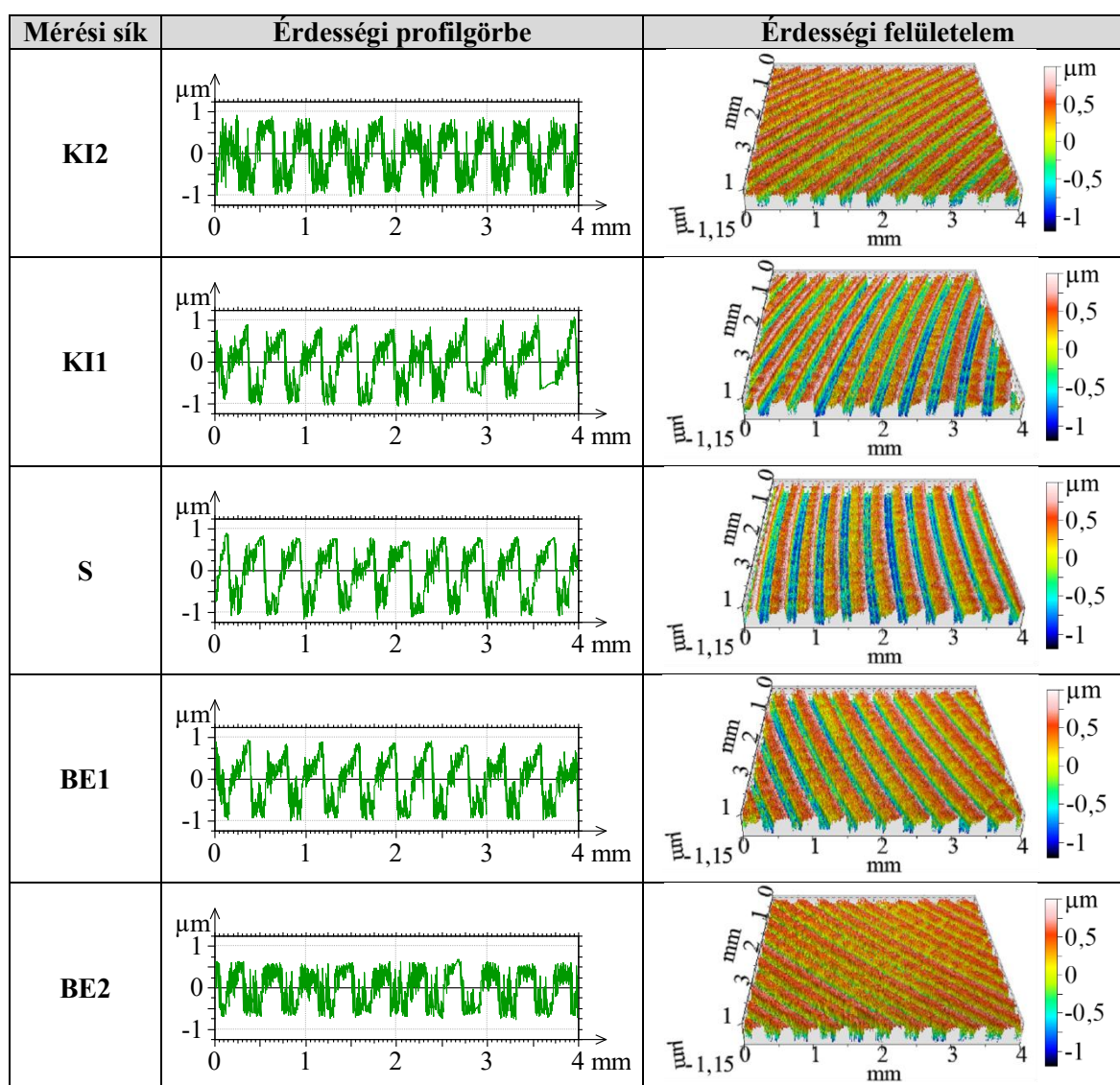


36. ábra: Mérési síkok és pontok elhelyezkedése a kettős lenyomatú homlokmart felületeken (az élnyomok illusztrációk)

lépésétől a megmunkált felülettel való utolsó érintkezésig tartott, így kettős élnyomot kialakítva rajta (36. ábra). A felületeken mért érdességi értékeket, illetve a síkokban a terjedelmük nagyságát és arányát a topográfián felvett értékek számtani átlagával (az „Eltérés” sorban és oszlopban) a 4. mellékletben táblázatokban foglaltam össze. A topográfiákon az értékek viszonylagos megoszlását a felületek és a paraméterek szerint rendszerezve szintén a 4. mellékletben – a mérési pontok értékeihez igazított parabolikus közelítő felületekkel – térképdiagramokon mutatom meg. A $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. beállításával, négyzet alakú lapkával mart felület III pontjaiban mért érdességi profilgörbék és felületelemek a 37. ábrán láthatók. Ugyanezeket a körlapkával megmunkált felület IV pontjaiban rögzítve a 38-39. ábrákon mutatom meg. A körlapka esetében, a 2.3. fejezetben leírt módon az elméleti felületen meghatározott érdességi értékeket a 4.15. mellékletben adom meg. A négyzet alakú lapkával képzett elméleti topográfia sík, érdességi értékei zérusok.

- **Négyzet alakú lapkával megmunkált felületeken**

A négyzet alakú lapkával megmunkált, kettős lenyomatú felületen az előrefutó élnyomok dominálnak (37. ábra), ugyanakkor a szerszámél szinte nem érintette a felületeket visszafutása során, így a kialakult kereszteződő karcnyomok nehezen észrevehetők. Emiatt hasonló a megjelenése az egyszeres élnyomokkal kialakított textúrához (30. ábra). Ennek oka a szerszámkihajlás következtében megnövekedett fogásmélység a szerszámél előrefutó mozgásakor ébredő forgácsolóerők miatt, ezáltal a ráhagyás nagyságának csökkenése a mart felületen a szerszámél visszafutásakor történő forgácsoláskor. Így a másodlagos anyagleválasztás hatására minimálisan változott a topográfián az élnyomok jellege: alakjuk közel azonos maradt, de mélyebb élnyomok keletkeztek – a 2D-s és a 3D-s mérési eredmények alapján egyaránt. Adott mérési sík különböző pontjaiban felvett profilokon és felületelemeken az élnyomok alakja (és annak szabályossága) közel egyforma, de a csúcsok magassága és a völgyek mélysége nagyobb mértékben változik, mint az egyszeres lenyomatú felületeken (30. ábra).



37. ábra: Négyzet alakú lapkával, $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. beállításával mart felületek
III mérési pontjaiban felvett érdességi profilgörbék és felületelemek

A másodlagos anyagleválasztás hatására a felületek mért pontjaiban minimálisan növekedtek az érdességi értékek, a megoszlásuk kevésbé hasonlít a homlokmart topográfia jellegzetességeire (2.1.-2.8. és 4.1.-4.8. melléklet). Bár a szimmetriasíktól távolodva az értékek

jellemzően csökkennek, de e változás jellege nem monoton és a maximális értékeket gyakran nem a középsíkban mértem. Valamint – a térképdiagramokon láthatóan – az előtolás irányában is jelentősek az értékváltozások, nem csak a síkok között.

A másodszor történt forgácsolás következtében a szimmetriasíkban mért értékterjedelmek jellemzően 1,5–5-szörös nagyságúak, 7–25% közöttiek lettek (2.1.-2.8. és 4.1.-4.8. melléklet). A többi síkban is hasonló arányú (1,5–6-szoros) növekedést tapasztaltam, amelyek e felületeken 3–38%-osak. A szimmetriasíkban az eltérések nagysága jelentős – ez esetben nem minimális – a síkokban mért különbségekhez képest, de az nem ott maximális, hanem a szélső síkok egyikében.

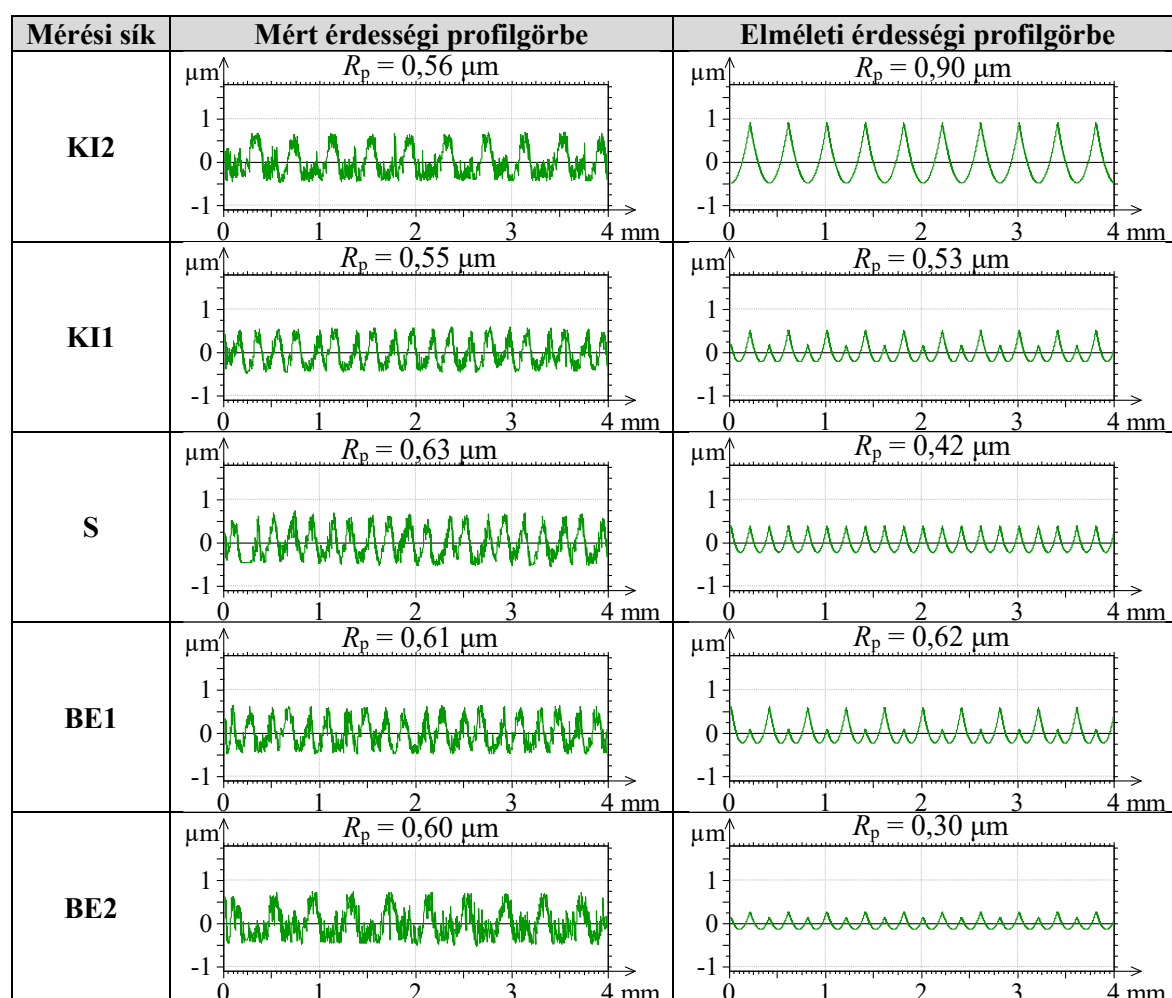
A vizsgált felületek pontjaiban mért értékek eltérése leggyakrabban közel azonos nagyságú maradt, azonban a százalékos arányuk – a megnövekedett értékekhez mérten – kismértékben, legtöbbször 2–33%-kal csökkent (2.1.-2.8. és 4.1.-4.8. melléklet).

A fent leírtak a kisebb alkalmazott forgácsolósebesség beállításával csak részben érvényesek.

A 2D-s mérőszámok értékeinek kismértékben eltérő terjedelme látható a vizsgált 3D-s paraméterekkel összehasonlítva, valamint a megoszlásuk jobban tükrözi a homlokmart topográfia jellegzetességeit (4.1.-4.8. melléklet).

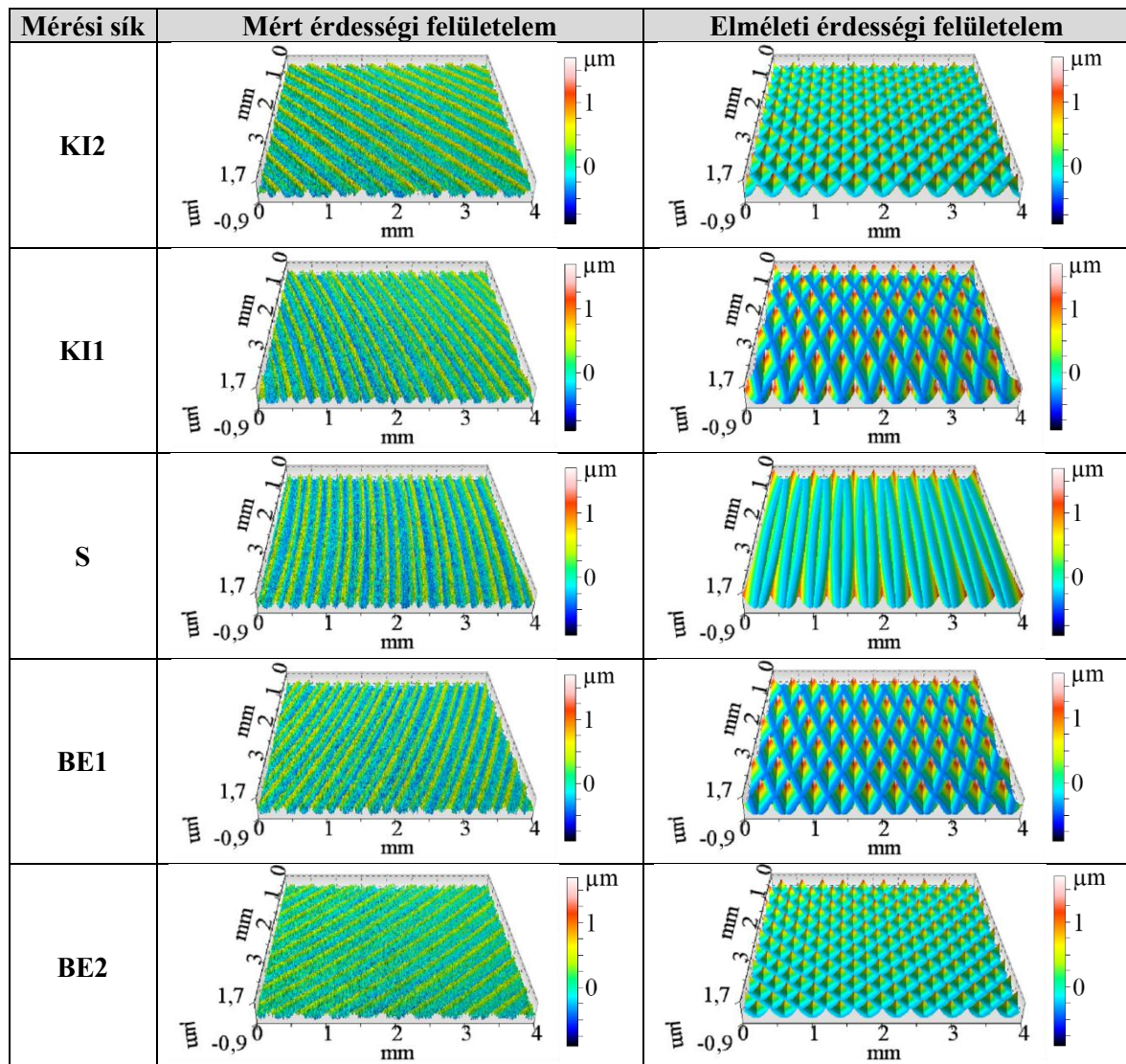
• **Kör alakú lapkával forgácsolt felületeken felvett profilgörbék és felületelemek**

A kettős lenyomatú elméleti mart felületeken az előrefutó élnyomok (lásd a 30. ábrán) mellett megjelennek a szerszámél visszafutásából adódó kereszteződő karcnyomok is, illetve a részben elmetszett barázdák (38-39. ábrák). Valamint, a ciklois ívű szerszámélpálya



38. ábra: Körlapkával, $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. beállításával mart felületek IV mérési pontjaiban mért és modellezett (elméleti) érdességi profilgörbék, valamint R_p értékei

a középsíkra aszimmetrikus, emiatt a szimmetriasíktól két irányban egyforma távolságra felvett profilok magassága különbözik (a 38. ábrán a **BE2** és **KI2** síkokban mérve számottevően), de a felületelemek e szempont szerint kijelölt párjain az élnyomok közel azonos magasságúak, szinte egymás tükörképei (39. ábra).



39. ábra: Körlapkával, $v_c = 300$ m/min és $f_z = 0,4$ mm/ford. beállításával mart felületek **IV** mérési pontjaiban mért és modellezett (elméleti) érdességi felületelemek

Azonban a körlapkával megmunkált felületeken a visszafutó élnyomok dominanciája látható, szemben az egyszeres élnyomokkal kialakított felületeken az előrefutó nyomok megjelenésével (33. ábra). Ennek hátterében az áll, hogy az először kialakult előrefutó barázdákat a maróél a további előtolómozgás során leforgácsolta. A másodlagos anyagleválasztás következtében a profilokon az élnyomok könnyebben felismerhetők. A barázdák magassága a szimmetriasíktól távolabb eső pontban mérve kisebb mértékben csökkent, egyúttal az a középsíkban kisebb, a szélső síkokban nagyobb lett (38. ábra), mint az egyszeres lenyomatú topográfiaikon (32. ábra). Továbbá a szimmetriasíktól két irányban egyforma távolságra felvett profilok és felületelemek nagyon hasonlóak és közel azonos magasságúak. A felületelemeken ugyanezen változások mellett a rövidebb előtolómozgással mart felületeknél, a barázdákon megfigyelt (lásd a 3.1.2. fejezetben) lokális csúcsok magassága megnövekedett a másodlagos anyagleválasztás következtében és közel egy szinten vannak az élnyomok szélein megjelenő csúcsokkal (33. és 39. ábra). Adott mérési

sík különböző pontjaiban felvett élnyomok alakja és magassága nagyobb mértékben változik, mint az egyszeres lenyomatú felületeken (31. ábra), mivel a – 3.1.2. fejezetben leírt – megmunkálásból eredő felületi hibák, karcnyomok a kettős lenyomatú topográfiákon gyakrabban és erőteljesebben jelentek meg.

- ***Kör alakú lapkával előállított felületek érdességének elméleti értékei***

Az elemzett 2D-s paraméterek elméleti értékei a kereszteződő élnyomok metszési jellegzetességeiből (lásd az 1.5. fejezetben) adódóan csökkentek, melynek mértéke különböző a mérési sík helyzete szerint: míg az eltérés a **KI2** síkban 0–9%-os, addig más síkokban 68–75% között ingadozik (2.19. és 4.15. melléklet). Az értékmegoszlásuk a másodlagos anyagleválasztás hatására nagymértékben, de nem trendszerűen változott meg. Ezek oka egyrészt a textúra középsíkhoz viszonyított aszimmetriája, másrészt a kiértékelt profilok változása az elméleti topográfia különböző mérési síkokkal való el metszésekor (8. és 38. ábra).

A 3D-s mérőszámok értékeinek változásai a fentitől eltérően jellemezhetők. Azok a másodlagos anyagleválasztás hatására egymáshoz képest különböző jellegűek (2.19. és 4.15. melléklet). Az S_z maximális egyenetlenség-magasság változatlan értékei azt jelzik, hogy a csúcs-völgy magasságkülönbség megmaradt az élnyomok ismételt el metszését követően. A szimmetriasíkban a fáziskülönbség (lásd az 1.5. fejezetben) okoz 31%-os csökkenést, ami a 39. ábrán az **S** síkban megjelenő textúrán jól látható. Azonban a topográfia alakja és a kiértékelésekor felvett középsík elhelyezkedése is megváltozott a metszésekből adódóan. Ezáltal az S_p értékei 18–23%-kal növekedtek; ugyanakkor az S_a értékei 39–66%-kal, az S_k értékei 60–75%-kal csökkentek. Az értékmegoszlás is változott a fáziskülönbség miatt.

- ***Kör alakú lapkával előállított felületek mért érdességi értékei***

A másodlagos anyagleválasztás hatására a felületek mért pontjaiban jellemzően 20%-on belül (maximum 40%-kal) csökkentek az érdességi értékek (2.13.-2.20. és 4.9.-4.16. melléklet). Azonban – a kisebb sebességgel mart felületeken, a magassági mérőszámoknál – gyakran előfordultak minimálisan (15%-on belüli) nagyobb értékek (4. melléklet), mint az egyszeres lenyomatú felületeken (2.13.-2.20. melléklet). Ez utóbbi változási jelleg oka a szerszámél visszafutó mozgására és forgácsolására megmaradó kis keresztmetszetű anyagréteg miatt a kedvezőtlen anyagleválasztási folyamat, aminek eredménye egy durvább megjelenésű, karcosabb felület (a 38-39. ábráknál leírtak szerint). Az értékmegoszlás számottevően megváltozott, a különböző felületeken másképpen. A 300 m/min forgácsolósebességgel és 0,2 mm/ford. fogankénti előtolással mart kettős lenyomatú topográfián az értékek változási jellege jobban hasonlít a homlokmart topográfia jellegzetességeire. A többi felületen ez jellemzően nem érvényes: legtöbbször jelentős nagyságúak lettek az értékváltozások előtolással párhuzamos irányban is (4.9.-4.16. melléklet).

A szerszámél visszafutó mozgásával történt forgácsolás eredményeként a felületeken a szimmetriasíkban mért értékek terjedelmei leggyakrabban hasonló mértékűek maradtak, de sok esetben előfordult 1,5–3-szoros növekedésük is: nagyságuk 10–58%-os (2.13.-2.20. és 4.9.-4.16. melléklet). A többi síkban is azok hasonló nagyságúak maradtak, de gyakran (többnyire a szerszámél előrefutását tekintve a munkadarab anyagából kilépéshez közelebb) a felére-negyedére csökkentek. E mérési síkokban a különbségek 6–62% között nagymértékben szóródnak. Ezek következtében a szimmetriasíkban az eltérések nagysága a síkok között jelentős, néhány esetben maximális.

A vizsgált felületek pontjaiban mért értékek terjedelme leggyakrabban közel azonos nagyságú maradt, azonban a százalékos arányuk – a kisebb értékek miatt – jellemzően növekedett.

A 2D-s paraméterek adott felületen azonos változási jelleget és hasonló terjedelem nagyságokat mutatnak, mint az elemzett 3D-s mérőszámok értékei (4.9.-4.16. melléklet). A

vizsgált magassági és funkcionális mérőszámok hasonlóan mutatják a felületek inhomogenitását.

Az értékek terjedelmeinek nagyobb mértékű szóródását és a megoszlási jellegük szabálytalanságát a 38-39. ábránál leírt jelentős – megmunkálásból eredő – topográfiai elváltozások okozzák.

- ***Kör alakú lapkával mart felületek elméleti és mért értékeinek összehasonlítása***

Az elemzett mérőszámokkal megadott érdesség mért és elméleti értékei közti különbségek jelentősen változnak a vizsgált felületeken. Az eltérések nagymértékűek a 200 m/min sebességgel mart felületnél (4.11. melléklet). A 2D-s mérőszámoknál a mért értékek 1–5-szöröse az R_a , R_z , R_p és 4–11-szerese az R_k esetén (különösen a **BE1** síkban). A nagymértékű különbségek oka a kiértékelte profilok változása az elméleti topográfia különböző mérési síkokkal való elmetszésekor (8. és 38. ábra). A 3D-s paramétereknél a mért értékek az elméleti párjuknak jellemzően fele-negyede, a 39. ábrán is látható különbségek miatt a mért és elméleti profilmagasságban.

A nagyobb sebességgel forgácsolt topográfián e különbségek leggyakrabban kisebb mértékűek, 1–3-szorosak (4.15. melléklet). Ugyanakkor előfordul, hogy a mért érdesség fele az elméleti értékeknek, továbbá 3–6,5-ször nagyobbak az R_k és S_k paramétereknél. Az utóbbi mérőszámok kiugróan magas mért értékeit a visszafutó élnyomok dominanciája okozza a topográfia kereszteződő lenyomatán (39. ábra).

- ***Megállapítások***

Megállapítottam, hogy a másodlagos anyagleválasztás következtében míg a mért értékek – gyakran jelentős mértékben, 15–40%-kal – csökkentek (ami összefügg az elméleti topográfia jellegzetességével), addig a terjedelmük különbözőképpen változott. A mérési síkokban leggyakrabban 1,5–6-szoros nagyságúak, jelentős (maximum 99%-os) mértékűek lettek, azonban gyakran 33–50%-os csökkenést is tapasztaltam – a változásoknak nincs trendje. Továbbá megváltozott a terjedelem nagyságok viszonya a síkok között: míg az egyszeres lenyomatú felületeken a szimmetriasíkban voltak minimálisak, a másodlagos anyagleválasztás hatására jelentős, vagy maximális mértékűek (7–58%-osak) lettek. Valamint hasonló mértékűek a szimmetriasíktól azonos távolságra eső síkokban a mért értékek különbségei.

A 2D-s paraméterek és azok 3D-s megfelelői hasonló változási jelleget és terjedelem nagyságokat mutattak adott felületen – az elméleti topográfia e jellemzőitől jelentősen eltérően. Közülük a redukált magzóna magasság (R_k és S_k) értékei változtak a legnagyobb mértékben (a mérési síkokban maximum 99%-kal és 119%-kal a felületeken). Kisebb különbségeket mutattak az R_z átlagos és az S_z maximális egyenetlenség-magasság paraméterek, amelyek legfeljebb 61%-os a síkokban és 104%-os a felületeken. Azokat követték az átlagos érdesség (R_a és S_a) síkokban mért legfeljebb 75%-os és a felületeken 99%-os terjedelmei, majd a maximális csúcsmagasság (R_p és S_p) értékeinek különbségei a síkokban (maximum 57%-os) és a felületeken (legfeljebb 98%-os).

3.4 Topográfiai jellemzők vizsgálati eredményeinek összegzése homlokmart felületeknél

Megállapítottam, hogy a topográfia szimmetriasíkjában az érdességi profilgörbéken, valamint a felületelemeken megjelenő élnyomok alakja közel azonos az egyenesvonalú szerszámmozgással megmunkált felületek ugyanezen jellemzőjével. A különbséget a felületeken leírt szerszámélpályák jelentik.

A vizsgálatok eredményeiben bemutattam, hogy a homlokmart felületen nem előtolás irányban vizsgált részein az érdességmagasság, valamint a mért magassági és funkcionális

érdességi értékek a várakozásoknak megfelelően különböznek, amelynek mértéke – a mérések helye szerint – jelentős lehet. Az érdességi értékek terjedelmei az előtolás irányával párhuzamos mérési síkokban 1,3–12-szer kisebbek a síkok közötti különbségekhez viszonyítva. Közülük is a szimmetriasíkokban minimálisak a változások. Az értékek a középsíkokban a legnagyobbak, amelyek attól mindkét irányban távolodva csökkennek és azonos távolságra hasonló nagyságúak (legfeljebb 15%-kal különböznek egymástól). A leírtak különösen az egyszeres lenyomatú topográfiaikon, valamint a négyzet alakú lapkával mart felületeken érvényesek. Azonban kettős lenyomat alkalmazásánál vannak esetek, amikor ezek nem állapíthatók meg. Ennek részeként az érdességi értékek különbségei az előtolás irányú mérési síkok közül gyakran a szimmetriasíkokban maximálisak.

A terjedelem nagyságokban is jelentős különbségeket tapasztaltam a vizsgált munkadarabokon. Azok a felületen mért értékek számtani átlagához viszonyítva, a mérési síkokban, egyszeres lenyomatú felületen 4–50%-osak, a kettős élnyomokkal rendelkező topográfiaikon 3–99%-osak voltak. Az eltérések a felületek szimmetriasíkkal elválasztott két oldalán is különböztek: közülük az egyenirányban mart topográfiaikon 2–3-szor nagyobbak, jelentős mértékűek (5–50% közöttiek) voltak.

Az előtolással párhuzamos irányú mérésekkel vizsgált 2D-s érdességi paraméterek értékei és azok 3D-s megfelelői legtöbbször közel azonos megoszlást és terjedelem nagyságot mutattak. Tehát a mart felületek inhomogenitása közel egyformán jellemezhető a vizsgált mérőszámokkal.

4. Mérési irány hatása

Egy adott megmunkált felület és a vele illeszkedő párja közötti különböző irányokban való elmozdulás sajátosságait befolyásolhatják a topográfia irányfüggő jellemzői, így az inhomogenitás is. Ezért ebben a fejezetben az előtolás irányával különböző nagyságú szöget bezáró mérési síkokban vizsgálom a mart felület inhomogenitásának nagyságát és jellegét.

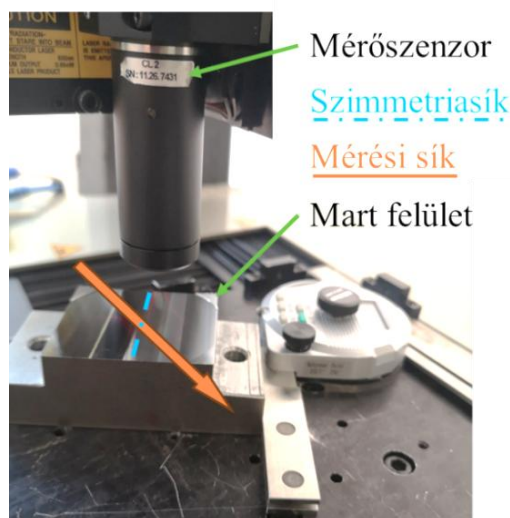
A mart felületen az élnyomok ismétlődésének periódusát az előtolómozgás határozza meg. Emiatt a topográfián egy előtolás irányú mérési sík bármely pontjában mért profilok és felületelemek tulajdonságai (alakja, magassága, szélessége, lejtése stb.) az elméleti topográfián azonosak, a valós esetben közel azonosak és az élnyomok szabályosan ismétlődők (ahogy a 3. fejezetben megállapításra került). Azt vizsgálom, hogy az előtolás irányától eltérő mérési irányt beállítva hogyan változnak e jellemzők, így a kiértékelt érdességi értékek is.

4.1 Az inhomogenitás irányfüggő változása

Ebben az alfejezetben azt vizsgálom, hogy az előtoláshoz képest eltérő irányokban (különböző irányszögeknél) milyen nagyságú és jellegű az inhomogenitás. Ennek megállapításához egy kísérleti úton elkészített felület elemzését végeztem el, amelynek eredményeit az alábbiakban ismertetem.

A 2.2. fejezetben ismertetett forgácsolási feltételeknek megfelelően egy ATORN marófejjel és benne egy nyolcszög alakú OCKX 0606-AD-TR lapkával (5. táblázat, **SZ2.2**) munkáltam meg egy 58 mm × 50 mm nagyságú síkfelületet. A szimmetrikus beállítású homlokmarásnál a forgácsolási adatok bázisértékeit ($v_c = 300$ m/min, $f_z = 0,4$ mm/ford., $a_p = 0,4$ mm és $a_e = 58$ mm) alkalmaztam (5. táblázat, **K1.4**). A szerszámél csak előrefutása során forgácsolt, egyszeres marónyomot kialakítva a felületen. A megmunkálást követően méréseket végeztem a topográfia érdességének meghatározásához (40. ábra). A 2D-s érdességi változás vizsgálatához a felületen definiáltam több mérési helyet a szimmetriasíkokban és a felület középpontjából (a 4. pontból) kijelölt három négyzetben, amelyek közül 7-7 pont az előtolás irányával szöget bezáró mérési síkokat jelöl ki (41. ábra, ahol a pontok a mért profilok középpontjait jelölik). Nagy görög betűkkel jelöltem a szimmetriasíkot (**A**) és az attól 15°-kal növekményesen elfordított mérési síkokat: **A** – 0°, **B** – 15°, **Γ** – 30°, **Δ** – 45°, **E** – 60°, **Z** – 75°, **H** – 90°. Ezenkívül felvettem másik két – kis görög betűvel jelzett – mérési síkot a szimmetriasíkra tükrözve: a **Γ** párja γ (-30°), és az **E** megfelelője ϵ (-60°). A 41. ábrán a mérési síkokon jelölt nyilak mutatják az érdességmérés irányát, valamint a mérési helyek növekvő sorrendjét is. Továbbá, a 3D-s érdességi vizsgálatához kijelöltem három helyen felületelemeket, amelyek középpontja a síkok 4. pontjában (**S**), valamint a szimmetriasíktól kétoldalt egyformán 20 mm távolságra eltolt helyzetben található (**BE** és **KI**), a 41. ábrán zöld színnel kiemelve. Valamennyi profil elemzése során a vonatkozó szabványban [13] megadott 4 mm kiértékelési hosszt, a felületelemek esetén 4 mm × 4 mm kiértékelési területet és egységesen 0,8 mm vágási hosszt alkalmaztam (6. táblázat, **M2.1**).

A mérési irány hatásának elemzéséhez összegyűjtöttem a vizsgált R_a , R_z , R_p és R_k érdességi paramétereknek a síkokban mért értékeit az 5.1. mellékletben, a mérési irány és hely szerint rendezve. Ugyanitt megadtam az egyes síkokban (adott irányszögben) az értékterjedelmek nagyságát (ΔR) és százalékos értékét a síkban mért értékek számtani átlagának arányában ($\Delta R/\bar{R}$). A felületelemeken kiértékelt S_a , S_z , S_p és S_k mérőszámok értékeit, továbbá a különbségeinek nagyságát (ΔR) és a 0° irányszögben mért értékkel képzett arányát ($\Delta R/R(0^\circ)$) megadtam az 5.2. mellékletben a fő mérési irány szerint rendezve. Az 5.3. mellékletben látható a három felületelem 0°-os, 30°-os, 60°-os és 90°-os irányszögben mérve.



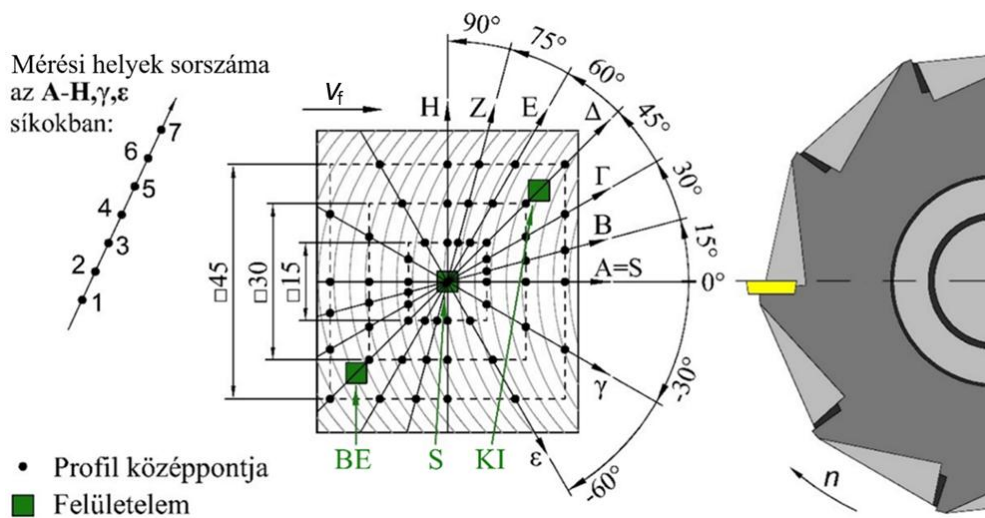
40. ábra: Mérési irány beállítása az érdességméréshez

Valamennyi mérési irányban az R_a és R_k , valamint az R_z és R_p értékei páronként közel azonos változási jelleget mutatnak (5.1. melléklet), így a 42. ábrán az R_a és R_z értékeit és azok síkbeli megoszlását ábrázolom pontdiagramokon.

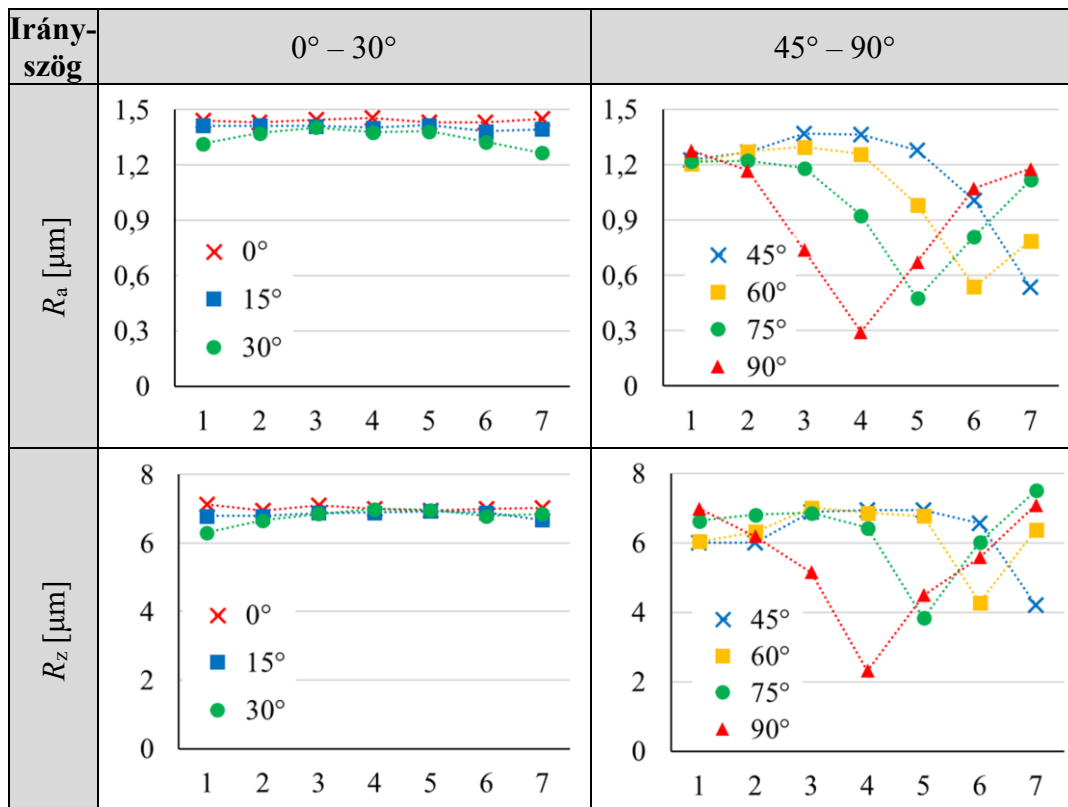
Az előtolás irányú **A** (0° szögű) síkban szinte ugyanakkora értékeket mértem három paraméternél (1,6–2,8%-os eltéréssel), de az R_p esetében kismértékű az 5,9%-os különbség is (5.1. melléklet). A 15° -kal elfordított **B** síkban a mérőszámok értékei közel azonosak az **A** sík értékeivel (azoktól elhanyagolhatóan kisebbek), és a 2,3–4,5%-ra (R_p -nél 9,1%-ra) növekedett értékterjedelmek ugyanúgy kismértékűek. E két síkban a mért értékek véletlenszerűen változnak (42. ábra).

A 30° -os **Γ** síkban a mért értékek enyhén (0–18%-kal) kisebbek az **A** és **B** síkbeli értékektől (5.1. melléklet). A különbségük nagysága kismértékű, 8,6–11,6%-os. Az értékek maximálisak a **4.** (a szimmetriasíkon elhelyezett) mérési helyen és attól kétirányban távolodva csökkenők.

A 45° -os **Δ** mérési síkban a különböző érdességi mérőszámok értékeinek terjedelme jelentős (44–95%-os) és nagymértékben (10–45,2-szeresére) megnövekedett az **A** sík ezen jellemzőjéhez képest (5.1. melléklet). Míg a különbségek a sík **1–5.** pontjai között kismértékűek (12–26%-os), addig a **5.** ponttól távolodva (a **6–7.** pontokban) egyre nagyobbak.

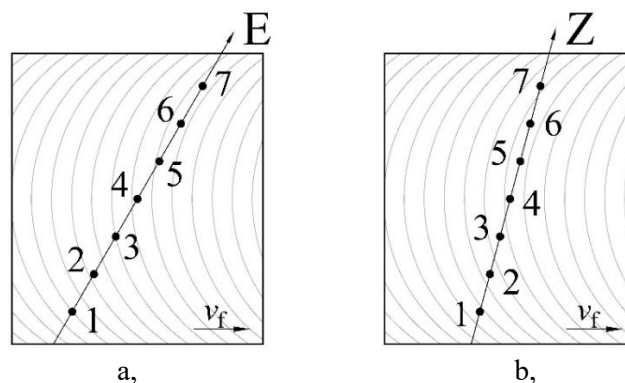


41. ábra: Mérési síkok és pontok pozíciója a felületen (az élnyomok illusztrációk)



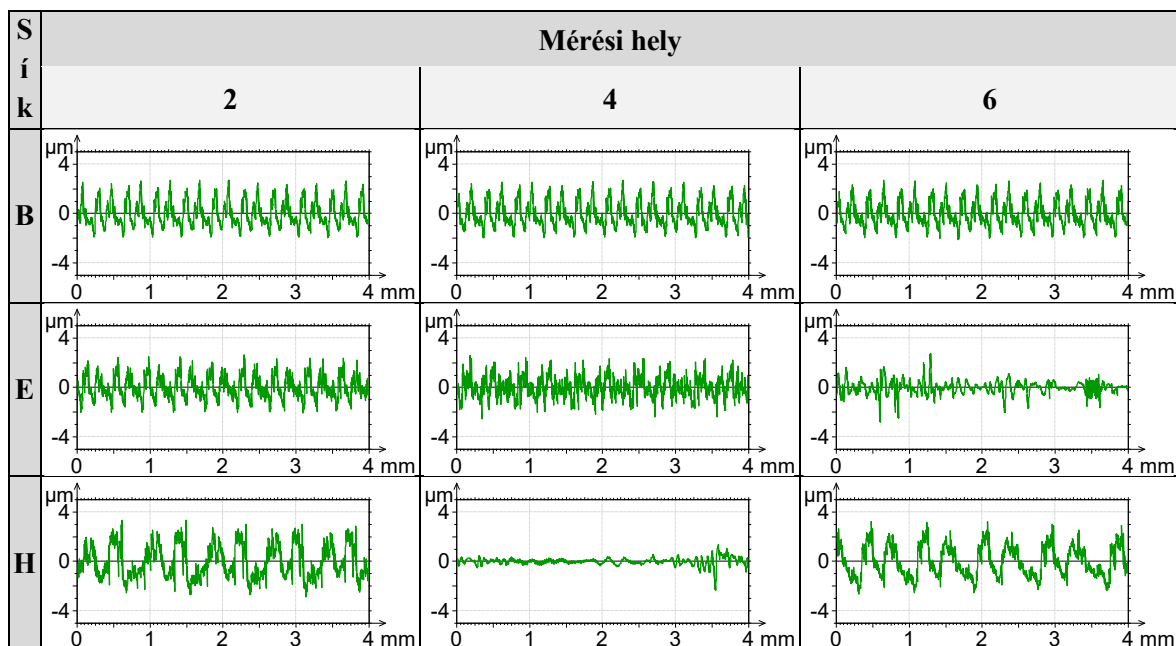
42. ábra: Mért R_a és R_z értékei a vizsgálati síkokban, a mérési pontok szerint rendezve

A 60°-kal, 75°-kal és a 90°-kal elfordított **E**, **Z** és **H** síkokban a paraméter értékek változási jellege azonos, ezért ezeket összevontan elemzem (5.1. melléklet). A terjedelmük nagymértékű: a Δ síkhoz viszonyítva az **E** síkban hasonló (44–92%-os), de a **Z** és a **H** síkban nagyobb, 58–126%-os. Az értékek megoszlása – a Δ síkot beleértve – szabályosságot követ (42. ábra). Amelyik mérési helyen egy adott sík a legközelebb áll a szerszámélnyomhoz képesti tangenciális helyzethez (a 43. ábrán illusztrálva), ott az érdességi profil a legkisebb magasságú, a legszélesebb profilelemet tartalmazza, valamint a vizsgált paraméterek értékei minimálisak (lásd a 44. ábrán az **E6** és a **H4** helyen mért profilokat). Az értékek attól két irányban távolodva növekednek. Ez az érintő helyzet az egyes mérési síkok esetén a felület különböző pontjaiban található – az egymást követő síkokban 1-1 mérési hellyel eltolva.



43. ábra: Az élnyomok és az előtolás iránytól 60°-kal (a), valamint 75°-kal (b) elfordított mérési sík elhelyezkedése a homlokmarat felületen (az élnyomok illusztrációk)

A **H** sík helyzete merőleges az előtolás (a ciklois élnyomok ismétlődésének) irányára, ahol a szimmetriasíkra tükrözött mérési helyeken felvett elméleti profilok egymásnak közelítőleg tükörképei és az érdességi paraméterek elméleti értékei közel azonosak (lásd a 3.1.3. fejezetben).



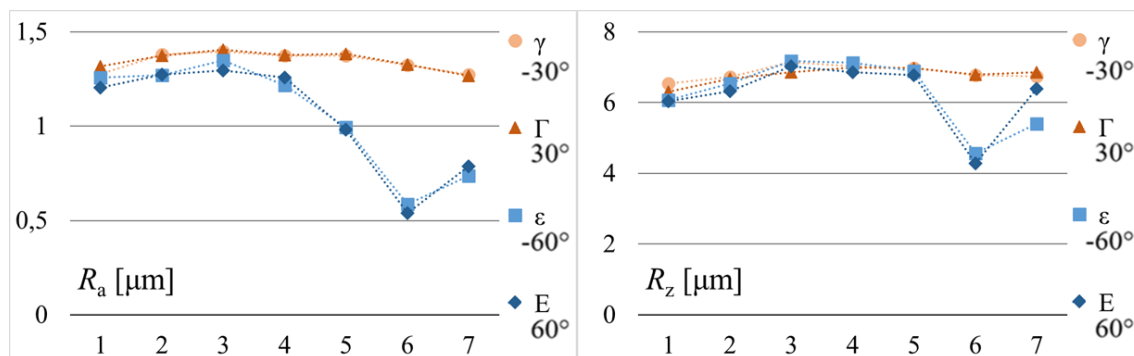
44. ábra: A B, E és H síkok 2, 4, 6 pontjaiban mért érdességi profilgörbék

Ez alapján elemzem a vizsgált felületen a szimmetrikus mérési pontpárok értékei közötti különbségeket kivonással a 13. táblázatban összegyűjtve, valamint azok százalékos nagyságát a síkbeli értékek számtani átlagának arányában (5.1. melléklet). Az itt szereplő pozitív értékek az mutatják, hogy többnyire az 1–3. mérési helyen nagyobbak az érdességi értékek, minimális (13% alatti) különbségek mellett. A szimmetriasíkon túl forgácsolt felületrészen (ide tartozik a H sík 6. pontja) az élnyomok oldalai simábbak. A különbségek oka egyrészt az elméleti topográfiára jellemző ciklois ívű élnyomok aszimmetriája a felületi középsíkra. Emellett jelentős szerepet játszanak a lapkára ható forgácsolóerők változásai is: fordulatonként a szerszámél munkadarab anyagba belépésekor az erő hirtelen megnő, majd – a forgács-keresztmetszet szimmetriasíkjáig történő fokozatos növekedésével – tovább emelkedik, ezt követően pedig csökken. Másrészt a forgácsolás során keletkező hő szintén befolyásolja a felület érdességét: a szerszámél forgácsoló útja során a hőmérséklet emelkedik, ami a munkadarab anyagának képlékenységet növeli, így a nyírás könnyebben megy végbe. Ezzel együtt a mellékél simító hatása is kedvezőbben érvényesül, ami hozzájárul a keletkező felület minőségének javulásához [134].

13. táblázat: A H síkban, a 4. pontra szimmetrikus párokban a mért értékek közötti különbségek (pozitív, ha az 1, 2, 3. pontokban nagyobb)

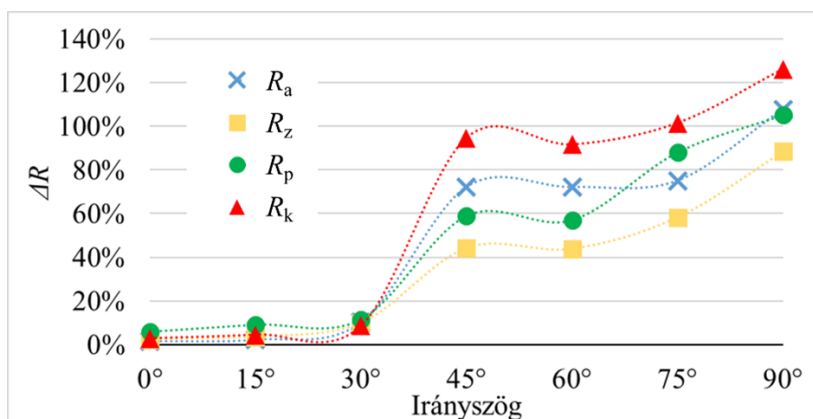
Pontpárok:	1–7	2–6	3–5
ΔR_a [μm]	0,10	0,10	0,07
ΔR_z [μm]	-0,11	0,61	0,66
ΔR_p [μm]	-0,26	0,24	0,38
ΔR_k [μm]	0,06	0,07	-0,12
Eltérés [%]	8,9–10,9	2,6–11,3	4,4–13,0

A felületen felvett, tükrözött Γ – γ és E– ϵ síkpárokban mért értékek elemzésével a célom a szimmetriasíkra szimmetrikus felületrészek érdességi jellemzőinek eltéréseit megállapítani. Az ilyen értékpárok (5.1. melléklet) összehasonlítása alapján azt tapasztaltam, hogy a szimmetriasík két oldalán, azonos távolságban elhelyezkedő mérési helyeken páronként legtöbbször közel azonosak az értékek, a Γ – γ síkok közt 6,3% alatti és az E– ϵ esetében 10%-on belüli különbségek mellett. A síkpárokban a vizsgált paraméterek értékmegoszlása azonos, amelyek közül az R_a és az R_z értékeit ábrázolom a 45. ábrán, a mérési síkok és pontok szerint rendszerezve.



45. ábra: Az R_a és R_z mérőszámok értékei az γ , Γ , ϵ , E síkokban (az irányszögekkel jelezve), a mérési pontok szerint rendezve

A vizsgált paramétereknél egyformán megfigyeltem, hogy a mérési sík előtolás iránnyal bezárt szögének (az irányszög) 0° -tól 90° -ig növelésével a terjedelmek nagysága növekedett, az elhanyagolható szinttől 126%-ra (5.1. melléklet). Ennek jellege nem lineáris, ahogy az a 46. ábrán látható a méréssel vizsgált felületnagyságra vonatkozóan. A paraméterek értékváltozási jellege valamennyi síkban jól követi a mérési sík és az élnyomok metszésének jellegzetességét, azaz a marónyomokra a sík tangenciális helyzetét közelítve az értékek csökkennek.

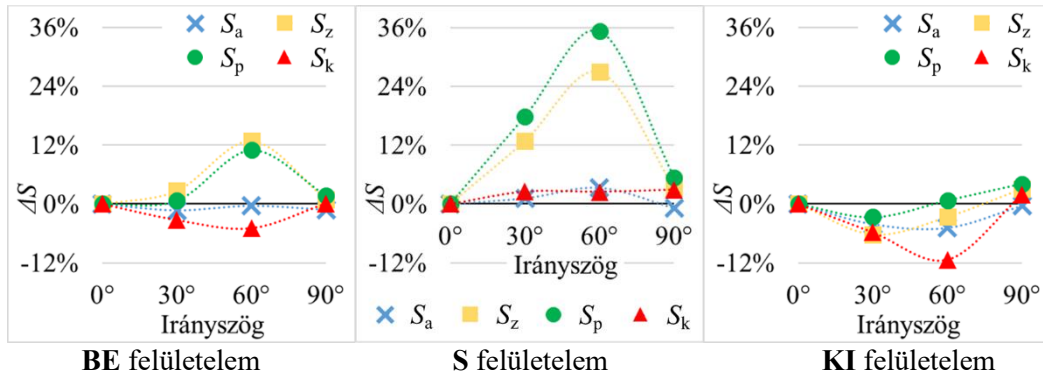


46. ábra: A vizsgált 2D-s mérőszámok értékváltozásainak nagysága az irányszög függvényében

Azonban a mért felületelemek 3D-s érdességi értékein a mérési irány (a mért terület) változtatásának – az irányszög növelésének – minimális hatása van az S_a , illetve kismértékű az S_k paraméter értékeire: azok 5%-on, valamint 13,3%-on belül térnek el (5.2. melléklet, 47. ábra). Az S_z és az S_p értékei között jelentősebb (7–35%-os) különbségek figyelhetők meg, amelyek az elemzett mérőszámok közül a csúcsok magasságának és a völgyek mélységének változásait nagyobb érzékenységgel mutatják. Ennek okai a fő és az arra merőleges mérési irányban mért – felületelemet alkotó – pontok közötti eltérő távolságok ($1\ \mu\text{m}$ és $10\ \mu\text{m}$), amik befolyásolták az élnyomok kirajzolódásának részletességét, ezen belül annak tényleges (legmagasabb) csúcs- és (legmélyebb) völgypontjainak közelítési pontosságát (5. melléklet). Tehát a mérés irányának gyakorlatilag nincs hatása a 3D-s mérés eredményére a vizsgált érdességi mérőszámok tekintetében, a lenyomat fő irányát leszámítva.

Az elvégzett vizsgálatok azt mutatták, hogy az előtolás irányától eltérő kis irányszögben a mért értékek terjedelme kismértékű (legfeljebb 12%-os), így ez irányokban a topográfia érdességi jellemzői közel azonosak a felületen különböző helyeken. E szög nagysága a vizsgálatban alkalmazott kísérleti körülmények és az elemzett felületnagyság esetén 0° – 30° -os. Azonban a nagy (45° – 90° -os) irányszögű mérési irányokban jelentős (a magassági mérőszámoknál maximum 108%-os, a funkcionális paraméterek esetén legfeljebb 126%-os) különbségeket mértem. Az értékek megoszlása a síkokon belül külön-külön közel azonos volt, de e két csoport között jelentősen eltértek. Megállapítottam továbbá, hogy az előtolásra

merőleges irányban, valamint az azonos szögű síkpárokban a szimmetriasíkra tükrözött mérési helyek értékei közötti különbségek kismértékűek, 13%-on belüliek. Tehát adott elfordítási irányban a szimmetriasíkra közel szimmetrikusak az érdességi jellemzők. Azonban míg a mérési irány elfordítási szöge a 2D-s mérőszámok értékeinek és eltéréseinek nagyságát nagymértékben befolyásolja, addig a 3D-s értékeket nem változtatja meg.

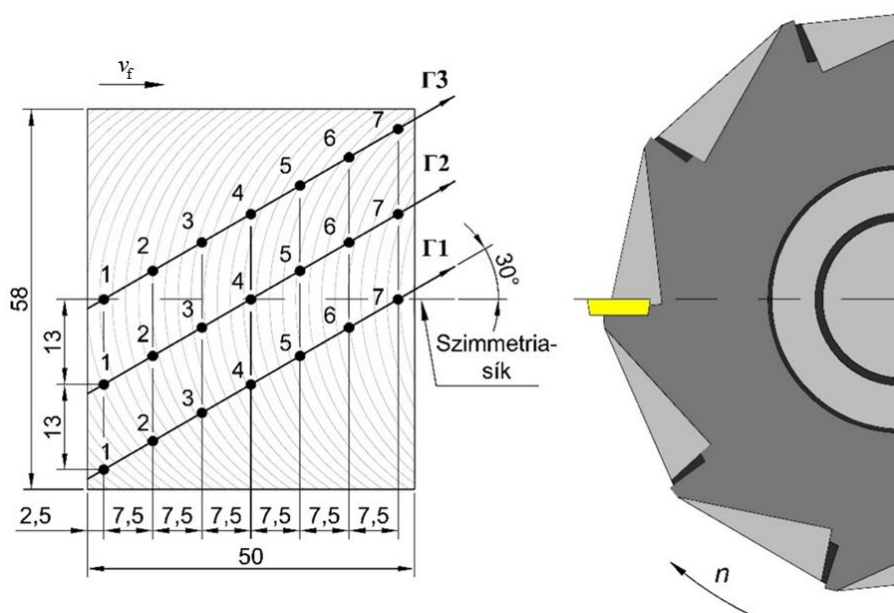


47. ábra: A felületelemek 3D-s értékeinek változási aránya a 0° irányszögben mért értékhez képest

4.2 Inhomogenitás vizsgálata elfordított párhuzamos síkokban

Ebben a fejezetben a mart felület inhomogenitását elemzem úgy, hogy az előtolástól eltérő irányban felvett több, párhuzamosan eltolított mérési síkokat is vizsgálom.

A 4.1. fejezetben bemutatott mart felületen a topográfia érdességét az előtolás irányától 30°-kal elfordított mérési irányban is vizsgáltam. Az ez irányban rögzített, a 41. ábrán korábban ismertetett Γ (a 48. ábrán Γ_2) sík mellett felvettem másik két azzal párhuzamos, függőlegesen 13 mm-rel eltolított síkot a felületnek a szerszámél munkadarab anyagába be- (Γ_1) és kilépő (Γ_3) oldalán (48. ábra). Azokra 7-7 mérési pontot illesztettem, amelyek a síkokon azonos vízszintes pozíciókba esnek és a mért profilok középpontját jelzik. A mérési eredmények kiértékelésekor az ISO 4288 szabvány [131] előírásának megfelelően 4 mm kiértékelési- és 0,8 mm vágási hosszt állítottam be (6. táblázat, **M2.2**).



48. ábra: Mérési síkok és pontok helyzetei a mart felületen (az élnyomok illusztrációk)

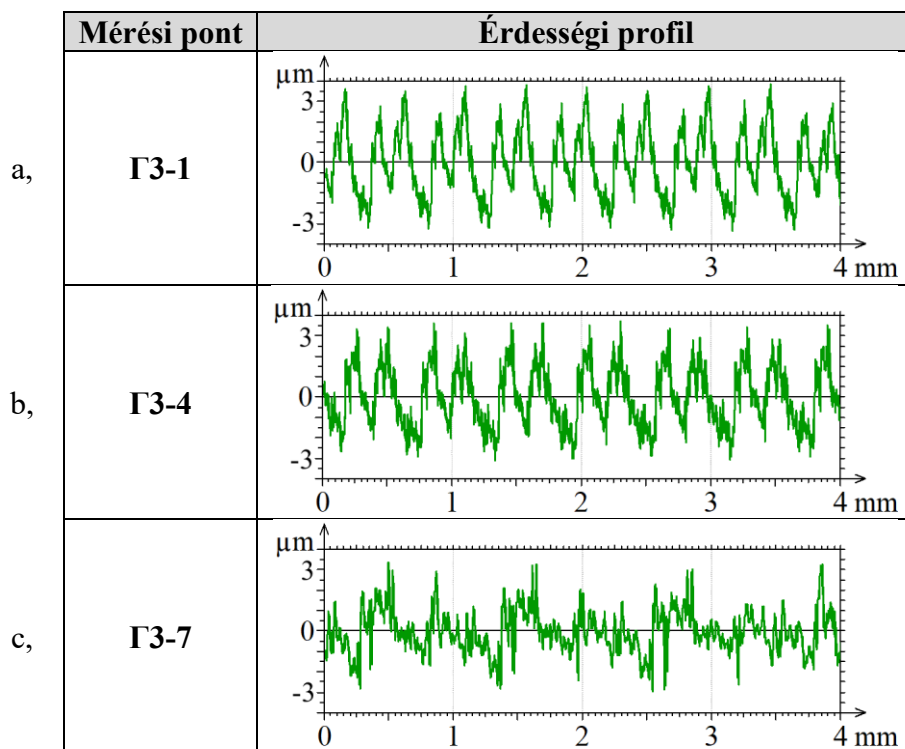
A 14. táblázatban összefoglaltam a kijelölt pontokban mért és kiértékelte R_a , R_z , R_p és R_k paraméterek értékeit. Az elemzéshez a táblázatban megadtam az adott síkban mért értékek

terjedelem nagyságát (ΔR), illetve a 21 mérési hely értékeinek számtani átlagával képzett százalékos arányát ($\Delta R/\bar{R}$). A következőkben a $\Gamma i-k$ jelölés az i . mérési sík k . pontját jelenti.

14. táblázat: Érdességi értékek a párhuzamos mérési síkokban

Pm.	Mér.sík	1	2	3	4	5	6	7	ΔR	$\Delta R/\bar{R}$
R_a [μm]	$\Gamma 3$	1,38	1,38	1,31	1,23	1,18	1,02	0,80	0,58	48,7%
	$\Gamma 2$	1,32	1,37	1,40	1,38	1,38	1,33	1,27	0,14	10,2%
	$\Gamma 1$	1,33	1,24	1,27	1,30	1,36	1,39	1,39	0,15	11,6%
R_z [μm]	$\Gamma 3$	7,17	6,93	6,68	6,67	6,78	6,35	5,85	1,32	20,0%
	$\Gamma 2$	6,31	6,67	6,85	6,99	6,97	6,79	6,86	0,68	10,0%
	$\Gamma 1$	6,09	5,70	5,48	6,09	6,62	6,82	6,94	1,45	23,3%
R_p [μm]	$\Gamma 3$	3,88	3,69	3,49	3,61	3,78	3,48	3,29	0,60	16,5%
	$\Gamma 2$	3,35	3,61	3,67	3,77	3,76	3,58	3,75	0,42	11,6%
	$\Gamma 1$	3,24	2,98	2,80	3,19	3,61	3,72	3,72	0,93	27,9%
R_k [μm]	$\Gamma 3$	5,06	5,14	4,81	4,37	4,10	3,14	2,36	2,78	67,2%
	$\Gamma 2$	4,64	4,82	4,91	5,06	5,02	4,90	4,72	0,42	8,6%
	$\Gamma 1$	4,55	4,25	4,51	4,50	4,80	4,96	4,90	0,71	15,2%

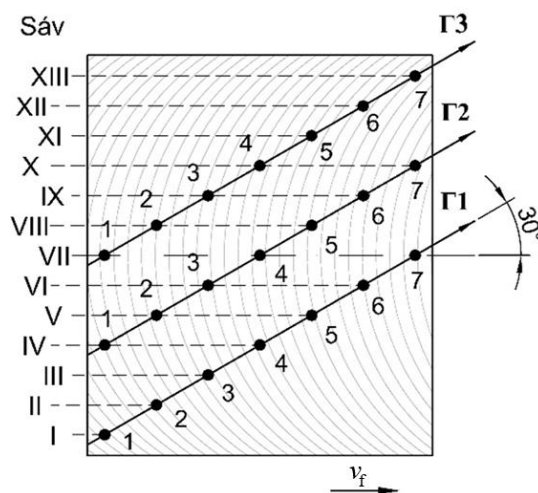
A mérési síkok közül az értékterjedelem kismértékű a középső $\Gamma 2$ -ben (9–12%-os) és nem számottevő a szerszámél munkadarab anyagba belépő oldalán (12–28%-os a $\Gamma 1$ síkban), de jelentős (17–67%-os) a szerszámmal a szimmetriasíkon túl forgácsolt felületrészen felvett $\Gamma 3$ síkban (14. táblázat). Ez utóbbit a $\Gamma 3-7$ pontban mért kiugróan alacsony értékek okozzák (a síkban és a felületen is), ahol a mérési sík a leginkább tangenciális helyzetű az elmetszett élnyomokra (a 48. ábrán illusztrálva). A $\Gamma 3$ síkban a 7. pont felé az értékcsökkenés intenzívebb az R_a és R_k paramétereknél, mint az R_z és R_p esetén, ami mögött az áll, hogy a profilmagasság csökkenése mellett a profilelemek jobban rásimulnak a középvonalra (49. ábra). Ugyanez magyarázza azt, hogy a felületen felvett 21 mérési helyen mért értékek terjedelme az R_a (46,6%) és az R_k (61,2%) paramétereknél nagyobb mértékű, mint az R_z (25,8%) és az R_p (30,9%) mérőszámoknál.



49. ábra: A $\Gamma 3-1$, $\Gamma 3-4$ és $\Gamma 3-7$ helyeken mért érdességi profilgörbék

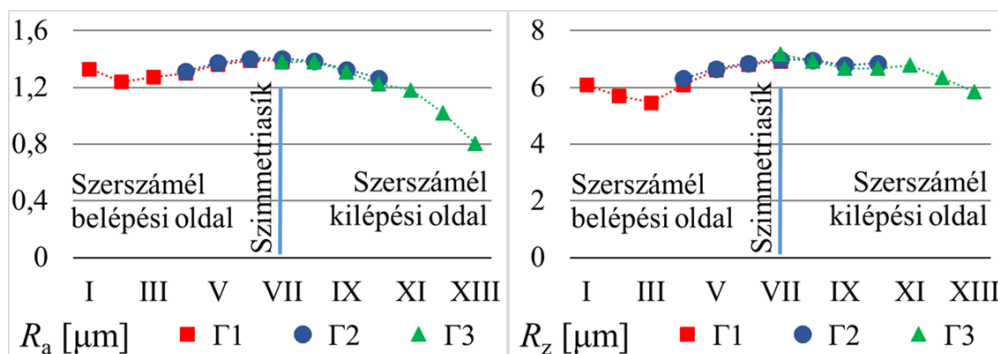
A továbbiakban a mérési pontokat csoportosítom. 13 sávot (I–XIII) értelmezek a szimmetriasíktól mért távolságuk és helyzetük alapján (50. ábra). Ezek számozása követi a szerszámél forgácsolóútját, vagyis a nagyobb értékű sávot az él később érinti az előrefutása során. Mivel – a 14. táblázatban látható értékek alapján – az R_a és R_k , valamint az R_z és R_p paraméterek páronként azonos (egymástól kismértékben különböző) változási jelet mutatnak, ezért közülük az R_a és az R_z mérőszámok érdekességi értékeit ábrázolom az 51. ábrán a sávok szerint rendezve. Az egyes sávokba befoglalt pontok:

I. sáv:	$\Gamma 1-1$	VI. sáv:	$\Gamma 1-6, \Gamma 2-3$	XI. sáv:	$\Gamma 3-5$
II. sáv:	$\Gamma 1-2$	VII. sáv:	$\Gamma 1-7, \Gamma 2-4, \Gamma 3-1$	XII. sáv:	$\Gamma 3-6$
III. sáv:	$\Gamma 1-3$	VIII. sáv:	$\Gamma 2-5, \Gamma 3-2$	XIII. sáv:	$\Gamma 3-7$
IV. sáv:	$\Gamma 1-4, \Gamma 2-1$	IX. sáv:	$\Gamma 2-6, \Gamma 3-3$		
V. sáv:	$\Gamma 1-5, \Gamma 2-2$	X. sáv:	$\Gamma 2-7, \Gamma 3-4$		



50. ábra: Mérési pontok hozzárendelése a sávokhoz (az élnyomok illusztrációk)

Az 51. ábrán a diagramokon látható, hogy a szimmetriasíktól egyforma távolságra és irányban lévő – adott sávba eső, de különböző síkon értelmezett – mérési helyek értékei közel azonosak. Ez a jelleg azonos a 3. fejezetben az előtolás irányban mért érdekességi profilok esetében megállapítottakkal. A szerszámél haladását követve, az érdekességi értékek kezdeti kismértékű (legfeljebb 14%-os) csökkenése után a szimmetriasíktól (VII. sáv) növekedésük látható, azontúl fokozatos csökkenésük (a legnagyobb eltéréssel) jellemző. E változási jelleg mögött a homlokmarat topográfián az élnyomok helyzetfüggő magasságkülönbségei, valamint a marónyomok mérési síkokkal történő metszésének jellegzetessége áll (ez utóbbi az I–II. és a XI–XIII. sávokban domináns).



51. ábra: R_a és R_z paraméterek értékei a sávok (a szimmetriasíkhhoz viszonyított helyzet) szerint rendezve

Megállapítottam, hogy előtolástól eltérő mérési irányban, adott pozícióban mért érdességi értékeket alapvetően meghatározza a profil szimmetriasíktól felvett távolsága és helyzete a felületen. Tehát a vizsgálatban bemutatott módszerrel, az elemzett felület funkcionális jellemzői alapján kijelölt mérési irányban, több párhuzamos mérési sík együttes alkalmazásával a teljes felületre jellemző értékek mérhetők.

4.3 A mérési irány hatásának összefoglalása

Megállapítottam, hogy ha a homlokmart felület működés közben az érintkező párjától előtolás vagy attól legfeljebb egy beállításoktól függő szögű (a vizsgálatoknál 30°) irányban mozdul el, akkor a vonalmenti (2D-s) érdességi jellemzői közel azonosak maradnak (legfeljebb 12%-kal térnek el), azonban ennél nagyobb, maximum 90° -os irányszög beállítása esetén jelentősen változnak (44–126%-osan). A topográfia 3D-s érdességi tulajdonságaira a mérési iránynak nincs hatása.

Megállapítottam, hogy az egyszeres lenyomatú homlokmart topográfián a szimmetriasíkkal elválasztott két felületrész – a ciklois élnyomok okozta – aszimmetriájának kis mértéke (13%-on belül) nemcsak előtolással párhuzamos, hanem attól eltérő mérési irányok alkalmazása esetén is érvényes.

Megállapítottam továbbá, hogy az előtolási sebesség vektorral adott szöget bezáró mérési irányban is az érdesség értékét a mérési hely szimmetriasíktól mért távolsága és helyzete határozza meg. Emiatt több párhuzamos mérési síkkal lehetőség van egységesen jellemezni a topográfia érdességét és az értékek eltéréseit, ezáltal a felületet minél nagyobb kiterjedésben vizsgálni.

5. A szerszám és a munkadarab geometriájának hatása

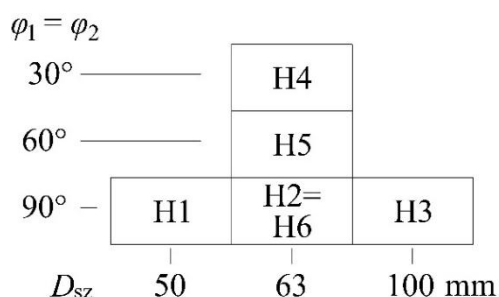
A homlokmarat topográfia kialakulásában meghatározó a szerszám élgeometria, valamint a szerszám és a munkadarab geometriája. Befolyásolják a felület érdességét, illetve megváltoztathatják az eltérésük nagyságát és jellegét a különböző mérési helyek között. Ebben a fejezetben a topográfiai inhomogenitás változását vizsgálom, amely a homlokmaráshoz alkalmazott szerszámátmérő és élgeometria, valamint a megmunkálandó felület szélesség változtatásának hatására bekövetkezik.

5.1 A szerszám névleges átmérőjének és a mart felület szélességének hatása

A homlokmarat topográfián különböző helyeken mért érdességi értékek változásának mértékét a szimmetriasíktól mért távolság függvényében jelentősen befolyásolja a szerszámátmérő, de a megmunkálandó felület mérete is módosíthatja. Ezek hatását vizsgálom a topográfia inhomogenitásának nagyságára és jellegére.

5.1.1 Névleges szerszámátmérő hatása

A névleges szerszámátmérő változtatásának hatását kísérleti úton előállított felületeken vizsgáltam a mart topográfia inhomogenitására. Ehhez háromféle Tungaloy gyártmányú szerszámot alkalmaztam (4. táblázat, **SZ3-5**), amelyeken azonos a lapkafészek kialakítás és a szerelt forgácsolólapka, de különböznek a névleges átmérőben: $\varnothing 50$ mm, $\varnothing 63$ mm és $\varnothing 100$ mm (52-53. ábrák). A C45 anyagminőségű acélhasábokon 50 mm hosszú és 100 mm széles felületet készítettem elő. A H1-H3 jelű (52. ábra) síkfelületek szimmetrikus beállítású megmunkálásakor a forgácsolási adatok bázisértékeit ($v_c = 300$ m/min, $a_p = 0,4$ mm, $f_z = 0,4$ mm/ford.) és a névleges szerszámátmérővel megegyező fogásszélességet ($a_e = D_{sz}$) alkalmaztam (5. táblázat, **K4.1-4.3**).

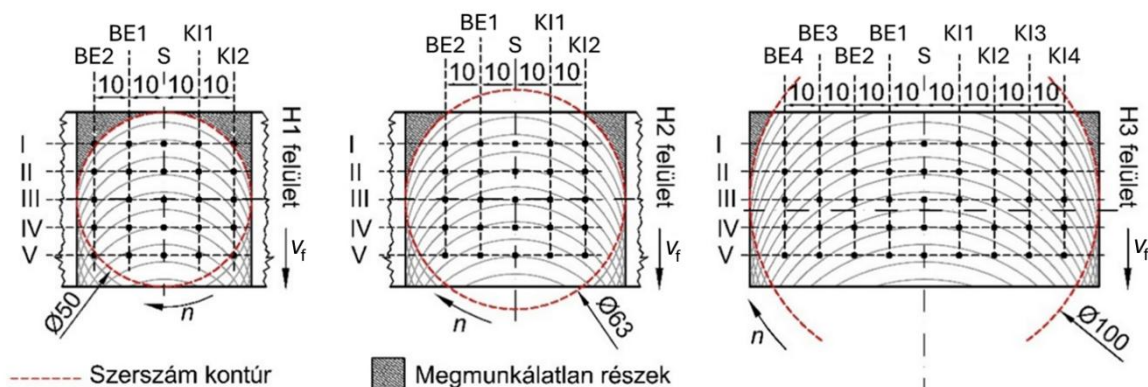


Felület	a_e [mm]	Mérési síkok száma
H1	50	5
H2 = H6	63	5
H3	100	9
H4	31,5	3
H5	54,56	5

52. ábra: A geometriai adatok beállított értékei és a vizsgált felületek kódja

A mart felületeken egyszeres élnyomokat alakítottam ki úgy, hogy a munkadarab beállított előtolómozgása az első forgácsleválasztástól a szerszám tengely és a felület középpontjának egybeeséséig (szimmetriapontjáig) tartott, azt követően a marófejet kiemelttem a fogásból (lásd a 2.2. fejezetben). Emiatt a felületeken a fogásszélességen belül két sarokban maradt ráhagyás (az 53. ábrán jelölt „megmunkálatlan részek”), a másik két sarokban a szerszám a visszafutó mozgása során másodszor forgácsolta a topográfiát, megváltoztatva ott a textúrát (53. ábra). Az ilyen felületrészek felvett mérési helyeken a mért profilok nem az egyszeres lenyomatú mart topográfiát képviselik, emiatt – a H1 felületen – az ide eső mérési helyeken nem tüntetek fel értékeket a táblázatban (6.1. melléklet) és a térképdiagramokon (54. ábra). Az 53. ábrán rajzolt élnyomok csak illusztrációk.

A megmunkálásokat követően megmértem a felületek 2D-s érdességét előtolással párhuzamos irányú (**BE**, **S** és **KI** jelű) mérési síkokban felvett, római számmal jelölt helyeken (53. ábra), az **M1.2-M1.4** (6. táblázat) beállításokat alkalmazva. Az ábrán a pontok



53. ábra: Különböző átmérőjű szerszámmal megmunkált felületek, a mérési síkok és pontok

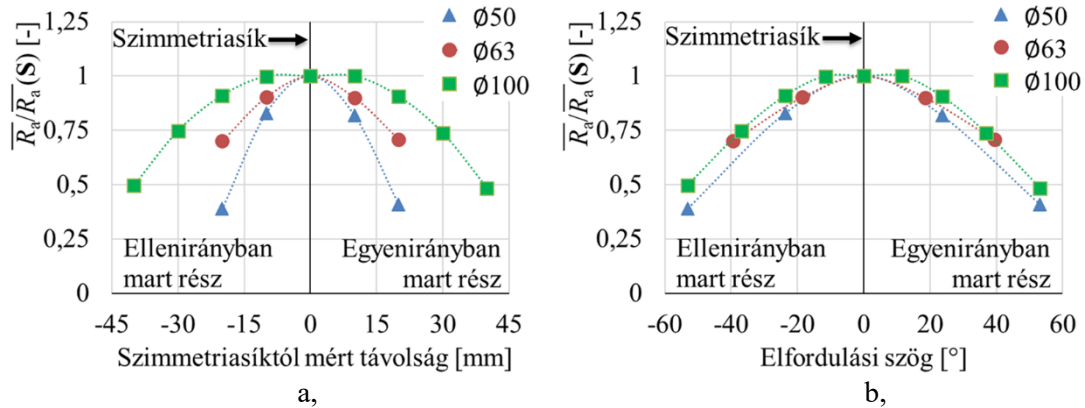
a mért profilok középpontját jelölik. A középső sík a szimmetriasíkkal azonos (S). A többi felvett párhuzamos, eltolt sík – a korábbi vizsgálatokban alkalmazott mérési rendszerrel azonos módon – egymástól 10-10 mm-re helyezkedik el. Azok számát (3, 5 vagy 9 darab) a mart felület szélessége határozta meg (52-53. ábrák). A profilok kiértékelésével kapott magassági R_a , R_z , R_p és funkcionális R_k mérőszámok értékei a 6.1. mellékletben táblázatokban találhatóak. A szerszámátmérő változtatásánál tapasztalt nagymértékű értékkülönbségek miatt az 54. ábrán a megoszlásokat mutató diagramokon az értékeknek a felületen mért eredmények számtani átlagával képzett arányát, illetve (felülvonással jelölve) ez utóbbi értékét adom meg.

D_{sz} [mm]	$R_a/\overline{R_a}$ [-]	$R_z/\overline{R_z}$ [-]	$R_p/\overline{R_p}$ [-]	$R_k/\overline{R_k}$ [-]
50	$\overline{R_a} = 0,20 \mu m$ 	$\overline{R_z} = 0,96 \mu m$ 	$\overline{R_p} = 0,57 \mu m$ 	$\overline{R_k} = 0,56 \mu m$
63	$\overline{R_a} = 1,04 \mu m$ 	$\overline{R_z} = 4,81 \mu m$ 	$\overline{R_p} = 2,69 \mu m$ 	$\overline{R_k} = 3,41 \mu m$
100	$\overline{R_a} = 1,96 \mu m$ 	$\overline{R_z} = 7,79 \mu m$ 	$\overline{R_p} = 4,72 \mu m$ 	$\overline{R_k} = 5,04 \mu m$

54. ábra: A háromféle átmérőjű szerszámmal mart felületen a mért értékek megoszlása

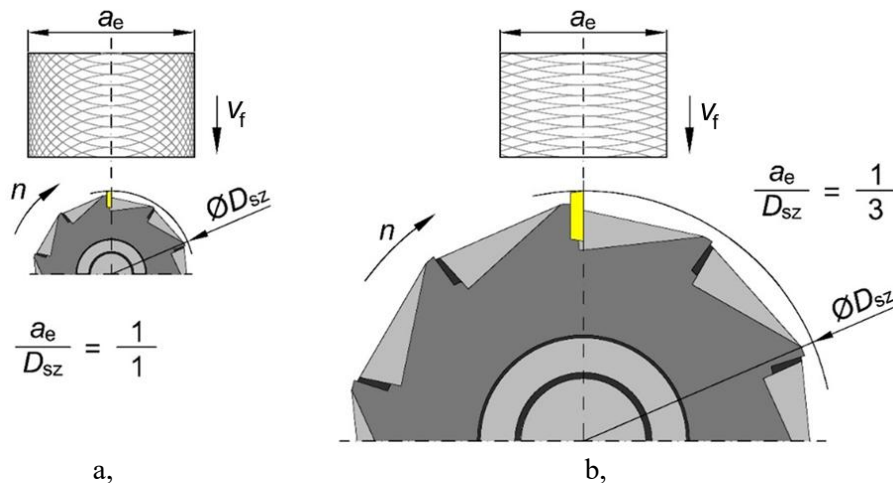
A szerszámátmérő változtatásakor egyformán a szimmetriasíkokban maximálisak az érdességi értékek (6.1. melléklet). A minimális értékek helye jellemzően a szélső mérési síkok között változott, elhanyagolható különbségek mellett. A felületeken a szimmetriasíktól

távolodva monoton csökkentek az értékek, két oldalt hasonló mértékben (54-55. ábra). A síkokban mért értékek a középsíkban (S) közel azonosak (2–10%-kal különböznek), de a terjedelmük másutt is kismértékű (1–15%-os). Nagyságuk adott helyen a szerszámméret, illetve a szimmetriasíktól mért távolság változtatásával szór, a változásuknak nincs szabályos jellege. Az előtolás irányára merőlegesen rendezett pontsorokban (az azonos római számú mérési helyeket egybevéve) a különbségek nagymértékűek (40–110%-os) és meghatározók a felületen mért értékek terjedelmének nagyságában (6.1. melléklet).



55. ábra: Különböző átmérőjű szerszámmal mart felületeken a síkokban mért R_a értékek számtani átlagának és a középsíkban (S) felvett átlag hányadosa a szimmetriasíktól mért távolság (a) és az élnyomok attól való elfordulása (b) függvényében

A felületeken mért értékek változását kétféle szempont szerint elemzem. A topográfiaikon egyforma szélességet (a **BE2–K12** síkok által közrezárt tartományt) figyelembevéve, a szerszámméret növelése következtében az $\varnothing 50$ mm átmérőjű szerszámmal mart felületen mért nagymértékű (50–70%-os) terjedelmek fokozatosan csökkennek, a $\varnothing 100$ mm átmérőjű marófej alkalmazása esetén már csak 4–19%-osak (6.1. melléklet). Ezzel együtt, az azonos távolságra eltolt szomszédos síkokban a mért értékek egyre kisebb mértékben csökkennek (azaz az 55a. ábrán egy nagyobb átmérőhöz tartozó görbének kisebb a meredeksége). Ezek az összefüggések a következők miatt adódnak: azonos szélességben, de nagyobb átmérőjű szerszámmal mart felületen az élnyomok átfogási szöge egyre kisebb (56. ábra), ezáltal azok magassága és radiális szélessége – az érdességi értékek – egyre kevésbé különbözik. Másfelől, a szerszámméretnek és egy párhuzamos mérési sík szimmetriasíktól mért távolságának változatlan aránya mellett – ahol az elmetezett élnyomok elfordulási szögei azonosak – az értékek jellemzően hasonlóak (55b. ábra).

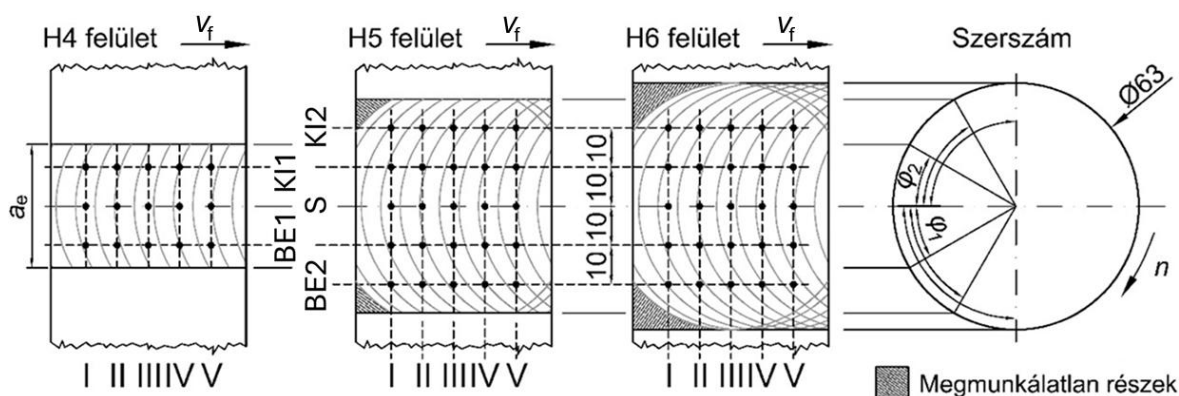


56. ábra: A felületen kialakuló élnyomok különböző átmérőjű szerszám (D_{sz}) alkalmazása és azonos szélességű felület (a_c) esetén (az élnyomok illusztrációk)

5.1.2 Mart felület szélesség hatása

Vizsgáltam a homlokmart felületszélesség változtatásának hatását a topográfia inhomogenitásának nagyságára és jellegére. Ehhez a C45 anyagminőségű acélhasábokon előkészített 50 mm hosszú, 100 mm széles felületeket egy Ø63 mm névleges átmérőjű Tungaloy gyártmányú szerszámmal (4. táblázat, **SZ3**) forgácsoltam. A H4-H6 jelű (52. ábra) síkfelületek megmunkálásakor a forgácsolási adatok bázisértékeit ($v_c = 300$ m/min, $a_p = 0,4$ mm, $f_z = 0,4$ mm/ford.), illetve a fogásszélességet (a_e) a szerszámtátrő (D_{sz}) ismeretében az átfogási szöggel (φ_1, φ_2) meghatározva állítottam be (1. egyenlet), az 52. ábrán feltüntetett értékek szerint (5. táblázat, **K4.3-4.5**) és az 57. ábrán látható módon. A forgácsoláskor beállított szimmetrikus szerszám-munkadarabfelület helyzet (lásd a 2.2. fejezetben) révén a felületen a szimmetriasík két oldalán mért utóbbi szögértékek megegyeznek: $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ (57. ábra). A mart felületeken egyszeres élnyomokat alakítottam ki – a 2.2. fejezetben leírt módon – az előtolómozgás terjedelmének megfelelő beállításával (57. ábra). Így a H5 és H6 felületeken a fogásszélességen belül két sarokban maradt ráhagyás (az 57. ábrán látható „megmunkálatlan részek”), a másik két sarokban pedig a szerszámél a visszafutó mozgásával másodszor forgácsolta a topográfiát, megváltoztatva ott a textúrát (57. ábra).

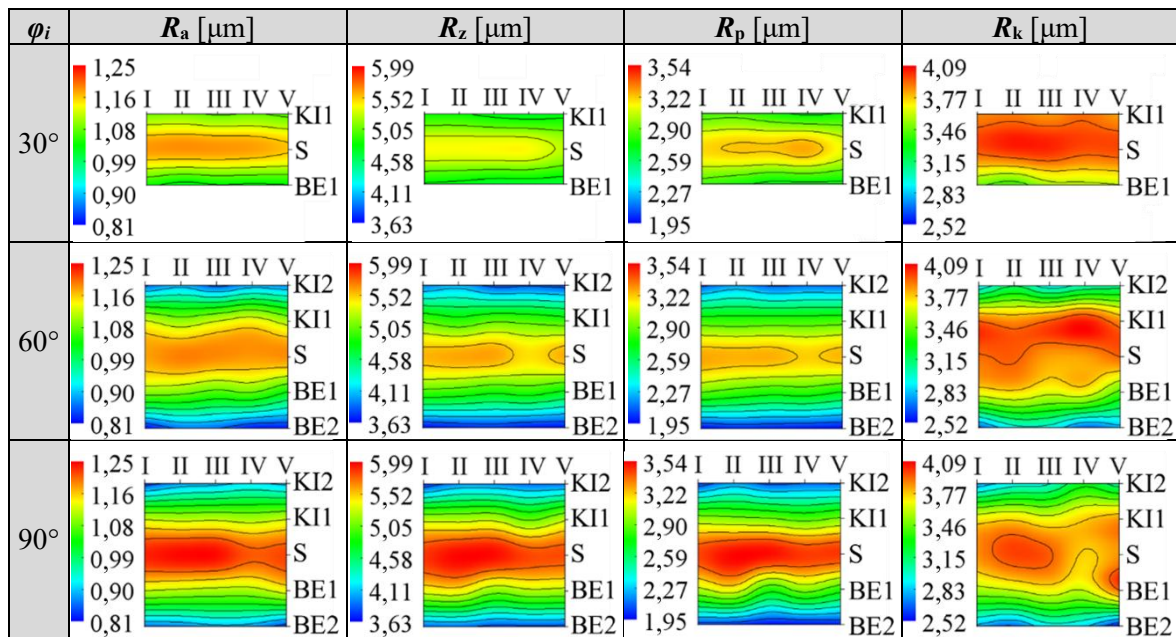
$$a_e = \frac{D_{sz}}{2} \cdot (\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2) \quad (1)$$



57. ábra: A különböző fogásszélességgel megmunkált felületek, a mérési síkok és pontok (az élnyomok illusztrációk)

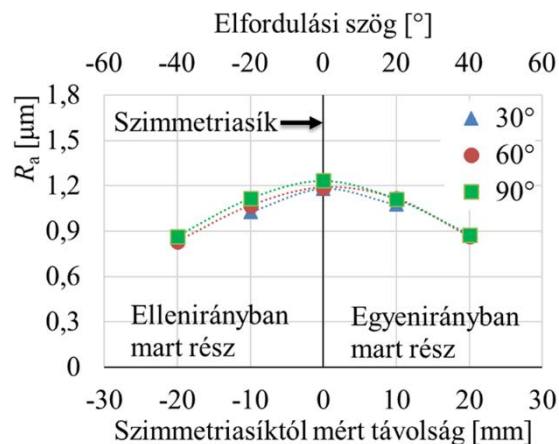
A megmunkált felületeken megmértem a 2D-s érdességet előtolással párhuzamos irányú mérési síkokban felvett, római számmal jelölt helyeken, az **M1.2-M1.3** (6. táblázat) beállításokat alkalmazva (57. ábra). A középső sík a szimmetriasíkkal azonos (**S**). A többi felvett párhuzamos, eltolt sík egymástól 10-10 mm-re helyezkedik el – a 2.4. fejezetben alkalmazott mérési rendszerrel azonos módon. Azok számát (3 vagy 5 darab) a mart felület szélessége határozta meg (57. ábra). Az ábrán a pontok a mért profilok középpontját jelölik. A profilgörbék kiértékelésével kapott magassági R_a , R_z , R_p és funkcionális R_k érdességi mérőszámok értékeit a 6.2. mellékletben található táblázatokban gyűjtöttem össze, a megoszlásukat a felületeken térképdiagramokon szemléltetem az 58. ábrán.

A különböző fogásszélességben történő marás esetében a felületek több érdességi jellemzője is azonos. Ahogy a 6.2. mellékletben szereplő táblázatokban látható, az érdességi értékek mindig a szimmetriasíkban a legnagyobbak, míg a szélső mérési síkok egyikében a legkisebbek. A két szélső sík között az értékkülönbségek minimálisak. Az értékek csökkenése a szimmetriasíktól távolodva két irányban hasonló mértékű (58. ábra). Ehhez hozzájárul, hogy a síkokban mért értékek eltérései minimálisak (jellemzően 1–10%-osak),



58. ábra: A háromféle átfogási szögben mart felületen a mért értékek megoszlása

amelyek a fogásszélesség változtatására közel azonosak maradtak (6.2. melléklet, 59. ábra). Az előtolás irányára merőlegesen kijelölt (azonos római számú) mérési helyek oszlopában az értékek jelentős különbségei láthatók, amelyek meghatározzák a felületen (40 mm szélességben) mért értékek 38–48%-os terjedelmét (6.2. melléklet).



59. ábra: Különböző átfogási szögben, szimmetrikus beállítással mart felületeken a síkokban mért R_a értékek számtani átlagai a szimmetriasíktól mért távolság és az élnyomok attól való elfordulása függvényében

5.1.3 A szerszámátmérő és a mart felületszélesség hatásának összefoglalása

Megállapítottam, hogy a névleges szerszámátmérő, valamint a fogásszélesség változtatásának hatására az értékek megoszlási jellege a felületen, illetve az előtolás irányú mérési síkokban az értékterjedelmek nagyságai közel azonosak maradnak valamennyi érdességi mérőszámnál. A szerszámátmérő növelése következtében, míg az azonos szélességben mart felületeken a mért értékek különbségei (az Ø50 mm-ről Ø100 mm-ra növelést követően egyharmadára) csökkennek, addig az élnyomok adott elfordulási szögénél mért értékek (maximum 20%-os terjedelem mellett) hasonlóak maradnak. Megállapítottam továbbá, hogy a fogásszélesség változtatására a mérési síkokban (1–10%-os) és a felületen (38–48%-os) mért értékek különbségei közel azonosak.

A geometriai változásokat a legnagyobb mértékű értékterjedelemmel a funkcionális típusú R_k paraméter értékei mutatták (ami legfeljebb 46%-os a mérési síkokban és 110%-os a felületeken). Ezt követték a magassági mérőszámok közül a maximális csúcsmagasság (R_p) maximum 37%-os különbségei a síkokban és 108%-os a felületeken, illetve az egyenetlenség-magasság (R_z) értékeinek változása (ami maximum 31%-os a síkokban és 104%-os a felületeken). A legkisebb terjedelmet az átlagos érdesség (R_a) paraméter értékei mutatták (ami legfeljebb 23%-os a síkokban és 101%-os a felületeken).

5.2 Szerszám élgeometria hatása

A szerszám élgeometriája meghatározza a megmunkált felületen kialakuló élnyomok tulajdonságait, így annak érdességi értékeit is, ugyanakkor befolyásolhatja a változásukat a topográfián. Ennek hatását elemzem az inhomogenitás nagyságára és jellegére.

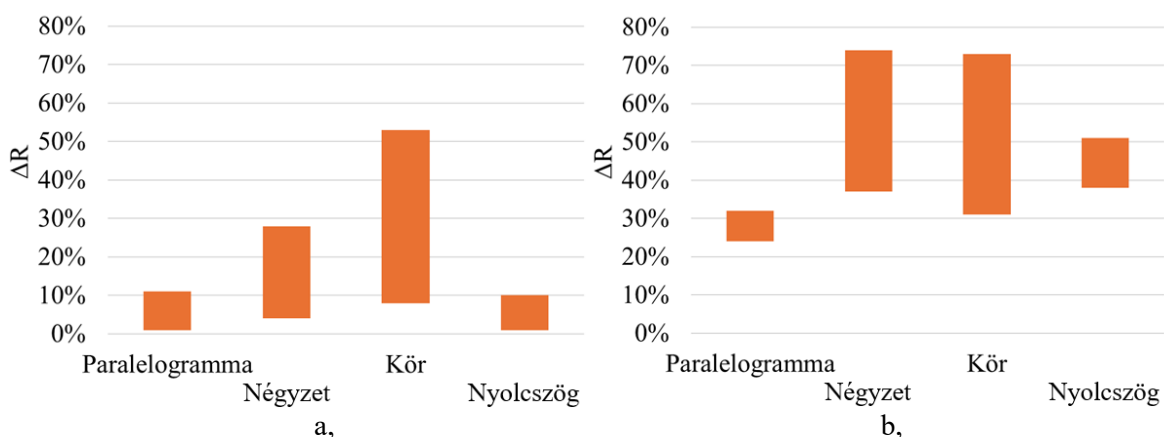
A vizsgálathoz négy különböző élgeometriájú – négyzet, kör, nyolcszög, paralelogramma alakú – lapkás marószerszámot választottam ki, amilyen élkialakítású szerszámokat az iparban gyakran alkalmaznak síkfelületek befejező megmunkálásánál, kis érdességi értékeinek eléréséhez (4. táblázat, **SZ1**, **SZ2.1**, **SZ3**, **SZ6**). Ez az **SZ1**, **SZ3**, **SZ6** szerszámoknál a mellékélük kis elhelyezési szöge révén valósul meg, ami a forgácsolásban a főél által kialakított élnyomok csúcsát a következő szerszámfordulatban – a szerszámcsúccsal együtt – lemetszi. Ugyanez érhető el a körív élű (kvázi nagy csúcsgárral rendelkező) szerszámnál is – a vizsgálatban alkalmazott lapkaátmérő és előtolás értékek mellett – a kis effektív mellékél-elhelyezési szög miatt [134]. A marógépen minden esetben a forgácsolási adatok bázisértékeit ($v_c = 300$ m/min, $f_z = 0,4$ mm/ford., $a_p = 0,4$ mm és $a_e = 58$ mm) állítottam be (5. táblázat, **K1.4**). A 2.2. fejezetben megfogalmazott módon, a szerszámél előrefutó mozgásával a szimmetrikusan elhelyezett munkadarab felületeken egyszeres marónyomok alakultak ki (29. ábra, lásd a 3.1.2. fejezetben). A topográfiákon a – korábbi vizsgálatokkal azonos módon – bázisnak választott $36\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ területen egyforma távolságra eltolt 5 előtolás iránnyal párhuzamos mérési síkban 5-5 helyen megmértem a 2D-s érdességet (mivel a 3. fejezetben megállapított módon, a 3D-s mérőszámok elemzésével is közel azonos módon jellemezhető az inhomogenitás). A mért profilok kiértékelési hossza 4 mm, a beállított vágási hossz 0,8 mm volt (6. táblázat, **M1.3**).

A **IV** jelű mérési helyeken felvett érdességi profilgörbék a mérési síkok szerint rendezve a 7. mellékletben láthatók. A 2.4. fejezetben kijelölt magassági (R_a , R_z , R_p) és funkcionális (R_k) mérőszámok értékeit a 2.7., 2.19., 2.25. és 2.27. mellékletben táblázatokban foglaltam össze. A felületeken mért értékek megoszlását mutató térképdiaagramok a 2.8., 2.20., 2.26. és 2.28. mellékletekben megtalálhatók.

Minden vizsgált felületen a mért profilok periodikus maróélnyomokat mutatnak (7. melléklet). A paralelogramma és a nyolcszög alakú lapkával, azonos forgácsolási adatok mellett nagyobb érdességű felületeket állítottam elő a másik két vizsgált topográfiával összehasonlítva, azonban ezeken szabályosak az élnyomok és adott mérési síkban szinte egyforma geometriájúak. Továbbá a szimmetriasíktól két irányban távolodva fokozatosan csökken a magasságuk. A kör és a négyzet alakú lapkával mart felületeken a marónyomok sokszor nehezen felismerhetők, nem szabályosak. A kijelölt síkokban felvett profilgörbék alakja és magassága gyakran számottevően eltérő a felületi hibák miatt. Továbbá, a szimmetriasíktól két irányban távolodva nem monoton csökkenő a magasságuk, hanem a szélső síkokban kismértékben növekvők. Ezek oka a – 3.1. fejezetben már említett – megmunkálásban történő anyagleválasztás (a munkadarab anyagának nyírása) jellege, a minimális forgácsvastagság érdességi értéket befolyásoló hatása a kis (effektív) élelhelyezési szögek miatt [134].

A következőkben a vizsgált topográfiák mért értékeinek viszonylagos megoszlását és különbségeit elemzem, a 2. mellékletben szereplő, ide tartozó táblázatok adatai, valamint a 15-16. táblázatok alapján.

A paralelogramma alakú lapkával mart felületen az érdességi értékek a szimmetriasíokban maximálisak és attól két irányban távolodva monoton csökkennek, amely változást a profilok magasságai tükrözik (2.28. melléklet). A mérési síkokban minimális (1–11% közötti) az értékek terjedelme, ahogy az adott síkban mért profilok közel azonosak egymással (2.27. melléklet, 60a. ábra). A síkok közötti értékeknek számottevő különbségei láthatók, amelynek nagysága maximum 24–32%-os (60b. ábra). A vizsgált paraméterek közül míg az R_a , R_z , R_p ugyanazt az értékváltozási jelleget mutatja és a terjedelmük is hasonló nagyságú, addig az R_k értékeinek nagyon hasonló megoszlása mellett azok különbségei – a síkokban és a felületen is – észrevehetően nagyobbak, a fent említett profiltorzulás miatt.



60. ábra: Különböző élgeometriájú szerszámmal mart felületeken az érdesség eltéréseinek nagysága a mérési síkokban (a) és a topográfián (b)

A nyolcszög alakú lapkával mart felületen bár kisebb értékeket mértem, de azok megoszlása és a síkokban mért értékterjedelmek közel azonosak a fent elemzett felület e jellemzőivel (2.26. melléklet). A vizsgált érdességi mérőszámokról is ugyanaz mondható el, a magassági és a funkcionális paraméterek jellegei közötti különbségekről, az értékváltozások nagysága és jellege tekintetében (2.25. melléklet). A felületen felvett helyeken a mért értékek közti különbségek jelentősen nagyobbak, mint a paralelogramma alakú lapkával mart felületnél (60a. ábra), aminek oka az alkalmazott szerszámok átmérőinek különbsége, azonos szélességben történt mérések mellett (lásd az 5.1. fejezetben).

A négyzet alakú lapkával megmunkált felületen a mért érdességi értékek az eddigiektől kisebbek. A megoszlásuk hasonló a fent jellemzett felületeken az értékváltozások jellegéhez (2.8. melléklet). Azonban nagyobbak a különbségek egyrészt a mérési síkokban: 4–28%-osak és az R_z és R_p mérőszámoknál jelentősebbek (2.7. melléklet, 60a. ábra). Másrészt a felületen mért értékek nagymértékű (maximum 37–74%-os) terjedelmei láthatók (60b. ábra). A különbségek jelentős nagysága összefügg a mért profiloknál megfigyelt jellemzőkkel: a korábban említett élgeometriákhoz képest a négyzet alakú lapkát alkalmazva kedvezőtlenebb volt az anyagleválasztás, ami miatt az élnyomok torzultak, alakjuk és méretük (adott síkban) egymástól nagyobb mértékben különböztek – a 3.1.2. fejezetben leírtak szerint. Ez az R_z és R_p mérőszámok értékeinek változásait nagyobb mértékben befolyásolta (jelentősebbek az eltérések), mint az R_a és R_k esetében.

A kör alakú lapkával forgácsolt felületen mértem a legkisebb érdességi értékeket a vizsgált topográfiák között. Azonban a topográfiai jellemzők különböznek a vizsgált paraméterek fajtái szerint. A korábban elemzett felületek sajátosságaival összehasonlítva, a magassági R_a , R_z , R_p mérőszámoknál közel ugyanolyanok az értékmegoszlások (2.20. melléklet), és bár

jelentősebbek a különbségek a síkokban (8–41%-os, 60a. ábra) és a felületen (31–63%-os, 60b. ábra) is, a terjedelem nagyságok viszonya előtolás irányban, illetve attól eltérően azonos (2.19. melléklet). Ezzel szemben, a funkcionális R_k mérőszám értékei fordított jellegű – és kevésbé szabályos – értékváltozási jelleget mutatnak: a két szélső síkban mért (köztük a maximális) értékek többnyire a szimmetriasík felé csökkenők. A síkokban (15–53% közöttiek) és a felületen (73%-os) mért értékek terjedelmei is nagymértékűek (60. ábra). Ez utóbbi paraméter értékváltozási jellegének nagymértékű eltérését a profiloknál megfigyelt, a megmunkálásból (az anyagleválasztás sajátosságaiból) eredő topográfiai hibáktól erősen torzult élnyomok és felismerésük nehézsége okozza – amit a 3.1.3. fejezetben részleteztem.

Összegzem a vizsgálatban alkalmazott szerszámokkal létrehozott topográfiákon a mért értékek terjedelem nagyságait a mérési síkokban (15. táblázat) és a felületen (16. táblázat). Ugyanitt ezen értékek növekvő sorrendje szerint rangsorolom a vizsgált élgeometriákat az elemzett paraméterek szerint. A táblázatokban látható, hogy a legkisebb különbségeket a paralelogramma alakú lapkával mart felületen mértem, ezt követi a nyolcszög alakú lapkával létrehozott topográfia érdessége. A négyzet és a kör alakú lapkával előállított síkfelületeken egyaránt nagymértékűek az értékterjedelmek, amelyek között jellemzően a 3. és 4. rangok váltakozva jelennek meg.

15. táblázat: Az előtolás irányú mérési síkokban mért értékek százalékos terjedelem nagyságai és növekvő rangsoruk érdességi paraméterenként

Alkalmazott lapka kódja, alakja	Értékterjedelem a mérési síkokban				Rangsor			
	ΔR_a	ΔR_z	ΔR_p	ΔR_k	ΔR_a	ΔR_z	ΔR_p	ΔR_k
SZ1, négyzet	5–19%	6–18%	10–24%	4–28%	3	3	3	3
SZ2.1, kör	11–25%	8–36%	11–41%	15–53%	4	4	4	4
SZ3, nyolcszög	2–6%	2–5%	1–7%	3–10%	2	2	2	1
SZ6, paralelogramma	1–3%	2–4%	2–5%	3–11%	1	1	1	2

16. táblázat: A felületen mért értékek százalékos terjedelem nagyságai és növekvő rangsoruk érdességi paraméterenként

Alkalmazott lapka kódja, alakja	Értékterjedelem a felületen				Rangsor			
	ΔR_a	ΔR_z	ΔR_p	ΔR_k	ΔR_a	ΔR_z	ΔR_p	ΔR_k
SZ1, négyzet	37%	62%	74%	45%	3	4	4	3
SZ2.1, kör	31%	46%	63%	73%	2	3	3	4
SZ3, nyolcszög	38%	43%	51%	40%	4	2	2	2
SZ6, paralelogramma	27%	26%	24%	32%	1	1	1	1

Megállapítottam, hogy a különböző élgeometriájú szerszámok alkalmazásával az előállított felületeken nemcsak az érdességi értékek, hanem a topográfia különböző helyein azok eltérései is jelentősen megváltoznak. A terjedelmük nagysága a paralelogramma és a nyolcszög alakú lapkával mart topográfiákon kisebb mértékű, 24–51%-os, míg a négyzet és a kör alakú lapkával forgácsolt felületen nagymértékű, 31–74%-os. A nagyobb értékekkel jellemzett topográfiákon a barázdák szabályosak és – adott előtolás irányú mérés síkban – egymáshoz képest közel azonos geometriájúak voltak. A kisebb érdességmagasságú felületeken megjelenő élnyomok jelentősen torzultak.

A vizsgált érdességi paraméterek közül a legnagyobb értékterjedelmet jellemzően a redukált magzóna magasság (R_k) értékei mutatták (15-16. táblázatok). Ezt követik a maximális csúcsmagasság (R_p), az egyenetlenség-magasság (R_z) és az átlagos érdesség (R_a) paraméterek csökkenő sorrendben.

5.3 A szerszám és a munkadarab geometria hatásainak összefoglalása

Megállapítottam, hogy a névleges szerszámtátmérő és a mart felületszélesség (fogásszélesség) változtatása mellett azonos maradt az érdességi értékek szimmetriasíktól két irányban csökkenő megoszlása és kismértékű (1–15% közti) különbségei az előtolás irányú mérési síkokban. A középsíktól azonos távolságra (bármelyik irányban) felvett pontban az érdességi értékek egyre kisebb mértékben csökkentek az átmérő növelésével (a vizsgált beállítások esetén 20 mm távra a 6–38%-os különbségek fokozatosan, végül 1–14%-ra mérséklődtek). Azonban, a kijelölt mérési hely szimmetriasíktól mért és a szerszámtátmérő arányában kifejezett távolságának azonossága esetén az érdességi értékek a középsík értékeihez képest hasonló mértékben (maximum 20% különbséggel) változtak. A fogásszélesség növelése – és a szerszámtátmérő megtartása – esetén a szimmetriasíktól megadott távolság függvényében közel egyforma volt a mért értékek terjedelme a síkokban (jellemzően 10%-on belüli) és a felületen (38–48%-os).

Megállapítottam, hogy a különböző élgeometriájú szerszámokkal – és azonos forgácsolási adatok beállításával – létrehozott felületeken nemcsak az érdességi értékek változtak meg nagymértékben, hanem azok eltérései a mérési síkokban és a topográfián egyaránt. A vizsgálatban alkalmazott geometriák közül a paralelogramma alakú lapkával mart felületen mértem a legkisebb különbségeket az előtolás irányú mérési síkokban (1–11%) és a felület vizsgált részén (24–32%). A nyolcszög alakú lapkával létrehozott topográfián a terjedelem hasonlóan kismértékű a síkokban (1–10%), de számottevő a felületen (38–51%). A négyzet alakú lapkával forgácsolt felületen jelentősek a különbségek a mérési síkokban (1–26%) és a topográfia vizsgált részén (37–74%) is. A legnagyobb értékterjedelmet a körlapkával mart felületi topográfián mértem a mérési síkokban (8–53%) és a felületen (31–73%).

Megállapítottam a vizsgálat során alkalmazott élgeometriák és a megmunkált topográfiák összehasonlítása alapján, hogy a szerszám alapsíkban a fő- és a mellékél-elhelyezési szögek csökkenésével együtt csökkennek a magassági R_a , R_z , R_p és a funkcionális R_k mérőszámok érdességi értékei, de növekszik az eltérésük nagysága a felületen. Ennek oka a szerszámél-munkadarab érintkezési szakaszon mért egyre kisebb effektív élelhelyezési szögek miatt a munkadarab anyag szerszámél alatti beékelődésének egyre erőteljesebb hatása az élnyomok megváltozására [134].

6. Forgácsolási adatok hatása

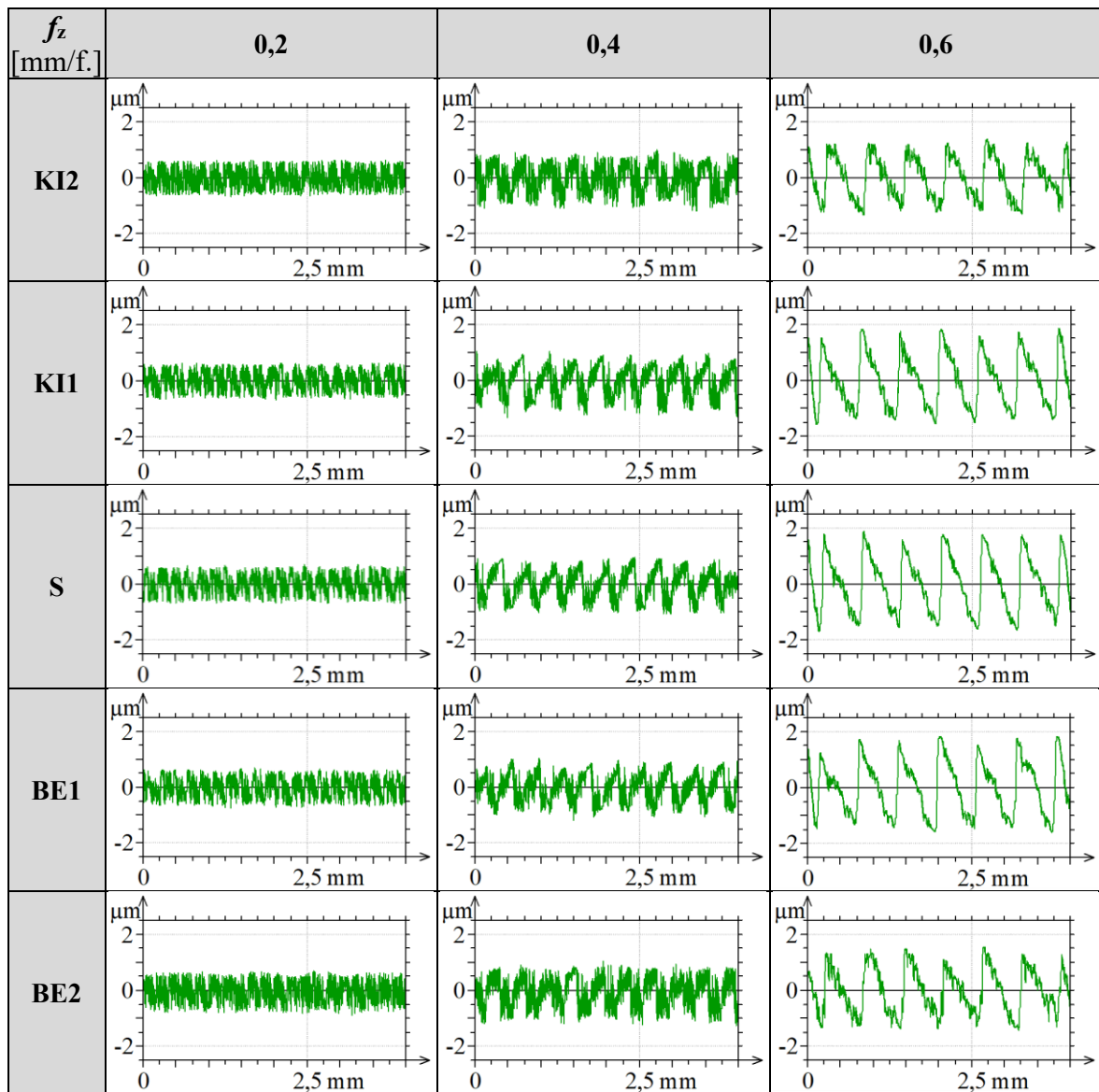
Az irodalmi áttekintés és a korábbi vizsgálati tapasztalataim alapján az érdesség értékeire maráshnál a legnagyobb hatással a forgácsolási adatok közül az előtolás van, melyet követ a forgácsolósebesség és végül a fogásmélység változtatása. Ebben a fejezetben vizsgálom az előbbi két jelentősebb paraméter változtatásának hatását a homlokmarat felületi topográfia inhomogenitására. A fogásmélység érdességi változásra tett befolyását nem elemeztem, mivel az ipari gyakorlatban a beállított értékének megválasztása – a fent említett két adattal szemben – nem optimalizálástól, hanem a ráhagyások nagyságától függ.

6.1 Az előtolás hatása

A fejezetben az előtolás változtatásának hatását elemzem az inhomogenitás nagyságára és jellegére, amelyet a 2.3. fejezetben leírtak szerint végeztem el. A vizsgálathoz síkfelületeket állítottam elő két különböző élgeometriájú szerszámmal (4. táblázat, **SZ1** jelű SEKN 1203 AFTN négyzet alakú, valamint **SZ2.1** jelű RCKX 1606-MO-TR kör lapkával). A forgácsolási adatok beállításánál a bázisértékeket ($a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $v_c = 300$ m/min) vettem alapul és a fogankénti előtolást változtattam meg a következő értékekre: $f_z = 0,2; 0,4; 0,6$ mm/ford. (5. táblázat, **K1.3-K1.5**). Az előállított felületek 2D-s érdességét megmértem a 3.1.2. fejezetben kijelölt 40 mm széles felületrészen, 5 mérési síkon felvett 5-5 helyen (29. ábra). A mért érdességi értékek meghatározásakor – a szabvány [13] előírását követve – a két kisebb előtolás alkalmazásánál 4 mm és 0,8 mm kiértékelési- és vágási hosszt állítottam be, a legnagyobb (0,6 mm/ford.) előtolásnál 12,5 mm és 2,5 mm voltak ezek az értékek (6. táblázat, **M1.3**). A vizsgált felületeken kijelölt (**IV** jelű) mérési helyeken felvett érdességi profilgörbék a 61. és a 64. ábrán láthatók, amelyeknek az összehasonlíthatóság végett egyformán 4 mm hosszát mutatom meg az eltérő mérési hosszától függetlenül. A mért érdességi értékeket, illetve azok mérési síkokban számolt terjedeleme nagyságait és arányukat a felületen mért értékek számtani átlagához viszonyítva (az „Eltérés” sorban és oszlopban) a 2. mellékletben táblázatokban foglaltam össze. A vizsgált topográfiákon a mérési helyek értékeihez igazított parabolikus közelítő felületekkel mutatom meg az értékek viszonylagos megoszlását a 2. mellékletben térképdiaagramokon, a felületek és a paraméterek szerint rendezve.

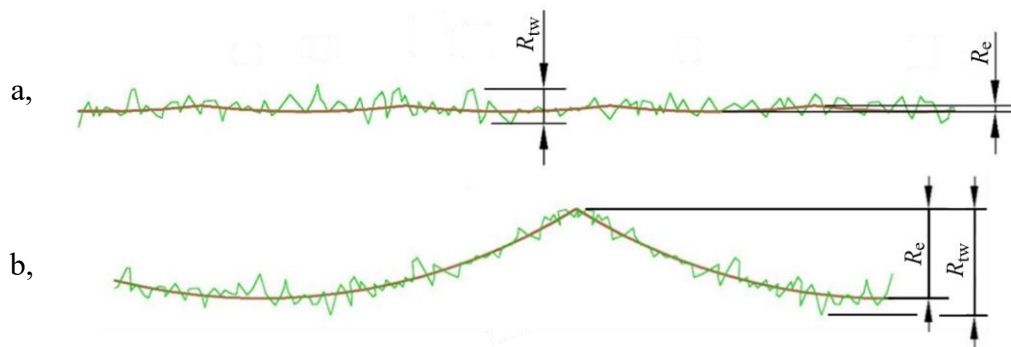
- *Négyzet alakú lapkával megmunkált felületeken*

A négyzet alakú lapkával forgácsolt felületeken a felvett profilokon az előtolás növelésével magasabb és szélesebb, egyre inkább egyforma geometriájú élnyomok láthatók. Valamint a barázdák egyre kevésbé torzak, a szerszámélek alakját és elhelyezési szögeit egyre jobban tükrözik (61. ábra). E változási jelleg megértéséhez illusztráltam a 62. ábrán különböző előtolás beállításával előállított mart topográfiák szimmetriasíkjában felvett profilt, amelyen jelöltem az elméleti (R_e) és a valóságos (mért, R_{tw}) maximális érdességmagasságot. A kis előtolással megmunkált felületen (ahol R_k értéke minimális) a szerszám-munkadarab anyagpárosításból és az anyagleválasztás (nyírás) jellegéből eredő felületi egyenetlenség (62a. ábra), nagy előtolásnál az élkialakítás (62b. ábra) a meghatározó a profil magasságára és annak érdességi értékeire. Ez utóbbi jelleg az $f_z = 0,6$ mm/ford. előtolással előállított topográfiák mutatják leginkább. A vizsgált felületeken – előtolástól függetlenül – az élnyomok a szimmetriasíkjában a legjobban felismerhetők, és attól két irányban távolodva azok egyre torzabbak és egyre kisebb magasságúak (ahol a csökkenés mértéke az egyes topográfiákon számottevően különbözik). Ennek oka a 3.1.3. fejezetben leírt forgács-keresztmetszet változása a szerszámélpálya mentén, befolyásolva az anyagleválasztás jellegét.



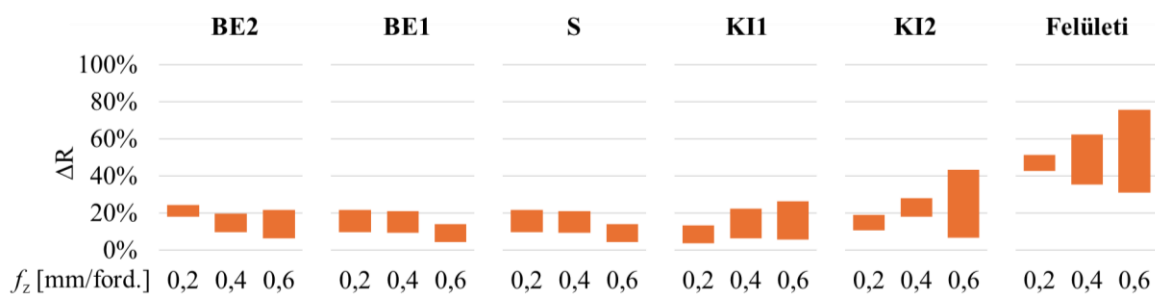
61. ábra: Négyzet alakú lapkával, különböző előtolással mart felületek IV mérési pontjaiban felvett érdességi profilgörbék ($a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $v_c = 300$ m/min)

A felületi inhomogenitás szempontjából vizsgálva az eredményeket látható, hogy bár az előtolás növelésére a felületen a mérési helyeken a vizsgált paraméterek értékei növekednek, azonban e forgácsolási adat változtatása nem befolyásolta az értékek megoszlását a felületeken: a szimmetriasíkban maximális értékek a felület szélei (a szélső síkok) felé csökkennek.



62. ábra: Nagy csúcstartó szerszámmal és relatív kis (a) és nagy (b) előtolással homlokmart felületek szimmetriasíkjában felvett profilok elméleti (R_e) és valós (R_{tw}) magassága

Adott mérési síkban az előtolás növelésére – ahogy a 63. ábra mutatja – rendszerint növekednek a különbségek (2.5., 2.7., 2.9. melléklet), jelentősen változó mértékben (így azok százalékos aránya is véletlenszerűen változott). A szimmetriasíkokban bár nagyobb lett az értékek terjedelme, de a növekvő értékek arányában (százalékosan kifejezve) hasonló nagyságú, 4–12%-os maradt (63. ábra). A többi síkban kismértékben csökkennek a számottevő különbségek, jellemzően 9–22%-ról 6–22%-ra. A terjedelmek a síkokban a középsíktól távolodva két irányban legtöbbször növekvők, az előtolás nagyságától függetlenül (2.5., 2.7., 2.9. melléklet). E megfigyelések összefüggésben állnak azzal, hogy a felület szélei felé egyre torzabbak az élnyomok (61. ábra), egyre nehezebb kiértékeléskor felismerni és pontosan elkülöníteni azokat a felületi hibáktól, karcnyomoktól stb. (lásd a 3.1.3. fejezetben kifejtve).



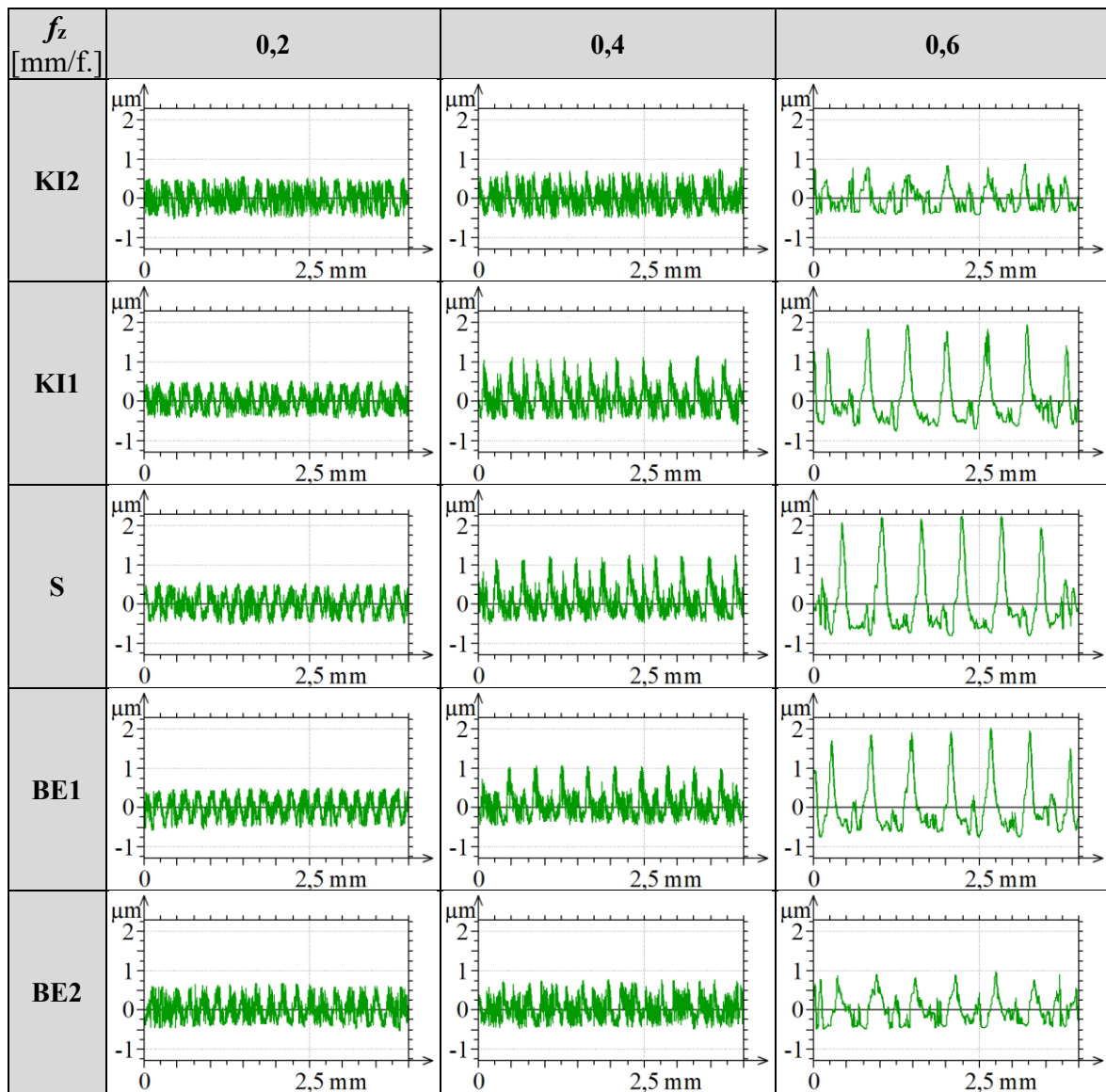
63. ábra: Négyzet alakú lapkával mart felületeken, valamint a mérési síkokban felvett érdességi értékek kumulált eltérései a vizsgált mérőszámoknál ($a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $v_c = 300$ m/min)

Az $f_z = 0,2$ mm/ford. előtolás értékének 3-szoros növelésére a felületeken mért értékek különbségei nagymértékben, 2–5-szörösére növekednek, a változás jellege ezúttal is paraméterenként nagymértékben eltérő (2.6., 2.8., 2.10. melléklet, 63. ábra). A terjedelmüknek a mért értékek számtani átlagával képzett aránya – a növekvő értékek miatt – legtöbbször kismértékben csökken, de a nagyságuk közötti különbségek jelentősebbek (43–51%-ról 31–75%-ra változott).

• Kör alakú lapkával forgácsolt felületeken

A kör lapkával forgácsolt felületeken felvett profilok (64. ábra) ugyanazokat a jellegzetességeket és változásokat mutatják, mint a fentiekben elemzett topográfiáknál (61. ábra). Az összehasonlításuk alapján a körívű szerszámmel létrehozott (64. ábrán látható) élnyomok nagyobb mértékű torzultsága jellemző adott előtolás értéknél, nehezebben felismerhetők a körív alakú nyomok. Ennek megfelelően a kisebb előtolás beállításakor adott mérési síkban, különböző helyeken felvett profilok jellemzői között nagyobb mérvű különbségek mutatkoznak.

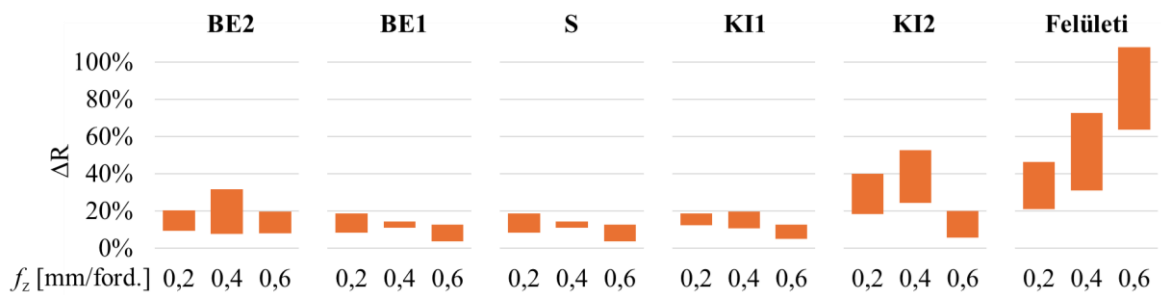
Az előtolás növelésére az érdességi mérőszámok értékei jellemzően növekednek, de nagyságuk a topográfiák különböző részein (síkokban) nagymértékben eltérnek: a szélső síkokban közel azonosak maradtak az értékek, míg a többi helyen jelentősen, 1,5–3-szorosára növekedtek az előtolás két szélső beállított értékénél (2.17., 2.19., 2.21. melléklet). Ezzel együtt a megoszlásuk módosult, a véletlenszerű változáshoz képest egyre inkább mutatják az elméleti homlokmart topográfia jellegzetességét: az értékek a szimmetriasíktól két irányban távolodva csökkennek (2.18., 2.20., 2.22. melléklet). Ez a jelleg csak az $f_z = 0,4$ és $0,6$ mm/ford. beállításával mart felületeken valósult meg. E megállapításokat a vizsgált magassági mérőszámok mutatják teljes mértékben. A funkcionális R_k paraméter értékei adott felületen kevésbé jellegzetes értékmegoszlást adnak, ennek részeként előtolással párhuzamos irányban (a síkokban) is jelentősek az eltérések (az előtolás növelése mellett, annak legkisebb és legnagyobb vizsgált értékeinek beállítása esetén közel változatlanok, 12–22% közöttiek).



64. ábra: Körlapkával, háromféle előtolással mart felületek IV pontjaiban mért érdességi profilgörbék ($a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $v_c = 300$ m/min)

Az előtolás növelésével a mérési síkokban az eltérések nem egyformán változnak (2.17., 2.19., 2.21. melléklet, 65. ábra). Az előtolás értékének $f_z = 0,2$ mm/ford-ról 0,4 mm/ford-ra való növelése jellemzően kismértékű ($\pm 10\%$ -on belüli) változást eredményezett. Az előtolás további növelésével azok legtöbbször 30–70%-kal csökkennek. Figyelembevéve az értékek változásának jellegét, a különbségek százalékos nagysága kismértékben csökken. Ez a megfigyelés összefügg a megoszlásnál megfigyelt változásokkal (2.18., 2.20., 2.22. melléklet) és a 62. ábránál leírt jelleggel: egy nagyobb előtolásnál az élgeometria hatása jelentősebb az élnyomok magasságára az anyagleválasztás jellegéből adódó profiltorzuláshoz képest. Így a szimmetriasíkban a kismértékű értékterjedelem az előtolás növelésére tovább csökken: 11–30%-ról 2–22%-ra. A többi síkban a legtöbbször jelentős különbségek csak a legnagyobb beállított előtolásnál csökkennek, maximális értékük 53%-ról 20%-ra.

A vizsgált felületeken, előtolástól függetlenül, legtöbbször a szimmetriasíkban minimális az értékek terjedelme (2.17., 2.19., 2.21. melléklet). Azonban a maximális különbséget mutató sík és ezen értékek változási jellege nem állapítható meg egyértelműen (65. ábra). Ennek oka a körlapkával végzett megmunkálás következtében – a négyzet alakú lapkával mart felületeknél megfigyelt eltérésekhez képest – nagyobb amplitúdójú és gyakrabban előforduló felületi hibák, karcnyomok stb., a 3.1.2. fejezetben leírtak szerint.



65. ábra: Körlapkával mart felületeken, valamint a mérési síkokban felvett érdességi értékek kumulált eltérései a vizsgált mérőszámoknál ($a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $v_c = 300$ m/min)

A felületeken mért értékek eltérései az előtolással együtt növekednek, amelynek mértéke jelentős (a beállított értékek között 3–8-szoros) és nem egyenesen arányosan változik (2.17., 2.19., 2.21. melléklet, 65. ábra). Azok százalékos aránya a vizsgált paramétereknél 21–46%-ról hasonlóképp nagymértékben, 64–108%-ra növekedett.

• Megállapítások

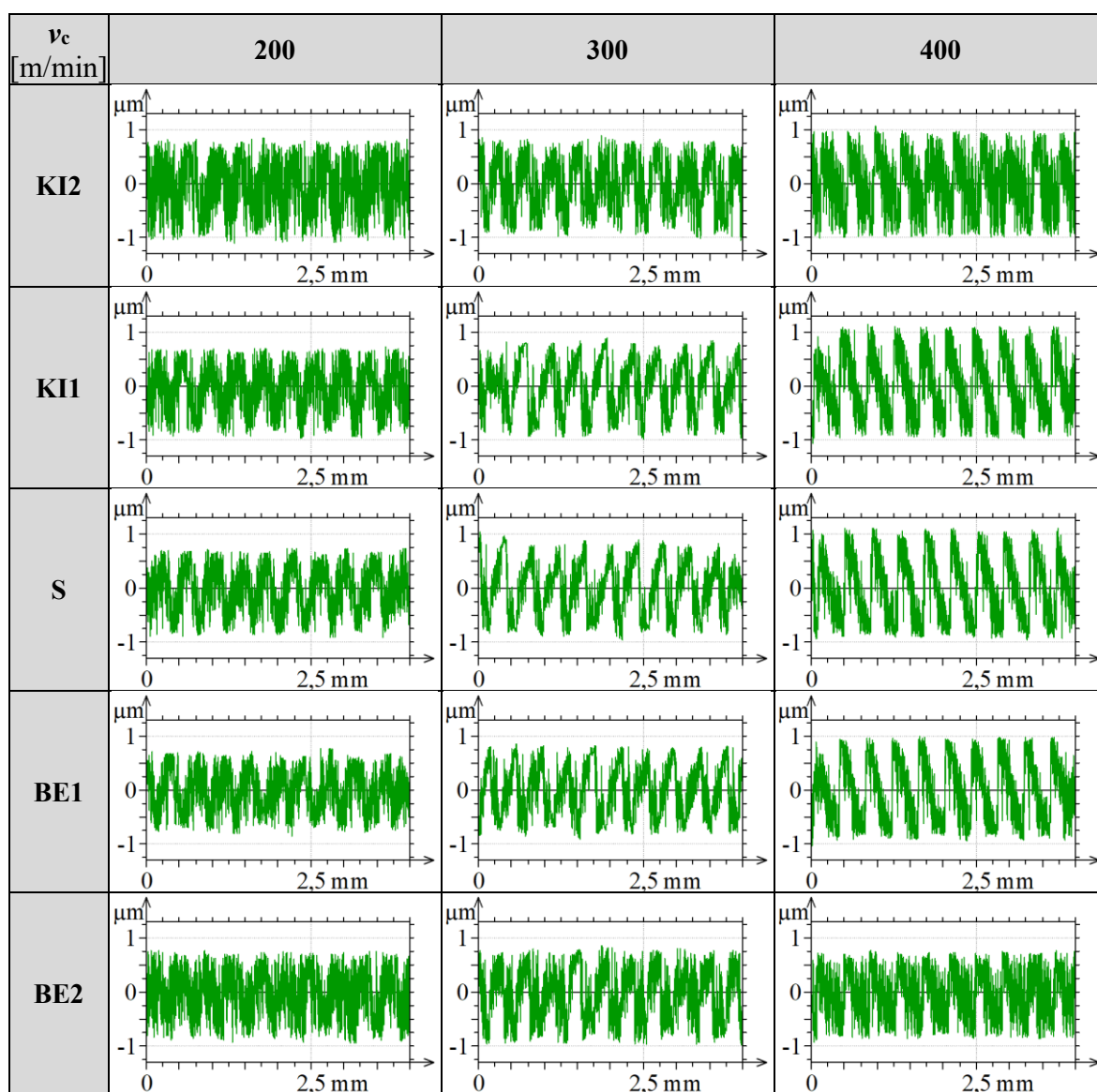
Megállapítottam, hogy az előtolás növelésének hatására a topográfián egyre meghatározóbb a szerszám élgeometria az élnyomok kialakulásában, a munkadarab anyagának nyírási jellemzőihez képest. Az előtolás növelésével a szimmetriasíkokban az értékek terjedelmei – a felületen mért értékek arányában – közel azonosak (4–12%-os) és a többi síkhoz képest minimálisak. A többi síkban mért százalékos különbségek kismértékben változnak 9–22%-ról 6–22%-ra. A felületen meghatározott értékek terjedelmei is jellemzően kismértékben csökkennek, melyek nagysága jelentősebben szóródik (43–51%-ról 31–75%-ra módosult). Ezen megállapításokat a körlapkával mart felületek csak a mérési síkok tekintetében igazolják (ahol a különbségek a szimmetriasíkokban 11–30%-ról 2–22%-ra, a többi síkban maximális értékük 53%-ról 20%-ra csökken), azonban a felületeken mért értékek terjedelmei az előtolással együtt jelentősen növekednek 21–46%-ról 64–108%-ra. A vizsgált mérőszámok közel azonos értékmegoszlásokat és különbségeket mutatnak adott felületen. A vizsgálat eredményei alapján homlokmarásban, kör vagy négyzet alakú lapkával végzett forgácsolásnál javasolom – a vizsgálatban beállított értékek közül – a legkisebb előtolás alkalmazását az inhomogenitás mértékének minimalizálásához. Ezzel együtt az érdességi értékek csökkenthetők és a felületminőségi elvárások jobban kielégíthetők. Azonban a javaslatnál nem vettem figyelembe termelékenység kritériumot.

6.2 A forgácsolósebesség hatása

A fejezetben elemzem a forgácsolósebesség változtatásának hatását a homlokmart felület érdességi inhomogenitására. Ehhez előállítottam felületeket a 6.1. fejezetben megnevezett szerszámokkal (4. táblázat, **SZ1** és **SZ2.1**), a forgácsolási adatok bázisértékeinek ($a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $f_z = 0,4$ mm/ford.), illetve a forgácsolósebesség háromféle ($v_c = 200$; 300; 400 m/min) értékének beállításával (5. táblázat, **K1.2**, **K1.4**, **K1.6**). A topográfiákon kijelölt – a 3.1.2. fejezetben is alkalmazott – 5 mérési síkon felvett 5-5 helyen (29. ábra) mért érdesség értékeinek meghatározásakor – a szabvány [13] előírását követve – 4 mm kiértékelési- és 0,8 mm vágási hosszt állítottam be (6. táblázat, **M1.3**). A vizsgált felületek **IV** jelű mérési helyein felvett érdességi profilgörbéket a 66. és 68. ábrákon mutatom meg. A mért érdességi értékeket, illetve azok síkokban számolt terjedeleme nagyságait és arányukat a felületen mért értékek számtani átlagához viszonyítva (az „Eltérés” sorban és oszlopban) a 2. mellékletben táblázatokba foglaltam össze. A vizsgált topográfiákon a mérési pontok értékeihez igazított parabolikus közelítő felületekkel mutatom meg az értékek viszonylagos megoszlását a 2. mellékletben térképdiagramokon, a felületek és a paraméterek szerint rendezve.

- **Négyzet alakú lapkával megmunkált felületeken**

A négyzet alakú lapkával forgácsolt felületeken, a forgácsolósebesség növelésével közel azonos magasságú, szélességű élnyomok jöttek létre (66. ábra). Az alakjuk egyre szabályosabb, a forgácsolóélek helyzetét pontosabban mutatják. Ennek oka egyrészt az, hogy a fordulatszám növelésével javul a szerszám dinamikai stabilitása, ami csökkenti a szerszám vagy a munkadarab beremegés és az öngerjesztett rezgések kialakulásának esélyét [136]. Másrészt a nagyobb forgácsolósebesség kedvezőbb forgácsolási feltételeket teremt: a keletkező nagyobb hő hatására a munkadarab anyaga képlékenyebbé válik, így a nyírás könnyebben végbemegy, továbbá a mellékél simító hatása is kedvezőbben alakul [134]. Emellett mindegyik felületen (a sebesség változásától függetlenül) a középsíktól távolodva változik a munkadarab anyagának nyírási jellege (lásd a 3.1.3. fejezetben kifejtve).

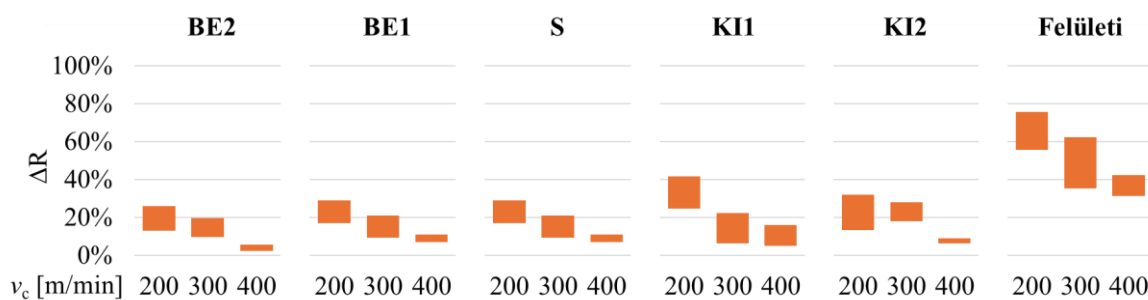


66. ábra: Négyzet alakú lapkával, különböző forgácsolósebességgel mart felületek IV mérési pontjaiban felvett érdességi profilgörbék ($a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $f_z = 0,4$ mm/ford.)

A forgácsolósebesség növelésével együtt a vizsgált paraméterek értékei is növekedtek, a beállított értékek esetében 10–70%-kal (2.3., 2.7., 2.11. melléklet). A megoszlásuk (a szimmetriasíkban maximális értékek a szélső síkok felé csökkennek) közel azonos (2.4., 2.8., 2.12. melléklet). Valamint előtolással párhuzamos irányban viszonylag kismértékű és arra merőlegesen jelentős az értékek változása.

A mérési síkokban a forgácsolósebesség növelésére jellemzően csökken az értékterjedelem, amelynek mértéke jelentősen különböző, 1–5-szörös (2.3., 2.7., 2.11. melléklet, 67. ábra). A v_c változtatása 200 m/min-ről 400 m/min értékre a különbségek felére-harmadára csökkenését eredményezi. Azonban a sebesség 300 m/min-re növelésekor több esetben (a szélső síkokban) kismértékű növekedés is látható. A változások jelentős különbségét az okozza, hogy egy kisebb sebesség alkalmazásával az anyagleválasztás kedvezőtlenebb módon történik meg a felület topográfiájának szempontjából: a forgácsolás során kevesebb hő fejlődik, így a munkadarab anyagának képlékeny alakváltozása (nyírása) nehezebben megy végbe, valamint a szerszám mellékélének simító hatása kevésbé érvényesül [134]. A síkokban mért különbségek százalékos nagysága a forgácsolósebességgel együtt növekvő érdességi értékekhez viszonyítva számottevően csökken (maximális értékük 42%-ról 16%-ra módosult).

A síkokban mért terjedelem nagyságok a forgácsolósebesség növelésével erősebb szabályszerűséget mutatnak (2.3., 2.7., 2.11. melléklet, 67. ábra). Ennek részeként a vizsgált paramétereknél a beállított sebességértékek közül a $v_c \geq 300$ m/min alkalmazása esetén kismértékűek a különbségek a szimmetriasíkokban és attól távolodva növekednek, de nem monoton jelleggel – a korábbi megállapításokkal azonosan. E változási jelleget a – korábban említett – anyagleválasztás jellege befolyásolja.



67. ábra: Négyzet alakú lapkával mart felületeken, illetve a mérési síkokban felvett érdességi értékek kumulált eltérései a vizsgált mérőszámoknál ($a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $f_z = 0,4$ mm/ford.)

A forgácsolósebesség növelésének hatására – annak beállított értékeinél – a felületeken mért értékek terjedelmei jellemzően 12–33%-kal kisebbek (2.3., 2.7., 2.11. melléklet, 67. ábra). A százalékos arányuk és azok változása is nagymértékben csökkenő (a vizsgált mérőszámoknál 56–76%-ról 31–42%-ra változnak). Azonban, hasonlóan a síkok eltéréseinél, a sebesség 300 m/min-re növelésének hatására az értékterjedelmek $\pm 20\%$ -kal változnak (csökkennek és növekednek egyaránt).

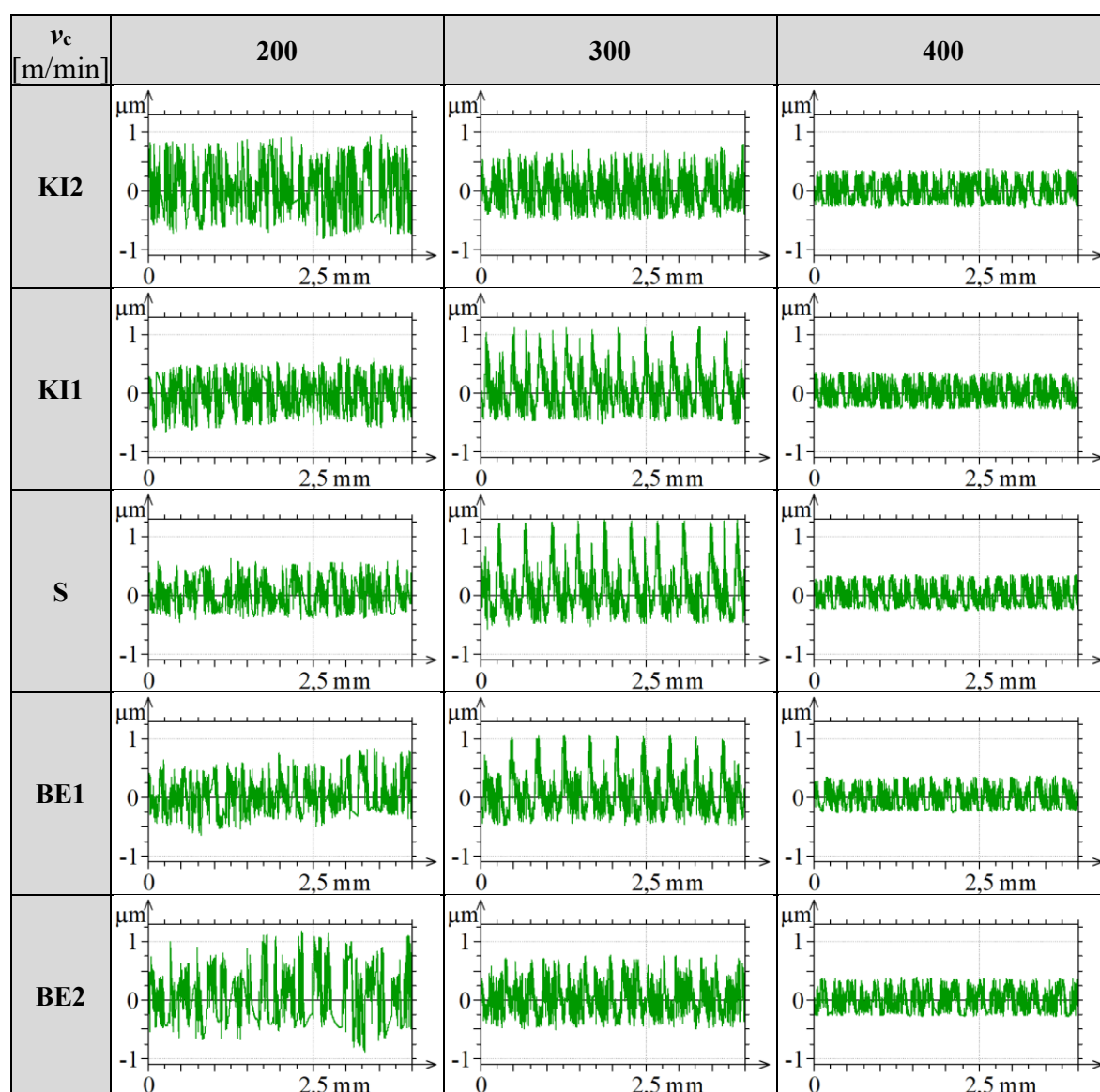
Az érdességi paraméterek közül a magassági típusúak közel azonos, és azokhoz viszonyítva a funkcionális mérőszám közel azonos értékmegoszlást (2.4., 2.8., 2.12. melléklet) és kismértékben nagyobb százalékos különbségeket (2.3., 2.7., 2.11. melléklet) mutatott.

• Kör alakú lapkával forgácsolt felületeken

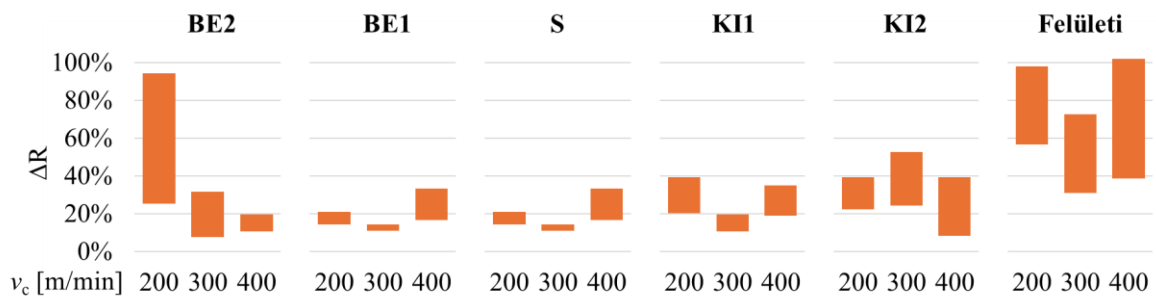
A kör alakú lapkával forgácsolt felületeken felvett érdességi profilok a forgácsolósebesség növelésére szabályosabb és egyre hasonlóbbr geometriájú és helyzetű élnyomokat mutatnak, a magasságuk pedig csökken (68. ábra). A körív élalak adott felületen a legjobban a szimmetriasíkokban felismerhető, és attól távolodva a profilok egyre torzabbak. A fent (66. ábránál) leírt két hatás együttesen érvényesül e topográfiákon is. A 400 m/min sebességgel mart felületen az élnyomok kis csúcsmagasságának oka az, hogy a szerszám az egy fordulattal megelőzően kialakított élnyomnak a csúcsát a következő fordulatban leszakította (68. ábra, középső és jobb oszlop). Ez a munkadarab anyagának mechanikai tulajdonságával magyarázható, ahogy a nagy sebességű képlékeny alakítással szemben nem volt elég ellenállása.

A forgácsolósebesség növelésére a felületeken mért értékek megoszlása jobban közelítette az elméleti topográfiára jellemző változási jelleget: a szimmetriasíktól két irányban távolodva az értékek csökkennek, illetve az eltérések előtolással párhuzamos irányban többnyire kisebbek, mint arra merőlegesen (2.16., 2.20., 2.24. melléklet). Így a sebesség 200 m/min-ről 300 m/min-re történt növelésének hatására legtöbbször számottevően változtak (mindkét irányban) az értékek (2.15., 2.19., 2.23. melléklet). Ennek nagysága a szimmetria- és a két szélső síkban volt jelentős, gyakran 50–100%-os. A további növeléssel jelentősen, kétharmadára, egyharmadára csökkentek az értékek. Ez utóbbinak oka az, hogy a 3.1.3. fejezetben említett hatás (a szimmetriasíktól távolabb a kedvezőtlenebb anyagválasztás torzabb élnyomok kialakulását okozta) egy kisebb forgácsolósebesség alkalmazása esetén jelentősebb volt (ezen alfejezetben, a négyzet alakú lapkával mart felületek elemzésénél részletezve).

A mérési síkokban a forgácsolósebesség növelésére fokozatosan és jelentősen csökken a mért értékek terjedelme, az alkalmazott beállítások mellett jellemzően felére-negyedére (2.15., 2.19., 2.23. melléklet, 69. ábra). A síkokban mért különbségek százalékos nagysága – a csökkenő értékekhez viszonyítva – kismértékben csökken (a vizsgált mérőszámok értékeivel megadva 14–41%-ról 8–35%-ra módosul).



68. ábra: Körlapkával, különböző forgácsolósebességgel mart felületek IV mérési pontjaiban felvett érdességi profilgörbék ($a_p = 0,4$ mm, $a_c = 58$ mm, $f_z = 0,4$ mm/ford.)



69. ábra: Körlapkával mart felületeken, valamint a mérési síkokban felvett érdességi értékek kumulált eltérései a vizsgált mérőszámoknál ($a_p = 0,4$ mm, $a_e = 58$ mm, $f_z = 0,4$ mm/ford.)

A forgácsolósebesség növelésével a síkokban mért értékterjedelmek változása azonos jellegű a négyzet alakú lapkával mart felületeknél leírt megállapításokkal.

A felületen mért értékek különbségei a sebesség növelésére fokozatosan és nagymértékben csökkennek (2.15., 2.19., 2.23. melléklet, 69. ábra): jellemzően felére-harmadára, a vizsgált tartományon egy kisebb beállított érték 100 m/min-mal történt növelésének hatására, fokozatonként. A százalékos arányuk, a csökkenő értékekhez viszonyítva, legtöbbször csak kismértékben csökken (az alkalmazott sebességek esetén legkisebb értékük 57%-ról 39%-ra változott).

Az érdességi paraméterek közül a magassági típusúak közel azonos, és azokhoz képest a funkcionális mérőszám hasonló értékmegoszlást (2.16., 2.20., 2.24. melléklet) és kismértékben nagyobb (százalékosan kifejezett) értékterjedelmet (2.15., 2.19., 2.23. melléklet) mutat.

• Megállapítások

Megállapítottam, hogy a forgácsolósebesség növelésének hatására – a vizsgált tartományon belül – egyre meghatározóbb a szerszám élgeometria az élnyomok kialakulásában. Az eredmények alapján a forgácsolósebesség növelése esetén a mérési síkokban a mért értékek terjedelme jelentősen csökken, a vizsgált sebességtartományban a szimmetriasíkokban 10–36%-ról 5–18%-ra, a több síkban 13–47%-ról 2–35%-ra, továbbá a változása véletlenszerű. A síkokban mért különbségek a forgácsolósebesség növelésével erősebb szabályszerűséget mutatnak: a $v_c = 300$ m/min és 400 m/min beállításával a különbségek a szimmetriasíkokban a legkisebbek, a többi síkban számottevőek. A forgácsolósebesség növelésére a felületeken mért értékek terjedelme is jelentősen csökken, a négyzet alakú lapkával mart felületeknél 56–76%-ról 31–42%-ra, a körlapkával forgácsolt topográfiáknál 57–98%-ról 39–73%-ra. Az értékek megoszlása a vizsgált felületeken közel azonos jellegű, azonban ez a megállapítás a körlapkával és a 200 m/min forgácsolósebesség beállításával forgácsolt felületnél nem érvényes. Az elemzett mérőszámok adott felületen hasonló megoszlást és terjedelmet nagyságokat mutatnak, valamint a különbségek egyforma változását a forgácsolósebesség növelésére. Mindezek alapján homlokmarásban, kör vagy négyzet alakú lapkával végzett forgácsolásnál javaslom a forgácsolósebesség maximális ajánlott (az optimális tartomány felső határ) értékének beállítását a legkisebb mértékű inhomogenitás és a magassági R_a , R_z , R_p és funkcionális R_k érdességi értékek elméleti topográfiára jellemző megoszlásának eléréséhez. Az ajánlott értéknél nem vettem figyelembe szerszáméltartam-kritériumot.

6.3 A vizsgált forgácsolási adatok hatásainak összefoglalása

Megállapítottam, hogy az előtolás növelésének hatására – az alkalmazott kísérleti feltételek mellett – a felületen létrejött élnyomok magassága növekszik, alakja egyre szabályosabb. Az inhomogenitás jellemzésére kiválasztott paraméterek értékeinek eltérése jelentősen csökken (maximális értékük 53%-ról 22%-ra) az előtolás irányú mérési síkokban. Közülük a szimmetriasíkokban változatlanul minimális az értékterjedelem nagysága.

Ugyanakkor amellet, hogy az elötolas növelésével a forgácsképződésben az élkialakítás hatása egyre meghatározóbb az élnyomok magasságában, a topográfián mért különbségek jelentősen (21–51%-ról 31–108%-ra) növekednek. Az értékek megoszlása egyre inkább követi az elméleti értékek változási jellegét: az értékek a szimmetriasíktól két irányban távolodva csökkennek és a különbségek ez irányban a legnagyobbak, elötölással párhuzamos irányban minimálisak. Ez a jelleg csak az $f_z = 0,4$ és $0,6$ mm/ford. beállításával mart felületeken valósult meg teljes mértékben.

Bemutattam továbbá, hogy a forgácsolósebesség növelésének hatására – az alkalmazott kísérleti feltételek mellett – a topográfián kialakuló élnyomok alakja egyre inkább szabályos és egységes, valamint domináns az anyagleválasztás jellegéből adódó egyenetlenségekkel szemben. Ezáltal az elötolas irányú mérési síkokban (10–47%-ról 2–35%-ra), valamint a felületeken mért értékek terjedelmei (56–98%-ról 31–73%-ra) jelentősen csökkentek, amely változásnak nem volt egyforma trendje. A síkok közül a szimmetriasíkban voltak minimálisak a különbségek. A mért értékek megoszlása a forgácsolósebesség növelésével jobban közelítette az elméleti homlokmart topográfia fent leírt jellegzetességét. Ezen megállapítások a vizsgálatban alkalmazott 300 és 400 m/min beállításával mutatkoztak maradéktalanul.

7. A mérési síkok és helyek számának és elhelyezésének meghatározása

Az érdesség elméleti értékei az élnyomok mentén változnak (lásd az 1.5. fejezetben kifejtve). Valamint, a megmunkált felület elmozdulási iránya is különböző lehet működése során a szerkezetekben. Ezért megvizsgálom a 2D-s és 3D-s mérésnél felvett síkok és helyek elrendezésének és számosságának a hatását a topográfiai inhomogenitás nagyságára és jellegére.

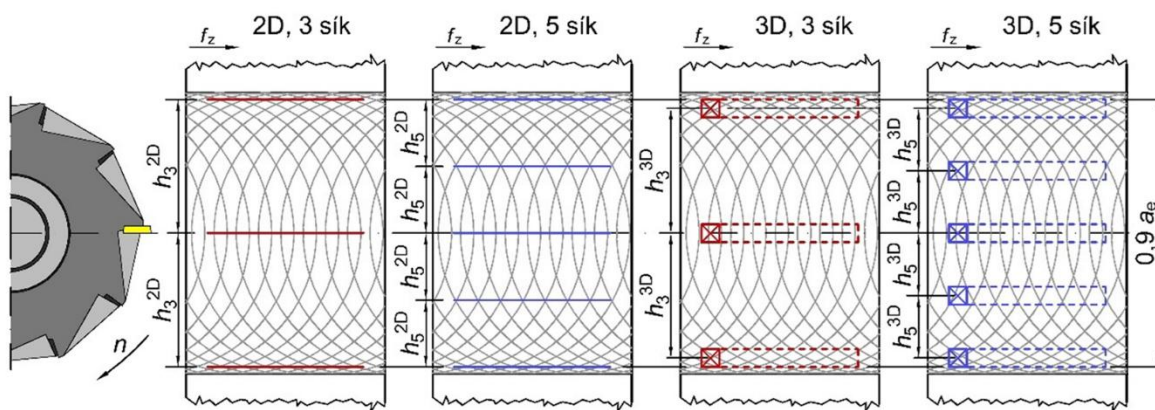
7.1 A mérési síkok és helyek elrendezési módja

Ebben a fejezetben tárgyalom a felületen a mérési síkok és helyek elrendezésének módját, a mart topográfia érdességi jellemzőit figyelembe véve.

A felületen előtolás irányban eltolva mérési helyeken elméletileg azonosak a mért profilok és felületelemek és azok érdességi értékei (lásd az 1.5. fejezetben kifejtve). A valós felületeken mért értékek ez irányban változnak a legkisebb mértékben, más mérési irányokhoz képest (lásd a 3. és a 4. fejezetekben). Tehát a topográfián felvett mérési helyeket előtolással párhuzamos irányban kell mérési síkokba besorolni, amely egyúttal a mérés iránya is legyen – amennyiben a vizsgálatot nem befolyásolják a felület irányfüggő funkcionális jellemzői (lásd a 4. fejezetben). Továbbá, a topográfián az elméleti (lásd az 1.5. fejezetben) és a mért (lásd a 3.1.3. fejezetben) érdességi értékek között a legnagyobb különbségek előtolásra merőleges irányban eltolva mérési helyeken fordulnak elő. Emiatt a mérési síkokat ez irányban eltolva veszem fel.

A mérési síkok bázisa a szimmetriasík (lásd az 1.5. fejezetben kifejtve). További síkokat attól két irányban eltolva veszek fel. A szimmetriasíkkal elválasztott két felületrész azonos módú elemzéséhez az utóbbi síkok helyzete páronként szimmetrikus legyen a középsíkra. A minimális érdességi értékek pedig rendszerint egy, a felület valamelyik széléhez legközelebbi síkban mérhetők. Ezért két másik sík helyzetét is rögzítem a szimmetriasíktól a legtávolabbi felvéve két oldalt.

A párhuzamos mérési síkokat úgy helyezem el a felületen, hogy a vizsgálandó felületrészt egy szabályos kiosztás szerint lefedjék. Ez a felület azon része, amelyből figyelmen kívül hagyjuk annak sorjás, deformált peremeit [13]. Mivel ezek szélessége előre pontosan nem meghatározható – és nem tartalmazza egy szabvány sem –, így az alábbi vizsgálat során az elemzett felületrész szélessége 6 mm-rel (az a_e érték 10%-ában meghatározva, egész értékre kerekítve), hossza 4 mm-rel kisebb a topográfia szélességétől (70. ábra), illetve hosszától (71. ábra), a felületen középre igazítva.

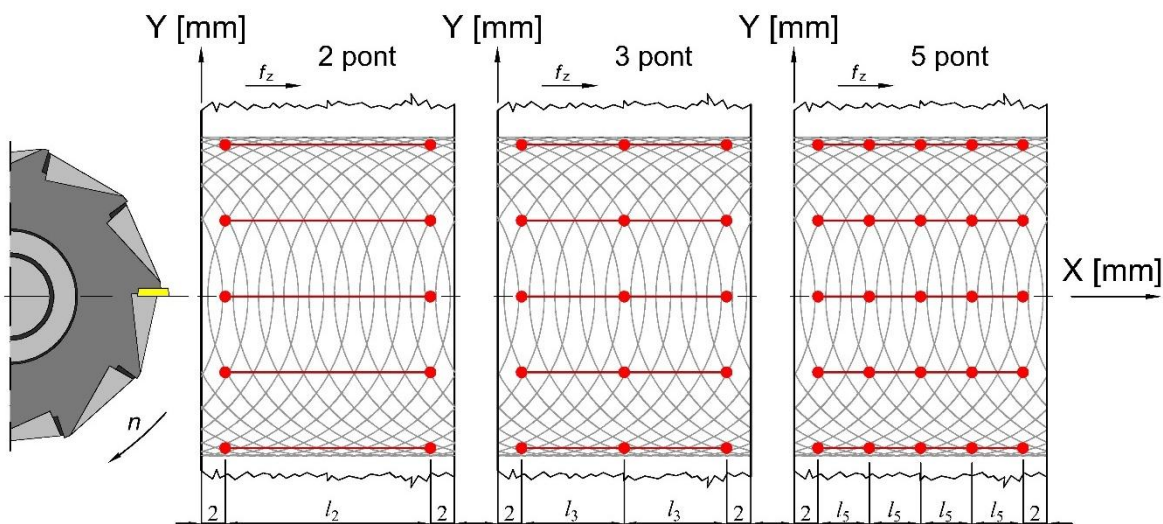


70. ábra: Mérési síkok és felületelemek elhelyezkedése kétféle beállításban

A mérési síkok helyzetét a számosságuk és az egymás közti távolságuk párosításával tudom megadni. A vizsgálat során a síkokat egyforma távolságra határozom meg, egyúttal megfigyelem, hogy a síkok felvételének e módja alkalmas-e az inhomogenitás jellemzésére. Továbbá meg kell választani a mérési síkok számát a felületen. A fent tárgyalt három sík

alkotja a vizsgálatban az első beállítást. A továbbiakban, oly módon bővíttem a síkok számát a szimmetriasík két oldalán újabb 1-1 síkkal, hogy a síkok minden esetben azonos távolságra helyezkedjenek el (70. ábra). Tehát a vizsgálatban a mérési síkok száma 3 vagy attól nagyobb páratlan szám.

A korábbi megállapításaim alapján a magassági érdességi mérőszámok értékei adott mérési síkban véletlenszerűen változnak (lásd a 3.1. fejezetben). Így a mérési helyeket a síkokon egymástól azonos távolságra veszem fel az elemzett hosszön. Ez legkevesebb 2 pontot jelent a vizsgált felületrész szélein. A vizsgálatban továbbá oly módon növelem a mérési helyek számát, hogy azok minden esetben egyforma távolságra helyezkedjenek el egymástól a két szélső pont között (71. ábra).



71. ábra: Mérési helyek elrendezése a síkokon háromféle esetben

7.2 Mérési síkok és helyek számosságának hatása az inhomogenitásra

Ebben az alfejezetben a mérési síkok és azokon felvett mérési helyek számosságának hatását vizsgálom az inhomogenitás nagyságára és jellegére azzal a céllal, hogy meghatározzam azok legkevesebb szükséges számát a homlokmarat topográfia inhomogenitásának elvárt pontosságú, hatékony megadásához. Az elemzésben az **SZ3** szerszámmal (4. táblázat) és a forgácsolási adatok bázisértékeinek ($v_c = 300$ m/min, $f_z = 0,4$ mm/ford., $a_p = 0,4$ mm, $a_e = D_{sz} = 63$ mm) beállításával homlokmarat síkfelületeket vizsgálom (5. táblázat, **K4.3**). A szerszám munkautját változtatva – a 2.2. fejezetben leírt módon – adott beállítással egyszeres és kettős lenyomatú felületet is létrehoztam. Majd az előállított topográfiákon megmértem előtolással párhuzamos irányban a 2D-s és a 3D-s érdességet a 70-71. ábránál bemutatott módszer szerint. Az egyszeres lenyomatú felületen nem mértem meg az érdességet azon felvett mérési helyeken, ahol megmunkálatlan vagy kétszer forgácsolt felületrész alakult ki (lásd az 5.1. fejezetben az 52. és az 57. ábrán). A kettős élnyomokkal kialakított felületen minden felvett helyen reprezentatív a mérési eredmény (lásd a 71. ábrán). A mérési síkok száma legalább 3, vagy attól nagyobb páratlan érték (lásd a 7.1. fejezetben). Azokból a 2D-s méréseknél maximum 17 db-ot, a 3D-s méréseknél legfeljebb 9 db-ot vettem fel, a méréshez szükséges idő minimalizálását figyelembevéve. A szomszédos síkok közötti távolságokat az egyes beállításokban a 17. táblázatban – a 2D-s és 3D-s méréseknél megadott különböző helyzetek miatt külön sorban – adom meg (70. ábra). A síkokon legkevesebb 2, a mérési idő minimalizálását figyelembevéve maximálisan 10 mérési helyet vettem fel el a 2D-s és 7-et a 3D-s méréseknél, amelyek közötti egyforma távolságokat a 18. táblázat tartalmazza (71. ábra). A méréskor és kiértékeléskor szabványosan 4 mm kiértékelési- és 0,8 mm vágási hosszt állítottam be [74] [131]. A vizsgálatban a 2.4. fejezetben kijelölt mérőszámok értékeit elemzem. Mivel a rögzített síkokban

(a szimmetriasík és a két szélső mérési sík) várhatók a legkisebb és a legnagyobb értékek, a mérési eredmények terjedelme várhatóan ugyanakkora marad a síkok és a pontok számának változtatásától függetlenül. Ezért az eltérést a szórással fejezem ki, amely a felületen mért valamennyi értéket figyelembe veszi.

17. táblázat: Mérési síkok és felületelemek között mért távolságok a vizsgált felületeken a számosságuk függvényében

Síkok száma, y [-]	3	5	7	9	11	13	15	17
Síkok közti távolság, h_y^{2D} [mm]	28,5	14,25	9,5	7,1	5,7	4,75	4,05	3,55
Felületelemek közti távolság, h_y^{3D} [mm]	26,5	13,25	8,85	6,6	-	-	-	-

18. táblázat: Mérési helyek között mért távolságok a mérési síkokon a számosságuk függvényében

Mérési helyek száma, x [-]	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mérési helyek közti táv, l_x [mm]	42	21	14	10,5	8,4	7	6	5,25	4,65

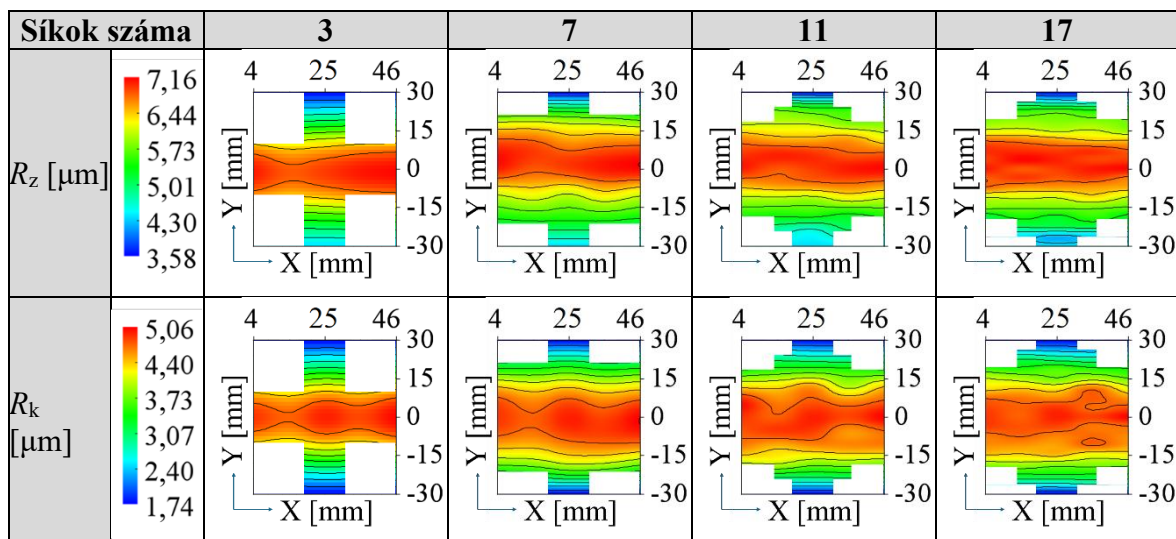
A vizsgálatban először a mérési síkok számának hatását elemzem, ahol a síkokon rögzíték 5-5 egyenletesen kiosztott mérési helyet. A felületen mért értékek viszonylagos megoszlása és szórása alapján jelölöm ki az alkalmazandó mérési síkok számát. Ezt követően vizsgálom az előbb meghatározott számú síkokon a felvett mérési helyek számának hatását az inhomogenitás nagyságára és jellegére. A vizsgálat során feltételezem, hogy a legtöbb mérési sík vagy hely felvételével a topográfia a legnagyobb részletességgel és pontossággal jellemezhető. Emiatt a mérési síkok és helyek azon legkisebb számait fogadom el megfelelőnek, amelyeknél az értékek megoszlása azzal közel azonos, valamint a meghatározott szórás nagyság attól kismértékben, $\pm 10\%$ -kal tér el.

7.2.1 Az egyszeres lenyomatú felület mérési eredményei és kiértékelésük

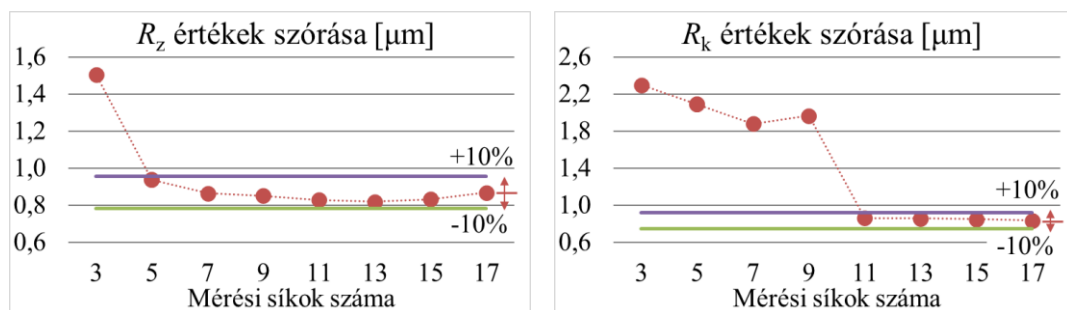
Az alábbiakban az egyszeres lenyomatú felület mérési és statisztikai eredményeit és kiértékelésüket ismertetem. A mért értékeket és viszonylagos megoszlásukat a felületen térképdiagramokon mutatom meg, ahol az alkalmazott koordináta-rendszer a 71. ábrán látható (a nem reprezentatív mérési helyeken nem adok meg értékeket, lásd a 7.2. fejezetben). Az értékek szórását pontdiagramokon ábrázolom. A felületnél egymást követően, először a mérési síkok számának változtatása eredményeit közlöm, majd a javasolt beállításokkal vizsgálom a mérési pontok számának hatását.

A vizsgált felület 2D-s mérési eredményeiből jól látható, hogy a 3 sík túl kevés adatot tartalmaz, az érdesség változásának jellege itt különbözik a többi beállítástól: az értékek csökkenése a szimmetriasíktól két irányban távolodva az előbbinél közel lineáris, míg más esetben (már 5 sík alkalmazásakor is) közel négyzetes összefüggésű (72. ábra). Azonban a magassági érdességi paramétereknél (R_a , R_z , R_p) a 7 mérési síkkal lefedett felület mutat közel azonos értékmegoszlást és szórás nagyságot az annál több síkkal vizsgált topográfákkal. A funkcionális R_k mérőszám értékeinél ugyanezen megállapítás a 11 sík felvétele esetén érvényes (73. ábra). Tehát az inhomogenitás 2D-s érdességi mérőszámokkal történő megfelelően pontos jellemzéséhez legalább 11 mérési sík szükséges.

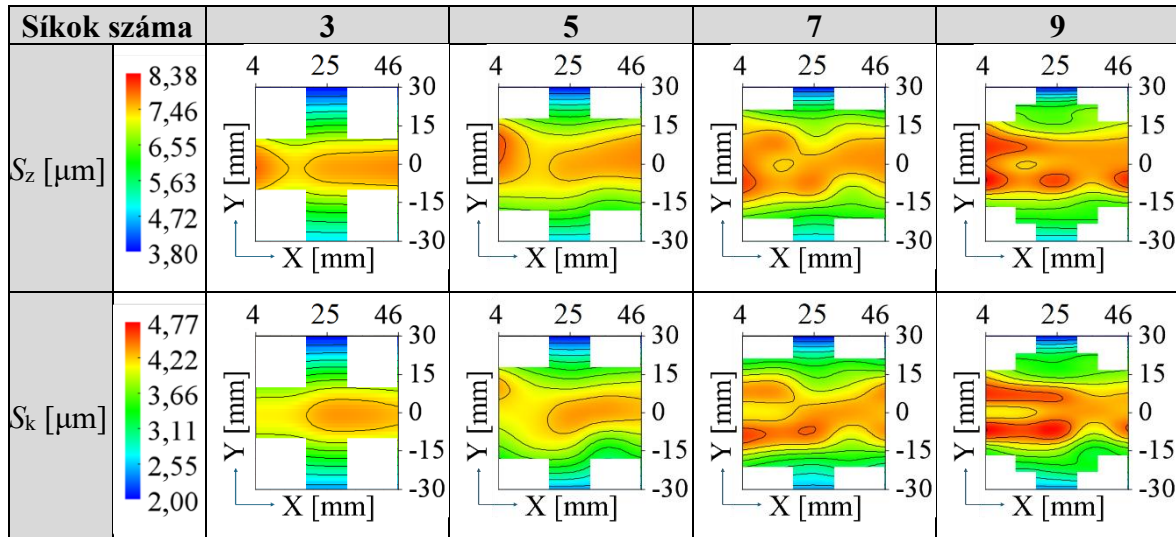
A felület 3D-s paraméterekkel történő vizsgálata már 5 mérési síkkal is közel azonos eredményeket ad, mint 7 vagy 9 sík felvételével (74. ábra). Ennek részeként, bár az S_a és S_k mérőszámok szórás értékei a 9 síkos beállítás értékeihez képest az ábrán jelölt határértéktől nagyobb mértékben (18%-kal) eltérnek, de a megoszlásuk szinte azonos (75. ábra). A 3 mérési sík kevésnek bizonyul a topográfia inhomogenitásának pontos megadásához. Tehát egyszeres lenyomatú felület 3D-s mérése esetén legalább 5 mérési sík felvétele szükséges.



72. ábra: Egyszeres lenyomatú felületen, adott számú síkban mért R_z és R_k értékek megoszlása

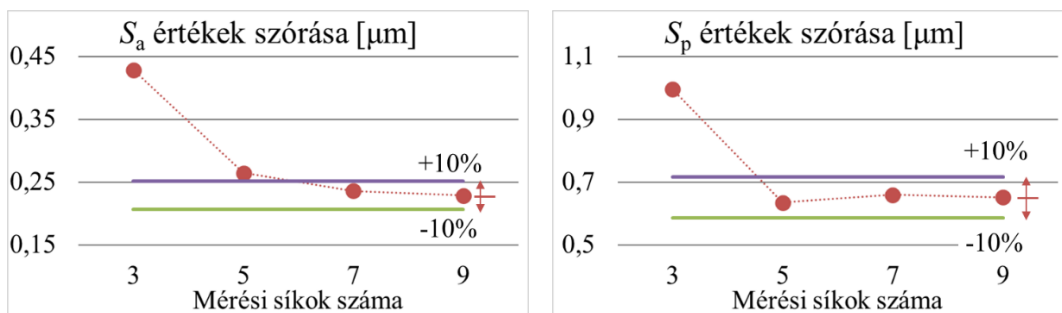


73. ábra: Egyszeres lenyomatú felületen, adott számú síkban mért R_z és R_k értékek szórása

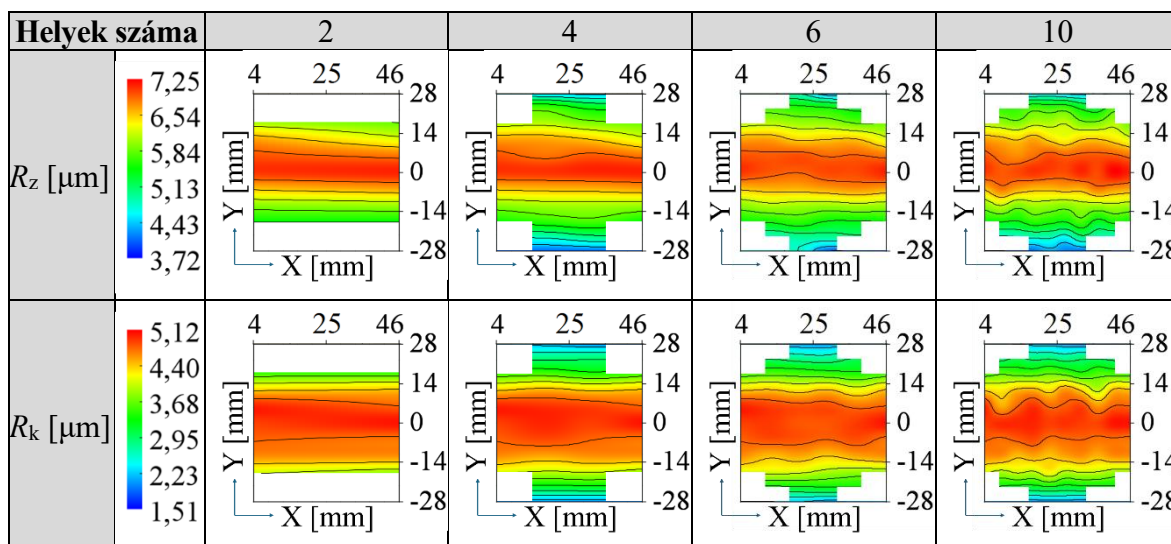


74. ábra: Egyszeres lenyomatú felületen, adott számú síkban mért S_z és S_p értékek megoszlása

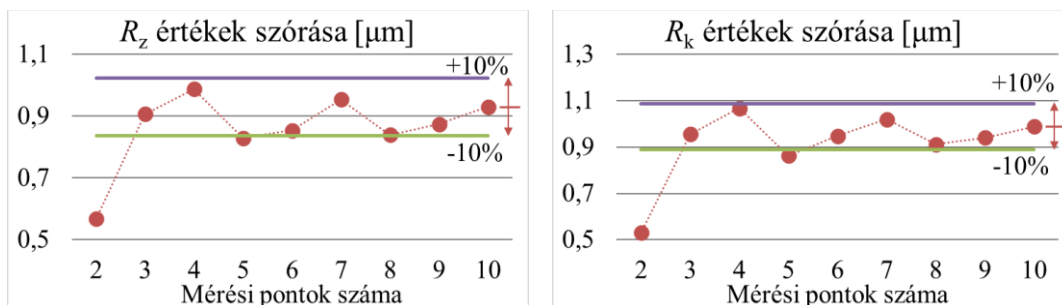
A következőkben elemzem a síkokon felvett mérési helyek számának hatását az inhomogenitásra. A 2D-s érdességi értékek megoszlása a mérési helyek számának növelésére közel azonos (76. ábra). Észrevehető, hogy egy nagyobb elemszám esetén egyre inkább változnak az értékek a síkokban. Hasonlóképp, a szórás nagysága a mérési helyek számának növelésével nem monoton jelleggel változik, de csökkenő különbséggel konvergál (77. ábra). A 2 hely beállításával nagymértékben eltérő az értékek megoszlása és szórása is a többi esettől, vagyis ez túl kevés mérést jelent az inhomogenitás pontos jellemzéséhez. A megoszlás és a szórás (10%-on belüli) hasonlóságát figyelembe véve a mérési síkokban legkevesebb 6-6 helyen kell mérést elvégezni az egyszeres lenyomatú felületeken.



75. ábra: Egyszeres lenyomatú felületen, a megadott számú síkban mért S_a és S_p értékek szórása

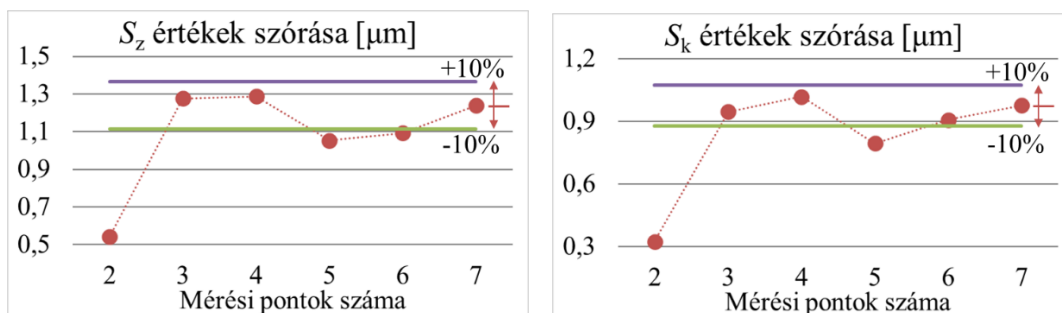


76. ábra: Egyszeres lenyomatú felületen, 11 síkban és az azokon felvett, megadott számú helyen mért R_z és R_k értékek megoszlása

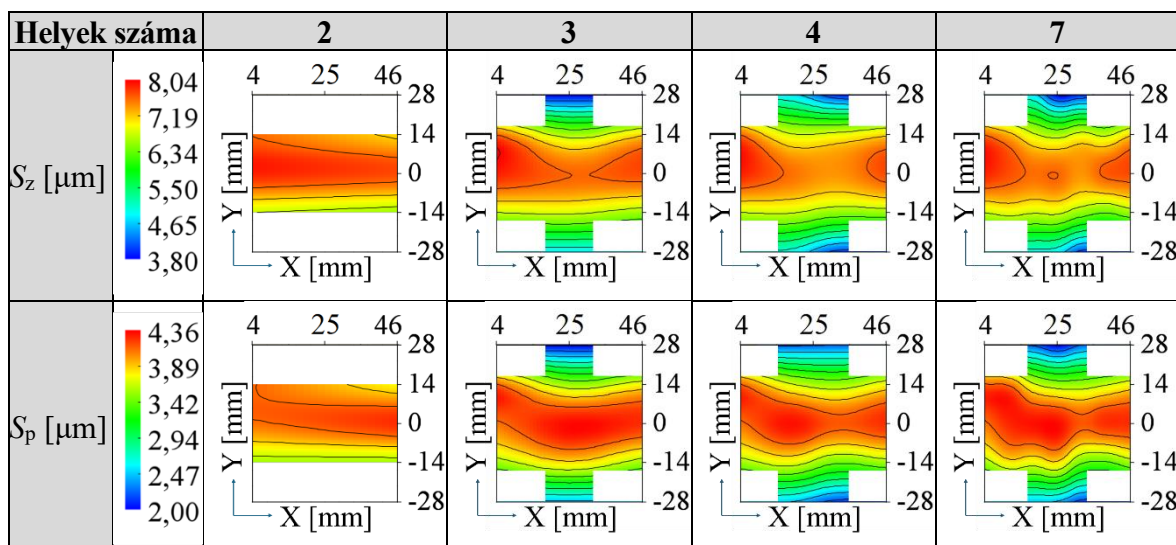


77. ábra: Egyszeres lenyomatú felületen, 11 síkban és az azokon felvett, megadott számú helyen mért R_z és R_k értékek szórása

A felületen mért 3D-s érdességi értékek megoszlása és szórása a mérési helyek számának növelésével hasonlóan jellemezhető, mint a vizsgált mérőszámok 2D-s megfelelőinél. A 2 pontos beállítás ez esetben is túl kevés adatot tartalmaz, az itt megállapított szórás nagymértékben eltér a többi esettől (78. ábra). Ezt megerősíti az is, hogy az egyszeres lenyomatú topográfia nem mérhető egyes szélső helyzetű pontokban. A szórás és az értékmegoszlás szempontjából a 4 pontos beállítás tartalmaz minden olyan síkban mért változást és annak jellegét, amely az összes több elemszámú esetben is előfordul (79. ábra). Így legkevesebb 4 mérési pont alkalmazása szükséges az egyszeres lenyomatú topográfia inhomogenitásának vizsgálatához.



78. ábra: Egyszeres lenyomatú felületen, 5 síkban és az azokon felvett, megadott számú helyen mért S_z és S_k értékek szórása



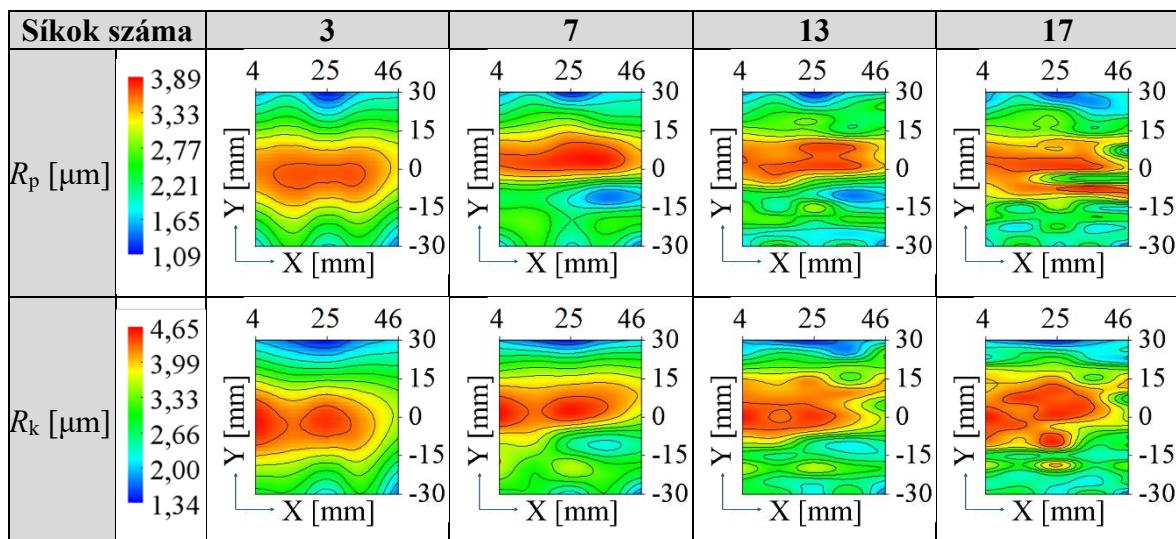
79. ábra: Egyszeres lenyomatú felületen, 5 síkban és az azokon felvett, megadott számú helyen mért S_z és S_p értékek megoszlása

A fejezetben bemutatott vizsgálat eredményei alapján megállapítottam, hogy egyszeres lenyomatú homlokmarkat topográfia inhomogenitásának (nagyságának és jellegének) megadásához 2D-s méréssel legalább 11 mérési sík és azokon legalább 6 mérési hely felvétele szükséges. Ugyanez elvégezhető 3D-s méréssel is, minimum 5 mérési síkban, 4-4 helyen elvégezve. Megállapítottam továbbá, hogy az egymástól azonos távolságra eltoló mérési síkokkal meghatározható az inhomogenitás.

7.2.2 A kettős lenyomatú felület mérési eredményei és kiértékelésük

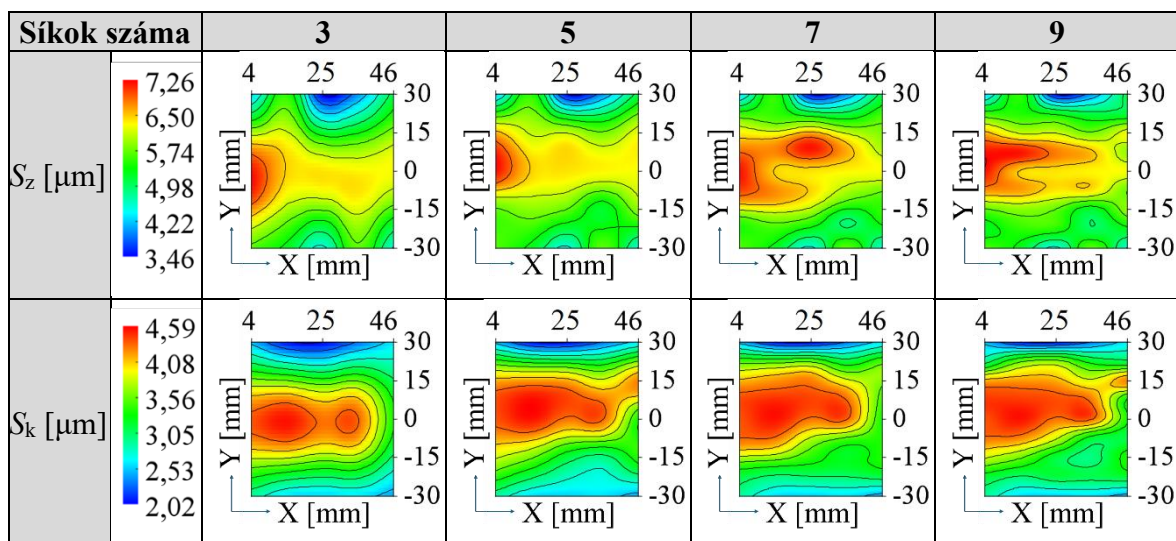
A fejezetben a kettős lenyomatú felület érdességmérési és statisztikai eredményei segítségével meghatározom a mérési síkok és helyek legkisebb szükséges számát. Az előbb bemutatott vizsgálathoz hasonlóan a mért értékeket térképdiaagramokon (a koordináta-rendszert lásd a 71. ábrán), a szórásukat pontdiagramokon ábrázolom. Először a mérési síkok számának változtatása során kapott eredményeket ismertetem, melynél a felvett síkokon 5-5 helyen mért értékeket adom meg. Majd a javasolt beállításokkal vizsgálom a mérési helyek számának hatását.

A felületen mért 2D-s érdességi értékek megoszlása változik a síkok számának növelésére (80. ábra), aminek jellege nem trendszerű. Ennek az az oka, hogy a kettős lenyomatú homlokmarkat felületen a kereszteződő élnyomok metszéseiből adódóan bonyolult a topográfia (lásd az 1.5. fejezetben). A felületen a szimmetriasíktól különböző távolságokban felvett érdességi profilok alakja, magassága és értékei jelentősen változhatnak (lásd a 3.3. fejezetben, a 37-39. ábrákon).

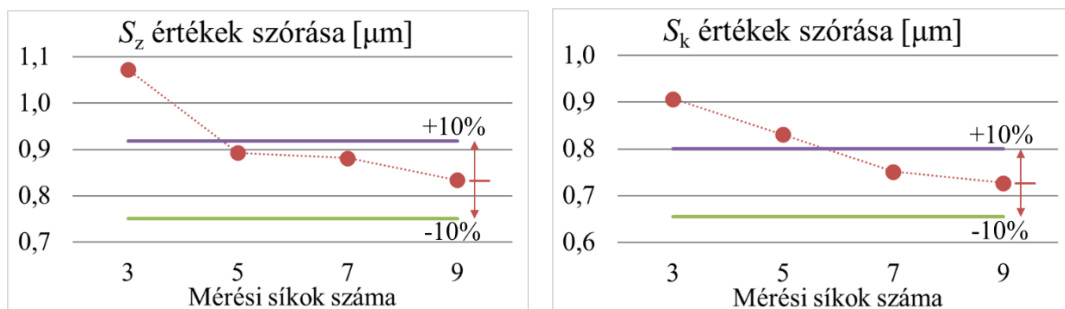


80. ábra: Kettős lenyomatú felületen, adott számú síkban mért R_p és R_k értékek megoszlása

A vizsgált felületen végzett 3D-s mérések eredményei azonban – a 2D-s mérésekkel ellentétben – szabályos változási jeleget mutatnak a mérési síkok bővítésének hatására. Ennek az az oka, hogy a mért felületelemek nagyobb kiterjedésben sokkal több részletet tartalmaznak a topográfiairól és az élnyomokról, mint azoknak csak 1-1 különböző helyzetben metszett szelvénye. Az értékmegoszlások valamennyi beállításnál hasonlóak, de a legbővebb (9 sík) esethez közel azonos eredmények a 7 sík felvételénél láthatók (81. ábra). A felületen mért értékek szórásai közel egyformák a magassági S_z és S_p paramétereknél az 5, 7, 9 sík beállításánál, de az S_a és S_k mérőszámoknál csak a 7 és 9 sík alkalmazása esetén (82. ábra). Tehát legkevesebb 7 sík felvétele szükséges a kettős lenyomatú felületek 3D-s érdességi elemzésénél.

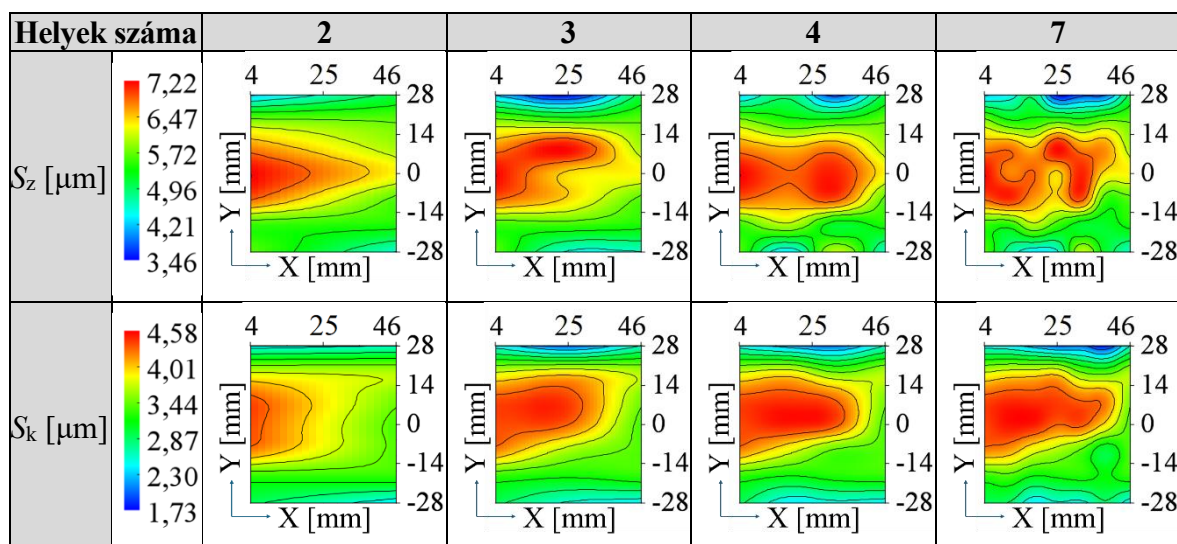


81. ábra: Kettős lenyomatú felületen, adott számú síkban mért S_z és S_k értékek megoszlása

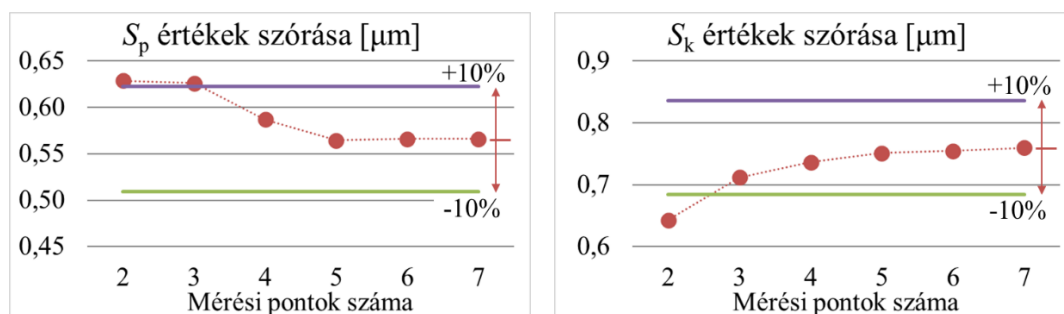


82. ábra: Kettős lenyomatú felületen, adott számú síkban mért S_z és S_k értékek szórása

A továbbiakban vizsgálom a 7 síkon felvett mérési helyek számának hatását a topográfia inhomogenitására. Az előző megállapítások alapján csak a 3D-s mérési eredményeket közlöm és elemzem. E felületen is jól látható, hogy a síkokon felvett 2-2 mérési hely nem elegendő a jelentősen eltérő megoszlás és szórás értékek alapján, a többi beállítás eredményeihez képest. A mérési helyek számának további növelésére a megoszlások jellege hasonló, de a részletességük növekszik: a síkokban sok esetben számottevő értékváltozások jelennek meg (83. ábra). A szórások nagysága e felületnél is a legnagyobb elemszámos beállítás értékeihez konvergál (84. ábra). A legkevesebb 4 mérési hely beállítása mutat olyan jellegű értékmegoszlást és nagyságú szórást, amely közel azonos az attól több helyen elvégzett méréseknél. Tehát legalább 4-4 mérési hely felvétele szükséges a síkokon a kettős lenyomatú felületeken.



83. ábra: Kettős lenyomatú felületen, 7 síkon és az azokon felvett, megadott számú helyen mért S_z és S_k értékek megoszlása



84. ábra: Kettős lenyomatú felületen, 7 síkon felvett, megadott számú helyen mért S_p és S_k értékek szórása

A fejezetben megállapítottam, hogy legkevesebb mennyi mérési sík és hely felvétele szükséges a topográfia vizsgálandó (annak ép középső) részén az inhomogenitás nagyságának és jellegének megfelelően pontos és hatékony megállapításához. Az egyszeres és a kettős élnyomokkal előállított felületekre a számosságokat külön-külön adtam meg, a topográfia eltérő jellegzetességei miatt (lásd az 1.5. fejezetben). Az egyszeres lenyomatú felület inhomogenitása megadható 2D-s méréssel legalább 11 mérési sík és azokon legalább 6 mérési hely felvétele mellett, valamint ez elvégezhető 3D-s méréssel is, amelyet minimum 5 mérési síkon, 4-4 helyen kell kijelölni. A kettős lenyomatú topográfia inhomogenitása csak 3D-s méréssel adható meg megfelelő pontossággal, minimum 7 mérési síkon 4-4 hely felvétele esetén.

Megállapítottam továbbá, hogy a vizsgálatban alkalmazott, a felületen egymástól azonos távolságra eltoltt mérési síkokban, azokon egyenletesen kiosztott helyeken végzett mérésekkel jellemezhető a topográfia inhomogenitása.

8. Javaslat az inhomogenitás mérési és elemzési módszerére

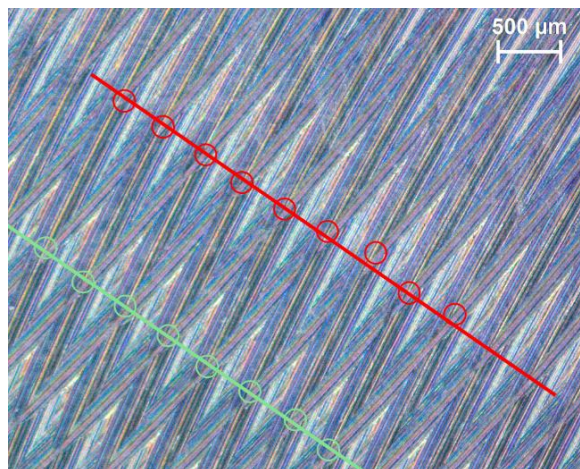
A fejezet célja az inhomogenitás nagyságának és jellegének meghatározása egy mérési terv kidolgozásával. Ehhez először kijelölöm a mérendő felületen a vizsgálandó részt, meghatározom a mérés irányát és az elemzendő érdességi paramétereket, majd a mérési síkok és pontok számát és elhelyezkedését a topográfián, valamint a méréskor és kiértékelésekor beállítandó paraméterek értékét.

8.1 Mérési beállítások meghatározása

A felület megfelelő elemzéséhez 2D-s vagy 3D-s érdességmérést kell elvégezni a megadott mérési helyeken. Ehhez meg kell határozni a következő mérési beállításokat: a mérés irányát, a felület vizsgálandó részének nagyságát és elhelyezkedését, a mérés dimenzióját (2D-s vonalmenti vagy 3D-s felületi), az elemzendő érdességi paramétereket, a mérési helyek számát és elrendezését, valamint a mérési-, kiértékelési- és a szakaszhosszt.

8.1.1 Az előtolási és a mérési irány meghatározása

Első lépésben meg kell határozni a marásban alkalmazott előtolómozgás irányát. Ugyanis azzal azonosan kell felvenni a mérés irányát, a szabvány [13] előírását követve. Ez ismerhető rajzi előírásból (pl. a lenyomat adataival), vagy a megmunkáláskor alkalmazott beállításokból. Ezek hiányában első körben mikroszkópi vizsgálattal a textúra jellegzetes elemeinek (pl. élnyomok metszéspontjai, csúcsai) ismétlődési irányát kell meghatározni (85. ábra). Ha ez ilyen módon pontosan nem tehető meg, akkor a felületen próbamérést kell elvégezni. Annak feltételeit és lépéseit az alábbiakban részletezem.

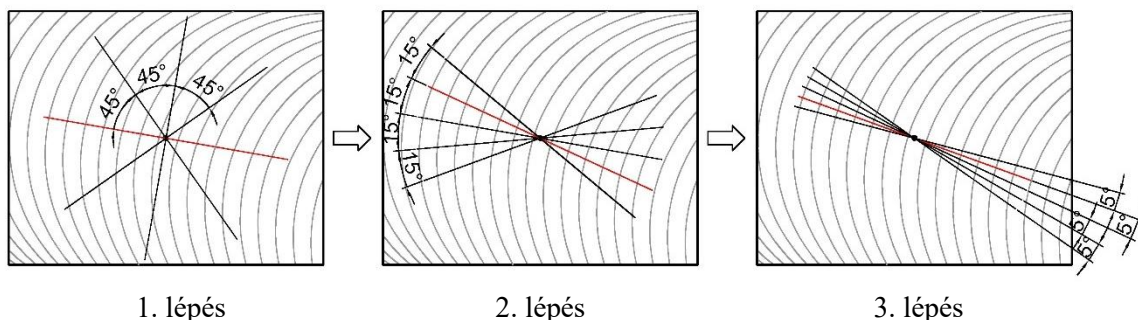


85. ábra: Előtolás irányának (vonalak) meghatározása az élnyomok metszéspontjainak (karikázott) ismétlődése alapján

Ki kell jelölni a vizsgálandó felületrész középpontját, és arra középen illeszkedő mérési síkokat felvenni a következő helyzetekben, három lépésben történő vizsgálathoz (86. ábra):

1. lépésben egymástól 45° -kal elfordítva (4 db),
2. lépésben a kijelölt sík és annak két oldalán 2-2 db, egymástól 15° -kal elfordítva (5 db),
3. lépésben a kijelölt sík és annak két oldalán 2-2 db, egymástól 5° -kal elfordítva (5 db).

Adott mérési sík helyzete egyúttal a mérési irányt is megadja. A síkok hossza egyezzen meg a felület rövidebbik oldalhosszával, a sérült, deformált részek figyelmen kívül hagyásával. A síkokon minimum 4 mérési pontot kell felvenni a sík hosszán egyenletesen elosztva (a 4.1. fejezetben bemutatott eredmények alapján), és a mért R_a átlagos érdességi értékek terjedelmét kell meghatározni. Adott vizsgálatban azt a síkot kell kijelölni a következő



1. lépés 2. lépés 3. lépés
86. ábra: A vizsgálandó topográfia közepén felvett mérési síkok és kiválasztásuk (pirossal) a minimális eltérés szerint

lépéshez, ahol a legkisebbek a különbségek. Az utolsó lépésben kiválasztott sík 5°-os hibán belül közel párhuzamos az előtolás irányával.

Amennyiben a vizsgált felületen egy – előtolómozgás irányától eltérő – meghatározott irányban kell értékelni a topográfiát (pl. funkcionális jellemzők alapján), abban az esetben a megadott iránnyal azonosan kell a mérési irányt rögzíteni.

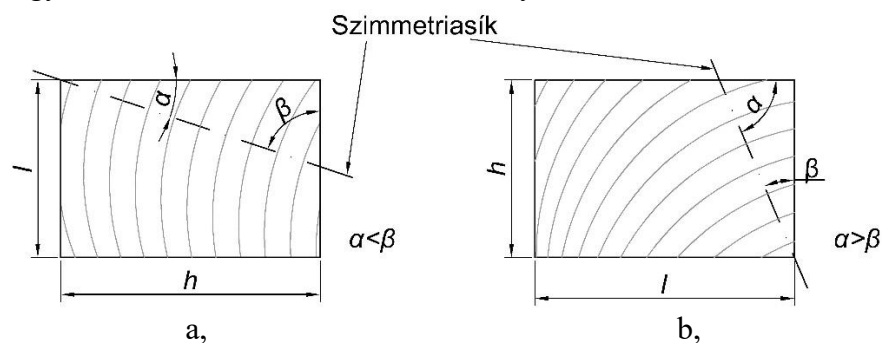
8.1.2 A felület vizsgálandó részének kijelölése, a lenyomat fajtájának megállapítása

Ezután elő kell készíteni az elemzendő felületet. A mérési módszerhez az alábbi tulajdonságai szükségesek (a módszer korlátjai):

- a felület teljes hosszán egyenesvonalú előtolómozgással legyen előállítva,
- egy lépésben, léptetés nélkül legyen megmunkálva a topográfia.

A megmunkált felületet foglaljuk bele egy téglalapba úgy, hogy abban a vizsgálandó felületrész középre igazítva helyezkedjen el [13]. Annak kétféle – rendszerint különböző hosszúságú – oldalát az előtolás iránya szerint különböztessük meg: az a szélesség (h) oldalával nagyobb hegyesszöget zárjon be, mint a hossz (l) oldalával (87. ábra). Ezen kell kijelölni a vizsgálandó felületrészt, amely a topográfia sorjás, deformált széleit nem foglalja magában [13] [74], csak a topográfia reprezentatív részét (a maróélnyomokat) tartalmazza. E peremek szélessége előre nem ismert, a szabványok [13] [74] sem adják meg pontosan, így megállapítása mikroszkópi vizsgálattal lehetséges. Így meg kell adni a vizsgálandó felületrész szélességét (h_v) és hosszát (l_v).

Továbbá meg kell állapítani a topográfiának a lenyomat fajtáját. Az lehet egyszeres, vagy kettős élnyomokkal kialakított. Előfordulhat, hogy a műszaki rajzon ezt előírták a felületre. Ennek hiányában általában szemrevételezéssel, vagy annak nehézsége esetén mikroszkópi vizsgálattal megállapítható. Az olyan felületen, amelynek egyes részein egyszeres, máshol kettős lenyomat is látható, az a kialakult kereszteződő élnyomok miatt kettős lenyomatúnak tekintendő. Valamint, a vizsgálandó felületen előfordulhatnak megmunkálatlan vagy kétszer forgácsolt részek (53. és 57. ábrák, lásd az 5.1. fejezetben), amelyek nem reprezentálják a topográfiát, így azokon nem veszünk fel mérési helyeket.



87. ábra: A megmunkált topográfia szélességének (h) és hosszának (l) megállapítása a szimmetriasík helyzete szerint

8.1.3 A mérés dimenziójának és a vizsgálandó érdességi mérőszámok megadása

Meg kell nézni, hogy a műszaki rajzon előírtak-e érdességet a vizsgált felületre, és az alapján meg kell állapítani a mérés dimenzióját.

- Amennyiben igen, úgy az érdesség mérőszámai közül a maximális csúcsmagasság (R_p vagy S_p), illetve a redukált magzóna magasság (R_k vagy S_k) értékeit kell előnyben részesíteni – a 2.4. fejezetben ismertetett eredmények szerint. Illetve alkalmazható az átlagos érdesség (R_a vagy S_a), valamint az átlagos (R_z) vagy maximális (S_z) egyenetlenség-magasság paraméter is. Ezekről külön előírt mérőszám(ok)kal az inhomogenitás vizsgálata nem jellemezhető megfelelő pontossággal (lásd a 2.4. fejezetben). Ezzel együtt, a lenyomat fajta szerint kell megállapítani a mérés dimenzióját (a 7.2. fejezetben bemutatott eredmények alapján):
 - egyszeres lenyomat esetén az érdességi előírás szerinti dimenziót kell választani,
 - kettős lenyomatú felületen az inhomogenitás vizsgálatot 3D-s méréssel kell elvégezni.
- Ha nincs érdességi előírás a felületre, úgy a maximális csúcsmagasság (R_p vagy S_p), illetve a redukált magzóna magasság (R_k vagy S_k) értékeit kell figyelembe venni a kiértékeléskor (lásd a 2.4. fejezetben). Továbbá, törekedni kell a 3D-s mérés elvégzésére, a kettős lenyomatú felületen kizárólagosan. Az egyszeres lenyomatú topográfián az eszköz feltételek hiányában, vagy a mérési idő minimalizálása érdekében 2D-s méréssel is megvalósítható a vizsgálat (a 7.2. fejezetben bemutatott eredmények alapján).

8.1.4 A mérési síkok és helyek elrendezésének és számának megadása, a szimmetriasík helyének meghatározása

Ezt követően a vizsgálandó felületrészen ki kell jelölni a mérési helyeket. A topográfia érdességi jellemzőit figyelembe véve azokat a mérési irányban rendezve kell felvenni, amelyek párhuzamos mérési síkokat feszítenek ki (lásd a 7.1. fejezetben).

Amennyiben a mérés iránya az előtolómozgás irányával egybeesik, akkor előbb meg kell állapítani a felületen a szimmetriasík helyét (ami a topográfia kitüntetett síkja, lásd az 1.5. fejezetben), egyúttal rögzíteni a felületen az első mérési síkot.

- Ha az élnyomok közötti távolság a topográfia két szemközti szélé felé csökken – szemrevételezéssel vagy mikroszkópi vizsgálatban megállapítva –, akkor a szimmetriasík a felületen helyezkedik el (lásd a 3.1. fejezetben, a 25. ábrán). A helyzete ismerhető rajzi előírásból, vagy megmunkálási beállításokból. Ennek hiányában mikroszkópi vizsgálatban meghatározható. Azon pontokra illeszkedik, ahol az élnyomok az előtolási irányra merőlegesek. Illetve – a ciklois ívű élnyomok aszimmetriai jellemzője miatt (lásd a 3. fejezetben) – jó közelítéssel megadható az egymásra tükrözött textúraelemek közötti középsík felvételével (88. ábra).
- Ha a fenti feltétel nem teljesül, akkor a szimmetriasík a felületen kívül esik, tehát az nem vehető fel mérési síkként. Ahelyett a vizsgálandó felületrészen, előtolás iránnyal párhuzamosan, olyan helyen kell rögzíteni az első mérési síkot, ahol a szomszédos élnyomok ez irányban nézve a legnagyobb távolságra találhatók egymástól.

Ha a mérés iránya nem azonos az előtolási sebesség irányával, abban az esetben mérési irányba eső síkokat kell felvenni a vizsgálandó felületrészen (a 4. fejezetben leírt megállapítások alapján).

A mérési síkok és helyek a vizsgálandó felületrészt egyenletes elosztásban (egymástól azonos távolságra elhelyezkedve), teljes mértékben fedjék le (lásd a 7.1. fejezetben, a 70-71. ábrán). Ily módon a mérési síkok (h_y^{2D} vagy h_y^{3D}) és a pontok (l_x) közötti távolságok a 2-4. egyenletekkel meghatározhatók, ahol y a mérési síkok száma, x a síkokon elhelyezett mérési

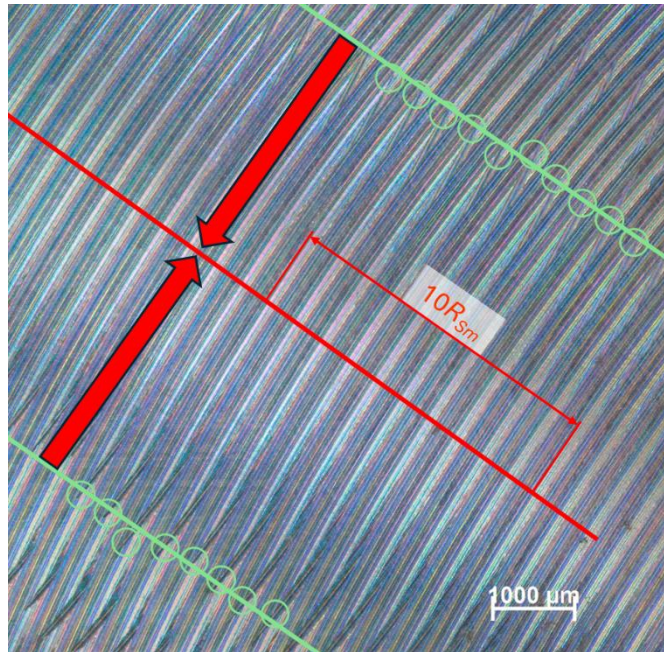
pontok száma és L a mért felületelem oldalhossza (a 70-71. ábrán bemutatott módon). A mérési síkok és helyek elrendezésének e módja alkalmas a topográfia inhomogenitásának megállapítására, a 7. fejezetben bemutatott vizsgálatok eredményei alapján. Ugyanott meghatároztam a legkevesebb szükséges mérési síkok és pontok számát a topográfia lenyomat fajtája és a mérés dimenziója alapján, amelyek a következők:

- egyszeres lenyomatú felület 2D-s mérése esetén legalább 11 síkon, 6-6 helyet,
- egyszeres lenyomatú felület 3D-s mérése esetén legalább 5 síkon, 4-4 helyet,
- kettős lenyomatú felület 3D-s mérése esetén legalább 7 síkon 4-4 helyet kell felvenni.

$$h_y^{2D} = \frac{h_v}{y-1} \text{ [mm]} \quad (2)$$

$$h_y^{3D} = \frac{h_v - 2 \cdot L/2}{y-1} \text{ [mm]} \quad (3)$$

$$l_x = \frac{l_v - 2 \cdot L/2}{x-1} \text{ [mm]} \quad (4)$$



88. ábra: Szimmetrikus textúraelemek (zöld) közötti középsík (piros vonal) kijelölése és az élnyomok ismétlődési távolságának (R_{Sm}) felmérése előtolás irányban

8.1.5 A mérési-, kiértékelési és szakaszhossz (vágási hossz) meghatározása

A következő lépésben meg kell állapítani az élnyomok közötti távolságot előtolás irányban mérve. Ezt nem javaslom az R_{Sm} mérőszám értékének megadásával (próbamérés alapján, érdességi kiértékelés útján), mivel – irodalmi megállapítás [137] és a korábbi tapasztalataim szerint – a kettős lenyomaton az élnyomok metszése, illetve a megmunkálásból eredő felületi hibák (pl. a 3.1. fejezetben, a mért profilokon megfigyelt lokális csúcsok megjelenése az élnyomok völgyeiben, a munkadarab anyagának beékelődése miatt) jelentősen megváltoztathatják annak értékét. A meghatározáshoz profilvizsgálat szükséges mikroszkóppal vagy érdességmérő műszerrel. Előbb fel kell ismerni az egymást követő barázdák ismétlődését előtolás irányban, az alakjuk, illetve magasságuk és szélességük alapján. Ezután meg kell állapítani a szomszédos élnyomok közötti legnagyobb távolságot (88. ábra). A megállapított távolság értékével egyezzen meg az R_{Sm} paraméter

értéke. Ugyanis a mart topográfia periodikus mivolta szerint ezen mérőszám alapján kell megválasztani a [13] [74] szabványokban megadott, méréskor beállítandó mérési-, valamint az érdességi kiértékeléskor alkalmazott kiértékelési- és szakaszhossz (vágási hossz) értékeit (lásd az 1.4. fejezetben). Ily módon a megmunkálási hibák (pl. a szerszámélek ütésének [138]) nem befolyásolják a kiértékelés pontosságát. Továbbá, 3D-s mérés esetén a felületelemek oldalhosszai legyenek azonosak [74].

8.1.6 A topográfiai inhomogenitás nagyságának és jellegének megállapítása

Végül a fent megállapított mérési pontokban és irányban el kell végezni az érdességméréseket, és a kiértékelt eredmények alapján megállapítható a topográfia inhomogenitásának jellege és nagysága. Az előbbi diagramon ábrázolva könnyen elemezhető. Az utóbbit a mért értékek korrigált tapasztalati szórásával kell megállapítani (lásd a 7. fejezetben) és meg kell hozzá adni a vizsgált érdességi mérőszámot. A kifejezését az 5. egyenlet mutatja, ahol I_j [μm] – inhomogenitás, j – érdességi mérőszám (R_z , S_a stb.), n [-] – a felületen felvett mérési pontok száma, x_k [μm] – a k . pontban mért j érdességi paraméter értéke, $\bar{x}$ [μm] – a felületen mért j érdességi paraméter értékek számtani átlaga. A meghatározott mérőszám kisebb értéke kisebb mértékű inhomogenitást jelez.

$$I_j = \sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{(x_k - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

8.2 Mérési terv megadása az inhomogenitás vizsgálatához

A 8.1. fejezetben áttekintettem az érdességméréskor beállítandó paramétereket. Ezek alapján kidolgoztam a mérési tervet, amellyel a homlokmart felület topográfiájának inhomogenitása megadható. Az alábbiakban bemutatom a módszer során elvégzendő vizsgálat lefolytatásának lépéseit. Azok részleteit a 8.1. fejezet tartalmazza.

1. Az elemzendő felület előkészítése.
2. A topográfia vizsgálandó részének kijelölése, szélességének és hosszának megállapítása.
3. Az előtolási sebesség irányának meghatározása. Ismeretének hiányában mikroszkópi vizsgálat vagy próbamérés elvégzése. A mérés irányának rögzítése.
4. A topográfiai lenyomat fajtájának meghatározása. Ismeretének hiányában mikroszkópi vizsgálat elvégzése.
5. A mérés dimenziójának kijelölése és a vizsgálandó érdességi paraméterek kiválasztása.
6. Az első mérési sík felvétele. Ehhez a vizsgálandó felületrészen a szimmetriasík helyzetének meghatározása. Felületen kívüli helyzetű szimmetriasík esetén mérési sík felvétele előtolás irányban, ahol az élnyomok egymástól a legtávolabb vannak.
7. További mérési síkok és az azokon elhelyezett mérési pontok felvétele a lenyomat fajta és a mérés dimenziója szerint.
8. Az élnyomok közötti legnagyobb távolság megállapítása. Ismeretének hiányában mikroszkópi vizsgálat vagy próbamérés elvégzése. A meghatározott távolság alapján a mérési-, a kiértékelési- és a szakaszhossz szabványos értékeinek meghatározása.
9. Érdességmérés elvégzése a felvett mérési helyeken és mérési irányban.
10. Az inhomogenitás megadása a kiértékelt érdesség kijelölt paraméterekkel meghatározott értékeivel.

A mérési terv lépéseit folyamatábrán is bemutatom, amely az értekezés 8. mellékletében található.

9. Új tudományos eredmények, Tézisek

A homlokmarást gyakran alkalmazzák az iparban befejező megmunkálásként is síkfelületek nagy termelékenyséű megmunkálására. Ennek ellenére a felületi topográfia változatosságát a legtöbb esetben nem veszik figyelembe, amely hatással lehet annak működési tulajdonságaira. A kutatómunkámmal a felületi inhomogenitás eddig kellő mélységben nem kidolgozott, a célkitűzésekben megfogalmazott kérdéseinek megválaszolását oldottam meg. Az ezekből levonható fontosabb következtetéseket az alábbi tézisekben foglalom össze.

9.1 Tézisek

- T1. Definiáltam az inhomogenitást. A szerszám és munkadarab mozgásviszonyai és viszonylagos helyzetük alapján meghatároztam, mely határozott élű szerszámmal működő eljárásoknál jön létre inhomogén topográfia. Ez alapján kidolgoztam egy mérési tervet a homlokmarat felületi topográfia inhomogenitásának elemzéséhez. [N12, N14, N17]

(Alkalmazott szerszám: Tungaloy T2845 PM 063.05Z5W marófejben 1 db OFEX 05T3AE nyolcszög alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 63 \text{ mm}$, $\kappa_r = 45^\circ$, $\gamma_o = 25^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$, $r_e = 0,4 \text{ mm}$. Minden beállításnál új szerszámélek. Beállított forgácsolási adatok: $f_z = 0,4 \text{ mm/ford.}$, $v_c = 300 \text{ m/min}$, $a_p = 0,4 \text{ mm}$, $a_e = 63 \text{ mm}$. Vizsgált érdességi paraméterek: R_a , R_z , R_p , R_k , S_a , S_z , S_p , S_k .)

- T2. Egyszeres lenyomattal kialakított homlokmarat síkfelületeken a szimmetriasíkra tükrözött mérési helyek értékei között a különbségek kismértékűek (20%-on belül). Az ellenirányban marat felületeken mért értékek terjedelme legfeljebb 61%-os, amely az egyenirányban marat felületeken közel azonos, míg a szimmetrikus beállítással forgácsolat felületen maximum 78%-os. Az előtolás irányú mérési síkok közül a szimmetriasíkban mért értékek különbsége kisebb (maximum 20,5%-os), mint egy bármilyen másik helyzetű párhuzamos síkban. Ennek mértéke a magassági R_a , R_z , R_p , valamint S_a , S_z , S_p mérőszámoknál a 41%-ot, a funkcionális R_k és S_k paramétereknél az 53%-ot is elérheti. [N18, N19]

(Alkalmazott szerszámok: Canela 074890063 marófejben 1 db SEKN 1203 AFTN négyzet alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 63 \text{ mm}$, $\kappa_r = 45^\circ$, $\gamma_o = 0^\circ$; $\alpha_o = 20^\circ$; $b_e = 0,85 \times 45^\circ$; ATORN 10612120 marófejben 1 db RCKX 1606-MO-TR kör alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 80 \text{ mm}$, $iC = 16 \text{ mm}$, $\gamma_o = 23^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$. Minden beállításnál új szerszámélek. Munkadarab anyaga: normalizált állapotú, C45 minőségű ötvözetlen acél, 180 HB keménységű. Beállított forgácsolási adatok: $f_z = 0,2 \text{ mm/ford.}$ és $0,4 \text{ mm/ford.}$, $v_c = 300 \text{ m/min}$, $a_p = 0,4 \text{ mm}$, $a_e = 31,5 \text{ mm}$ és 58 mm . Vizsgált érdességi paraméterek: R_a , R_z , R_p , R_k , S_a , S_z , S_p , S_k .)

- T3. Kettős élnyomokkal előállított homlokmarat felületen, a másodlagos anyagleválasztás hatására a vizsgált érdességi mérőszámok értékei csökkentek 15–40%-kal, ugyanakkor közöttük a különbségek megnövekedtek. A magassági (R_a , R_z , R_p és S_a , S_z , S_p) és funkcionális (R_k és S_k) paraméterek terjedelme jelentős az előtolás irányú mérési síkokban (legfeljebb 75%, illetve 99%), valamint az eltérő mérési síkokban mért értékek között is (maximum 104%, valamint 119%). [N11, N20, N25, N28]

(Alkalmazott szerszámok: Canela 074890063 marófejben 1 db SEKN 1203 AFTN négyzet alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 63 \text{ mm}$, $\kappa_r = 45^\circ$, $\gamma_o = 0^\circ$; $\alpha_o = 20^\circ$; $b_e = 0,85 \times 45^\circ$; ATORN 10612120 marófejben 1 db RCKX 1606-MO-TR kör alakú

forgácsolólapka, $D_{sz} = 80 \text{ mm}$, $iC = 16 \text{ mm}$, $\gamma_o = 23^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$. Minden beállításnál új szerszámélek. Munkadarab anyaga: normalizált állapotú, C45 minőségű ötvözetlen acél, 180 HB keménységű. Beállított forgácsolási adatok: $f_z = 0,2 \text{ mm/ford.}$ és $0,4 \text{ mm/ford.}$, $v_c = 200 \text{ m/min}$ és 300 m/min , $a_p = 0,4 \text{ mm}$, $a_e = 58 \text{ mm}$. Vizsgált érdességi paraméterek: R_a , R_z , R_p , R_k , S_a , S_z , S_p , S_k .)

- T4. Homlokmarással, egyszeres élnyomokkal létrehozott felületen az előtolás irányával szöget bezáró irányban a 2D-s érdességi értékek terjedelme 30° -ig kismértékű (12% alatti), míg ennél nagyobb, maximum 90° -os irányszög beállítása esetén jelentős (a magassági R_a , R_z , R_p és S_a , S_z , S_p mérőszámoknál maximum 108%-os, a funkcionális R_k és S_k paraméterek esetén legfeljebb 126%-os). Az előtolási sebesség vektorral megadott szögben álló mérési irányra illesztett több, eltolt párhuzamos síkkal a teljes felületre jellemző értékek mérhetők. A topográfia 3D-s érdességi tulajdonságaira a mérési irány változtatásának nincs hatása. [N15, N21, N22, N24]

(Alkalmazott szerszám: ATORN 10612120 marófejben 1 db OCKX 0606-AD-TR nyolcszög alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 80 \text{ mm}$, $\kappa_r = 43^\circ$, $\gamma_o = 25^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$, $r_e = 0,5 \text{ mm}$. Minden beállításnál új szerszámélek. Munkadarab anyaga: normalizált állapotú, C45 minőségű ötvözetlen acél, 180 HB keménységű. Beállított forgácsolási adatok: $f_z = 0,4 \text{ mm/ford.}$, $v_c = 300 \text{ m/min}$, $a_p = 0,4 \text{ mm}$, $a_e = 58 \text{ mm}$. Vizsgált érdességi paraméterek: R_a , R_z , R_p , R_k , S_a , S_z , S_p , S_k .)

- T5. A szerszám és a munkadarab geometriai jellemzői az alábbiak szerint hatnak az inhomogenitásra.

- A marószerszám-átmérő növelésével – azonos nagyságú felületeknél – az érdességi értékek terjedelme maximum 70%-ról 19%-ra csökkent. Ugyanakkor, azonos átfogási szög esetén a terjedelem 20% alatt változik.
- A fogásszélesség növelésére – más forgácsolási vagy mérési paraméter változtatása nélkül – az inhomogenitás mértéke közel azonos.
- Különböző élgeometriájú szerszámmal előállított homlokmart felületeket az inhomogenitás mértéke alapján rangsoroltam: növekvő sorrendben a paralelogramma alakú (24–32%-os), a nyolcéllű (38–51%-os), a négyzet alakú fazettás (37–74%-os), és a körlepkés szerszám (31–73%-os). [N10]

(Alkalmazott szerszámok: ATORN 10612120 marófejben 1 db RCKX 1606-MO-TR kör alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 80 \text{ mm}$, $iC = 16 \text{ mm}$, $\gamma_o = 23^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$; Tungaloy T2845 PM 050.05Z4, T2845 PM 063.05Z5W, T2845 PM 100.05Z8 marófejben 1 db OFEX 05T3AE nyolcszög alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 50 \text{ mm}$, 63 mm és 100 mm , $\kappa_r = 45^\circ$, $\gamma_o = 25^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$, $r_e = 0,4 \text{ mm}$; Sandvik R252.44-080027-15M marófejben 1 db R215.44-15T308M-WL paralelogramma alakú forgácsolólapka, $\kappa_r = 90^\circ$, $\kappa_r' = 3^\circ$, $\gamma_o = 0^\circ$, $\alpha_o = 11^\circ$, $r_e = 0,8 \text{ mm}$; Canela 074890063 marófejben 1 db SEKN 1203 AFTN négyzet alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 63 \text{ mm}$, $\kappa_r = 45^\circ$, $\gamma_o = 0^\circ$, $\alpha_o = 20^\circ$, $b_e = 0,85 \times 45^\circ$. Minden beállításnál új szerszámélek. Munkadarab anyaga: normalizált állapotú, C45 minőségű ötvözetlen acél, 180 HB keménységű. Beállított forgácsolási adatok: $f_z = 0,4 \text{ mm/ford.}$, $v_c = 300 \text{ m/min}$, $a_p = 0,4 \text{ mm}$, $a_e = 50 \text{ mm}$, 58 mm , 63 mm és 100 mm , $\varphi_1 = \varphi_2 = 30^\circ$, 60° és 90° . Vizsgált érdességi paraméterek: R_a , R_z , R_p , R_k .)

- T6. Az előtolás és a forgácsolósebesség értékeinek változtatása – a vizsgált tartományokban – jelentős hatással van a topográfia inhomogenitására. A fogankénti előtolás érték növelésére a homlokmart felület inhomogenitása a magassági R_a , R_z , R_p és S_a , S_z , S_p mérőszámoknál 51%-ról 108%-ra, a funkcionális R_k és S_k paraméterek esetén 49%-ról 75%-ra nőtt. A forgácsolósebesség értékének növelésével a topográfia inhomogenitásának mértéke a magassági paramétereknél 77%-ról 51%-ra

csökkent, a funkcionális mérőszámok esetében az eltérés mértéke – irányfüggően – 67%-os. [N6, N8, N9, N13]

(Alkalmazott szerszámok: Canela 074890063 marófejben 1 db SEKN 1203 AFTN négyzet alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 63 \text{ mm}$, $\kappa_r = 45^\circ$, $\gamma_o = 0^\circ$; $\alpha_o = 20^\circ$; $b_e = 0,85 \times 45^\circ$; ATORN 10612120 marófejben 1 db RCKX 1606-MO-TR kör alakú forgácsolólapka, $D_{sz} = 80 \text{ mm}$, $iC = 16 \text{ mm}$, $\gamma_o = 23^\circ$, $\alpha_o = 7^\circ$. Minden beállításnál új szerszámélek. Munkadarab anyaga: normalizált állapotú, C45 minőségű ötvözetlen acél, 180 HB keménységű. Beállított forgácsolási adatok: $f_z = 0,2 \text{ mm/ford.}$, $0,4 \text{ mm/ford.}$ és $0,6 \text{ mm/ford.}$, $v_c = 200 \text{ m/min}$, 300 m/min és 400 m/min , $a_p = 0,4 \text{ mm}$, $a_e = 58 \text{ mm}$. Vizsgált érdességi paraméterek: R_a , R_z , R_p , R_k .)

9.2 A hasznosítás és a továbbfejlesztés lehetőségei

Az értekezésben bemutatott vizsgálati módszer alkalmazásával a felület topográfiai sajátosságai az eddigi kutatási eredményektől részletesebben felírható és inhomogenitásuk pontosabban megadható az elemzett mérőszámok alapján. Ezáltal a megmunkált felületekre vonatkozó funkcionális követelményeknek jobban megfelelő alkatrészek tervezhetők és állíthatók elő. Ennek különös jelentőségét az adja, hogy folyamatosan növekszik a legyártott alkatrészek között a precíziós alkatrészek száma.

A disszertációm eredményei több irányban is továbbfejleszthetők. Ilyen pl. a homlokmart felület topográfiai jellemzőinek – például az élnyomok magasságának és radiális szélességének változása, valamint az élnyomok metszésének jellegzetességei – további feltárása és az alkatrész megmunkálásának tervezéséhez adatbázis létrehozása. Emellett vizsgálni kívánom a forgácsolás során alkalmazott – az értekezésben nem elemzett – beállítások (például a hűtő-kenő folyadék használata, a szerszámtengely döntése, illetve az oldalirányú fogásvétel) módosításának inhomogenitásra gyakorolt hatását.

A kutatómunka következő fázisában tervezem az inhomogenitási és a funkcionális paraméterek szorosabb kapcsolatának feltárását – tribológiai vizsgálatokkal együtt. A továbbiakban tervezem bonyolultabb geometriájú szerszámokkal (pl. sarokmaróval, gömbvégű maróval) létrehozott topográfiák jellemzését, valamint az elemzési módszer kiterjesztését más határozott élű szerszámmal dolgozó eljárásokra is.

Összefoglalás

A doktori értekezésemben a homlokmarással megmunkált síkfelületek topográfiáját és az érdességének változását vizsgáltam. A határozott élű szerszámmal dolgozó eljárások között vannak olyanok – homlokmarás, hántolás, körfűrészelés stb. –, amelyekben a forgácsolt felület különböző helyein jelentősen eltér az érdesség. E változások törvényszerűsége nincs átfogó mértékben meghatározva, azonban befolyásolhatja a működő felületek funkcionális jellemzőit és élettartamát. A megfelelő működési tulajdonságokat a befejező megmunkálással érjük el, ami a fentiek közül homlokmarással megvalósítható és gyakran alkalmazott az iparban. Így ezen eljárást jelöltem ki a vizsgálatokhoz. Kutatásom célja az volt, hogy a homlokmarással előállított felületen vizsgáljam az érdességi eltéréseket, feltárjam annak nagyságát és összefüggéseit.

A kutatómunka első részében áttekintettem a határozott élű szerszámmal megmunkált felületek topográfiai jellemzőit és csoportosításukat a lenyomatuk fajtája szerint. Megneveztem azon eljárásokat, amelyekkel létrehozott felületen az érdesség értékei változnak. Ezzel együtt definiáltam a topográfiai inhomogenitást. Az eljárások közül kijelöltem a homlokmarást, elemeztem az azzal előállított síkfelületi topográfia jellegzetességeit és összefoglaltam a hazai és a nemzetközi szakirodalmak áttekintése alapján az e kutatási területhez tartozó eddigi megállapításokat.

Javaslatot tettem azon érdességmagassággal összefüggő topográfiai mérőszámok megadására, amelyekkel az inhomogenitás nagysága és jellege a legjobban kifejezhető.

A kísérleti munkámban először vizsgáltam a homlokmarásban működő forgácsoló- és előtolómozgások hatását a topográfia érdességi eltéréseire. Elvégeztem az egyszeres és a kettős marónyommal előállított felületek inhomogenitásának összehasonlító elemzését, megállapítottam annak nagyságát és jellegét. Ezt követően feltártam a mérési irány befolyását a fent kijelölt érdességi mérőszámok értékeire és azok változásának nagyságára. Elemeztem a marószerszám átmérőjének és a mart felület szélességének hatását a topográfia inhomogenitásának mértékére és jellegére, és megállapítottam az összefüggésüket. Elvégeztem négyféle szerszám élgeometriával előállított topográfia összehasonlító elemzését, megállapítottam az érdességük változásának nagyságát, amely szerint a szerszámokat rangsoroltam. Vizsgáltam a homlokmarásban alkalmazott fogankénti előtolás és forgácsolósebesség változtatásának hatását a topográfiai inhomogenitásra és meghatároztam az összefüggéseket annak mértékével és jellegével. Végül kidolgoztam egy mérési módszert a homlokmart felületi topográfia inhomogenitásának elemzéséhez. Ebben rögzítettem a mérés irányát, a mérési-, kiértékelési- és a szakaszhosszt, valamint a mérendő felületelemek nagyságát és elhelyezkedését. Az egyszeres, illetve a kettős élnyomokkal mart felületen felvett mérési helyek legkevesebb szükséges számát és elhelyezkedését kísérleti vizsgálatok alapján állapítottam meg.

Az értekezésben bemutatott eredmények iparban való hasznosíthatóságán túl a megmunkált felületi topográfiák jellemzésének egy teljesebb értékelését is elősegítik.

Summary

In this doctoral dissertation, the topography of face-milled surfaces and the variations in their surface roughness were investigated. Among machining processes that use defined cutting edge tools – such as face milling, planing, circular sawing – there are methods where the surface roughness can vary significantly at different parts of the machined surface. The regularity of these changes has not been comprehensively defined; however, it may influence the functional characteristics and service life of the working surfaces. Desired operational properties are typically achieved through finishing operations, one of which is face milling – a widely used and industrially relevant process. For this reason, I selected this process as the focus of my investigations. The aim of my research was to study the surface roughness variations on face-milled surfaces, quantify their magnitude, and reveal their relationships.

In the first part of the research, I reviewed the topographical characteristics of surfaces machined with tools having defined cutting edge(s), and I classified these surfaces based on the type of lay. I identified machining methods where surface roughness values vary across the machined surface and, in this context, defined the concept of topographical inhomogeneity. Among the distinguished methods, I selected face milling and analyzed the typical features of the resulting surface topography. I also summarized the findings of previous studies in both Hungarian and international literature relevant to this research area.

I proposed specific surface roughness parameters related to topographical height that best describe the magnitude and distribution of inhomogeneity.

In the experimental phase of the research, I first examined how the cutting and feed motions in face milling affect the roughness variations in surface topography. I conducted a comparative analysis of the inhomogeneity of surfaces produced with single and double milling marks, determining both its extent and distribution. I then investigated how the measurement direction influences the values of the selected roughness parameters and the degree of their variation. Further analysis was carried out to determine how the diameter of the milling tool and the width of the machined surface affect the degree and nature of topographical inhomogeneity. I also performed a comparative analysis of surface topographies produced using four different cutting edge geometries, identified the extent of roughness variation, and ranked the tools accordingly. In addition, I studied the effects of varying the feed per tooth and cutting speed in face milling on topographical inhomogeneity, and determined their relationship to its magnitude and distribution. Finally, I developed a measurement method for analyzing topographical inhomogeneity on face-milled surfaces. This includes the determination of the measurement direction, the measurement, evaluation, and cut-off lengths, as well as the size and location of the surface elements to be measured. Based on experimental investigations, I determined the minimum required number and positioning of measurement locations for surfaces machined with single and double cutting marks.

The results presented in this dissertation will not only be applicable in industrial settings but will also contribute to a more comprehensive evaluation of machined surface topographies.

Irodalomjegyzék

- [1] H. Youssef, H. El-Hofy, M. Ahmed, *Manufacturing Technology: Materials, Processes, and Equipment*, Boca Raton, Oxon: CRC Press, 2024.
- [2] I. Zagórski, J. Korpysa, „Surface Quality Assessment after Milling AZ91D Magnesium Alloy Using PCD Tool,” *Materials*, vol. 13, p. 617, 2020.
- [3] D. Whitehouse, *Handbook of Surface and Nanometrology*, Boca Raton: CRC Press, 2011, p. 1000.
- [4] L. Blunt, X. Jiang, *Advanced Techniques for Assessment Surface Topography*, London, Sterling: Kogan Page Science, 2003.
- [5] B. Griffiths, *Manufacturing surface technology: surface integrity & functional performance*, London: Penton Press, 2001.
- [6] J. Davim, *Surface Integrity in Machining*, London: Springer-Verlag, 2010.
- [7] „Most Common Metal Fabrication Techniques And Tools,” [Online]. <https://www.schuettemetals.com/blog/6-most-common-metal-fabrication>. [Hozzáférés dátuma: 2024. július 1.].
- [8] „Metal fabrication processes: understanding the different types,” [Online]. <https://www.metafab.com/metal-fabrication-processes-understanding-the-different-types/>. [Hozzáférés dátuma: 2024. július 1.].
- [9] D. Bajić, I. Majce, „Optimisation of Parameters of Turning Process,” in *International Scientific Conference on Production Engineering*, vol. 47, Zagreb Lumbarda, Hrvatska, 2006, pp. 129-136.
- [10] I. Dudás, S. Szabó, Gyártási rendszerek analízise II. Azonosítási szám: 16/1998., Miskolc: MTA-ME Gépgyártástechnológiai Tanszéki Kutatócsoport, Gépírat, 1998.
- [11] D. Pimenov, A. Hassui, S. Wojciechowski, M. Mia, A. Magri, D. Suyama, A. Bustillo, G. Krolczyk, M. Gupta, „Effect of the relative position of the face milling tool towards the workpiece on machined surface roughness and milling dynamics,” *Applied Sciences*, vol. 9, no. 5, p. 842, 2019.
- [12] M. Hadad, M. Ramezani, „Modeling and analysis of a novel approach in machining and structuring of flat surfaces using face milling process,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 105, pp. 32-44, 2016.
- [13] *ISO 21920: Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile*, 2021.
- [14] *ASME B46.1: Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)*, 2019.
- [15] „A Complete Guide to Understand Surface Roughness in Manufacturing,” 2022. [Online]. <https://leadrp.net/blog/a-complete-guide-to-understand-surface-roughness-in-manufacturing/>. [Hozzáférés dátuma: 2024. január 14.].
- [16] S. Horváth, „A felületi hullámosság 2D-s és 3D-s jellemzése, a működési tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata és elemzése,” Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2008.
- [17] G. T. Smith, *Cutting Tool Technology*, London: Springer-Verlag, 2008.
- [18] T. Yin, H. Du, G. Zhang, W. Hang, S. To, „Theoretical and experimental investigation into the formation mechanism of surface waviness in ultra-precision grinding,” *Tribology International*, vol. 180, p. 108269, 2023.
- [19] Y. Li, N. Garabedian, J. Schneider, C. Greiner, „Waviness Affects Friction and Abrasive Wear,” *Tribology Letters*, vol. 71, p. 46, 2023.
- [20] „Felületi érdesség,” [Online]. <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/mezogazdasag/muszaki-alapismeretek/feluleti-erdesseg/feluleti-erdesseg-es-jelolese>. [Hozzáférés dátuma: 2024. június 21.].
- [21] *ISO 4287: Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Terms, definitions and surface texture parameters*, 1997.

- [22] K. Palotainé Békési, Műszaki ábrázolás IV. Tűrések-illesztések, felületi érdesség, Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008.
- [23] „Surface Roughness Measurement and Applications,” [Online]. <https://metrologicallyspeaking.com/surface-roughness-measurement-and-applications/>. [Hozzáférés dátuma: 2024. január 15.].
- [24] X. Shi, X. Lu, Y. Feng, Z. Qiu, „Tribo-dynamic analysis for aero ball bearing with 3D measured surface roughness,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 131, p. 105848, 2022.
- [25] H. Wang, W. Bie, S. Zhang, T. Liu, „Theoretical and experimental study of friction characteristics of textured journal bearing,” *Micromachines*, vol. 14, no. 3, p. 577, 2023.
- [26] C. Zhou, L. Wang, J. Shen, C. Chen, Y. Ou, H. Feng, „Wear characterization of raceway surface profiles of ball screws,” *Journal of Tribology*, vol. 144, no. 11, p. 111701, 2022.
- [27] J. Zhao, X. Yu, W. Sheng, Z. Li, H. Zhang, R. Zhu, „Effect of machined tooth surface mixed lubrication sliding wear on gear dynamic characteristics,” *Machines*, vol. 11, no. 1, p. 25, 2022.
- [28] S. Sanda, H. Nagakura, N. Katsumi, S. Hotta, K. Kawai, M. M., „Analysis of piston frictional force under engine firing condition—effects of cylinder bore surface texture on friction,” in *Proceedings of Academic Conference on Automotive Engineering Society 2014 Spring Meeting*, 2014, p. JSAE20145165.
- [29] D. Fletcher, J. Corteen, A. Wilby, „Rough surface rolling contact fatigue crack stress intensity factor calculation for modern rail steels,” *Wear*, vol. 540, p. 205231, 2024.
- [30] G. Cheng, J. Ma, J. Li, K. Sun, K. Wang, Y. Wang, „Study on the dynamic characteristics of gears considering surface topography in a mixed lubrication state,” *Lubricants*, vol. 12, no. 1, p. 7, 2023.
- [31] Y. Li, L. Shi, Z. Liu, X. Wang, X. Qiao, Z. Zhang, S. Yan, „Study on the lubrication state and pitting damage of spur gear using a 3D mixed EHL model with fractal surface roughness,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 36, no. 12, p. 5947, 2022.
- [32] O. Abdullah, J. Schlattmann, M. Lytkin, „Effect of surface roughness on the thermoelastic behaviour of friction clutches,” *FME Transactions*, vol. 43, no. 3, pp. 241-248, 2015.
- [33] D. Shinde, M. Bulsara, K. Mistry, „Tribological performance of non-asbestos brake friction material in contact with brake disc of varying topography,” *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 72, no. 10, pp. 1277-1283, 2020.
- [34] V. Dzyura, P. Maruschak, „Optimizing the formation of hydraulic cylinder surfaces, taking into account their microrelief topography analyzed during different operations,” *Machines*, vol. 9, no. 6, p. 116, 2021.
- [35] Y. Du, M. Li, „Effects on lubrication characteristics of water-lubricated rubber bearings with journal tilting and surface roughness,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 234, no. 2, pp. 161-171, 2020.
- [36] N. Liu, C. Wang, Q. Xia, Y. Gao, P. Liu, „Simulation on the effect of cylinder liner and piston ring surface roughness on friction performance,” *Mechanics & Industry*, vol. 23, p. 8, 2022.
- [37] F. Pérez-Ràfols, Modelling and Numerical Analysis of Leakage Through Metal-to-Metal Seals, Luleå, Svédország: Luleå University of Technology, 2016.
- [38] G. Starzynski, R. Buczkowski, „Ultrasonic measurements of contact stiffness between rough surfaces,” *Journal of Tribology*, vol. 136, no. 3, p. 034503, 2014.
- [39] D. Ernens, F. Pérez-Ràfols, D. Van Hoecke, R. Roijmans, E. van Riet, J. V. Vande Voorde, A. Almqvist, M. de Rooji, S. Roggeband, W. Van Haaften, M. Vanderschueren, P. Thibaux, H. Pasaribu, „On the sealability of metal-to-metal seals with application to premium casing connections,” in *SPE/IADC International Drilling Conference 2019*, Håga, Hollandia, 2019.
- [40] P. Dunlap, „An Overview of Advanced Elastomeric Seal Development and Testing Capabilities at NASA Glenn Research Center,” in *50th Joint Propulsion Conference*, Cleveland, USA, 2014.

- [41] S. Vlădescu, C. Putignano, N. Marx, T. Keppens, T. Reddyhoff, D. Dini, „The percolation of liquid through a compliant seal—An experimental and theoretical study,” *Journal of Fluids Engineering*, vol. 141, no. 3, p. 031101, 2019.
- [42] J. Wenk, L. Stephens, S. Lattime, D. Weatherly, „A multi-scale finite element contact model using measured surface roughness for a radial lip seal,” *Tribology International*, vol. 97, pp. 288-301, 2016.
- [43] B. Wang, X. Meng, X. Peng, Y. Chen, „Experimental investigations on the effect of rod surface roughness on lubrication characteristics of a hydraulic O-ring seal,” *Tribology International*, vol. 156, p. 106791, 2021.
- [44] A. Anwar, W. Dempster, Y. Gorash, D. Nash, „Surface roughness 3D modelling and its association with leak tightness for a metal-to-metal contacting surface. ArtNo. PVP2017-65404, V004T04A004,” in *ASME 2017 Pressure Vessels and Piping Conference*, Waikoloa, USA, 2017.
- [45] H. Patel, H. Hariharan, G. Bailey, G. Jung, „Advanced Computer Modelling for Metal-to-Metal Seal in API Flanges. ArtNo. D011S001R002,” in *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Dallas, USA, 2018.
- [46] N. Ji, P. Wang, J. Xie, M. Zhao, C. Feng, J. Xie, „Small-scale Experimental Research on the Key Parameters Affecting Metal-to-metal Sealability,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2610, no. 1, p. 012034, 2023.
- [47] X. Sun, „Thermal contact conductance model of rough surfaces with inclination based on three-dimensional fractal theory,” *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 96, no. 2, pp. 265-272, 2024.
- [48] R. Chadouli, F. Lebon, I. Rosu, M. Makhlof, „Numerical study of the surface roughness, thermal conductivity of the contact materials and interstitial fluid convection coefficient effect on the thermal contact conductance,” *Annales de Chimie-Science des Matériaux*, vol. 43, no. 4, pp. 265-271, 2019.
- [49] T. He, W. Chen, Z. Liu, Z. Gong, S. Du, Y. Zhang, „The impact of surface roughness on the friction and wear performance of GCr15 bearing steel,” *Lubricants*, vol. 13, no. 4, p. 187, 2025.
- [50] J. Zhao, R. Zhao, Y. Huo, W. Cheng, „Effects of surface roughness, temperature and pressure on interface thermal resistance of thermal interface materials,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 140, pp. 705-716, 2019.
- [51] V. Kharina, A. Kurek, „Derating of electrical contacts with varying surface roughness,” *Applied Sciences*, vol. 15, no. 11, p. 6196, 2025.
- [52] H. Song, K. Xia, J. Xiao, „Surface roughness modulated resistivity in copper thin films,” *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, vol. 61, pp. 1-8, 2018.
- [53] A. Kumar, „Critical state-of-the-art literature review of surface roughness in incremental sheet forming: A comparative analysis,” *Applied Surface Science Advances*, vol. 23, p. 100625, 2024.
- [54] X. Cao, M. Li, L. Zhang, A. Tian, X. Li, R. Wang, Y. Chen, D. Zhang, L. Xu, „Improvements of the interfacial adhesion between water-based coating and carbon fiber reinforced polymer composite by deposition of silica particles,” *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, vol. 108, no. 3, pp. 878-888, 2023.
- [55] N. Speranza, B. Kidd, M. Schultz, I. Viola, „Modelling of hull roughness,” *Ocean Engineering*, vol. 174, pp. 31-42, 2019.
- [56] D. Chung, N. Hutchins, M. Schultz, K. Flack, „Predicting the drag of rough surfaces,” *Annual Review of Fluid Mechanics*, vol. 53, no. 1, pp. 439-471, 2021.
- [57] N. Vadlamani, P. Tucker, P. Durbin, „Distributed Roughness Effects on Transitional and Turbulent Boundary Layers,” *Flow, Turbulence and Combustion*, vol. 100, pp. 627-649, 2018.
- [58] K. Bouzakis, N. Michailidis, G. Skordaris, E. Bouzakis, D. Biermann, R. M'Saoubi, „Cutting with coated tools: Coating technologies, characterization methods and performance optimization,” *CIRP Annals*, vol. 61, no. 2, pp. 703-723, 2012.

- [59] Y. Deng, W. Chen, B. Li, C. Wang, T. Kuang, Y. Li, „Physical vapor deposition technology for coated cutting tools: A review,” *Ceramics International*, vol. 46, pp. 18373-18390, 2020.
- [60] D. Pradhan, G. Mahobia, K. Chattopadhyay, V. Singh, „Effect of surface roughness on corrosion behavior of the superalloy IN718 in simulated marine environment,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 740, pp. 250-263, 2018.
- [61] S. Song, X. Yang, F. Xin, T. Lu, „Modeling of surface roughness effects on Stokes flow in circular pipes,” *Physics of Fluids*, vol. 30, p. 023604, 2018.
- [62] A. Wennerberg, T. Albrektsson, „Suggested guidelines for the topographic evaluation of implant surfaces,” *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol. 15, no. 3, p. 331, 2000.
- [63] R. Agarwal, A. García, „Biomaterial strategies for engineering implants for enhanced osseointegration and bone repair,” *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 94, pp. 53-62, 2015.
- [64] I. Dudás, *Gépgyártástechnológia II.: Forgácsolástechnológia, technológiai tervezés alapjai*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 2011.
- [65] C. Angermann, M. Haltmeier, C. Laubichler, S. Jónsson, M. Schwab, A. Moravová, C. Kiesling, M. Kober, W. Fimml, „Surface topography characterization using a simple optical device and artificial neural networks,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 123, p. 106337, 2023.
- [66] W. Grzesik, K. Zak, „Modification of surface finish produced by hard turning using superfinishing and burnishing operations,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, pp. 315-322, 2012.
- [67] I. Dudás, *Gépgyártástechnológia I. A gépgyártástechnológia alapjai*, Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó, 2000.
- [68] Y. Sun, Y. Liu, M. Zheng, J. Xu, Q. Guo, „A review on theories/methods to obtain surface topography and analysis of corresponding affecting factors in the milling process,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 127, pp. 3097-3131, 2023.
- [69] M. Arizmendi, A. Jiménez, „Modelling and analysis of surface topography generated in face milling operations,” *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 163, p. 105061, 2019.
- [70] C. Felhő, „Investigation of surface roughness in machining by single and multi-point tools,” Shaker Verlag, Aachen, 2014.
- [71] „Hand scraper - Wikipedia,” [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Hand_scraper. [Hozzáférés dátuma: 2025. július 28.].
- [72] J. Tang, X. Yang, „Research on manufacturing method of planing for spur face-gear with 4-axis CNC planer,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 82, pp. 847-858, 2016.
- [73] R. Leach, *Optical Measurement of Surface Topography*, Berlin: Springer-Verlag, 2011.
- [74] *ISO 25178: Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Areal*, 2021.
- [75] E. Gadelmawla, M. Koura, T. Maksoud, I. Elewa, H. Soliman, „Roughness parameters,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 123, no. 1, pp. 133-145, 2002.
- [76] Y. Zhang, Q. Bai, P. Wang, „3D surface topography analysis and functionality-related performance of the machined surface in slot micro-milling titanium alloy Ti6Al4V,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 127, pp. 1609-1629, 2023.
- [77] D. W. X.J. Jiang, „Technological shifts in surface metrology,” *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 61, pp. 815-836, 2012.
- [78] V. Molnar, „Tribological Properties and 3D Topographic Parameters of Hard Turned and Ground Surfaces,” *Materials*, vol. 15, p. 2505, 2022.
- [79] Ł. Wojciechowski, B. Gapiński, M. Paczkowska, T. Mathia, „Investigations of the complex wear mechanisms of tram wheel tyres,” *Wear*, vol. 500, p. 204354, 2022.
- [80] P. Pawlus, R. Reizer, W. Zelasko, „Prediction of Parameters of Equivalent Sum Rough Surfaces,” *Materials*, vol. 13, p. 4898, 2020.

- [81] J. Sultana, I. Sztankovics, „Roundness error and topography of hard turned surfaces,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 98, pp. 83-92, 2023.
- [82] G. Liang, S. Schmauder, M. Lyu, Y. Schneider, C. Zhang and Y. Han, "An Investigation of the Influence of Initial Roughness on the Friction and Wear Behavior of Ground Surfaces," *Materials*, vol. 11, p. 237, 2018.
- [83] D. Novovic, R. Dewes, D. Aspinwall, W. Voice, P. Bowen, „The effect of machined topography and integrity on fatigue life,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 44, no. 2-3, pp. 125-134, 2004.
- [84] W. Grzesik, „Prediction of the Functional Performance of Machined Components Based on Surface Topography: State of the Art,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 25, pp. 4460-4468, 2016.
- [85] E. Jansons, J. Lungevics, K. Gross, „Surface roughness measure that best correlates to ease of sliding,” *Engineering for Rural Development*, vol. 15, pp. 687-695, 2016.
- [86] S. Croll, „Surface roughness profile and its effect on coating adhesion and corrosion protection: A review,” *Progress in Organic Coatings*, vol. 148, p. 105847, 2020.
- [87] S. Jithin, U. Bhandarkar, S. Joshi, „Three-dimensional topography analysis of electrical discharge textured SS304 surfaces,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 60, pp. 384-399, 2020.
- [88] L. Hu, D. Yun, J. Gao, C. Tang, „Monitoring and optimizing the surface roughness of high friction exposed aggregate cement concrete in exposure process,” *Construction and Building Materials*, vol. 230, p. 117005, 2020.
- [89] Á. Lopez, K. Marteleur, A. Finne-Wistrand, „Monitoring and classification of polymeric surface features for enabling the adoption of polypropylene powder bed fusion as a standard tool for bioprocessing equipment production,” *Additive Manufacturing*, vol. 72, p. 103632, 2023.
- [90] F. Elwasli, S. Mzali, F. Zemzemi, A. Mkaddem, S. Mezlini, „Effects of initial surface topography and contact regimes on tribological behavior of AISI-52100/AA5083 materials' pair when reciprocating sliding,” *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 137, pp. 271-283, 2018.
- [91] F. Biondani, G. Bissacco, L. Pilný, „Analysis and characterization of machined surfaces with aesthetic functionality,” *International Journal of Automation Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 261-269, 2019.
- [92] A. Townsend, L. Pagani, P. Scott, L. Blunt, „Introduction of a Surface Characterization Parameter Sdr prime for Analysis of Re-entrant Features,” *Journal of Nondestructive Evaluation*, vol. 38, p. 58, 2019.
- [93] S. Hu, T. Reddyhoff, J. Wen, W. Huang, X. Shi, D. Dini, Z. Peng, „Characterization and simulation of bi-Gaussian surfaces induced by material transfer and additive processes,” *Tribology International*, vol. 136, pp. 31-44, 2019.
- [94] A. Hamdi, S. M. Merghache, „Impact of Abrasive Grit Size and MQL Supply on the Surface Roughness in Belt Grinding of a Case Hardened Steel,” *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, vol. 15, no. 5, pp. 441-449, 2021.
- [95] D. Korzeniewski, N. Znojkwicz, „Surface texture of the milled surface of aluminum-ceramic composite,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 35, pp. 2879-2884, 2021.
- [96] J. Das, B. Linke, „Evaluation and systematic selection of significant multi-scale surface roughness parameters (SRPs) as process monitoring index,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 244, pp. 157-165, 2017.
- [97] A. Hamdi, S. Merghache, T. Aliouane, „Effect of cutting variables on bearing area curve parameters (BAC-P) during hard turning process,” *Archive of Mechanical Engineering*, vol. 67, no. 1, pp. 73-95, 2020.
- [98] W. Grzesik, K. Żak, P. Kiszka, „Comparison of surface textures generated in hard turning and grinding operations,” *Procedia CIRP*, vol. 13, pp. 84-89, 2014.

- [99] W. Macek, R. Branco, P. Podulka, M. Kopec, S. Zhu, J. Costa, „A brief note on entire fracture surface topography parameters for 18Ni300 maraging steel produced by LB-PBF after LCF,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 153, p. 107541, 2023.
- [100] W. Grzesik, K. Żak, „Possibilities of the generation of hardened steel parts with defined topographic characteristics of the machined surfaces,” *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 137, no. 1, pp. 014502-1, 2015.
- [101] D. Prajapati, M. Tiwari, „Assessment of topography parameters during running-in and subsequent rolling contact fatigue tests,” *Journal of Tribology*, vol. 141, no. 5, p. 051401, 2019.
- [102] D. Ardi, Y. Li, K. Chan, L. Blunt, M. Bache, „Surface topography and the impact on fatigue performance,” *Surface Topography: Metrology and Properties*, vol. 3, p. 015007, 2015.
- [103] R. Leach, *Characterisation of Areal Surface Texture*, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2013.
- [104] S. Nammi, B. Ramamoorthy, „Effect of surface lay in the surface roughness evaluation using machine vision,” *Optik*, vol. 125, pp. 3954-3960, 2014.
- [105] J. Wei, H. Wang, B. Lin, T. Sui, A. Wang, F. Zhao and S. Fang, "Measurement and evaluation of fiber bundle surface of long fiber reinforced woven composites," *Surface Topography: Metrology and Properties*, vol. 7, no. 1, p. 015003, 2019.
- [106] J. Gan, C. Berndt, „Surface roughness of plasma sprayed coatings: A statistical approach,” *International thermal spray conference, Barcelona, Spanyolország*, 2014.
- [107] R. Leach, *The Measurement of Surface Texture using Stylus Instrument*, vol. Measurement Good Practice Guide No. 37, Teedington, UK: Crown Copyright, 2001.
- [108] A. Nagalingam, M. Vohra, P. Kapur, S. Yeo, „Effect of Cut-Off, Evaluation Length, and Measurement Area in Profile and Areal Surface Texture Characterization of As-Built Metal Additive Manufactured Components,” *Applied Sciences*, vol. 11, p. 5089, 2021.
- [109] *ISO 21920-3: Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile — Part 3: Specification operators*, 2021.
- [110] M. Eifler, K. Klauer, B. Kirsch, J. Seewig, J. Aurich, „Micro-milling of areal material measures— influences on the resulting surface topography,” *Procedia CIRP*, vol. 71, pp. 122-127, 2018.
- [111] V. Molnar, G. Szabo, „Designation of minimum measurement area for the evaluation of 3D surface texture,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 83, pp. 40-48, 2022.
- [112] B. Muralikrishnan and R. Jay, *Computational surface and roundness metrology*, Springer Science & Business Media, 2008.
- [113] A. Nagy, „Influence of measurement settings on areal roughness with confocal chromatic sensor on face-milled surface,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 93, pp. 65-75, 2020.
- [114] B. Mikó, G. Farkas, „Comparison of flatness and surface roughness parameters when face milling and turning,” in *Development in Machining Technology Vol.7.*, Krakko, Lengyelország, Cracow University of Technology, 2017, pp. 18-27.
- [115] W. Żyłka, „Sampling Interval Selection for 3D Surface Roughness Measurements Using the Contact Method,” *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 15, no. 4, pp. 283-298, 2021.
- [116] A. Meijer, J. Bergmann, E. Krebs, D. Biermann, P. Wiederkehr, „Analytical and simulation-based prediction of surface roughness for micromilling hardened HSS,” *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 3, no. 3, p. 70, 2019.
- [117] J. Kundrak, C. Felho, „3D roughness parameters of surfaces face milled by special tools,” *Manufacturing Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 532-538, 2016.
- [118] Y. Yin, S. Du, Y. Shao, K. Wang, L. Xi, „Sealing analysis of face-milled surfaces based on high definition metrology,” *Precision Engineering*, vol. 73, pp. 23-39, 2022.
- [119] U. Thanasuptawee, C. Thakhamwang, S. Siwadamrongpong, „Evaluation of Face Milling Operation Parameters on Surface Roughness of Crankcase Housing by Two Level Factorial Design with Center Points,” *Key Engineering Materials*, vol. 780, pp. 105-110, 2018.

- [120] S. Ryu, D. Choi, C. Chu, „Roughness and texture generation on end milled surfaces,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 46, no. 3-4, pp. 404-412, 2006.
- [121] M. Torta, P. Albertelli, M. Monno, „Surface morphology prediction model for milling operations,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 106, pp. 3189-3201, 2020.
- [122] J. Abellán-Nebot, C. Pastor, H. Siller, „A Review of the Factors Influencing Surface Roughness in Machining and Their Impact on Sustainability,” *Sustainability*, vol. 16, no. 5, p. 1917, 2024.
- [123] D. Chuchala, M. Dobrzynski, D. Pimenov, K. Orłowski, G. Krolczyk, K. Giasin, „Surface roughness evaluation in thin EN AW-6086-T6 alloy plates after face milling process with different strategies,” *Materials*, vol. 14, no. 11, p. 3036, 2021.
- [124] G. Varga, J. Kundrák, „Effects of Technological Parameters on Surface Characteristics in Face Milling,” *Solid State Phenomena*, vol. 261, pp. 285-292, 2017.
- [125] S. Zhenyu, L. Luning, L. Zhanqiang, „Influence of dynamic effects on surface roughness for face milling process,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 80, no. 9, pp. 1823-1831, 2015.
- [126] J. Kundrak, C. Felho, „Topography of the machined surface in high performance face milling,” *Procedia CIRP*, vol. 77, pp. 340-343, 2018.
- [127] M. Czampa, I. Biro, T. Szalay, „Effects of different cutting conditions on the surface roughness parameters of iron-copper-carbon powder metallurgy composites,” *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, vol. 19, no. 5, pp. 440-456, 2017.
- [128] B. Mikó, T. Horváth, B. Varga, „Cusp height and surface roughness in Z-level milling,” in *Development in machining technology Vol.8.*, Krakko, Lengyelország, Cracow University of Technology, 2018, pp. 123-133.
- [129] B. Mikó, „Surface quality prediction in case of steep free form surface milling,” *Key Engineering Materials*, vol. 686, pp. 119-124, 2016.
- [130] C. Felho, J. Kundrak, „Effect of the Changing of the feed on surface topography at face milling,” *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, pp. 114-121, 2016.
- [131] *ISO 4288: Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture*, 1996.
- [132] A. Nagy, „Functional roughness parameter characterization of a plane surface face-milled with an octagonal insert,” in *„Fiatalok a Tudományért 2024” tudományos rendezvény: Válogatott publikációk*, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézet, 2024, pp. 51-56.
- [133] L. Todhunter, R. Leach, S. Lawes, F. Blateyron, „Industrial survey of ISO surface texture parameters,” *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 19, pp. 84-92, 2017.
- [134] M. Shaw, *Metal Cutting Principles*, New York, Oxford: Oxford University Press, 2005.
- [135] A. Nagy, G. Varga, „Effect of abandonment of cooling and lubrication on surface roughness and cylindricity in turning of steel,” *Multidiszciplináris Tudományok*, vol. 11, no. 4, pp. 395-407, 2021.
- [136] Z. Ma, C. Cai, Y. Yin, J. Dang, W. Ming, Q. An, M. Chen, G. Liu, J. Li, „Vibration characteristics and machining performance of carbon fiber reinforced shaft in poor rigidity machining tool system,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 134, no. 5, pp. 2637-2652, 2024.
- [137] P. Scott, „The case of surface texture parameter RSm,” *Measurement science and technology*, vol. 17, no. 3, p. 559, 2006.
- [138] B. Denkena, M. Dittrich, A. Huuk, „Simulation-based surface roughness modelling in end milling,” *Procedia CIRP*, vol. 99, pp. 151-156, 2021.

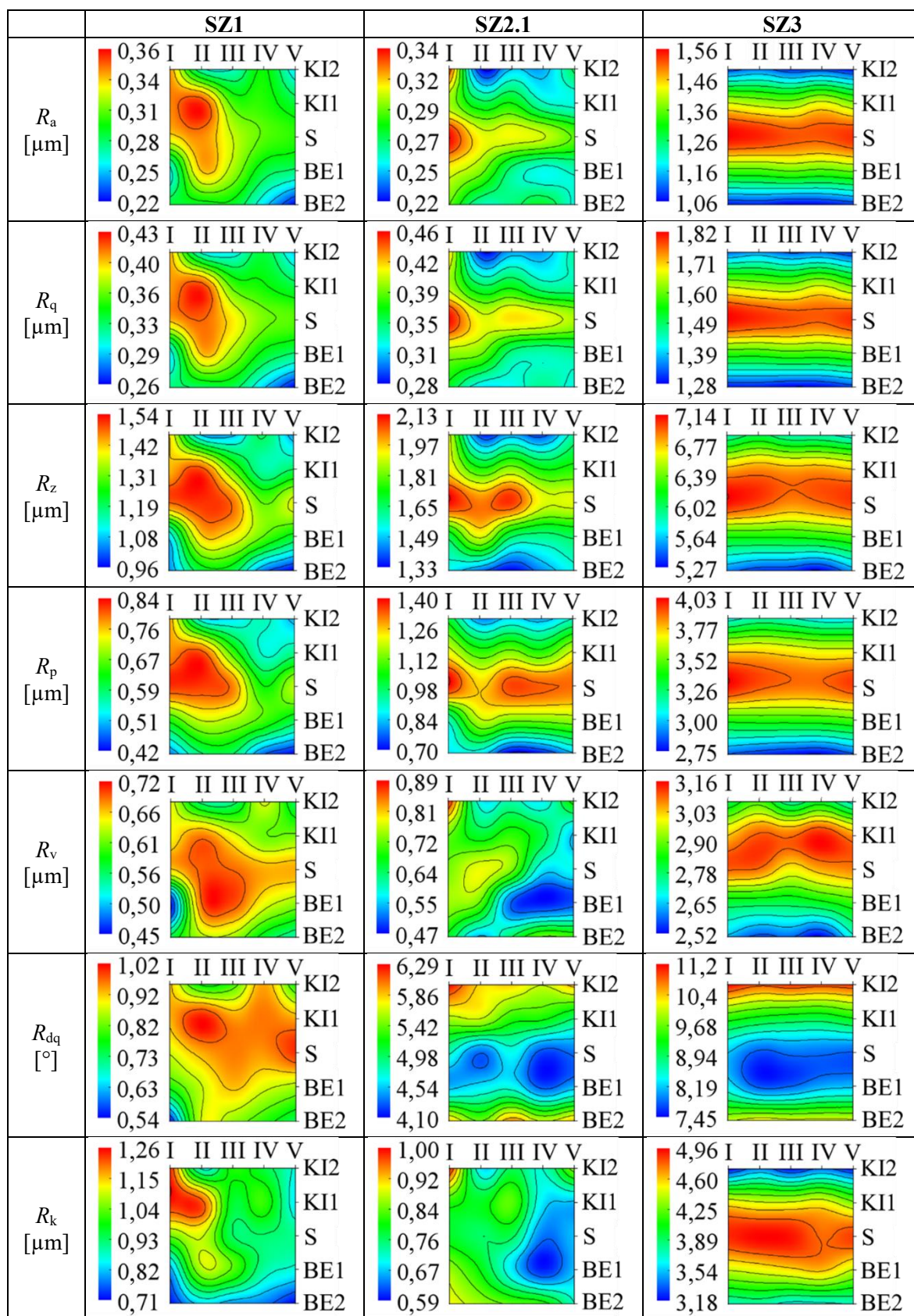
Az értekezés témájában megjelent saját publikációk

- [N1] J. Kundrak, T. Makkai, I. Deszpoth, A. Nagy, „Investigation of cutting force in face milling,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 87, pp. 118-125, 2017.
- [N2] J. Kundrak, Gy. Varga, A. Nagy, T. Makkai, „Examination of 2D and 3D surface roughness parameters of face milled aluminium surfaces,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 88, pp. 94-100, 2018.
- [N3] J. Kundrak, A.P. Markopoulos, T. Makkai, I. Deszpoth, A. Nagy, „Analysis of the effect of feed on chip size ratio and cutting forces in face milling for various cutting speeds,” *Manufacturing Technology*, vol. 18, no. 3, pp. 431-438, 2018. (Scopus, Q2)
- [N4] J. Kundrak, A.P. Markopoulos, T. Makkai, A. Nagy, „Theoretical and experimental analysis of the effect of chip size ratio on cutting forces in face milling of steel,” *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 3, pp. 29-35, 2018.
- [N5] J. Kundrak, A.P. Markopoulos, T. Makkai, A. Nagy, „Correlation between chip ratio and specific forces with increasing feed per tooth and cutting speed in face milling of steel,” *WSEAS Transactions of Environment and Development*, vol. 14, pp. 338-346, 2018. (Scopus, Q4)
- [N6] A. Nagy, J. Kundrak, „Effect of cutting speed on surface roughness: face milling of steel with a parallelogram insert,” in *MultiScience - XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference*, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, Miskolci Egyetem, 2019, p. D1-4.
- [N7] J. Kundrak, A.P. Markopoulos, T. Makkai, N.E. Karkalos, A. Nagy, „Multi-objective optimization study in face milling of steel,” in *ISPR 2018, Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018*, Springer, 2019, pp. 3-15.
- [N8] A. Nagy, J. Kundrak, „Investigation of surface roughness characteristics of face milling,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 90, pp. 63-72, 2019.
- [N9] J. Kundrak, A. Nagy, A.P. Markopoulos, N.E. Karkalos, „Investigation of surface roughness on face milled parts with round insert in planes parallel to the feed at various cutting speeds,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 91, pp. 87-96, 2019.
- [N10] C. Felhő, A. Nagy, J. Kundrak, „Effect of shape of cutting edge on face milled surface topography,” in *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019*, Springer International Publishing, Wien, 2020, pp. 525-534.
- [N11] A. Nagy, J. Kundrak, „Changes in the values of the roughness parameters on the face milled steel surface,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 92, pp. 85-95, 2020.
- [N12] A. Nagy, „Influence of measurement settings on areal roughness with confocal chromatic sensor on face-milled surface,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 93, pp. 65-75, 2020.
- [N13] J. Kundrak, A. Nagy, A.P. Markopoulos, N.E. Karkalos, D. Skondras-Giousios, „Experimental study on surface roughness of face milled parts with round insert at various feed rates,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 92, pp. 96-106, 2020.
- [N14] A. Nagy, „Investigation of the effect of areal roughness measurement length on face milled surface topographies,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 94, pp. 60-69, 2021.
- [N15] A. Nagy, J. Kundrak, „Analysis of the change in roughness on a face-milled surface measured every 45° direction to the feed,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 95, pp. 29-36, 2021.
- [N16] A. Nagy, „Homlokmarással előállított síkfelületek érdességi és inhomogenitási vizsgálata,” *Multidiszciplináris tudományok*, vol. 11, no. 2, pp. 207-212, 2021.
- [N17] A. Nagy, J. Kundrak, „Mérési beállítások hatása a topográfia mért értékeire homlokmart felületen,” *Multidiszciplináris Tudományok*, vol. 12, no. 5, pp. 54-65, 2022.
- [N18] J. Kundrak, C. Felhő, A. Nagy, „Analysis and prediction of roughness of face milled surfaces using CAD model,” *Manufacturing Technology*, vol. 22, no. 5, pp. 558-572, 2022. (Scopus, Q3)
- [N19] A. Nagy, J. Kundrak, „Analysis of inhomogeneity of surfaces milled with symmetrical, down- and up-milling settings,” in *Development in Machining Technology – Scientific Reports vol. 10*, Krakko, Lengyelország, Cracow University of Technology, 2022, pp. 51-62.
- [N20] A. Nagy, J. Kundrak, „Roughness investigation of single and double cutting marks on face milled surface,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 99, pp. 58-70, 2023.

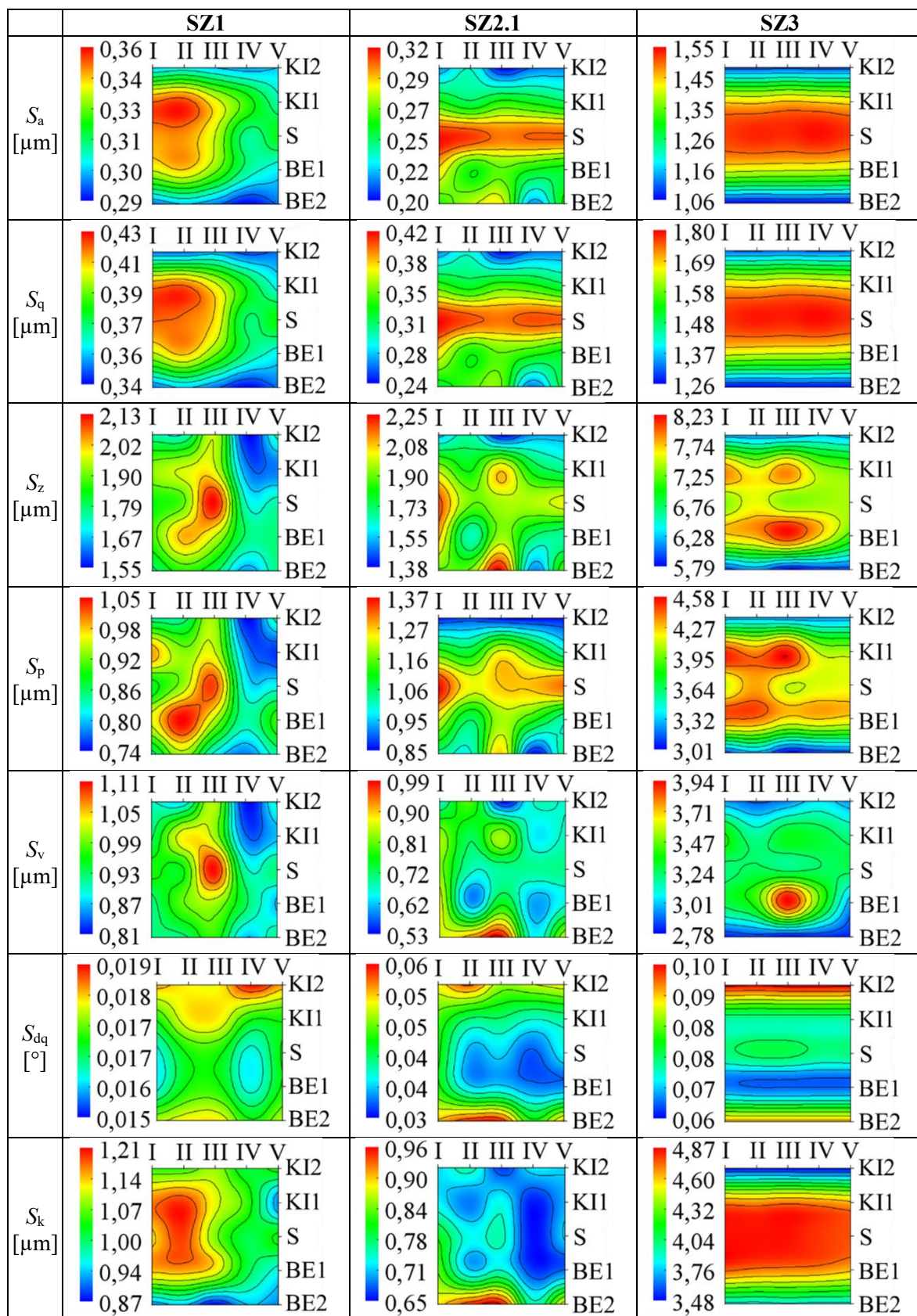
- [N21] A. Nagy, J. Kundrak, „Investigation of change in roughness in parallel sections in a direction different from feed vector on a face milled surface. in *Development in Machining Technology – Scientific Reports vol. 11*, Krakko, Lengyelország, Cracow University of Technology, 2023, pp. 67-79.
- [N22] A. Nagy, J. Kundrak, „Investigation of face milled surface topography on C45 workpiece assuming movement at 30° and 60° to feed direction,” *Cutting & Tools in Technological System*, vol. 98, pp. 116-127, 2023.
- [N23] A. Nagy, Egyszeres és kettős marónyommal előállított homlokmarat topográfia ferdeségi és lapultsági elemzése, in *"Fiatalok a Tudományért" tudományos rendezvény: Válogatott publikációk*, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézet, 2023, pp. 95-100.
- [N24] A. Nagy, J. Kundrak, „Roughness of face-milled surface topography in directions relative to the feed movement. *Manufacturing Technology*, vol. 24, no. 2, pp. 241-254, 2024. (Scopus, Q2)
- [N25] A. Nagy, Analysis of amplitude roughness on a plane surface face-milled with an octagonal insert, in *"Fiatalok a Tudományért 2024" tudományos rendezvény: Válogatott publikációk*, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézet, 2024, pp. 9-16.
- [N26] A. Nagy, Roughness profile element width and gradient analysis on a plane surface face-milled with an octagonal insert, in *"Fiatalok a Tudományért 2024" tudományos rendezvény: Válogatott publikációk*, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézet, 2024, pp. 23-30.
- [N27] A. Nagy, Roughness investigation of a plane surface face-milled with an octagonal insert: skewness and kurtosis, in *"Fiatalok a Tudományért 2024" tudományos rendezvény: Válogatott publikációk*, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézet, 2024, pp. 39-44.
- [N28] A. Nagy, „Functional roughness parameter characterization of a plane surface face-milled with an octagonal insert,” in *"Fiatalok a Tudományért 2024" tudományos rendezvény: Válogatott publikációk*, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézet, 2024, pp. 51-56.

Mellékletek

1. melléklet: Előkísérletek mérési eredményei az érdességi paraméterek kijelöléséhez



1. melléklet (folyt.)

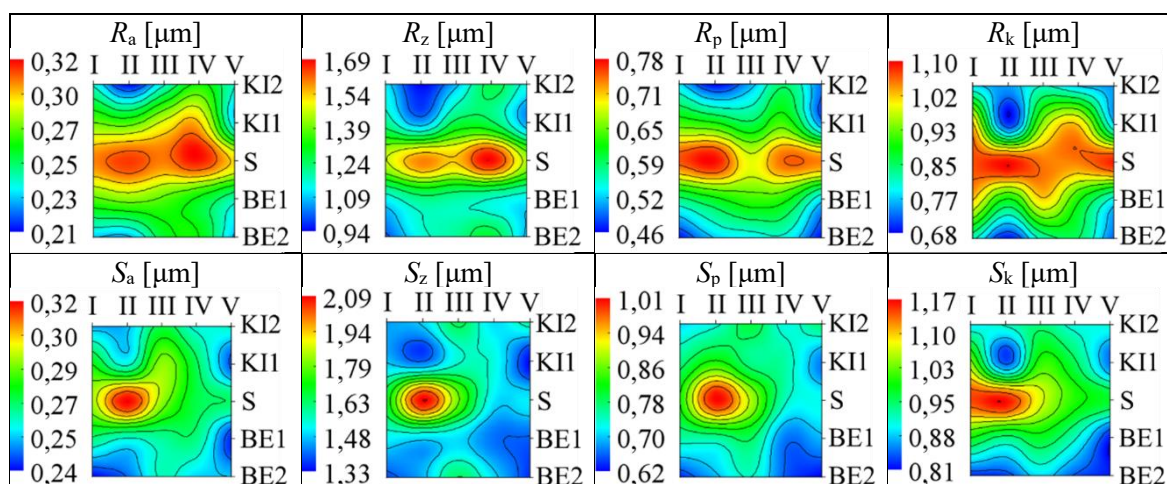


2. melléklet: Egyszeres lenyomatú felületeken mért érdességi értékek és terjedelmük

2.1. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, KI.1)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
21,1	0,06	0,24	0,21	0,24	0,27	0,24	KI2 sík	0,77	0,75	0,81	0,77	0,75	0,06	7,2
23,7	0,06	0,28	0,27	0,29	0,30	0,23	KI1 sík	1,03	0,70	0,95	1,02	0,77	0,33	36,6
8,3	0,02	0,30	0,31	0,31	0,32	0,29	S sík	1,07	1,10	1,05	1,05	1,09	0,05	5,4
12,4	0,03	0,27	0,28	0,27	0,26	0,25	BE1 sík	1,02	0,89	1,01	0,90	0,79	0,23	25,7
12,8	0,03	0,23	0,23	0,26	0,26	0,23	BE2 sík	0,82	0,69	0,82	0,85	0,72	0,16	18,0
Teljes	0,11	0,07	0,10	0,06	0,05	0,06	Eltérés	0,30	0,41	0,24	0,28	0,37	Teljes	0,41
eltér.:	40%	27,1	38,4	24,1	20,3	24,1	Elt. %	33,2	45,8	27,3	38,8	41,2	eltér.:	46%
R_z [μm]								R_p [μm]						
26,2	0,32	1,12	0,94	1,07	1,26	1,14	KI2 sík	0,53	0,46	0,51	0,58	0,49	0,12	21,0
16,6	0,20	1,21	1,06	1,26	1,25	1,05	KI1 sík	0,64	0,62	0,59	0,64	0,50	0,14	23,0
20,6	0,25	1,46	1,59	1,54	1,69	1,43	S sík	0,75	0,78	0,69	0,75	0,74	0,08	14,2
7,4	0,09	1,13	1,22	1,20	1,16	1,13	BE1 sík	0,58	0,61	0,64	0,63	0,53	0,10	17,6
22,6	0,28	1,00	1,14	1,20	1,27	1,07	BE2 sík	0,46	0,52	0,54	0,55	0,46	0,09	14,4
Teljes	0,75	0,46	0,65	0,47	0,52	0,38	Eltérés	0,29	0,32	0,18	0,20	0,28	Teljes	0,32
eltér.:	61%	37,7	53,3	38,5	42,3	31,2	Elt. %	49,2	53,8	30,6	40,9	46,9	eltér.:	54%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
8,7	0,02	0,25	0,25	0,27	0,26	0,26	KI2 sík	0,89	0,92	0,95	0,91	0,91	0,05	5,7
18,1	0,05	0,28	0,26	0,29	0,27	0,24	KI1 sík	1,04	0,84	1,00	0,96	0,85	0,20	21,3
19,6	0,05	0,29	0,32	0,29	0,27	0,27	S sík	1,15	1,17	1,07	1,00	0,97	0,19	20,4
11,3	0,03	0,27	0,26	0,27	0,27	0,24	BE1 sík	0,99	0,95	0,98	0,92	0,82	0,17	18,3
10,2	0,03	0,24	0,25	0,26	0,26	0,25	BE2 sík	0,83	0,83	0,89	0,84	0,82	0,07	7,9
Teljes	0,09	0,06	0,08	0,03	0,02	0,03	Eltérés	0,32	0,33	0,18	0,16	0,16	Teljes	0,35
eltér.:	32%	21,1	29,0	10,9	6,8	11,7	Elt. %	33,8	35,3	18,9	20,6	16,5	eltér.:	37%
S_z [μm]								S_p [μm]						
13,2	0,20	1,45	1,49	1,65	1,50	1,59	KI2 sík	0,71	0,73	0,80	0,73	0,78	0,09	11,6
14,5	0,22	1,48	1,40	1,55	1,54	1,33	KI1 sík	0,77	0,83	0,77	0,76	0,67	0,16	20,8
38,1	0,58	1,67	2,09	1,80	1,51	1,51	S sík	0,82	1,01	0,89	0,75	0,73	0,29	38,2
7,9	0,12	1,52	1,50	1,50	1,42	1,40	BE1 sík	0,76	0,76	0,78	0,67	0,70	0,11	14,8
17,9	0,27	1,38	1,46	1,64	1,50	1,36	BE2 sík	0,64	0,70	0,74	0,66	0,63	0,12	15,6
Teljes	0,76	0,29	0,69	0,30	0,13	0,27	Eltérés	0,18	0,32	0,15	0,10	0,16	Teljes	0,39
eltér.:	50%	19,0	45,1	19,4	8,3	17,4	Elt. %	24,1	42,2	19,6	15,3	20,9	eltér.:	52%

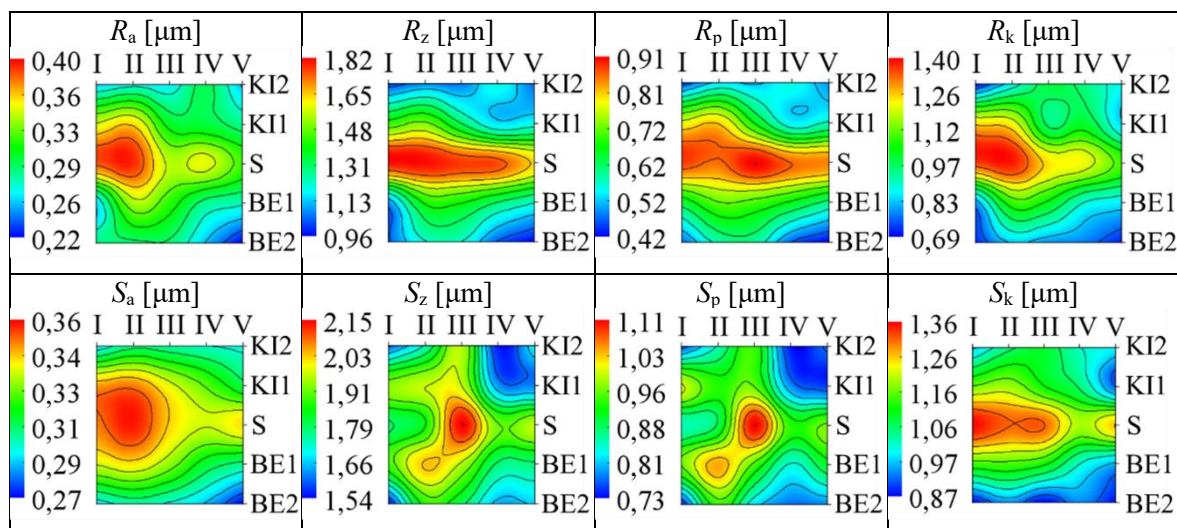
2.2. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, KI.1)



2.3. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, KI.2)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
13,3	0,04	0,26	0,27	0,26	0,29	0,25	KI2 sík	0,69	0,87	1,00	0,95	0,87	0,31	32,0
24,6	0,07	0,35	0,36	0,30	0,30	0,28	KI1 sík	1,25	1,22	0,96	1,02	0,84	0,41	41,8
23,3	0,07	0,38	0,39	0,34	0,35	0,32	S sík	1,36	1,39	1,24	1,21	1,09	0,30	30,1
25,3	0,08	0,26	0,34	0,32	0,29	0,28	BE1 sík	0,80	1,08	1,03	0,90	0,86	0,28	29,0
22,3	0,07	0,29	0,29	0,29	0,26	0,22	BE2 sík	0,72	0,84	0,80	0,78	0,71	0,13	13,0
Teljes	0,17	0,12	0,12	0,08	0,09	0,10	Eltérés	0,67	0,55	0,45	0,43	0,38	Teljes	0,70
eltér.: 56%		41,3	39,6	25,3	31,0	32,3	Elt. %	68,5	56,1	45,5	51,5	38,9	eltér.: 71%	
R_z [μm]								R_p [μm]						
14,3	0,19	1,01	1,08	1,06	1,20	1,05	KI2 sík	0,45	0,53	0,51	0,56	0,49	0,11	16,6
25,8	0,34	1,43	1,49	1,31	1,16	1,19	KI1 sík	0,78	0,81	0,66	0,54	0,58	0,26	40,9
13,4	0,18	1,82	1,82	1,78	1,76	1,64	S sík	0,88	0,86	0,91	0,86	0,85	0,06	9,9
24,3	0,32	1,09	1,41	1,40	1,31	1,23	BE1 sík	0,64	0,72	0,70	0,66	0,61	0,11	16,9
19,8	0,26	1,04	1,22	1,22	1,04	0,96	BE2 sík	0,47	0,58	0,59	0,47	0,42	0,17	26,2
Teljes	0,85	0,81	0,74	0,71	0,72	0,68	Eltérés	0,44	0,33	0,40	0,39	0,42	Teljes	0,49
eltér.: 65%		61,7	56,3	54,5	54,5	51,9	Elt. %	67,6	50,8	61,5	71,4	65,7	eltér.: 76%	
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
4,1	0,01	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	KI2 sík	0,96	1,05	1,09	1,02	0,99	0,13	12,0
13,2	0,04	0,35	0,35	0,34	0,33	0,31	KI1 sík	1,17	1,19	1,12	1,06	0,92	0,27	25,4
8,2	0,03	0,35	0,36	0,34	0,34	0,34	S sík	1,36	1,31	1,31	1,19	1,26	0,16	15,1
11,9	0,04	0,34	0,34	0,33	0,31	0,30	BE1 sík	1,14	1,15	1,12	1,02	0,96	0,19	17,9
10,0	0,03	0,29	0,30	0,30	0,29	0,27	BE2 sík	0,87	0,94	0,87	0,94	0,88	0,07	6,9
Teljes	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05	0,07	Eltérés	0,49	0,37	0,44	0,26	0,39	Teljes	0,49
eltér.: 29%		19,1	19,1	15,1	15,4	23,2	Elt. %	45,3	34,1	40,8	28,9	35,8	eltér.: 45%	
S_z [μm]								S_p [μm]						
21,9	0,40	1,59	1,73	1,95	1,56	1,70	KI2 sík	0,76	0,85	0,94	0,74	0,78	0,20	22,6
19,1	0,35	1,93	1,97	1,97	1,64	1,62	KI1 sík	1,00	0,93	0,96	0,79	0,75	0,25	28,0
20,6	0,37	1,78	1,84	2,15	1,91	1,96	S sík	0,85	0,89	1,11	0,94	0,97	0,26	29,3
14,3	0,26	1,88	2,03	1,96	1,78	1,78	BE1 sík	0,96	1,05	0,95	0,84	0,91	0,20	23,0
18,0	0,33	1,54	1,87	1,80	1,65	1,67	BE2 sík	0,74	0,94	0,82	0,78	0,79	0,20	23,2
Teljes	0,61	0,38	0,30	0,35	0,35	0,34	Eltérés	0,26	0,19	0,28	0,19	0,21	Teljes	0,37
eltér.: 34%		21,2	16,5	19,5	19,4	18,7	Elt. %	29,7	22,0	32,2	25,8	24,0	eltér.: 42%	

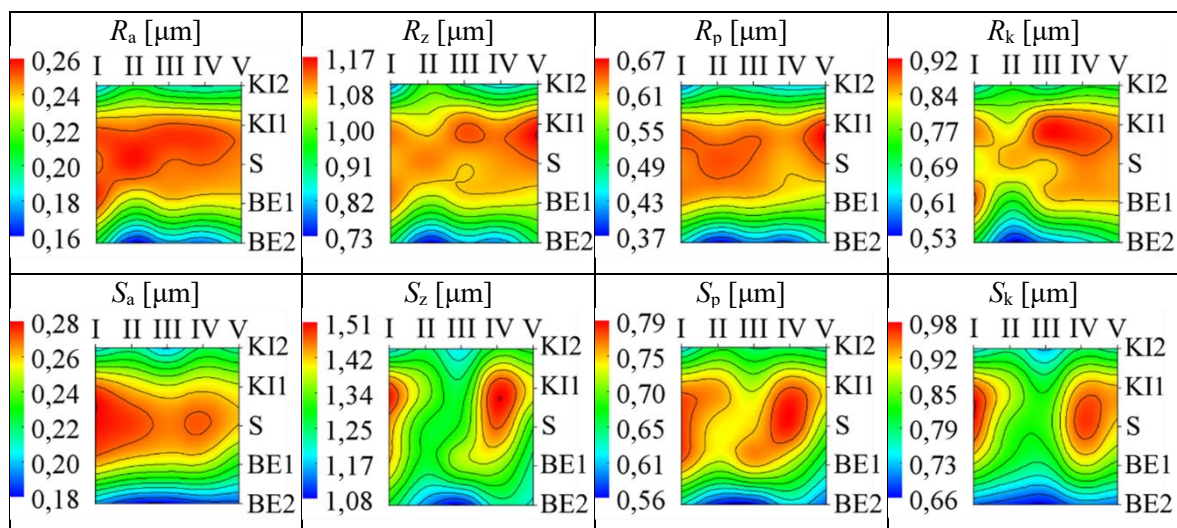
2.4. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, KI.2)



2.5. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, KI.3)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
12,4	0,03	0,18	0,21	0,20	0,19	0,20	KI2 sík	0,63	0,72	0,66	0,72	0,71	0,08	10,6
3,6	0,01	0,25	0,25	0,26	0,25	0,25	KI1 sík	0,87	0,81	0,91	0,89	0,87	0,10	13,2
5,3	0,01	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25	S sík	0,81	0,85	0,84	0,88	0,86	0,06	8,3
13,3	0,03	0,26	0,23	0,24	0,24	0,24	BE1 sík	0,89	0,72	0,83	0,84	0,84	0,17	21,8
21,3	0,05	0,21	0,16	0,18	0,17	0,20	BE2 sík	0,72	0,53	0,59	0,63	0,70	0,19	24,4
Teljes	0,10	0,08	0,10	0,08	0,08	0,06	Eltérés	0,25	0,32	0,32	0,26	0,17	Teljes	0,38
eltér.:	44%	34,2	44,5	33,3	35,6	24,4	Elt. %	32,8	41,6	41,5	41,0	21,8	eltér.:	49%
R_z [μm]								R_p [μm]						
18,9	0,19	0,78	0,97	0,90	0,84	0,88	KI2 sík	0,41	0,48	0,46	0,44	0,45	0,08	13,8
9,8	0,10	1,10	1,06	1,13	1,10	1,16	KI1 sík	0,63	0,61	0,62	0,61	0,65	0,05	8,7
4,0	0,04	1,09	1,12	1,09	1,11	1,13	S sík	0,63	0,64	0,63	0,61	0,64	0,03	6,1
10,6	0,11	1,11	1,01	1,06	1,05	1,04	BE1 sík	0,61	0,59	0,59	0,58	0,56	0,05	9,8
19,7	0,20	0,92	0,73	0,82	0,80	0,93	BE2 sík	0,46	0,37	0,42	0,40	0,47	0,10	17,9
Teljes	0,43	0,33	0,39	0,31	0,31	0,28	Eltérés	0,22	0,27	0,22	0,21	0,21	Teljes	0,28
eltér.:	43%	33,1	38,6	31,1	31,0	27,7	Elt. %	40,5	49,8	40,2	47,6	38,1	eltér.:	51%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
8,6	0,02	0,21	0,22	0,20	0,22	0,22	KI2 sík	0,74	0,78	0,72	0,79	0,78	0,07	8,4
7,7	0,02	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25	KI1 sík	0,96	0,88	0,82	0,93	0,92	0,14	17,2
7,7	0,02	0,27	0,27	0,26	0,27	0,26	S sík	0,97	0,85	0,84	0,96	0,91	0,14	16,6
12,8	0,03	0,26	0,25	0,25	0,25	0,23	BE1 sík	0,88	0,81	0,79	0,88	0,84	0,10	11,7
6,8	0,02	0,20	0,19	0,18	0,19	0,19	BE2 sík	0,70	0,68	0,66	0,71	0,70	0,04	5,5
Teljes	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	Eltérés	0,28	0,21	0,17	0,25	0,22	Teljes	0,31
eltér.:	39%	32,1	36,4	34,7	33,4	28,2	Elt. %	33,7	25,1	21,2	37,7	27,2	eltér.:	38%
S_z [μm]								S_p [μm]						
8,7	0,11	1,18	1,26	1,18	1,30	1,28	KI2 sík	0,62	0,67	0,65	0,66	0,65	0,06	8,2
17,3	0,23	1,49	1,36	1,27	1,49	1,40	KI1 sík	0,76	0,76	0,72	0,77	0,74	0,05	7,2
13,7	0,18	1,44	1,29	1,30	1,47	1,30	S sík	0,78	0,74	0,74	0,79	0,71	0,08	12,0
14,2	0,19	1,42	1,27	1,36	1,36	1,23	BE1 sík	0,77	0,72	0,75	0,72	0,65	0,12	16,9
15,6	0,20	1,28	1,14	1,08	1,23	1,20	BE2 sík	0,63	0,57	0,56	0,62	0,58	0,07	10,4
Teljes	0,41	0,31	0,21	0,28	0,27	0,19	Eltérés	0,17	0,19	0,19	0,17	0,15	Teljes	0,23
eltér.:	32%	23,5	16,3	21,4	20,9	14,8	Elt. %	24,0	27,0	27,2	29,9	22,2	eltér.:	33%

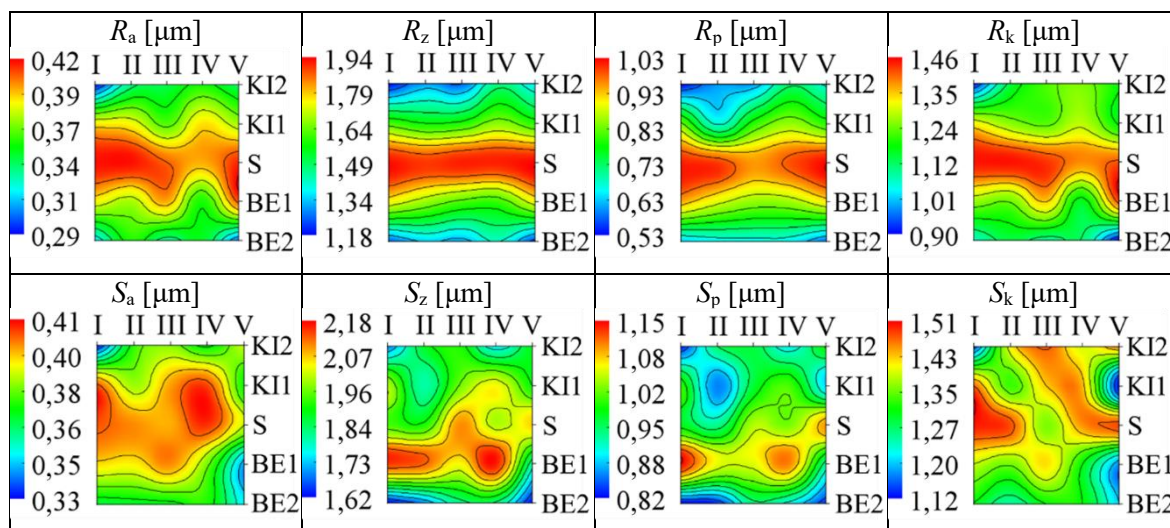
2.6. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, KI.3)



2.7. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, KI.4)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
18,7	0,07	0,29	0,34	0,35	0,36	0,34	KI2 sík	0,91	1,14	1,22	1,25	1,19	0,34	27,9
7,0	0,03	0,39	0,39	0,37	0,39	0,38	KI1 sík	1,32	1,26	1,23	1,28	1,17	0,14	11,7
5,7	0,02	0,42	0,42	0,41	0,40	0,42	S sík	1,45	1,45	1,43	1,39	1,41	0,07	5,5
14,3	0,05	0,39	0,38	0,40	0,36	0,41	BE1 sík	1,27	1,24	1,35	1,17	1,43	0,26	20,9
15,2	0,06	0,32	0,36	0,34	0,35	0,30	BE2 sík	1,07	1,14	1,10	1,12	0,90	0,24	19,8
Teljes	0,13	0,13	0,08	0,07	0,05	0,11	Eltérés	0,55	0,31	0,33	0,27	0,53	Teljes	0,56
eltér.: 35%		35,5	22,2	19,5	13,0	30,6	Elt. %	44,2	25,3	27,0	25,7	42,7	eltér.: 45%	
R_z [μm]								R_p [μm]						
17,9	0,28	1,18	1,30	1,26	1,46	1,36	KI2 sík	0,53	0,61	0,61	0,73	0,68	0,19	24,1
6,4	0,10	1,61	1,56	1,58	1,66	1,59	KI1 sík	0,84	0,68	0,80	0,85	0,80	0,18	22,2
2,4	0,04	1,93	1,90	1,92	1,92	1,94	S sík	1,01	1,00	0,95	0,99	1,03	0,07	9,2
9,3	0,15	1,75	1,68	1,62	1,61	1,75	BE1 sík	0,95	0,89	0,85	0,86	0,91	0,09	11,7
11,4	0,18	1,26	1,34	1,31	1,41	1,24	BE2 sík	0,64	0,66	0,67	0,66	0,59	0,08	9,7
Teljes	0,75	0,75	0,60	0,66	0,51	0,70	Eltérés	0,48	0,39	0,34	0,33	0,44	Teljes	0,49
eltér.: 48%		47,7	38,0	42,2	32,1	44,8	Elt. %	60,5	49,3	42,9	49,9	55,2	eltér.: 62%	
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
15,9	0,06	0,33	0,38	0,38	0,37	0,39	KI2 sík	1,14	1,41	1,47	1,40	1,46	0,33	24,6
9,7	0,04	0,41	0,39	0,40	0,41	0,37	KI1 sík	1,47	1,34	1,43	1,44	1,12	0,36	26,1
5,7	0,02	0,41	0,40	0,40	0,41	0,39	S sík	1,50	1,48	1,36	1,45	1,48	0,14	10,2
15,9	0,06	0,40	0,39	0,40	0,38	0,34	BE1 sík	1,39	1,36	1,42	1,31	1,18	0,25	18,2
6,5	0,03	0,37	0,37	0,37	0,37	0,35	BE2 sík	1,31	1,25	1,31	1,31	1,20	0,12	8,5
Teljes	0,08	0,08	0,04	0,03	0,04	0,05	Eltérés	0,36	0,23	0,16	0,14	0,36	Teljes	0,38
eltér.: 22%		20,9	9,1	8,9	10,7	12,3	Elt. %	26,5	16,9	11,8	12,2	26,8	eltér.: 28%	
S_z [μm]								S_p [μm]						
12,3	0,24	1,68	1,88	1,92	1,76	1,89	KI2 sík	0,82	0,95	0,96	0,90	0,99	0,16	16,9
12,1	0,23	2,00	1,81	1,96	2,04	1,90	KI1 sík	1,00	0,86	0,96	1,01	0,89	0,15	15,2
10,0	0,19	1,94	1,91	2,10	2,00	2,06	S sík	0,98	0,94	1,04	1,02	1,10	0,16	16,9
18,6	0,36	2,16	2,13	2,04	2,17	1,82	BE1 sík	1,15	1,06	1,06	1,11	0,94	0,21	21,9
11,5	0,22	1,62	1,70	1,83	1,84	1,62	BE2 sík	0,82	0,83	0,94	0,91	0,83	0,12	12,9
Teljes	0,56	0,54	0,43	0,28	0,41	0,44	Eltérés	0,33	0,23	0,12	0,20	0,27	Teljes	0,33
eltér.: 29%		28,3	22,7	14,5	21,4	23,1	Elt. %	34,4	23,7	12,0	25,1	27,5	eltér.: 34%	

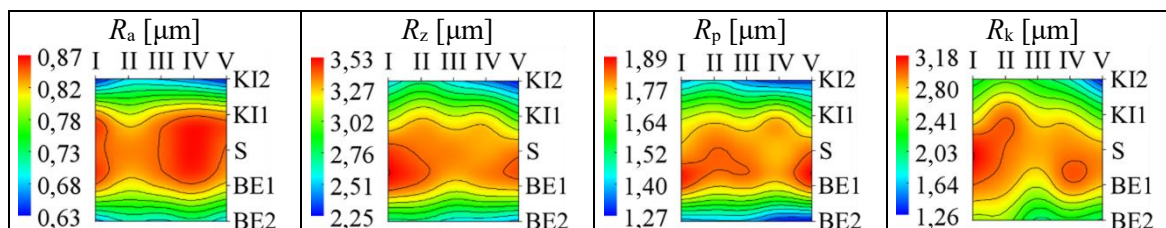
2.8. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, KI.4)



2.9. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, K1.5)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
6,7	0,05	0,63	0,68	0,68	0,66	0,63	KI2 sík	2,12	2,36	2,14	1,84	1,26	1,10	43,4
5,6	0,04	0,84	0,80	0,83	0,85	0,84	KI1 sík	2,63	2,96	2,70	2,66	2,30	0,67	26,4
3,8	0,03	0,85	0,84	0,85	0,87	0,85	S sík	3,17	2,98	2,87	2,93	2,87	0,31	12,1
4,3	0,03	0,85	0,81	0,83	0,85	0,82	BE1 sík	2,99	2,87	2,64	2,96	2,81	0,35	14,0
6,2	0,05	0,67	0,71	0,70	0,72	0,69	BE2 sík	2,53	2,51	1,99	2,17	2,00	0,55	21,6
Teljes	0,24	0,22	0,16	0,17	0,21	0,21	Eltérés	1,05	0,62	0,88	1,12	1,61	Teljes	1,91
eltér.:	31%	28,6	20,6	22,2	27,2	27,5	Elt. %	41,5	24,5	34,7	52,9	63,5	eltér.:	75%
R_z [μm]								R_p [μm]						
15,9	0,48	2,54	2,73	2,56	2,42	2,26	KI2 sík	1,38	1,44	1,35	1,31	1,31	0,13	8,2
10,6	0,32	3,09	3,25	3,15	3,19	2,94	KI1 sík	1,69	1,73	1,69	1,75	1,62	0,13	8,2
4,5	0,14	3,46	3,38	3,36	3,32	3,37	S sík	1,78	1,83	1,81	1,77	1,83	0,06	3,6
8,1	0,24	3,46	3,37	3,22	3,29	3,33	BE1 sík	1,85	1,77	1,79	1,74	1,84	0,11	6,6
8,3	0,25	2,71	2,73	2,58	2,57	2,48	BE2 sík	1,37	1,39	1,39	1,29	1,27	0,12	7,3
Teljes	1,20	0,92	0,66	0,80	0,90	1,12	Eltérés	0,48	0,44	0,46	0,48	0,57	Teljes	0,58
eltér.:	40%	30,7	22,0	26,8	30,1	37,3	Elt. %	30,1	27,6	28,6	37,0	35,7	eltér.:	36%

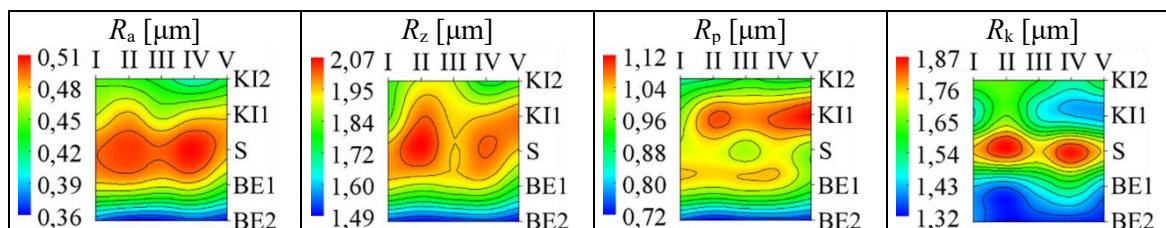
2.10. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, K1.5)



2.11. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, K1.6)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
9,1	0,04	0,45	0,44	0,43	0,41	0,43	KI2 sík	1,64	1,64	1,60	1,51	1,60	0,13	8,6
4,9	0,02	0,47	0,49	0,46	0,48	0,48	KI1 sík	1,48	1,65	1,48	1,43	1,41	0,25	16,1
5,3	0,02	0,50	0,51	0,50	0,51	0,49	S sík	1,77	1,87	1,76	1,86	1,75	0,12	7,5
7,1	0,03	0,48	0,48	0,47	0,48	0,45	BE1 sík	1,43	1,39	1,48	1,56	1,42	0,17	11,2
4,0	0,02	0,38	0,36	0,36	0,37	0,36	BE2 sík	1,41	1,32	1,34	1,34	1,33	0,09	5,5
Teljes	0,15	0,12	0,14	0,14	0,14	0,13	Eltérés	0,36	0,55	0,42	0,53	0,42	Teljes	0,55
eltér.:	33%	26,0	31,8	30,4	31,1	27,8	Elt. %	23,5	35,4	27,2	41,7	27,4	eltér.:	35%
R_z [μm]								R_p [μm]						
8,4	0,15	1,80	1,91	1,89	1,75	1,81	KI2 sík	0,86	0,88	0,92	0,90	0,91	0,06	6,5
9,9	0,18	1,82	2,01	1,94	1,96	2,00	KI1 sík	0,97	1,08	1,06	1,08	1,12	0,15	16,1
6,4	0,12	1,97	2,06	1,95	2,02	1,94	S sík	1,01	1,02	0,98	1,02	0,97	0,05	5,3
7,7	0,14	1,92	1,88	1,90	1,91	1,78	BE1 sík	1,03	1,01	1,03	1,02	0,95	0,08	8,3
2,3	0,04	1,53	1,49	1,51	1,53	1,49	BE2 sík	0,76	0,72	0,74	0,75	0,73	0,04	4,4
Teljes	0,57	0,45	0,57	0,44	0,49	0,51	Eltérés	0,27	0,36	0,32	0,34	0,39	Teljes	0,40
eltér.:	31%	24,3	31,2	24,0	26,4	27,9	Elt. %	28,2	38,5	34,5	44,0	41,2	eltér.:	42%

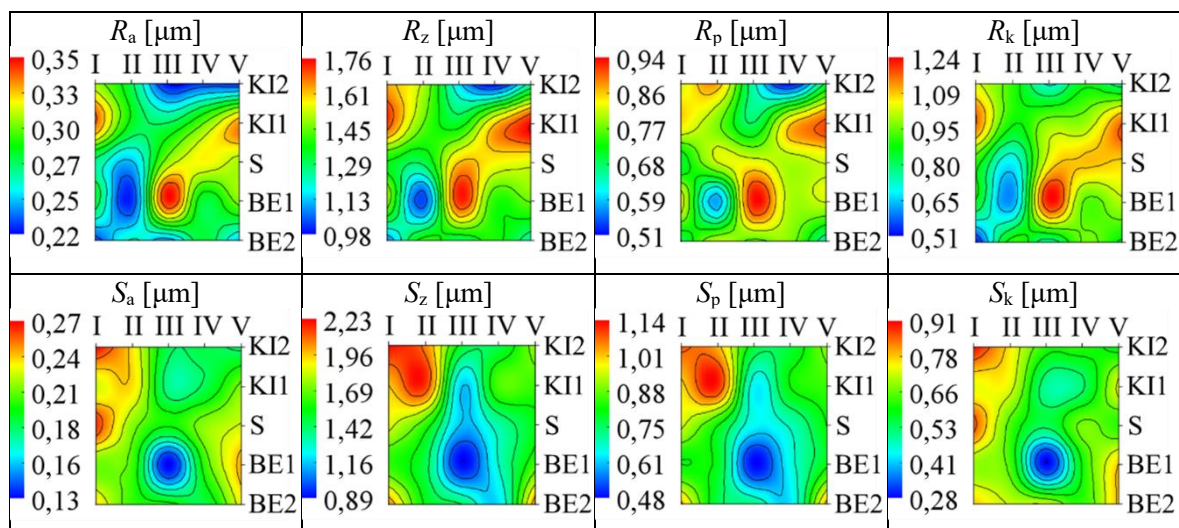
2.12. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, K1.6)



2.13. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.1)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
30,2	0,08	0,31	0,28	0,22	0,23	0,23	KI2 sík	1,03	0,91	0,72	0,86	0,76	0,32	34,4
23,8	0,07	0,34	0,28	0,27	0,30	0,33	KI1 sík	1,17	0,88	0,98	0,98	1,17	0,29	31,4
26,3	0,07	0,27	0,25	0,31	0,32	0,31	S sík	0,90	0,69	1,05	1,10	1,08	0,41	45,1
43,9	0,12	0,28	0,23	0,35	0,28	0,30	BE1 sík	0,86	0,62	1,22	0,94	1,00	0,60	65,6
18,4	0,05	0,23	0,26	0,24	0,28	0,25	BE2 sík	0,51	0,91	0,76	0,96	0,86	0,45	48,9
Teljes	0,13	0,11	0,06	0,13	0,09	0,11	Eltérés	0,66	0,29	0,51	0,24	0,40	Teljes	0,72
eltér.:	45%	40,0	20,5	45,3	32,8	38,5	Elt. %	71,9	31,3	55,1	29,3	43,8	eltér.:	78%
R_z [μm]								R_p [μm]						
46,5	0,66	1,63	1,51	1,16	0,98	1,25	KI2 sík	0,82	0,87	0,65	0,51	0,69	0,37	47,7
29,7	0,42	1,72	1,45	1,34	1,60	1,76	KI1 sík	0,85	0,78	0,68	0,85	0,91	0,23	29,7
21,3	0,30	1,36	1,31	1,61	1,57	1,54	S sík	0,70	0,81	0,83	0,80	0,81	0,13	17,0
49,7	0,70	1,49	1,03	1,73	1,40	1,45	BE1 sík	0,83	0,58	0,94	0,80	0,81	0,36	46,8
23,2	0,33	1,07	1,40	1,31	1,39	1,24	BE2 sík	0,68	0,81	0,76	0,78	0,65	0,16	20,3
Teljes	0,78	0,65	0,48	0,58	0,63	0,52	Eltérés	0,17	0,30	0,29	0,34	0,26	Teljes	0,43
eltér.:	56%	45,9	33,9	40,7	44,6	36,7	Elt. %	22,2	38,5	37,3	51,7	34,0	eltér.:	56%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
42,3	0,09	0,27	0,24	0,19	0,19	0,18	KI2 sík	0,91	0,76	0,62	0,62	0,57	0,33	50,0
28,2	0,06	0,23	0,24	0,18	0,19	0,22	KI1 sík	0,74	0,74	0,51	0,53	0,74	0,24	35,6
30,5	0,07	0,27	0,22	0,20	0,22	0,23	S sík	0,86	0,64	0,55	0,67	0,62	0,32	47,3
56,4	0,12	0,22	0,21	0,13	0,21	0,25	BE1 sík	0,69	0,64	0,29	0,60	0,78	0,50	74,4
23,5	0,05	0,24	0,21	0,20	0,19	0,23	BE2 sík	0,78	0,72	0,72	0,62	0,79	0,17	25,6
Teljes	0,14	0,06	0,03	0,08	0,03	0,07	Eltérés	0,22	0,12	0,43	0,14	0,22	Teljes	0,62
eltér.:	68%	26,3	15,5	35,7	15,0	31,0	Elt. %	32,8	18,6	64,2	25,0	32,8	eltér.:	93%
S_z [μm]								S_p [μm]						
48,1	0,77	2,23	2,05	1,52	1,45	1,75	KI2 sík	1,09	1,02	0,78	0,77	0,90	0,32	38,2
61,7	0,99	1,96	2,16	1,17	1,65	1,63	KI1 sík	0,99	1,12	0,65	0,81	0,85	0,47	56,7
44,5	0,72	1,86	1,62	1,15	1,34	1,53	S sík	0,96	0,81	0,65	0,69	0,81	0,31	36,9
46,3	0,75	1,62	1,46	0,90	1,29	1,64	BE1 sík	0,81	0,79	0,49	0,66	0,80	0,33	39,4
53,5	0,86	2,05	1,54	1,42	1,19	2,05	BE2 sík	1,02	0,76	0,73	0,63	1,03	0,40	48,6
Teljes	1,33	0,60	0,70	0,62	0,47	0,52	Eltérés	0,28	0,35	0,30	0,18	0,23	Teljes	0,63
eltér.:	83%	37,4	43,3	38,6	30,7	32,1	Elt. %	33,6	42,9	35,9	25,7	27,7	eltér.:	76%

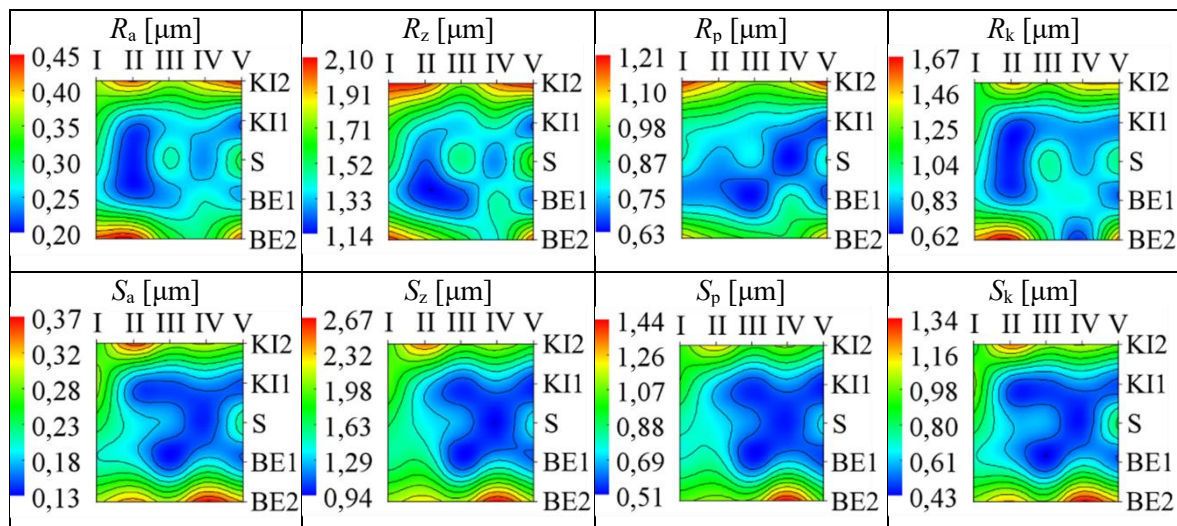
2.14. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.1)



2.15. melléklet: A felületen felvett elméleti és mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.2)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]								Min.	R_k [μm]							
24,5	0,08	0,37	0,43	0,37	0,40	0,44	0,34	KI2 sík	0,55	1,07	1,48	1,26	1,46	1,47	0,41	39,3
29,9	0,09	0,32	0,24	0,26	0,27	0,23	0,54	KI1 sík	0,91	1,13	0,72	0,78	0,83	0,77	0,41	39,4
33,4	0,11	0,29	0,21	0,28	0,24	0,31	0,59	S sík	0,98	0,97	0,65	0,98	0,79	1,02	0,37	35,8
14,3	0,05	0,28	0,23	0,24	0,27	0,25	0,54	BE1 sík	0,88	0,96	0,76	0,88	0,91	0,74	0,22	21,0
47,1	0,15	0,43	0,45	0,33	0,30	0,43	0,34	BE2 sík	0,51	1,50	1,67	1,05	0,69	1,54	0,98	94,3
Teljes	0,24	0,16	0,24	0,13	0,17	0,22	0,25	Eltérés	0,48	0,55	1,02	0,48	0,77	0,80	Teljes	1,02
eltér.:	77%	49,6	77,0	40,1	52,8	68,7	53,8	Elt. %	62,0	52,2	98,0	46,0	84,6	76,9	eltér.:	98%
R_z [μm]									R_p [μm]							
22,2	0,35	2,10	2,05	1,74	1,97	2,09	1,35	KI2 sík	0,91	1,20	1,09	1,00	1,04	1,21	0,22	24,8
26,9	0,43	1,66	1,42	1,35	1,48	1,23	2,17	KI1 sík	1,46	0,85	0,83	0,78	0,76	0,67	0,18	20,5
28,4	0,45	1,56	1,23	1,50	1,28	1,68	2,38	S sík	1,60	0,81	0,73	0,77	0,64	0,81	0,18	20,5
16,7	0,27	1,41	1,19	1,20	1,46	1,25	2,16	BE1 sík	1,46	0,72	0,71	0,64	0,82	0,68	0,18	20,7
40,6	0,65	2,06	1,83	1,59	1,42	2,02	1,34	BE2 sík	0,90	1,08	0,97	0,91	0,88	1,10	0,22	25,2
Teljes	0,90	0,68	0,86	0,55	0,70	0,86	1,04	Eltérés	0,70	0,48	0,38	0,36	0,41	0,54	Teljes	0,58
eltér.:	57%	42,9	53,8	34,4	43,3	54,0	55,2	Elt. %	55,3	54,7	43,5	41,0	56,7	62,1	eltér.:	67%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]								Min.	S_k [μm]							
46,1	0,11	0,25	0,36	0,29	0,30	0,28	0,37	KI2 sík	0,57	0,83	1,23	1,02	1,07	0,98	0,40	49,8
58,5	0,14	0,29	0,16	0,15	0,17	0,15	0,59	KI1 sík	0,92	1,00	0,53	0,50	0,57	0,50	0,51	62,7
42,7	0,10	0,24	0,19	0,17	0,14	0,22	0,64	S sík	1,00	0,84	0,62	0,59	0,45	0,81	0,39	48,6
29,0	0,07	0,21	0,20	0,14	0,19	0,16	0,59	BE1 sík	0,91	0,72	0,64	0,45	0,66	0,53	0,27	33,3
34,1	0,08	0,29	0,33	0,29	0,37	0,32	0,37	BE2 sík	0,57	1,00	1,17	0,98	1,34	1,15	0,36	44,0
Teljes	0,23	0,09	0,19	0,16	0,23	0,17	0,28	Eltérés	0,44	0,29	0,71	0,57	0,89	0,65	Teljes	0,89
eltér.:	100%	36,7	82,8	66,1	99,0	73,8	54,2	Elt. %	55,4	35,4	87,6	71,0	126	80,3	eltér.:	110%
S_z [μm]									S_p [μm]							
37,6	0,62	1,87	2,47	2,00	2,11	1,84	1,62	KI2 sík	1,15	1,00	1,23	1,00	1,09	0,93	0,31	36,0
58,4	0,97	1,96	1,38	1,04	1,24	0,99	2,37	KI1 sík	1,61	0,97	0,71	0,55	0,65	0,53	0,44	51,7
42,8	0,71	1,65	1,39	1,23	0,95	1,39	2,50	S sík	1,67	0,81	0,74	0,63	0,53	0,73	0,29	33,7
37,6	0,62	1,57	1,62	0,99	1,32	1,13	2,36	BE1 sík	1,60	0,79	0,82	0,54	0,70	0,57	0,29	33,8
35,9	0,59	2,07	2,25	2,08	2,67	2,12	1,62	BE2 sík	1,14	1,04	1,11	1,09	1,44	1,03	0,41	48,4
Teljes	1,72	0,51	1,09	1,09	1,72	1,13	0,89	Eltérés	0,53	0,25	0,53	0,55	0,92	0,51	Teljes	0,92
eltér.:	104%	30,6	65,9	65,9	101	68,2	42,4	Elt. %	36,8	29,2	62,0	65,3	125	59,6	eltér.:	108%

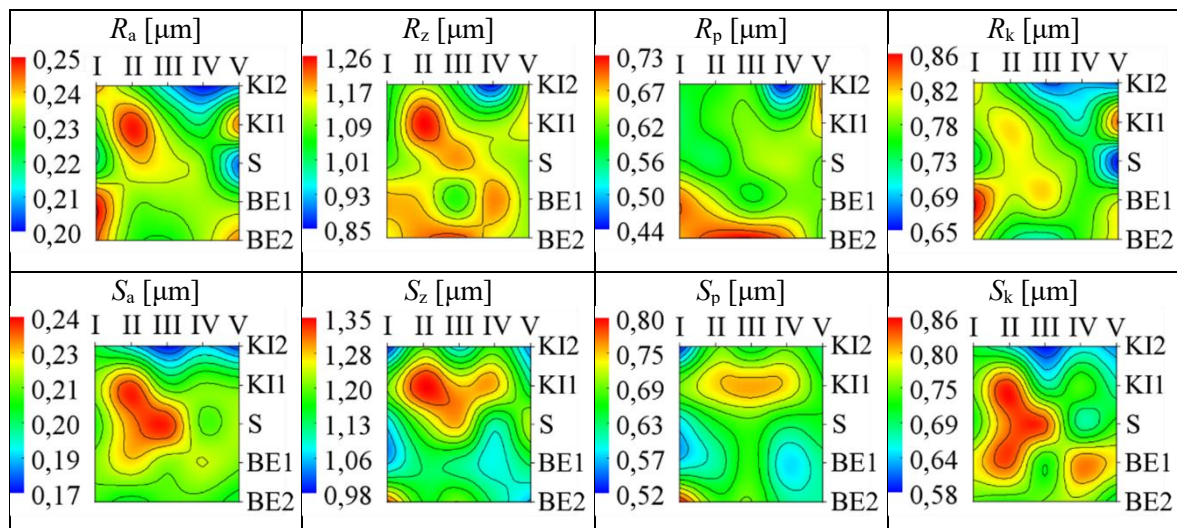
2.16. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.2)



2.17. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.3)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
18,5	0,04	0,24	0,23	0,21	0,20	0,21	KI2 sík	0,81	0,75	0,67	0,69	0,67	0,15	19,0
12,3	0,03	0,23	0,25	0,23	0,22	0,24	KI1 sík	0,78	0,81	0,76	0,72	0,84	0,12	16,2
14,5	0,03	0,22	0,24	0,23	0,23	0,20	S sík	0,75	0,80	0,79	0,77	0,65	0,15	20,0
8,4	0,02	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	BE1 sík	0,86	0,79	0,81	0,77	0,79	0,10	12,4
9,2	0,02	0,24	0,23	0,22	0,23	0,24	BE2 sík	0,81	0,74	0,72	0,76	0,81	0,10	12,4
Teljes	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	Eltérés	0,12	0,08	0,14	0,08	0,19	Teljes	0,21
eltér.:	21%	12,8	9,2	11,0	14,1	16,7	Elt. %	15,0	9,8	18,8	12,2	25,0	eltér.:	27%
R_z [μm]								R_p [μm]						
25,7	0,29	1,04	1,12	1,02	0,85	1,14	KI2 sík	0,58	0,59	0,60	0,44	0,69	0,25	40,0
18,8	0,21	1,04	1,25	1,13	1,11	1,16	KI1 sík	0,56	0,60	0,62	0,60	0,67	0,10	16,5
10,7	0,12	1,08	1,14	1,20	1,14	1,10	S sík	0,59	0,57	0,63	0,64	0,61	0,07	11,9
12,3	0,14	1,19	1,17	1,06	1,20	1,11	BE1 sík	0,70	0,64	0,58	0,62	0,62	0,12	18,6
10,2	0,12	1,15	1,21	1,23	1,15	1,11	BE2 sík	0,68	0,72	0,73	0,69	0,60	0,13	20,4
Teljes	0,40	0,15	0,13	0,21	0,35	0,06	Eltérés	0,14	0,15	0,15	0,25	0,09	Teljes	0,29
eltér.:	36%	13,1	11,9	18,4	31,2	5,4	Elt. %	22,0	24,3	23,8	47,6	14,0	eltér.:	46%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
13,9	0,03	0,20	0,19	0,17	0,19	0,18	KI2 sík	0,71	0,66	0,58	0,65	0,62	0,13	17,3
12,4	0,03	0,22	0,23	0,21	0,21	0,21	KI1 sík	0,75	0,84	0,68	0,74	0,67	0,17	23,2
13,4	0,03	0,21	0,23	0,24	0,21	0,22	S sík	0,72	0,83	0,84	0,68	0,73	0,16	21,2
4,8	0,01	0,21	0,22	0,22	0,22	0,21	BE1 sík	0,79	0,84	0,72	0,82	0,79	0,11	15,5
3,8	0,01	0,21	0,20	0,21	0,21	0,20	BE2 sík	0,74	0,73	0,75	0,77	0,70	0,07	9,3
Teljes	0,06	0,01	0,05	0,06	0,03	0,04	Eltérés	0,08	0,19	0,25	0,17	0,17	Teljes	0,26
eltér.:	30%	5,7	21,5	29,6	15,3	19,1	Elt. %	10,4	25,2	34,5	27,6	22,7	eltér.:	35%
S_z [μm]								S_p [μm]						
18,2	0,21	0,98	1,19	1,08	1,18	1,03	KI2 sík	0,52	0,68	0,64	0,68	0,63	0,17	25,2
18,9	0,22	1,20	1,35	1,28	1,29	1,13	KI1 sík	0,69	0,74	0,76	0,74	0,66	0,09	14,1
18,9	0,22	1,07	1,21	1,28	1,11	1,24	S sík	0,58	0,65	0,68	0,64	0,66	0,10	14,4
7,4	0,09	1,05	1,13	1,12	1,08	1,14	BE1 sík	0,58	0,62	0,67	0,58	0,62	0,09	13,4
23,6	0,27	1,32	1,16	1,20	1,12	1,05	BE2 sík	0,80	0,68	0,69	0,62	0,61	0,19	28,9
Teljes	0,37	0,34	0,22	0,21	0,21	0,21	Eltérés	0,29	0,13	0,11	0,16	0,05	Teljes	0,29
eltér.:	31%	29,4	18,5	18,0	17,5	18,0	Elt. %	43,3	19,2	17,2	28,3	7,6	eltér.:	43%

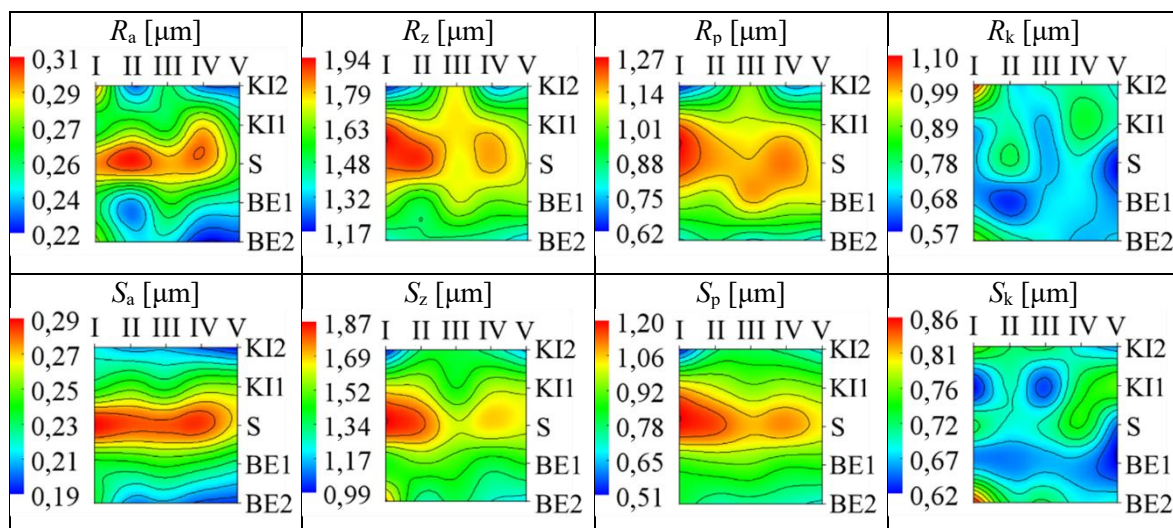
2.18. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.3)



2.19. melléklet: A felületen felvett elméleti és mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.4)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]								Min.	R_k [μm]							
24,5	0,06	0,30	0,23	0,26	0,23	0,23	0,34	KI2 sík	0,55	1,10	0,72	0,74	0,76	0,72	0,38	52,7
10,7	0,03	0,26	0,27	0,26	0,29	0,26	0,54	KI1 sík	0,91	0,69	0,74	0,67	0,81	0,74	0,14	19,7
13,0	0,03	0,30	0,31	0,29	0,30	0,27	0,59	S sík	0,98	0,67	0,79	0,67	0,72	0,57	0,22	30,4
11,1	0,03	0,26	0,24	0,27	0,25	0,25	0,54	BE1 sík	0,88	0,67	0,59	0,69	0,70	0,64	0,11	14,5
20,3	0,05	0,28	0,25	0,25	0,22	0,23	0,34	BE2 sík	0,51	0,90	0,77	0,72	0,67	0,69	0,23	31,6
Teljes	0,08	0,04	0,07	0,05	0,07	0,04	0,25	Eltérés	0,48	0,43	0,20	0,07	0,15	0,16	Teljes	0,53
eltér.:	31%	13,4	27,6	18,4	27,6	16,8	53,8	Elt. %	62,0	59,5	27,7	9,4	23,9	22,5	eltér.:	73%
R_z [μm]									R_p [μm]							
35,9	0,58	1,17	1,40	1,74	1,32	1,41	1,35	KI2 sík	0,91	0,62	0,81	1,03	0,75	0,77	0,41	41,3
15,0	0,24	1,88	1,74	1,76	1,74	1,64	2,17	KI1 sík	1,46	1,20	1,09	1,08	1,08	1,03	0,17	17,2
12,3	0,20	1,88	1,90	1,74	1,81	1,70	2,38	S sík	1,60	1,25	1,17	1,14	1,19	1,09	0,16	15,6
11,4	0,18	1,67	1,53	1,71	1,63	1,65	2,16	BE1 sík	1,46	1,06	1,03	1,14	1,09	1,09	0,12	11,6
7,8	0,13	1,39	1,47	1,45	1,43	1,34	1,34	BE2 sík	0,90	0,81	0,89	0,81	0,84	0,78	0,11	10,6
Teljes	0,73	0,71	0,50	0,31	0,50	0,36	1,04	Eltérés	0,70	0,63	0,36	0,33	0,44	0,33	Teljes	0,63
eltér.:	46%	44,3	31,1	19,3	29,9	22,5	55,2	Elt. %	55,3	63,0	36,1	33,6	53,2	33,0	eltér.:	63%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]								Min.	S_k [μm]							
10,6	0,03	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	0,37	KI2 sík	0,57	0,77	0,72	0,73	0,68	0,66	0,11	15,8
7,2	0,02	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,59	KI1 sík	0,92	0,62	0,70	0,64	0,73	0,76	0,14	19,8
10,2	0,02	0,29	0,28	0,28	0,29	0,27	0,64	S sík	1,00	0,72	0,69	0,70	0,74	0,65	0,10	13,6
6,8	0,02	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,59	BE1 sík	0,91	0,66	0,65	0,66	0,66	0,62	0,04	5,9
17,3	0,04	0,24	0,21	0,21	0,20	0,20	0,37	BE2 sík	0,57	0,86	0,72	0,72	0,68	0,69	0,18	25,4
Teljes	0,10	0,07	0,08	0,07	0,09	0,08	0,28	Eltérés	0,44	0,24	0,07	0,09	0,08	0,14	Teljes	0,24
eltér.:	42%	31,3	32,6	30,9	36,4	31,7	54,2	Elt. %	55,4	33,9	9,5	12,3	14,5	19,8	eltér.:	34%
S_z [μm]									S_p [μm]							
26,5	0,39	0,99	1,35	1,38	1,30	1,15	1,62	KI2 sík	1,15	0,51	0,77	0,80	0,76	0,69	0,29	32,9
14,3	0,21	1,64	1,61	1,43	1,58	1,57	2,37	KI1 sík	1,61	1,07	1,00	0,94	0,96	0,93	0,14	15,7
16,9	0,25	1,86	1,79	1,62	1,68	1,63	2,50	S sík	1,67	1,19	1,15	1,07	1,10	1,03	0,16	18,0
9,1	0,13	1,44	1,52	1,48	1,38	1,44	2,36	BE1 sík	1,60	0,88	0,91	0,92	0,87	0,87	0,05	5,9
33,6	0,49	1,71	1,30	1,37	1,26	1,22	1,62	BE2 sík	1,14	0,83	0,74	0,75	0,73	0,70	0,13	14,4
Teljes	0,87	0,87	0,50	0,25	0,43	0,48	0,89	Eltérés	0,53	0,68	0,41	0,32	0,37	0,34	Teljes	0,68
eltér.:	59%	59,3	34,0	16,9	27,0	32,7	42,4	Elt. %	36,8	77,0	46,1	36,1	50,2	38,3	eltér.:	77%

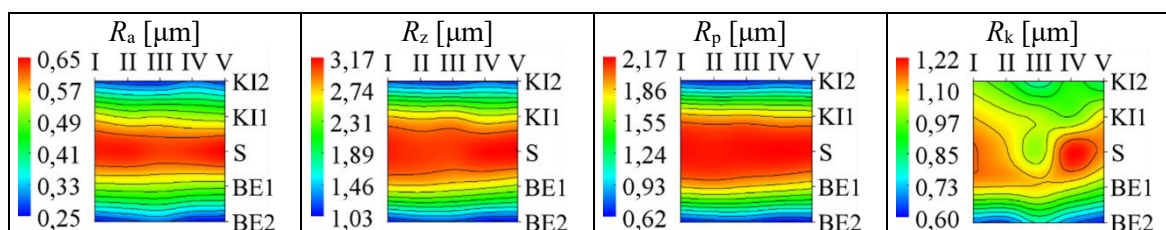
2.20. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.4)



2.21. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.5)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
7,7	0,03	0,28	0,27	0,26	0,29	0,27	KI2 sík	1,00	0,93	0,81	0,93	0,84	0,19	19,9
10,2	0,05	0,55	0,52	0,52	0,51	0,50	KI1 sík	1,10	1,05	1,02	0,97	1,08	0,12	12,7
5,0	0,02	0,64	0,64	0,62	0,63	0,65	S sík	1,17	1,10	1,00	1,21	1,14	0,21	21,9
3,6	0,02	0,51	0,52	0,51	0,50	0,50	BE1 sík	1,10	1,09	1,09	1,05	0,98	0,12	12,8
10,9	0,05	0,25	0,28	0,30	0,26	0,25	BE2 sík	0,67	0,65	0,79	0,68	0,60	0,19	19,7
Teljes	0,40	0,38	0,37	0,36	0,37	0,40	Eltérés	0,50	0,45	0,30	0,54	0,54	Teljes	0,61
eltér.: 90%	86,7	84,4	82,6	84,4	89,7		Elt. %	51,6	46,9	31,0	67,5	55,6	eltér.: 64%	
R_z [μm]								R_p [μm]						
6,9	0,15	1,21	1,13	1,09	1,24	1,14	KI2 sík	0,68	0,62	0,63	0,71	0,65	0,08	5,8
9,0	0,19	2,75	2,67	2,71	2,56	2,62	KI1 sík	1,91	1,87	1,88	1,84	1,84	0,07	4,9
5,4	0,12	3,11	3,06	3,06	3,15	3,17	S sík	2,15	2,14	2,16	2,17	2,16	0,03	2,0
10,9	0,23	2,70	2,72	2,65	2,59	2,48	BE1 sík	1,87	1,91	1,86	1,82	1,75	0,15	10,6
8,5	0,18	1,05	1,20	1,21	1,04	1,03	BE2 sík	0,64	0,72	0,73	0,62	0,64	0,11	7,9
Teljes	2,14	2,06	1,93	1,97	2,12	2,14	Eltérés	1,51	1,52	1,53	1,55	1,53	Teljes	1,55
eltér.: 101%	96,7	90,7	92,2	99,5	101		Elt. %	105	106	106	133	106	eltér.: 108%	

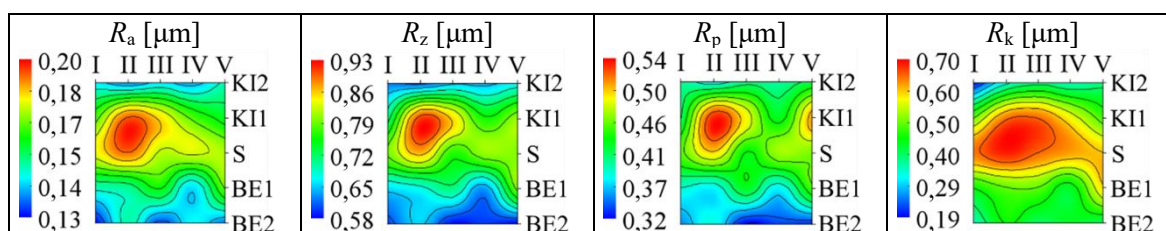
2.22. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.5)



2.23. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.6)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
8,3	0,01	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	KI2 sík	0,19	0,33	0,38	0,35	0,38	0,19	39,4
19,1	0,03	0,17	0,19	0,18	0,17	0,16	KI1 sík	0,50	0,64	0,65	0,57	0,48	0,17	35,1
9,5	0,02	0,18	0,19	0,17	0,18	0,17	S sík	0,64	0,69	0,65	0,62	0,60	0,09	17,9
16,5	0,03	0,15	0,15	0,16	0,14	0,17	BE1 sík	0,45	0,50	0,50	0,43	0,59	0,16	33,3
14,0	0,02	0,13	0,15	0,13	0,15	0,14	BE2 sík	0,35	0,45	0,40	0,43	0,40	0,10	19,7
Teljes	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	Eltérés	0,45	0,35	0,27	0,27	0,22	Teljes	0,50
eltér.: 39%	31,2	33,1	29,9	23,5	23,5		Elt. %	92,2	72,7	55,0	62,3	44,8	eltér.: 102%	
R_z [μm]								R_p [μm]						
8,6	0,06	0,62	0,61	0,64	0,64	0,67	KI2 sík	0,40	0,38	0,41	0,40	0,42	0,04	9,1
28,7	0,20	0,71	0,91	0,86	0,76	0,81	KI1 sík	0,41	0,54	0,49	0,43	0,51	0,12	29,7
14,2	0,10	0,80	0,87	0,77	0,81	0,80	S sík	0,45	0,50	0,43	0,47	0,46	0,06	15,1
23,5	0,17	0,66	0,68	0,71	0,63	0,80	BE1 sík	0,39	0,38	0,43	0,38	0,45	0,07	16,8
10,6	0,08	0,60	0,65	0,58	0,60	0,58	BE2 sík	0,35	0,38	0,32	0,34	0,33	0,06	14,4
Teljes	0,34	0,20	0,31	0,28	0,21	0,23	Eltérés	0,10	0,16	0,16	0,13	0,18	Teljes	0,21
eltér.: 47%	27,4	42,9	39,0	29,5	32,8		Elt. %	23,0	37,4	39,3	36,7	42,2	eltér.: 51%	

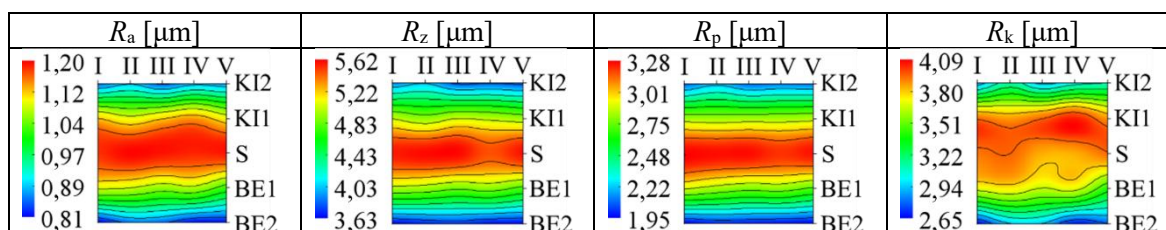
2.24. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.6)



2.25. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ3, K1.4)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μ m]							Min.	R_k [μ m]						
7,1	0,07	0,83	0,88	0,89	0,91	0,89	KI2 sík	2,72	2,90	2,96	3,25	3,06	0,53	15,4
1,3	0,01	1,12	1,11	1,11	1,11	1,12	KI1 sík	3,70	3,76	3,67	3,76	3,85	0,18	5,3
3,4	0,03	1,24	1,25	1,25	1,22	1,22	S sík	3,86	3,99	3,95	3,76	3,85	0,22	6,5
3,2	0,03	1,12	1,11	1,11	1,11	1,14	BE1 sík	3,55	3,61	3,70	3,62	3,92	0,37	10,9
5,4	0,06	0,86	0,87	0,89	0,88	0,83	BE2 sík	2,80	2,67	2,91	2,86	2,52	0,39	11,5
Teljes	0,42	0,41	0,38	0,36	0,33	0,39	Eltérés	1,14	1,32	1,04	0,90	1,40	Teljes	1,46
eltér.:	40%	38,9	36,6	34,9	32,0	37,5	Elt. %	33,5	38,7	30,4	32,2	41,1	eltér.:	43%
R_z [μ m]								R_p [μ m]						
5,1	0,25	3,71	3,95	3,94	3,87	3,89	KI2 sík	2,01	2,18	2,07	2,10	2,10	0,18	6,6
4,6	0,22	5,23	5,22	5,24	5,03	5,25	KI1 sík	2,97	2,94	2,91	2,85	2,93	0,11	4,2
3,4	0,16	5,86	5,98	5,97	5,83	5,82	S sík	3,43	3,53	3,52	3,45	3,46	0,10	3,7
6,0	0,29	5,37	5,42	5,13	5,23	5,20	BE1 sík	3,03	3,14	2,81	2,97	2,81	0,34	12,5
1,7	0,08	3,86	3,89	3,81	3,81	3,81	BE2 sík	2,05	2,02	1,97	1,97	1,99	0,08	3,2
Teljes	2,27	2,16	2,09	2,16	2,01	2,01	Eltérés	1,42	1,50	1,56	1,48	1,47	Teljes	1,56
eltér.:	47%	44,8	43,4	44,9	41,8	41,8	Elt. %	52,8	55,9	57,9	68,0	54,5	eltér.:	58%

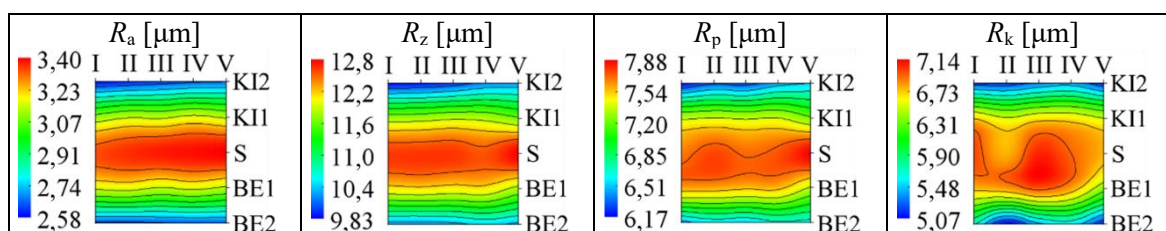
2.26. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ3, K1.4)



2.27. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ6, K1.4)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μ m]							Min.	R_k [μ m]						
2,7	0,08	2,58	2,60	2,62	2,65	2,66	KI2 sík	5,20	5,18	5,32	5,40	5,15	0,25	4,1
2,4	0,07	3,10	3,14	3,14	3,17	3,14	KI1 sík	6,73	6,55	6,67	6,66	6,53	0,20	3,2
2,1	0,06	3,34	3,36	3,38	3,39	3,40	S sík	7,01	6,78	7,07	6,94	6,78	0,29	4,7
1,4	0,04	3,17	3,19	3,15	3,18	3,14	BE1 sík	6,76	6,82	6,97	6,81	6,39	0,58	9,4
0,6	0,02	2,65	2,65	2,66	2,66	2,67	BE2 sík	5,74	5,07	5,45	5,58	5,13	0,67	10,8
Teljes	0,82	0,76	0,76	0,75	0,74	0,74	Eltérés	1,81	1,76	1,75	1,54	1,65	Teljes	2,00
eltér.:	27%	25,3	25,4	25,2	24,7	24,6	Elt. %	29,2	28,4	28,3	30,7	26,6	eltér.:	32%
R_z [μ m]								R_p [μ m]						
3,9	0,44	9,8	9,9	10,0	10,2	10,3	KI2 sík	6,17	6,32	6,29	6,45	6,52	0,35	5,0
2,0	0,22	11,8	11,8	11,9	11,9	11,7	KI1 sík	7,34	7,38	7,35	7,37	7,23	0,15	2,1
2,1	0,24	12,7	12,7	12,7	12,6	12,8	S sík	7,66	7,76	7,70	7,74	7,88	0,22	3,0
2,9	0,33	12,1	12,2	12,1	12,1	11,8	BE1 sík	7,61	7,60	7,57	7,57	7,36	0,25	3,6
1,9	0,22	10,3	10,3	10,4	10,5	10,4	BE2 sík	6,47	6,59	6,55	6,66	6,62	0,19	2,6
Teljes	3,02	2,84	2,81	2,70	2,39	2,57	Eltérés	1,49	1,44	1,41	1,29	1,36	Teljes	1,71
eltér.:	26%	24,9	24,6	23,7	20,9	22,6	Elt. %	21,0	20,2	19,8	22,4	19,1	eltér.:	24%

2.28. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ6, K1.4)

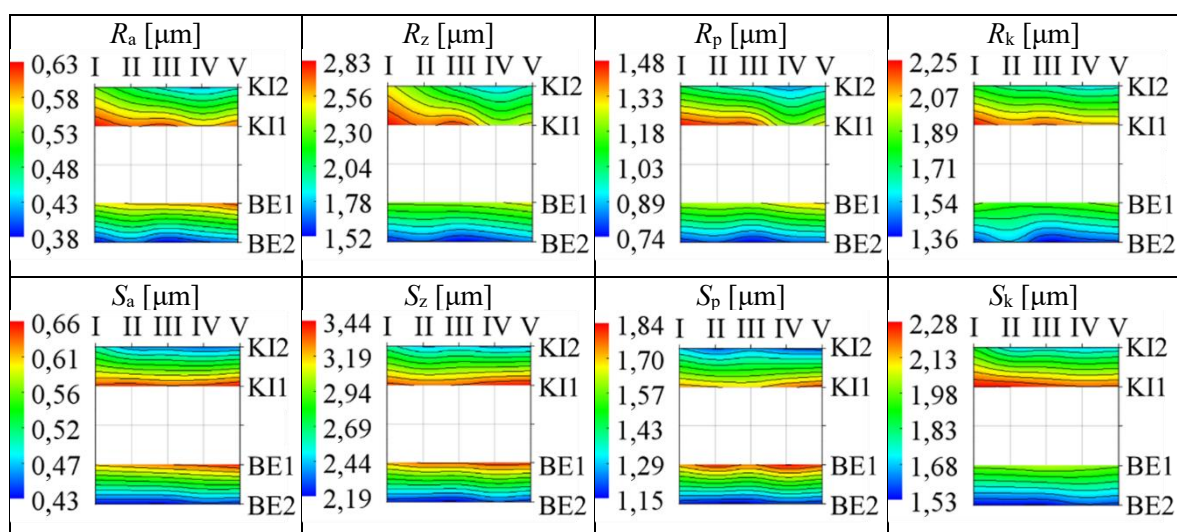


3. melléklet: Ellen- vagy egyenirányban mart felületeken mért érdességi értékek, terjedelmük

3.1. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, K2)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
20,2	0,10	0,53	0,48	0,44	0,42	0,45	KI2 sík	1,77	1,67	1,64	1,58	1,60	0,19	10,8
9,6	0,05	0,63	0,60	0,61	0,58	0,60	KI1 sík	2,25	2,13	2,17	2,10	2,08	0,16	9,1
9,8	0,05	0,56	0,58	0,58	0,59	0,61	BE1 sík	1,91	1,84	1,85	1,88	1,94	0,10	5,7
7,0	0,04	0,38	0,41	0,38	0,40	0,41	BE2 sík	1,40	1,53	1,36	1,41	1,43	0,17	9,6
Teljes	0,25	0,25	0,19	0,23	0,19	0,20	Eltérés	0,84	0,60	0,81	0,70	0,65	Teljes	0,89
eltér.: 49%		49,0	37,6	45,8	37,8	39,0	Elt. %	47,4	33,9	45,6	48,3	36,6	eltér.: 50%	
R_z [μm]								R_p [μm]						
31,0	0,67	2,48	2,22	1,93	1,81	1,93	KI2 sík	1,03	0,96	0,91	0,85	0,91	0,18	16,5
19,8	0,43	2,83	2,68	2,75	2,40	2,48	KI1 sík	1,48	1,43	1,42	1,20	1,29	0,28	25,2
7,5	0,16	2,34	2,34	2,37	2,42	2,50	BE1 sík	1,23	1,25	1,25	1,30	1,34	0,11	9,9
8,7	0,19	1,56	1,65	1,52	1,60	1,71	BE2 sík	0,77	0,81	0,74	0,81	0,83	0,09	7,9
Teljes	1,31	1,27	1,03	1,23	0,82	0,79	Eltérés	0,70	0,61	0,68	0,49	0,51	Teljes	0,74
eltér.: 60%		58,3	47,4	56,6	38,1	36,4	Elt. %	64,3	56,1	62,2	54,6	47,0	eltér.: 67%	
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
9,4	0,05	0,50	0,46	0,46	0,45	0,46	KI2 sík	1,89	1,71	1,72	1,69	1,71	0,20	10,7
3,5	0,02	0,64	0,65	0,64	0,64	0,66	KI1 sík	2,28	2,28	2,24	2,22	2,23	0,07	3,5
6,8	0,04	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	BE1 sík	2,01	2,03	2,06	2,03	2,00	0,06	3,0
3,1	0,02	0,43	0,43	0,43	0,45	0,44	BE2 sík	1,53	1,53	1,53	1,60	1,58	0,07	3,5
Teljes	0,23	0,21	0,22	0,21	0,20	0,22	Eltérés	0,76	0,75	0,72	0,62	0,65	Teljes	0,76
eltér.: 42%		38,2	39,5	38,0	35,8	39,5	Elt. %	39,9	39,8	37,8	40,7	34,2	eltér.: 40%	
S_z [μm]								S_p [μm]						
7,4	0,21	2,62	2,44	2,48	2,41	2,43	KI2 sík	1,29	1,21	1,26	1,21	1,19	0,10	6,5
4,7	0,13	3,36	3,31	3,33	3,41	3,44	KI1 sík	1,74	1,71	1,69	1,76	1,81	0,12	7,8
5,7	0,16	3,22	3,33	3,33	3,38	3,36	BE1 sík	1,73	1,82	1,77	1,84	1,80	0,12	7,8
4,3	0,12	2,25	2,21	2,19	2,31	2,26	BE2 sík	1,18	1,15	1,15	1,19	1,18	0,05	3,2
Teljes	1,25	1,12	1,12	1,14	1,10	1,19	Eltérés	0,56	0,67	0,62	0,65	0,63	Teljes	0,70
eltér.: 44%		39,2	39,2	39,9	38,6	41,5	Elt. %	38,0	45,0	41,9	53,9	42,5	eltér.: 47%	

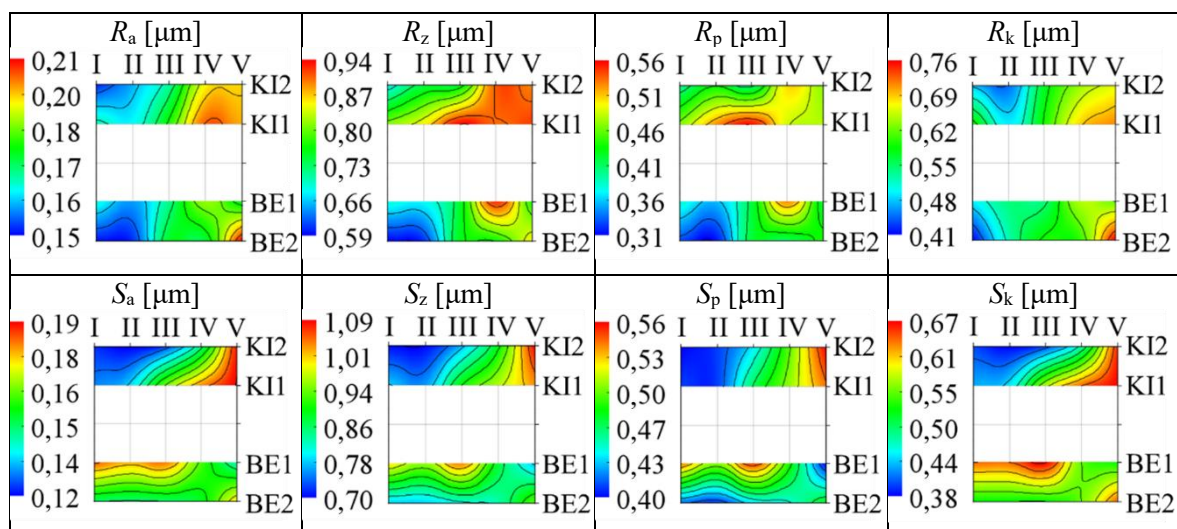
3.2. melléklet: A felületeken mért értékek egyesített megoszlása (SZ1, K2)



3.3. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K2)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]								Min.	R_k [μm]							
27,3	0,05	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,34	KI2 sík	0,55	0,48	0,45	0,57	0,64	0,67	0,22	37,7
23,5	0,04	0,17	0,16	0,18	0,20	0,20	0,54	KI1 sík	0,91	0,60	0,50	0,59	0,69	0,72	0,22	37,7
17,7	0,03	0,17	0,16	0,17	0,19	0,18	0,54	BE1 sík	0,88	0,50	0,54	0,55	0,65	0,62	0,15	26,1
35,5	0,06	0,15	0,15	0,18	0,18	0,21	0,34	BE2 sík	0,51	0,41	0,53	0,59	0,60	0,76	0,35	60,6
Teljes	0,06	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	0,20	Eltérés	0,40	0,19	0,10	0,05	0,09	0,14	Teljes	0,35
eltér.:	35%	11,4	7,4	6,3	16,6	20,0	46,3	Elt. %	56,7	32,8	16,3	8,2	16,2	24,5	eltér.:	61%
R_z [μm]									R_p [μm]							
29,4	0,23	0,68	0,74	0,75	0,91	0,89	1,35	KI2 sík	0,91	0,40	0,44	0,41	0,51	0,47	0,11	24,3
16,5	0,13	0,81	0,85	0,94	0,90	0,92	2,17	KI1 sík	1,46	0,47	0,53	0,56	0,49	0,48	0,09	20,9
31,3	0,25	0,69	0,68	0,75	0,93	0,77	2,16	BE1 sík	1,46	0,39	0,36	0,42	0,53	0,42	0,17	38,4
33,9	0,27	0,59	0,60	0,75	0,77	0,85	1,34	BE2 sík	0,90	0,33	0,32	0,42	0,42	0,45	0,13	29,1
Teljes	0,35	0,22	0,25	0,19	0,16	0,15	0,83	Eltérés	0,56	0,14	0,21	0,15	0,11	0,06	Teljes	0,24
eltér.:	45%	28,3	31,5	24,5	15,9	18,9	47,3	Elt. %	47,0	31,1	47,5	34,8	29,6	13,6	eltér.:	55%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]								Min.	S_k [μm]							
43,2	0,07	0,13	0,12	0,13	0,15	0,19	0,37	KI2 sík	0,57	0,40	0,38	0,40	0,48	0,66	0,28	50,9
38,3	0,06	0,13	0,14	0,16	0,18	0,19	0,59	KI1 sík	0,92	0,43	0,45	0,57	0,64	0,67	0,24	43,9
26,1	0,04	0,19	0,18	0,18	0,16	0,14	0,59	BE1 sík	0,91	0,64	0,64	0,67	0,55	0,53	0,15	26,7
16,5	0,03	0,15	0,15	0,15	0,15	0,18	0,37	BE2 sík	0,57	0,53	0,53	0,53	0,55	0,64	0,12	21,1
Teljes	0,07	0,06	0,06	0,06	0,03	0,05	0,22	Eltérés	0,35	0,24	0,26	0,27	0,16	0,14	Teljes	0,29
eltér.:	44%	38,1	36,2	35,6	21,0	30,1	46,6	Elt. %	47,4	43,9	47,4	49,3	33,7	26,4	eltér.:	53%
S_z [μm]									S_p [μm]							
43,9	0,38	0,71	0,71	0,77	0,89	1,09	1,62	KI2 sík	1,15	0,40	0,41	0,44	0,50	0,56	0,16	34,8
30,8	0,27	0,78	0,76	0,90	0,97	1,03	2,37	KI1 sík	1,61	0,41	0,41	0,47	0,51	0,54	0,13	28,6
30,7	0,27	1,00	0,96	1,04	0,88	0,77	2,36	BE1 sík	1,60	0,55	0,51	0,55	0,49	0,40	0,15	32,7
17,6	0,15	0,78	0,78	0,81	0,83	0,94	1,62	BE2 sík	1,14	0,42	0,41	0,44	0,45	0,48	0,07	14,3
Teljes	0,38	0,30	0,25	0,27	0,13	0,32	0,75	Eltérés	0,46	0,14	0,10	0,11	0,06	0,16	Teljes	0,16
eltér.:	44%	34,0	28,5	30,7	12,1	36,2	37,8	Elt. %	33,7	30,8	20,3	24,4	14,1	34,8	eltér.:	35%

3.4. melléklet: A felületeken mért értékek egyesített megoszlása (SZ2.1, K2)

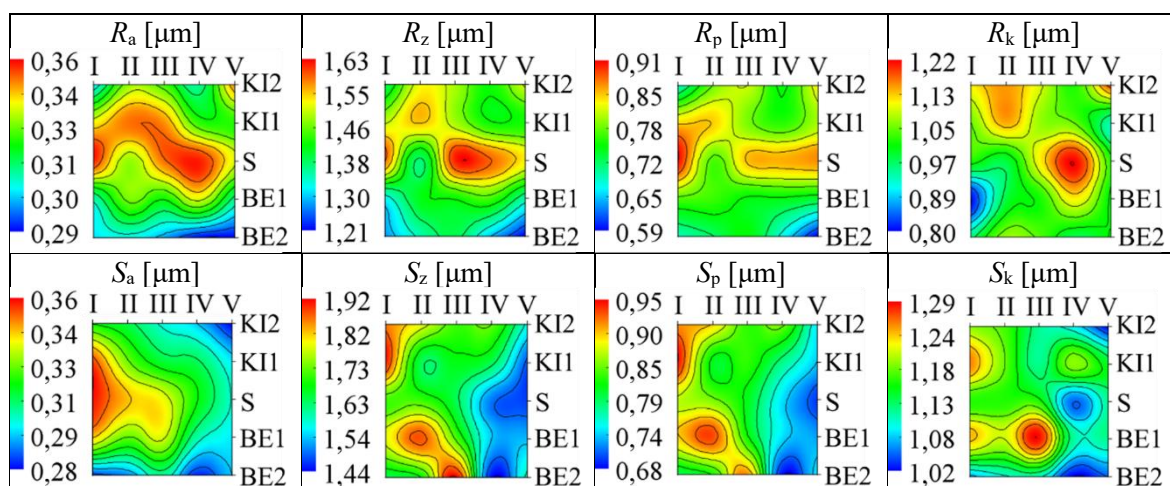


4. melléklet: Kettős lenyomatú felületeken mért érdességi értékek és terjedelmük

4.1. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, KI.1)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
14,2	0,05	0,30	0,33	0,33	0,31	0,35	KI2 sík	1,12	1,16	1,10	1,02	1,20	0,17	16,6
7,7	0,03	0,34	0,35	0,35	0,33	0,32	KI1 sík	1,05	1,15	1,07	1,05	0,94	0,21	20,0
7,1	0,02	0,36	0,33	0,35	0,36	0,34	S sík	1,02	0,99	1,12	1,21	1,02	0,23	21,9
8,6	0,03	0,31	0,33	0,32	0,34	0,31	BE1 sík	0,80	0,98	1,02	1,12	1,00	0,32	30,1
5,9	0,02	0,30	0,31	0,30	0,29	0,29	BE2 sík	0,96	1,07	1,04	0,98	1,01	0,11	10,9
Teljes	0,07	0,05	0,04	0,05	0,07	0,06	Eltérés	0,32	0,17	0,10	0,24	0,26	Teljes	0,41
eltér.:	21%	16,3	13,5	15,7	20,9	19,1	Elt. %	30,1	16,5	9,3	26,8	24,8	eltér.:	39%
R_z [μm]								R_p [μm]						
10,2	0,15	1,38	1,52	1,49	1,43	1,51	KI2 sík	0,68	0,79	0,82	0,75	0,83	0,15	18,8
8,6	0,12	1,50	1,55	1,49	1,43	1,43	KI1 sík	0,85	0,85	0,79	0,76	0,81	0,08	10,6
16,9	0,24	1,59	1,37	1,62	1,59	1,53	S sík	0,91	0,78	0,85	0,86	0,87	0,14	17,7
9,0	0,13	1,32	1,41	1,43	1,45	1,36	BE1 sík	0,78	0,77	0,75	0,75	0,74	0,04	5,3
12,3	0,18	1,28	1,35	1,39	1,30	1,21	BE2 sík	0,69	0,72	0,75	0,68	0,59	0,16	20,5
Teljes	0,41	0,32	0,20	0,23	0,29	0,32	Eltérés	0,23	0,13	0,10	0,18	0,28	Teljes	0,32
eltér.:	28%	22,1	14,1	15,9	20,3	22,2	Elt. %	29,4	16,5	13,3	27,9	35,6	eltér.:	42%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
13,4	0,04	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	KI2 sík	1,19	1,18	1,12	1,09	1,02	0,17	15,1
19,1	0,06	0,36	0,33	0,32	0,31	0,30	KI1 sík	1,26	1,19	1,12	1,20	1,15	0,14	12,5
18,8	0,06	0,36	0,35	0,34	0,32	0,30	S sík	1,17	1,17	1,17	1,05	1,12	0,12	10,2
15,6	0,05	0,35	0,33	0,34	0,31	0,30	BE1 sík	1,24	1,21	1,29	1,12	1,12	0,17	15,2
8,3	0,03	0,28	0,29	0,31	0,28	0,29	BE2 sík	1,07	1,10	1,11	1,02	1,05	0,09	7,5
Teljes	0,08	0,08	0,06	0,04	0,04	0,03	Eltérés	0,19	0,11	0,18	0,17	0,12	Teljes	0,27
eltér.:	27%	24,8	18,1	12,4	12,4	8,0	Elt. %	16,8	9,8	16,0	18,6	10,9	eltér.:	24%
S_z [μm]								S_p [μm]						
17,1	0,29	1,86	1,80	1,71	1,73	1,58	KI2 sík	0,92	0,90	0,83	0,85	0,75	0,17	21,1
25,7	0,43	1,91	1,64	1,67	1,64	1,48	KI1 sík	0,96	0,81	0,83	0,78	0,74	0,22	26,8
14,3	0,24	1,71	1,71	1,64	1,50	1,47	S sík	0,87	0,85	0,81	0,75	0,70	0,17	21,1
21,1	0,35	1,79	1,88	1,72	1,54	1,53	BE1 sík	0,90	0,94	0,82	0,75	0,73	0,21	25,7
28,0	0,47	1,64	1,68	1,92	1,45	1,60	BE2 sík	0,79	0,82	0,92	0,69	0,75	0,23	28,0
Teljes	0,47	0,27	0,24	0,28	0,28	0,13	Eltérés	0,16	0,12	0,11	0,16	0,05	Teljes	0,27
eltér.:	28%	16,0	14,3	16,6	16,8	7,5	Elt. %	19,8	15,2	12,9	23,8	5,9	eltér.:	33%

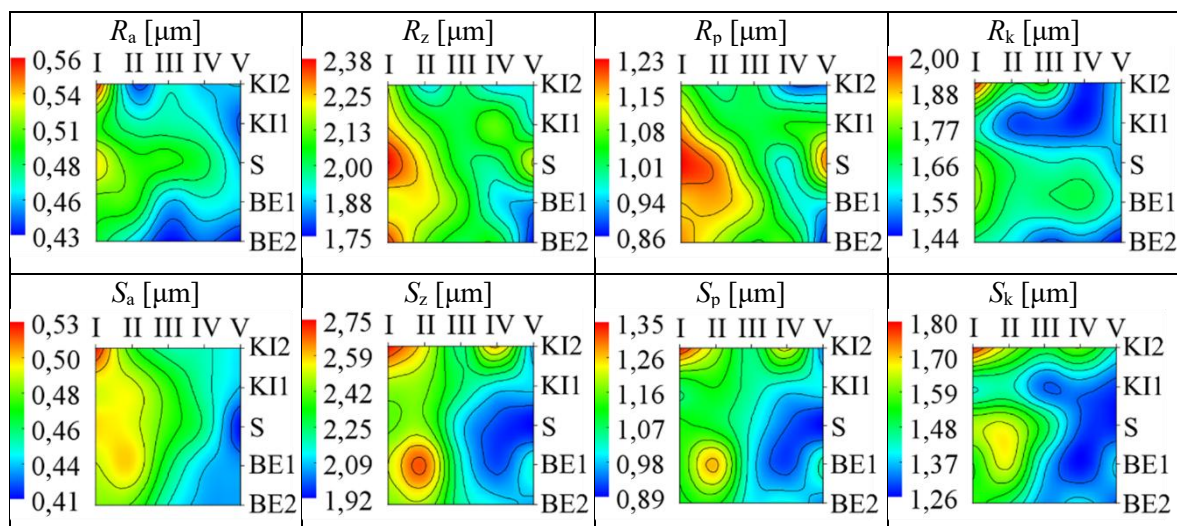
4.2. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, KI.1)



4.3. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, KI.2)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
25,7	0,12	0,56	0,44	0,47	0,46	0,46	KI2 sík	2,00	1,67	1,72	1,45	1,57	0,55	33,9
12,9	0,06	0,50	0,48	0,48	0,47	0,44	KI1 sík	1,63	1,48	1,48	1,45	1,58	0,18	11,2
16,4	0,08	0,53	0,50	0,50	0,49	0,46	S sík	1,77	1,65	1,60	1,62	1,53	0,24	14,8
10,3	0,05	0,51	0,50	0,46	0,47	0,46	BE1 sík	1,79	1,64	1,65	1,67	1,58	0,21	13,1
13,1	0,06	0,49	0,46	0,43	0,44	0,43	BE2 sík	1,64	1,58	1,48	1,52	1,44	0,21	13,0
Teljes	0,14	0,07	0,06	0,07	0,04	0,03	Eltérés	0,36	0,19	0,24	0,22	0,14	Teljes	0,56
eltér.:	28%	15,4	12,6	14,7	9,1	6,3	Elt. %	22,6	12,0	14,9	16,7	8,8	eltér.:	35%
R_z [μm]								R_p [μm]						
14,2	0,29	2,19	1,91	2,01	1,89	1,93	KI2 sík	1,07	0,99	1,02	0,90	0,90	0,17	16,1
15,0	0,31	2,25	2,10	2,02	2,12	1,94	KI1 sík	1,16	1,05	1,02	1,05	1,05	0,14	13,1
19,0	0,39	2,38	2,21	2,03	1,99	2,20	S sík	1,23	1,17	1,05	0,97	1,18	0,26	24,7
17,5	0,36	2,20	2,22	2,11	1,91	1,86	BE1 sík	1,15	1,16	1,11	0,98	0,96	0,21	19,8
29,0	0,60	2,35	2,13	2,02	2,05	1,75	BE2 sík	1,18	1,11	1,04	1,06	0,86	0,32	29,8
Teljes	0,63	0,19	0,31	0,10	0,23	0,45	Eltérés	0,16	0,18	0,10	0,16	0,32	Teljes	0,36
eltér.:	30%	9,3	14,9	4,9	11,2	21,6	Elt. %	14,9	17,2	9,3	18,1	30,2	eltér.:	34%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
18,9	0,09	0,53	0,47	0,45	0,45	0,44	KI2 sík	1,81	1,62	1,51	1,59	1,42	0,38	26,3
13,1	0,06	0,50	0,50	0,48	0,45	0,44	KI1 sík	1,42	1,43	1,31	1,34	1,29	0,14	9,9
19,1	0,09	0,50	0,50	0,48	0,46	0,41	S sík	1,63	1,65	1,50	1,31	1,27	0,38	25,9
15,5	0,07	0,49	0,50	0,46	0,44	0,43	BE1 sík	1,53	1,65	1,39	1,26	1,38	0,39	27,0
11,6	0,05	0,49	0,48	0,45	0,43	0,43	BE2 sík	1,56	1,48	1,34	1,39	1,31	0,25	17,1
Teljes	0,11	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	Eltérés	0,38	0,22	0,20	0,33	0,15	Teljes	0,55
eltér.:	24%	9,0	6,0	6,2	5,2	5,6	Elt. %	26,3	15,1	13,7	27,1	10,6	eltér.:	37%
S_z [μm]								S_p [μm]						
30,9	0,71	2,75	2,54	2,24	2,60	2,05	KI2 sík	1,35	1,19	1,06	1,22	0,95	0,40	37,6
15,9	0,36	2,47	2,44	2,26	2,13	2,10	KI1 sík	1,08	1,12	1,05	1,00	1,00	0,12	10,8
22,5	0,52	2,41	2,44	2,11	1,98	1,92	S sík	1,13	1,10	1,02	0,94	0,89	0,24	22,3
30,5	0,70	2,50	2,68	2,18	1,98	2,16	BE1 sík	1,13	1,26	1,00	0,92	1,04	0,34	32,3
18,0	0,41	2,44	2,48	2,21	2,12	2,06	BE2 sík	1,11	1,13	1,00	1,01	0,96	0,17	16,1
Teljes	0,83	0,34	0,24	0,14	0,62	0,24	Eltérés	0,27	0,16	0,06	0,31	0,15	Teljes	0,46
eltér.:	36%	15,0	10,4	6,2	27,8	10,4	Elt. %	25,0	15,2	5,4	34,6	14,3	eltér.:	43%

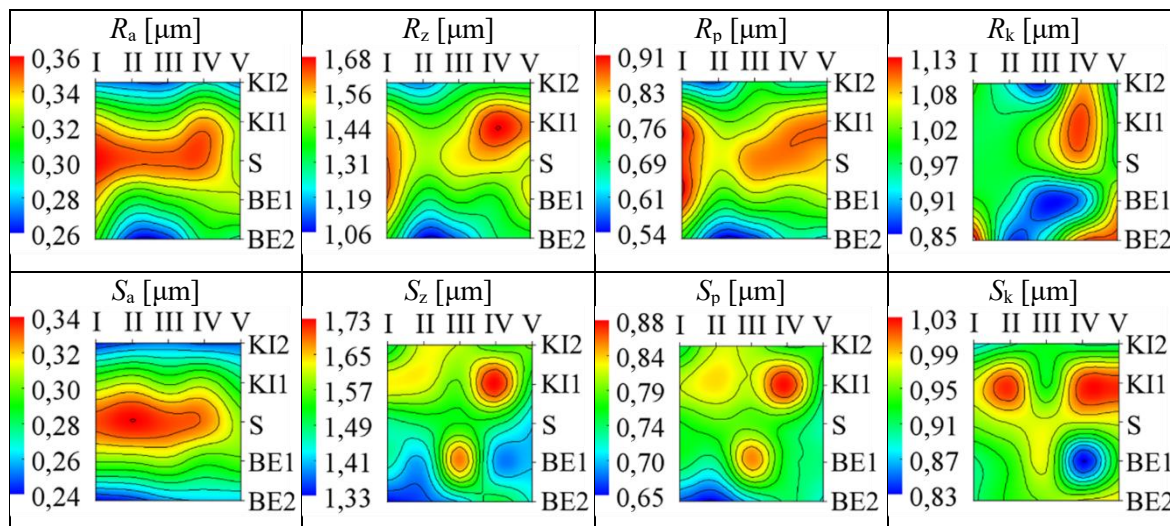
4.4. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, KI.2)



4.5. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, KI.3)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
6,4	0,02	0,27	0,27	0,27	0,29	0,27	KI2 sík	1,00	0,93	0,86	1,08	0,96	0,22	22,2
7,6	0,02	0,34	0,33	0,32	0,35	0,32	KI1 sík	0,97	0,97	1,02	1,12	0,98	0,14	14,5
12,4	0,04	0,36	0,36	0,36	0,36	0,33	S sík	0,98	0,98	1,02	1,08	0,98	0,10	10,4
11,5	0,04	0,34	0,31	0,32	0,33	0,33	BE1 sík	1,00	0,96	0,86	0,89	1,07	0,21	21,2
18,1	0,06	0,32	0,26	0,26	0,30	0,30	BE2 sík	1,16	0,88	0,94	1,10	1,12	0,28	27,8
Teljes	0,10	0,09	0,10	0,09	0,07	0,06	Eltérés	0,18	0,11	0,16	0,23	0,16	Teljes	0,30
eltér.:	33%	28,6	30,2	29,3	21,3	18,8	Elt. %	18,2	10,6	16,5	27,5	16,4	eltér.:	30%
R_z [μm]								R_p [μm]						
13,1	0,18	1,22	1,15	1,29	1,33	1,33	KI2 sík	0,60	0,57	0,70	0,66	0,67	0,13	17,8
18,2	0,26	1,56	1,42	1,47	1,67	1,59	KI1 sík	0,89	0,77	0,78	0,84	0,87	0,12	16,1
10,3	0,15	1,62	1,48	1,54	1,56	1,49	S sík	0,89	0,81	0,86	0,86	0,83	0,08	11,1
20,8	0,29	1,62	1,33	1,39	1,36	1,52	BE1 sík	0,90	0,73	0,77	0,75	0,79	0,17	23,3
24,3	0,34	1,41	1,07	1,14	1,30	1,34	BE2 sík	0,73	0,54	0,56	0,66	0,64	0,19	25,5
Teljes	0,60	0,41	0,41	0,40	0,37	0,26	Eltérés	0,31	0,27	0,30	0,20	0,23	Teljes	0,36
eltér.:	43%	29,0	29,2	28,2	26,6	18,5	Elt. %	41,0	35,7	40,1	33,2	30,4	eltér.:	49%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
3,5	0,01	0,25	0,25	0,26	0,25	0,25	KI2 sík	0,88	0,91	0,93	0,91	0,91	0,05	5,2
8,7	0,03	0,30	0,31	0,30	0,31	0,29	KI1 sík	0,97	1,02	0,93	1,02	1,02	0,09	10,0
11,8	0,03	0,33	0,34	0,33	0,33	0,31	S sík	0,96	0,97	0,98	0,97	0,98	0,02	2,1
4,2	0,01	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	BE1 sík	0,91	0,94	0,98	0,83	0,94	0,14	15,2
7,0	0,02	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	BE2 sík	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98	0,08	8,0
Teljes	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,05	Eltérés	0,10	0,12	0,05	0,19	0,12	Teljes	0,19
eltér.:	33%	30,6	31,3	26,8	26,4	18,1	Elt. %	10,0	12,2	5,0	24,5	12,1	eltér.:	20%
S_z [μm]								S_p [μm]						
8,8	0,13	1,49	1,62	1,61	1,54	1,58	KI2 sík	0,75	0,81	0,80	0,76	0,77	0,07	8,8
15,2	0,23	1,63	1,62	1,57	1,73	1,50	KI1 sík	0,81	0,83	0,81	0,88	0,75	0,13	17,5
7,6	0,12	1,47	1,50	1,53	1,50	1,41	S sík	0,76	0,78	0,78	0,76	0,73	0,06	7,5
19,0	0,29	1,46	1,41	1,68	1,40	1,41	BE1 sík	0,76	0,74	0,85	0,76	0,74	0,11	14,9
12,1	0,18	1,33	1,36	1,41	1,51	1,44	BE2 sík	0,67	0,65	0,71	0,75	0,72	0,10	12,4
Teljes	0,40	0,31	0,27	0,27	0,33	0,17	Eltérés	0,14	0,18	0,14	0,13	0,06	Teljes	0,23
eltér.:	27%	20,3	17,7	17,8	22,0	11,4	Elt. %	18,7	23,7	18,7	21,2	7,5	eltér.:	30%

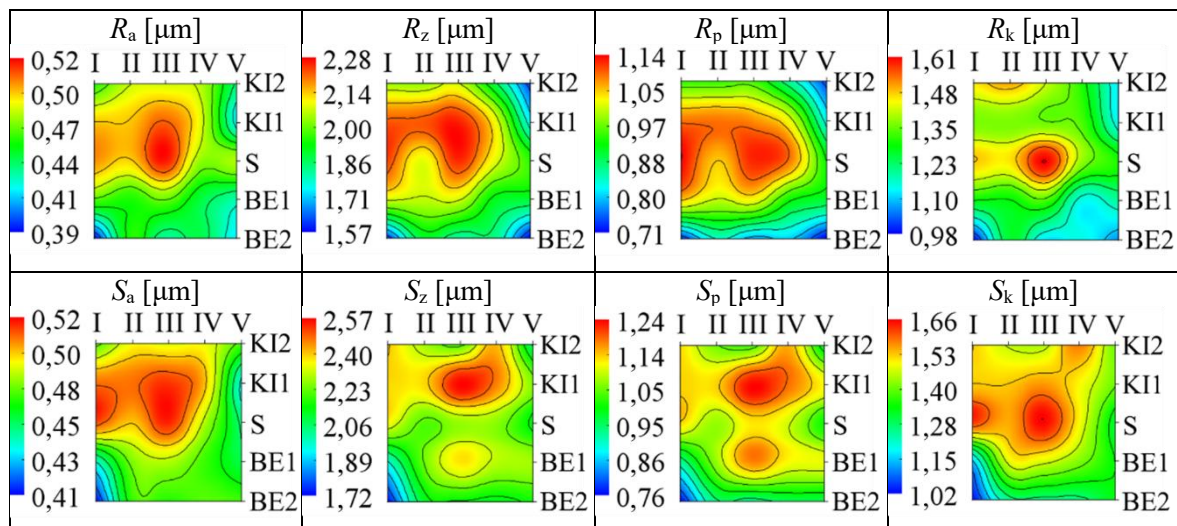
4.6. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, KI.3)



4.7. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ1, KI.4)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
9,7	0,05	0,46	0,48	0,48	0,48	0,44	KI2 sík	1,46	1,50	1,42	1,31	1,12	0,38	29,5
19,1	0,09	0,50	0,50	0,51	0,49	0,42	KI1 sík	1,37	1,37	1,36	1,34	1,14	0,23	17,6
9,9	0,05	0,50	0,50	0,52	0,48	0,48	S sík	1,48	1,46	1,61	1,39	1,31	0,30	23,0
8,2	0,04	0,47	0,46	0,47	0,45	0,43	BE1 sík	1,29	1,29	1,34	1,15	1,19	0,19	14,8
15,7	0,07	0,39	0,46	0,43	0,44	0,42	BE2 sík	0,98	1,26	1,12	1,15	1,07	0,29	22,0
Teljes	0,14	0,12	0,04	0,09	0,04	0,06	Eltérés	0,51	0,24	0,49	0,24	0,24	Teljes	0,63
eltér.:	29%	25,6	8,4	18,9	9,0	13,1	Elt. %	38,9	18,5	37,5	21,9	18,4	eltér.:	49%
R_z [μm]								R_p [μm]						
22,8	0,45	2,04	2,03	2,07	1,88	1,62	KI2 sík	0,95	0,95	0,95	0,86	0,74	0,21	22,5
25,4	0,50	2,22	2,22	2,26	2,11	1,75	KI1 sík	1,09	1,09	1,08	1,02	0,83	0,27	28,1
14,8	0,29	2,24	2,09	2,25	2,09	1,96	S sík	1,14	1,06	1,13	1,09	0,92	0,22	22,8
9,5	0,19	2,08	2,06	2,08	1,91	1,89	BE1 sík	1,06	1,01	1,04	0,93	0,90	0,16	16,8
16,0	0,32	1,61	1,89	1,82	1,83	1,57	BE2 sík	0,73	0,84	0,78	0,80	0,71	0,13	13,8
Teljes	0,68	0,63	0,33	0,44	0,27	0,38	Eltérés	0,41	0,25	0,34	0,29	0,21	Teljes	0,43
eltér.:	35%	31,9	16,6	22,2	13,9	19,4	Elt. %	43,5	26,3	36,0	36,8	22,5	eltér.:	45%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
4,2	0,02	0,47	0,49	0,49	0,49	0,47	KI2 sík	1,53	1,46	1,45	1,58	1,41	0,17	12,0
16,5	0,08	0,51	0,51	0,52	0,50	0,44	KI1 sík	1,53	1,53	1,56	1,50	1,41	0,15	10,8
14,4	0,07	0,52	0,50	0,52	0,49	0,45	S sík	1,62	1,55	1,65	1,50	1,31	0,35	24,3
9,2	0,04	0,44	0,48	0,49	0,47	0,46	BE1 sík	1,15	1,48	1,48	1,42	1,34	0,33	23,5
14,4	0,07	0,41	0,47	0,47	0,47	0,47	BE2 sík	1,02	1,25	1,26	1,26	1,33	0,31	21,5
Teljes	0,11	0,11	0,04	0,05	0,03	0,04	Eltérés	0,60	0,30	0,39	0,31	0,10	Teljes	0,63
eltér.:	24%	22,9	8,3	10,6	6,3	7,3	Elt. %	42,3	20,7	27,6	26,1	6,8	eltér.:	44%
S_z [μm]								S_p [μm]						
16,2	0,36	2,41	2,28	2,22	2,42	2,05	KI2 sík	1,14	1,05	1,03	1,16	0,98	0,18	17,0
14,0	0,32	2,39	2,39	2,57	2,47	2,26	KI1 sík	1,14	1,14	1,23	1,19	1,12	0,12	10,8
10,2	0,23	2,36	2,22	2,27	2,26	2,13	S sík	1,14	1,07	1,13	1,10	1,00	0,13	12,6
18,3	0,41	1,97	2,24	2,38	2,30	2,28	BE1 sík	0,93	1,07	1,18	1,12	1,11	0,25	23,3
19,6	0,44	1,72	2,11	2,14	2,12	2,16	BE2 sík	0,76	0,95	0,94	0,97	0,97	0,20	18,9
Teljes	0,85	0,69	0,28	0,43	0,34	0,23	Eltérés	0,37	0,19	0,30	0,22	0,15	Teljes	0,47
eltér.:	38%	30,7	12,3	19,2	15,2	10,2	Elt. %	35,1	18,0	27,9	24,6	14,4	eltér.:	44%

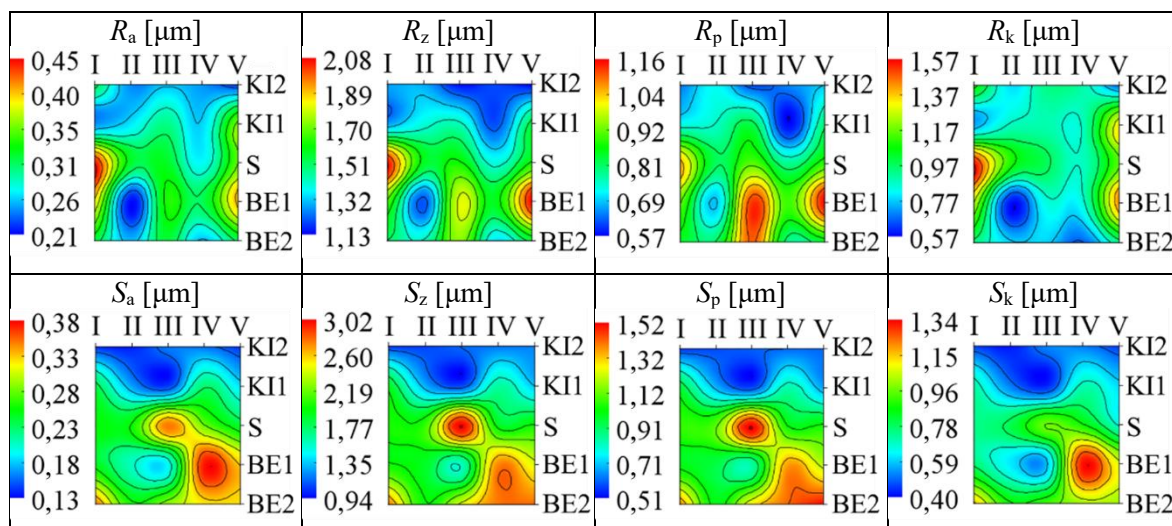
4.8. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ1, KI.4)



4.9. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.1)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
29,8	0,09	0,31	0,25	0,26	0,25	0,22	KI2 sík	1,10	0,79	0,94	0,91	0,67	0,43	44,9
37,7	0,11	0,25	0,27	0,30	0,26	0,36	KI1 sík	0,74	0,88	0,90	0,88	1,33	0,59	62,0
57,9	0,18	0,45	0,32	0,32	0,27	0,35	S sík	1,57	1,10	0,99	0,88	1,16	0,69	72,0
63,1	0,19	0,40	0,22	0,34	0,31	0,41	BE1 sík	1,26	0,59	0,85	0,85	1,43	0,84	87,9
20,8	0,06	0,32	0,26	0,32	0,26	0,31	BE2 sík	0,95	0,78	0,78	0,67	0,94	0,28	28,9
Teljes	0,23	0,20	0,11	0,08	0,06	0,18	Eltérés	0,83	0,51	0,20	0,24	0,77	Teljes	0,98
eltér.:	76%	66,5	34,7	25,5	20,5	60,5	Elt. %	86,9	52,9	21,0	28,3	80,0	eltér.:	102%
R_z [μm]								R_p [μm]						
11,0	0,16	1,29	1,29	1,14	1,20	1,13	KI2 sík	0,64	0,72	0,62	0,65	0,69	0,11	13,0
22,8	0,34	1,27	1,39	1,43	1,20	1,54	KI1 sík	0,73	0,75	0,82	0,58	0,80	0,24	29,3
46,1	0,68	2,08	1,58	1,61	1,39	1,62	S sík	1,06	0,81	0,91	0,78	0,89	0,28	33,3
58,6	0,87	1,69	1,21	1,81	1,58	2,08	BE1 sík	0,92	0,69	1,12	0,90	1,16	0,47	56,6
26,2	0,39	1,51	1,42	1,74	1,35	1,54	BE2 sík	0,84	0,81	1,10	0,79	0,84	0,32	38,4
Teljes	0,95	0,80	0,37	0,67	0,38	0,95	Eltérés	0,42	0,12	0,51	0,32	0,46	Teljes	0,58
eltér.:	64%	54,1	24,8	45,1	25,9	63,9	Elt. %	50,4	14,9	61,7	45,0	56,3	eltér.:	70%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
9,6	0,02	0,14	0,14	0,16	0,16	0,14	KI2 sík	0,46	0,42	0,53	0,52	0,46	0,11	14,0
38,7	0,09	0,24	0,17	0,15	0,23	0,19	KI1 sík	0,72	0,52	0,43	0,70	0,60	0,29	38,1
45,7	0,11	0,25	0,26	0,35	0,28	0,24	S sík	0,74	0,79	0,97	0,88	0,67	0,30	39,6
74,8	0,18	0,25	0,21	0,20	0,38	0,33	BE1 sík	0,76	0,62	0,57	1,32	1,07	0,74	99,1
39,1	0,09	0,35	0,26	0,29	0,32	0,33	BE2 sík	1,17	0,88	0,93	1,02	1,02	0,29	38,3
Teljes	0,24	0,21	0,12	0,21	0,22	0,19	Eltérés	0,71	0,46	0,54	0,80	0,61	Teljes	0,90
eltér.:	99%	88,1	50,7	86,0	89,8	77,3	Elt. %	94,2	60,9	71,5	120	81,8	eltér.:	119%
S_z [μm]								S_p [μm]						
8,1	0,15	1,05	1,07	1,15	1,18	1,20	KI2 sík	0,56	0,58	0,60	0,61	0,61	0,05	4,8
44,3	0,84	1,92	1,30	1,08	1,64	1,35	KI1 sík	0,97	0,70	0,58	0,84	0,68	0,38	39,2
57,4	1,09	2,02	2,08	3,02	1,93	2,00	S sík	1,06	1,11	1,52	1,02	1,03	0,50	50,9
60,5	1,15	2,00	1,90	1,59	2,73	2,44	BE1 sík	0,99	0,95	0,85	1,36	1,19	0,51	52,0
42,9	0,81	2,78	1,99	2,44	2,77	2,80	BE2 sík	1,39	0,99	1,27	1,41	1,51	0,52	53,0
Teljes	1,97	1,73	1,01	1,94	1,60	1,60	Eltérés	0,82	0,53	0,94	0,80	0,90	Teljes	0,96
eltér.:	104%	91,2	53,4	102	84,8	84,2	Elt. %	84,1	53,8	95,9	93,9	92,1	eltér.:	98%

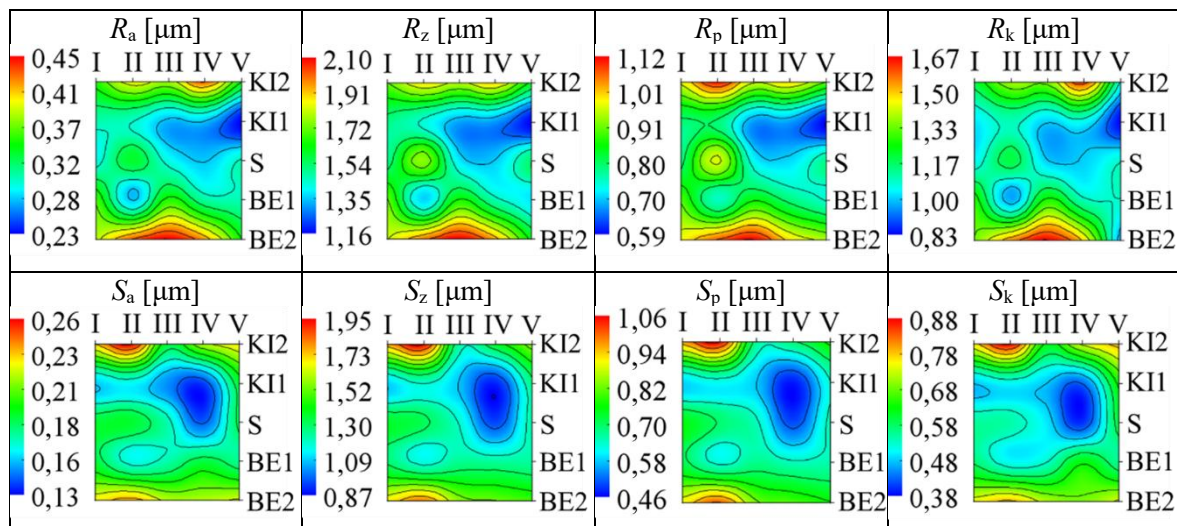
4.10. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.1)



4.11. melléklet: A felületen felvett elméleti és mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.2)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]								
26,1	0,09	0,35	0,40	0,38	0,43	0,34	0,34	KI2 sík	0,50	1,20	1,39	1,36	1,61	1,07	0,54	45,8
21,3	0,07	0,31	0,30	0,28	0,28	0,24	0,16	KI1 sík	0,23	1,02	1,10	1,00	1,05	0,83	0,27	22,6
16,9	0,06	0,29	0,34	0,29	0,28	0,30	0,16	S sík	0,25	1,04	1,19	1,00	1,00	1,08	0,19	16,0
24,6	0,08	0,36	0,28	0,35	0,31	0,31	0,17	BE1 sík	0,23	1,29	0,98	1,27	1,10	1,08	0,31	26,5
32,3	0,11	0,38	0,43	0,45	0,42	0,35	0,09	BE2 sík	0,14	1,34	1,55	1,67	1,48	0,96	0,71	60,2
Teljes	0,22	0,09	0,16	0,18	0,15	0,11	0,25	Eltérés	0,36	0,32	0,57	0,67	0,61	0,25	Teljes	0,84
eltér.:	65%	26,4	45,9	53,0	45,6	32,6	133	Elt. %	133	26,7	48,3	56,3	59,1	21,0	eltér.:	71%
R_z [μm]								R_p [μm]								
17,9	0,29	1,72	1,88	1,80	1,89	1,61	1,34	KI2 sík	0,90	0,97	1,11	0,97	1,00	0,91	0,20	23,1
21,6	0,35	1,51	1,43	1,32	1,30	1,16	0,73	KI1 sík	0,53	0,79	0,80	0,68	0,68	0,59	0,20	23,6
25,5	0,41	1,50	1,76	1,38	1,35	1,53	0,62	S sík	0,42	0,79	0,97	0,73	0,71	0,78	0,26	30,2
23,2	0,37	1,73	1,36	1,64	1,46	1,38	0,83	BE1 sík	0,62	0,90	0,76	0,85	0,79	0,75	0,15	17,6
30,7	0,49	1,81	1,98	2,10	1,94	1,61	0,42	BE2 sík	0,30	0,98	1,07	1,12	1,00	0,95	0,18	20,2
Teljes	0,94	0,31	0,62	0,79	0,64	0,45	0,92	Eltérés	0,61	0,20	0,35	0,44	0,33	0,35	Teljes	0,53
eltér.:	59%	19,4	38,7	48,9	44,3	27,8	117	Elt. %	110	22,5	40,6	51,3	44,8	40,8	eltér.:	61%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]								
37,9	0,07	0,23	0,26	0,19	0,22	0,23	0,22	KI2 sík	0,23	0,76	0,88	0,62	0,74	0,79	0,26	42,0
27,0	0,05	0,16	0,16	0,15	0,14	0,19	0,36	KI1 sík	0,34	0,48	0,51	0,48	0,43	0,64	0,21	34,2
24,9	0,05	0,19	0,19	0,17	0,14	0,19	0,22	S sík	0,25	0,55	0,55	0,50	0,40	0,60	0,20	32,5
11,4	0,02	0,19	0,17	0,17	0,19	0,18	0,35	BE1 sík	0,33	0,57	0,51	0,53	0,62	0,55	0,11	18,5
10,9	0,02	0,23	0,24	0,22	0,22	0,22	0,22	BE2 sík	0,23	0,75	0,78	0,72	0,69	0,74	0,10	15,6
Teljes	0,12	0,08	0,10	0,07	0,08	0,05	0,14	Eltérés	0,11	0,29	0,37	0,24	0,33	0,24	Teljes	0,48
eltér.:	64%	40,5	50,9	36,9	42,1	28,1	50,4	Elt. %	41,6	46,5	60,7	38,7	63,6	39,0	eltér.:	78%
S_z [μm]								S_p [μm]								
53,1	0,72	1,77	1,95	1,23	1,37	1,56	1,63	KI2 sík	1,36	0,97	1,06	0,68	0,70	0,77	0,38	53,2
26,9	0,36	1,10	1,19	1,08	0,91	1,27	2,39	KI1 sík	1,96	0,59	0,62	0,58	0,48	0,64	0,16	22,5
31,1	0,42	1,37	1,32	1,19	0,95	1,24	1,73	S sík	1,47	0,76	0,70	0,65	0,51	0,66	0,25	34,6
9,2	0,12	1,29	1,17	1,25	1,24	1,24	2,39	BE1 sík	1,97	0,72	0,63	0,68	0,65	0,66	0,09	11,9
24,8	0,34	1,68	1,81	1,56	1,52	1,47	1,63	BE2 sík	1,36	0,91	1,00	0,83	0,80	0,76	0,24	33,2
Teljes	1,04	0,67	0,78	0,48	0,61	0,32	0,76	Eltérés	0,62	0,37	0,44	0,25	0,33	0,13	Teljes	0,58
eltér.:	77%	49,6	58,1	35,4	42,1	23,4	39,1	Elt. %	38,0	51,8	61,1	34,4	53,5	18,6	eltér.:	81%

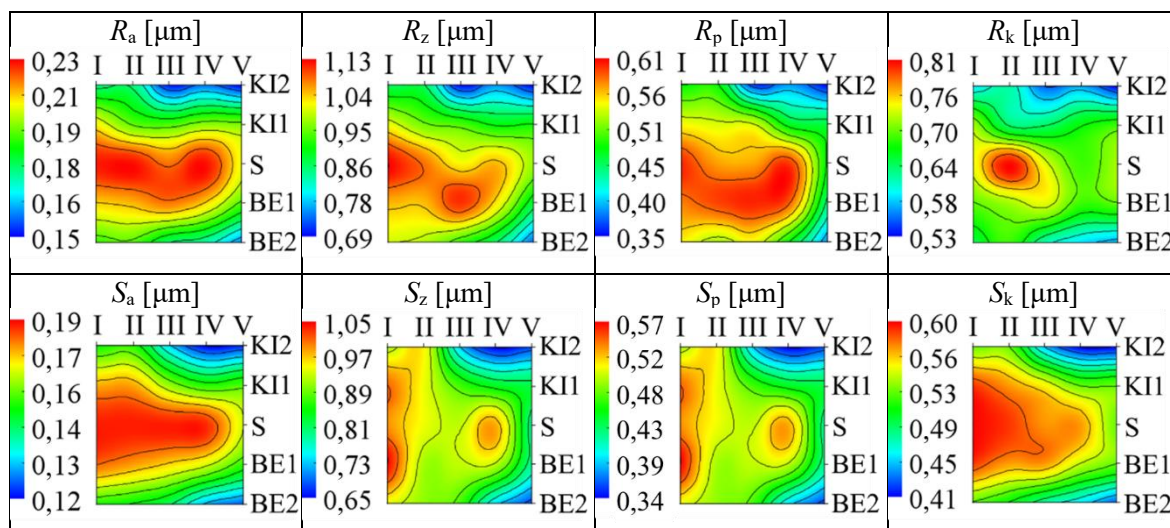
4.12. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.2)



4.13. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.3)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]							Min.	R_k [μm]						
15,5	0,03	0,18	0,18	0,15	0,16	0,15	KI2 sík	0,59	0,62	0,55	0,57	0,53	0,10	14,3
7,8	0,02	0,21	0,19	0,19	0,20	0,20	KI1 sík	0,72	0,64	0,64	0,67	0,69	0,08	11,6
10,4	0,02	0,22	0,23	0,22	0,23	0,21	S sík	0,74	0,81	0,74	0,69	0,72	0,13	18,9
12,4	0,02	0,21	0,21	0,22	0,21	0,19	BE1 sík	0,70	0,72	0,74	0,69	0,70	0,05	7,2
18,1	0,04	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	BE2 sík	0,65	0,69	0,62	0,59	0,57	0,11	17,2
Teljes	0,08	0,05	0,05	0,07	0,07	0,06	Eltérés	0,14	0,19	0,18	0,11	0,19	Teljes	0,29
eltér.:	40%	24,9	24,9	35,2	35,8	30,1	Elt. %	21,7	29,0	27,5	20,9	28,8	eltér.:	43%
R_z [μm]								R_p [μm]						
18,8	0,18	0,86	0,86	0,69	0,75	0,69	KI2 sík	0,48	0,48	0,36	0,39	0,35	0,13	25,6
11,6	0,11	1,01	0,96	0,94	0,90	0,91	KI1 sík	0,54	0,54	0,53	0,47	0,46	0,08	16,0
16,3	0,15	1,13	1,08	1,02	1,05	0,97	S sík	0,60	0,57	0,57	0,59	0,48	0,12	24,2
23,8	0,22	1,05	1,05	1,11	1,03	0,88	BE1 sík	0,58	0,59	0,60	0,58	0,45	0,15	29,9
28,2	0,26	1,00	0,98	0,93	0,86	0,73	BE2 sík	0,55	0,52	0,54	0,48	0,39	0,16	31,9
Teljes	0,44	0,26	0,21	0,41	0,29	0,29	Eltérés	0,12	0,11	0,24	0,20	0,13	Teljes	0,25
eltér.:	47%	27,9	22,6	43,9	31,8	30,4	Elt. %	23,8	22,3	47,1	48,2	25,0	eltér.:	49%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Max.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]							Min.	S_k [μm]						
24,2	0,04	0,15	0,15	0,13	0,12	0,12	KI2 sík	0,53	0,53	0,45	0,41	0,41	0,12	21,8
13,4	0,02	0,17	0,17	0,16	0,15	0,16	KI1 sík	0,59	0,57	0,56	0,53	0,53	0,07	12,7
12,1	0,02	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	S sík	0,60	0,59	0,57	0,57	0,53	0,08	14,4
15,9	0,03	0,18	0,18	0,17	0,17	0,15	BE1 sík	0,59	0,57	0,57	0,55	0,53	0,07	12,5
19,7	0,03	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	BE2 sík	0,53	0,51	0,48	0,46	0,43	0,10	18,0
Teljes	0,07	0,03	0,03	0,05	0,07	0,05	Eltérés	0,08	0,09	0,13	0,16	0,12	Teljes	0,19
eltér.:	44%	21,0	21,6	34,4	43,3	29,9	Elt. %	14,6	16,3	23,7	37,7	21,8	eltér.:	36%
S_z [μm]								S_p [μm]						
34,9	0,31	0,92	0,96	0,74	0,65	0,68	KI2 sík	0,50	0,50	0,39	0,34	0,36	0,15	32,4
21,9	0,19	1,01	0,95	0,88	0,84	0,82	KI1 sík	0,55	0,54	0,47	0,43	0,42	0,13	26,5
23,0	0,20	0,99	0,95	0,93	0,98	0,79	S sík	0,55	0,53	0,53	0,53	0,42	0,13	26,5
29,5	0,26	1,05	0,92	0,93	0,93	0,79	BE1 sík	0,57	0,52	0,53	0,50	0,42	0,15	32,4
30,7	0,27	0,95	0,91	0,88	0,75	0,68	BE2 sík	0,51	0,49	0,49	0,40	0,35	0,15	32,2
Teljes	0,40	0,13	0,05	0,19	0,33	0,14	Eltérés	0,08	0,05	0,13	0,18	0,07	Teljes	0,23
eltér.:	46%	15,3	5,4	21,9	39,5	16,5	Elt. %	16,1	10,2	28,4	46,2	14,0	eltér.:	49%

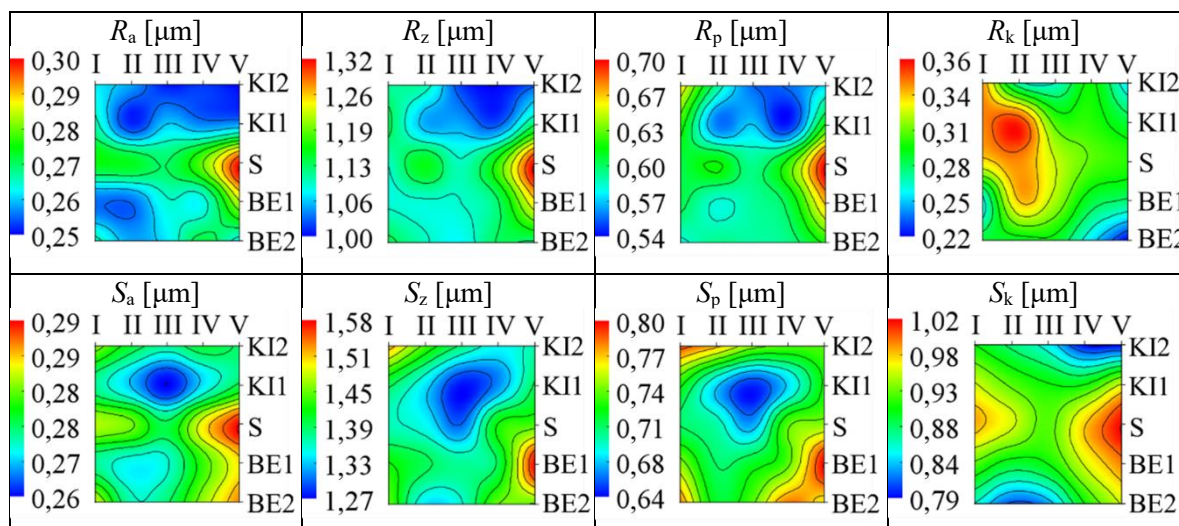
4.14. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.3)



4.15. melléklet: A felületen felvett elméleti és mért értékek és terjedelmük (SZ2.1, K1.4)

Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
R_a [μm]								Min.	R_k [μm]							
4,9	0,01	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,34	KI2 sík	0,50	0,72	0,81	0,72	0,67	0,67	0,14	17,4
6,1	0,02	0,27	0,25	0,26	0,26	0,26	0,16	KI1 sík	0,23	0,81	0,84	0,81	0,81	0,86	0,05	5,8
12,1	0,03	0,28	0,27	0,27	0,28	0,30	0,16	S sík	0,25	0,81	0,91	0,81	0,88	1,03	0,22	26,8
12,1	0,03	0,25	0,25	0,26	0,26	0,29	0,17	BE1 sík	0,23	0,78	0,81	0,86	0,86	0,96	0,17	20,9
5,7	0,02	0,27	0,26	0,26	0,27	0,26	0,09	BE2 sík	0,14	0,88	0,77	0,78	0,91	0,78	0,14	17,3
Teljes	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,25	Eltérés	0,36	0,16	0,14	0,14	0,24	0,36	Teljes	0,36
eltér.:	20%	8,0	9,1	8,0	11,4	20,5	133	Elt. %	133	19,7	17,4	17,4	34,4	44,1	eltér.:	44%
R_z [μm]									R_p [μm]							
10,1	0,11	1,11	1,10	1,02	1,00	1,02	1,34	KI2 sík	0,90	0,66	0,60	0,56	0,56	0,58	0,10	16,7
9,9	0,11	1,13	1,05	1,05	1,02	1,12	0,73	KI1 sík	0,53	0,63	0,56	0,57	0,55	0,62	0,08	12,9
20,3	0,23	1,10	1,15	1,10	1,17	1,32	0,62	S sík	0,42	0,61	0,62	0,60	0,63	0,70	0,10	16,2
13,8	0,15	1,09	1,09	1,09	1,12	1,24	0,83	BE1 sík	0,62	0,61	0,59	0,60	0,61	0,67	0,08	13,2
5,2	0,06	1,14	1,10	1,08	1,13	1,12	0,42	BE2 sík	0,30	0,59	0,60	0,60	0,60	0,62	0,04	6,0
Teljes	0,32	0,05	0,10	0,08	0,17	0,30	0,92	Eltérés	0,61	0,07	0,06	0,04	0,08	0,12	Teljes	0,15
eltér.:	29%	4,2	8,9	7,4	16,5	26,8	117	Elt. %	110	12,3	9,8	6,5	15,9	19,7	eltér.:	25%
Elt.%	Eltér.	I	II	III	IV	V	Elm.	Max.	Elm.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt.%
S_a [μm]								Min.	S_k [μm]							
3,2	0,01	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,22	KI2 sík	0,23	0,91	0,88	0,85	0,79	0,79	0,12	12,7
4,7	0,01	0,28	0,27	0,26	0,27	0,28	0,36	KI1 sík	0,34	0,96	0,93	0,91	0,91	0,96	0,05	5,3
6,5	0,02	0,29	0,28	0,28	0,29	0,30	0,22	S sík	0,25	0,98	0,96	0,93	0,98	1,02	0,10	10,6
5,7	0,02	0,28	0,27	0,27	0,28	0,29	0,35	BE1 sík	0,33	0,93	0,90	0,91	0,96	0,99	0,10	10,4
6,1	0,02	0,29	0,27	0,28	0,28	0,29	0,22	BE2 sík	0,23	0,86	0,81	0,83	0,91	0,96	0,14	15,8
Teljes	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,14	Eltérés	0,11	0,12	0,15	0,10	0,18	0,23	Teljes	0,23
eltér.:	11%	3,9	4,7	4,7	5,7	6,8	50,4	Elt. %	41,6	13,5	15,9	10,5	24,3	25,3	eltér.:	25%
S_z [μm]									S_p [μm]							
13,0	0,18	1,53	1,44	1,39	1,35	1,37	1,63	KI2 sík	1,36	0,79	0,77	0,75	0,74	0,74	0,06	7,8
8,9	0,12	1,40	1,34	1,27	1,31	1,40	2,39	KI1 sík	1,96	0,73	0,68	0,65	0,68	0,73	0,08	10,4
10,3	0,14	1,37	1,35	1,30	1,42	1,44	1,73	S sík	1,47	0,71	0,70	0,67	0,74	0,75	0,08	10,4
14,4	0,20	1,42	1,40	1,38	1,40	1,58	2,39	BE1 sík	1,97	0,75	0,71	0,72	0,74	0,80	0,10	13,1
8,2	0,11	1,45	1,34	1,36	1,45	1,45	1,63	BE2 sík	1,36	0,78	0,72	0,74	0,78	0,76	0,07	9,0
Teljes	0,31	0,16	0,11	0,11	0,14	0,21	0,76	Eltérés	0,62	0,09	0,10	0,10	0,11	0,08	Teljes	0,15
eltér.:	22%	11,7	7,5	8,2	9,5	15,1	39,1	Elt. %	38,0	11,8	13,1	13,0	17,6	10,5	eltér.:	21%

4.16. melléklet: A síkokban, pontokban mért értékek megoszlása (SZ2.1, K1.4)



5. melléklet: Mérési eredmények az érdesség irányfüggő vizsgálatához

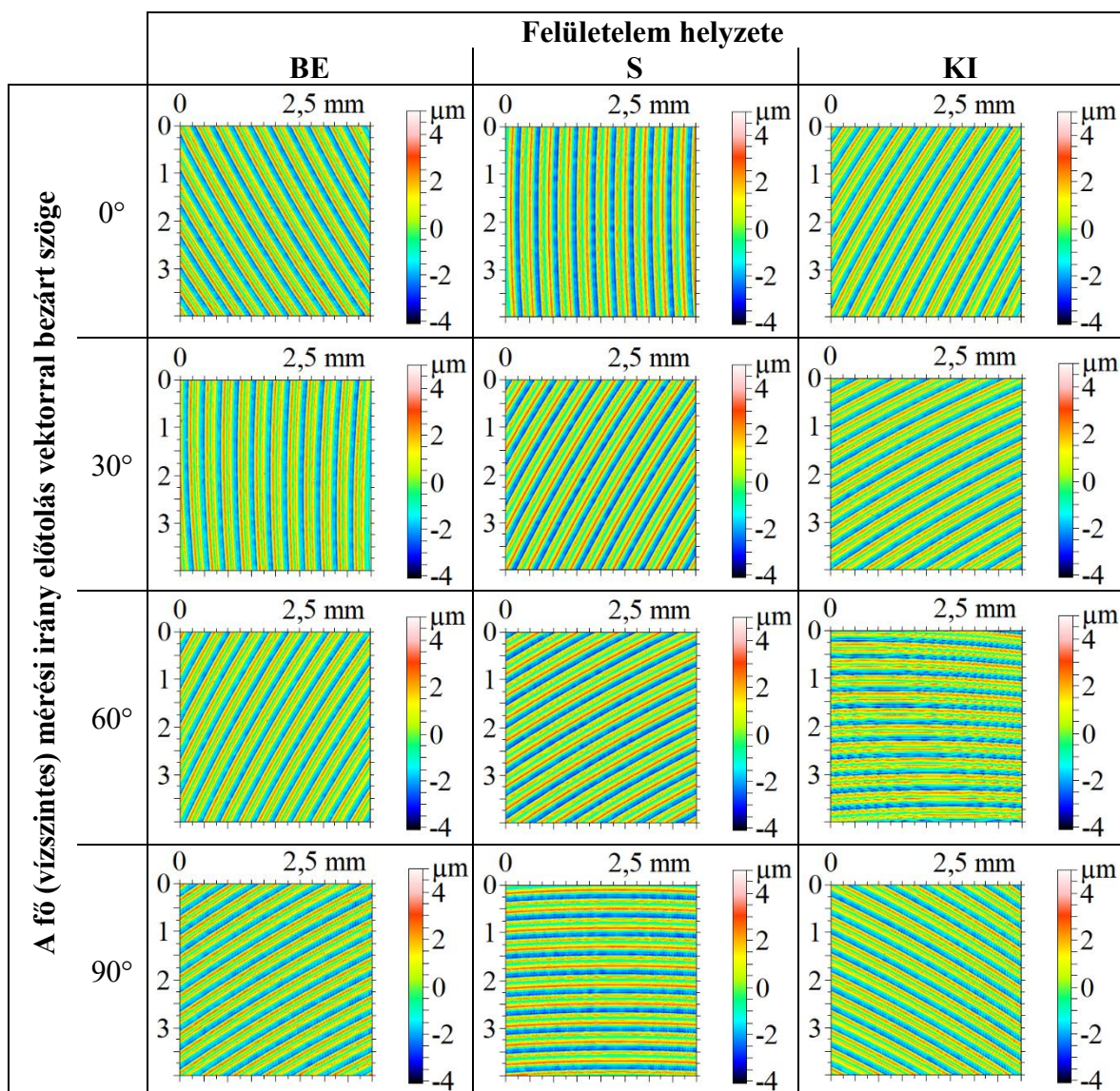
5.1. melléklet: Mért értékek, terjedelmük nagysága (ΔR) és aránya ($\Delta R/\bar{R}$) (SZ2.2, K1.4)

		1	2	3	4	5	6	7	ΔR	$\Delta R/\bar{R}$	Síkok iránya
A	R_a [μm]	1,44	1,43	1,45	1,46	1,43	1,43	1,45	0,02	1,6%	
	R_z [μm]	7,13	6,95	7,10	7,00	6,96	7,01	7,03	0,18	2,4%	
	R_p [μm]	4,07	3,83	4,01	3,92	3,92	3,98	4,01	0,23	5,9%	
	R_k [μm]	5,03	5,13	4,99	5,12	5,04	5,05	5,14	0,14	2,8%	
B	R_a [μm]	1,42	1,41	1,41	1,40	1,42	1,38	1,40	0,03	2,3%	
	R_z [μm]	6,80	6,80	6,88	6,90	6,94	6,90	6,68	0,26	3,7%	
	R_p [μm]	3,77	3,74	3,87	3,76	3,82	3,79	3,52	0,34	9,1%	
	R_k [μm]	4,92	4,86	4,85	4,90	5,02	4,79	4,91	0,22	4,5%	
Γ	R_a [μm]	1,32	1,37	1,40	1,38	1,38	1,33	1,27	0,14	10,2%	
	R_z [μm]	6,31	6,67	6,85	6,99	6,97	6,79	6,86	0,68	10,0%	
	R_p [μm]	3,35	3,61	3,67	3,77	3,76	3,58	3,75	0,42	11,6%	
	R_k [μm]	4,64	4,82	4,91	5,06	5,02	4,90	4,72	0,42	8,6%	
Δ	R_a [μm]	1,23	1,27	1,37	1,36	1,28	1,01	0,54	0,83	72,3%	
	R_z [μm]	6,00	6,01	6,91	6,95	6,94	6,57	4,20	2,76	44,3%	
	R_p [μm]	3,12	3,06	3,59	3,76	3,90	3,53	1,97	1,93	59,0%	
	R_k [μm]	4,01	4,62	5,03	5,01	4,35	3,53	1,27	3,76	94,7%	
E	R_a [μm]	1,21	1,27	1,30	1,26	0,98	0,54	0,79	0,76	72,2%	
	R_z [μm]	6,03	6,32	7,02	6,86	6,77	4,28	6,38	2,74	43,9%	
	R_p [μm]	3,14	3,29	3,79	3,80	3,79	1,91	3,43	1,89	57,0%	
	R_k [μm]	3,90	4,68	4,60	4,25	3,19	1,48	2,38	3,21	91,6%	
Z	R_a [μm]	1,22	1,22	1,18	0,93	0,48	0,81	1,12	0,75	75,1%	
	R_z [μm]	6,64	6,81	6,87	6,43	3,84	6,03	7,51	3,67	58,3%	
	R_p [μm]	3,67	3,72	3,84	3,23	1,51	2,94	4,45	2,94	88,0%	
	R_k [μm]	4,16	4,40	3,85	3,05	1,09	2,62	3,68	3,31	101,4%	
H	R_a [μm]	1,28	1,17	0,74	0,29	0,67	1,07	1,18	0,99	107,8%	
	R_z [μm]	6,99	6,19	5,15	2,32	4,49	5,58	7,10	4,78	88,4%	
	R_p [μm]	3,75	3,36	2,86	0,93	2,48	3,12	4,01	3,08	105,1%	
	R_k [μm]	4,16	3,16	1,80	0,74	1,92	3,09	4,10	3,42	126,1%	
γ	R_a [μm]	1,28	1,38	1,40	1,37	1,37	1,32	1,27	0,12	9,3%	
	R_z [μm]	6,54	6,72	7,14	7,02	6,97	6,77	6,74	0,60	8,8%	
	R_p [μm]	3,56	3,49	3,79	3,76	3,68	3,57	3,64	0,29	8,0%	
	R_k [μm]	4,77	4,83	4,9	5,1	5,01	4,95	4,78	0,33	6,6%	
ϵ	R_a [μm]	1,26	1,27	1,35	1,22	0,99	0,59	0,74	0,76	72,0%	
	R_z [μm]	6,07	6,55	7,18	7,13	6,89	4,57	5,40	2,62	41,9%	
	R_p [μm]	3,28	3,23	3,8	3,8	3,52	2,24	2,63	1,57	48,8%	
	R_k [μm]	4,29	4,55	4,93	4,05	3,35	1,54	2,18	3,39	95,3%	

5.2. melléklet: Mért értékek, terjedelmük nagysága (ΔR) és aránya ($\Delta R/R(0^\circ)$) (SZ2.2, K1.4)

Felület- elem	Mérő- szám	A mérési irány - előtölás irány között bezárt szög				ΔR	$\Delta R/R(0^\circ)$
		0°	30°	60°	90°		
BE	S_a [μm]	1,45	1,43	1,45	1,44	0,02	1,3%
	S_z [μm]	7,57	7,77	8,54	7,64	0,97	12,8%
	S_p [μm]	4,18	4,21	4,64	4,25	0,46	11,0%
	S_k [μm]	5,08	4,91	4,82	5,08	0,26	5,1%
S	S_a [μm]	1,28	1,30	1,32	1,27	0,05	4,2%
	S_z [μm]	6,97	7,87	8,85	7,19	1,88	27,0%
	S_p [μm]	3,70	4,36	5,01	3,90	1,31	35,2%
	S_k [μm]	4,41	4,52	4,52	4,54	0,13	2,9%
KI	S_a [μm]	1,35	1,29	1,28	1,35	0,07	4,9%
	S_z [μm]	6,89	6,46	6,71	7,11	0,65	9,4%
	S_p [μm]	3,49	3,39	3,51	3,63	0,23	6,7%
	S_k [μm]	4,90	4,61	4,34	4,99	0,65	13,3%

5.3. melléklet: A BE, S, KI pozíciókban mért érdekességi felületelemek (SZ2.2, K1.4)



6. melléklet: Különböző szerszámtátmérővel és fogásszélességgel mart felületek érdessége

6.1. melléklet: Háromféle átmérőjű szerszámmal mart felületek mért értékei, terjedelmei (SZ3-5, K4.1-K4.3)

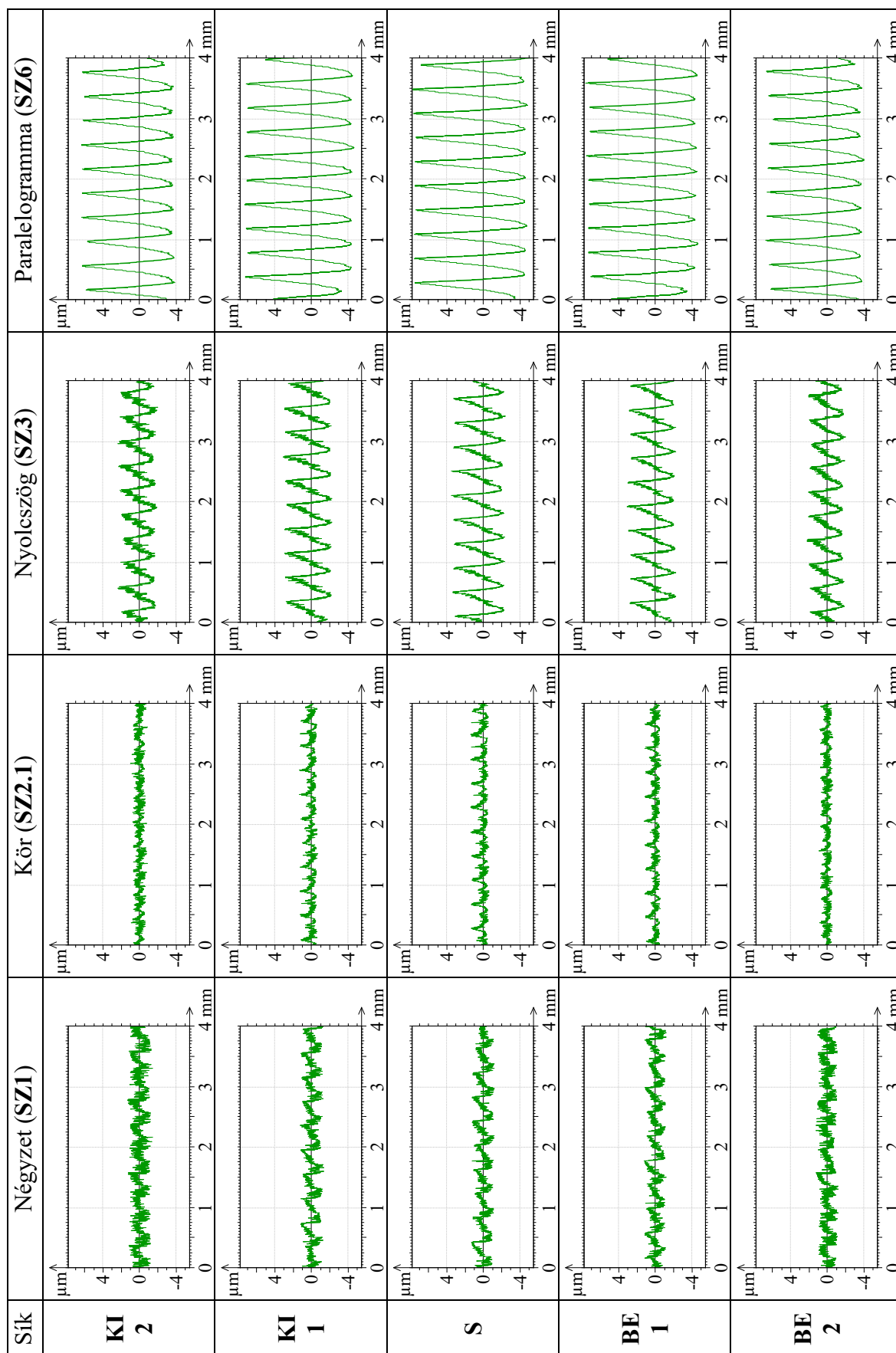
		R_a [μm]					Max.	R_k [μm]							
Elt. %	Eltér.	I	II	III	IV	V	Min.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt. %	
$D_{sz} = 50 \text{ mm}$	2,7	0,01		0,12	0,11	0,11		KI2 sík		0,32	0,29	0,28		0,03	5,7
	16,8	0,03	0,22	0,21	0,22	0,23	0,25	KI1 sík	0,69	0,59	0,65	0,66	0,65	0,10	17,2
	22,8	0,05	0,27	0,26	0,26	0,30	0,27	S sík	0,62	0,72	0,64	0,84	0,88	0,26	46,1
	6,4	0,01	0,22	0,22	0,21	0,22	0,21	BE1 sík	0,59	0,53	0,57	0,69	0,72	0,19	34,2
	7,3	0,01		0,10	0,12	0,11		BE2 sík		0,26	0,29	0,26		0,03	4,9
	Teljes eltér.:	0,20 101%	0,05 25,4	0,16 77,9	0,15 76,4	0,20 98,3	0,06 30,2	Eltérés Elt. %	0,10 17,3	0,45 80,8	0,36 64,8	0,58 103,2	0,23 41,1	Teljes eltér.:	0,61 110%
$D_{sz} = 63 \text{ mm}$	7,1	0,07	0,83	0,88	0,89	0,91	0,89	KI2 sík	2,72	2,90	2,96	3,25	3,06	0,53	15,4
	1,3	0,01	1,12	1,11	1,11	1,11	1,12	KI1 sík	3,70	3,76	3,67	3,76	3,85	0,18	5,3
	3,4	0,03	1,24	1,25	1,25	1,22	1,22	S sík	3,86	3,99	3,95	3,76	3,85	0,22	6,5
	3,2	0,03	1,12	1,11	1,11	1,11	1,14	BE1 sík	3,55	3,61	3,70	3,62	3,92	0,37	10,9
	5,4	0,06	0,86	0,87	0,89	0,88	0,83	BE2 sík	2,80	2,67	2,91	2,86	2,52	0,39	11,5
	Teljes eltér.:	0,42 40%	0,41 38,9	0,38 36,6	0,36 34,9	0,33 32,0	0,39 37,5	Eltérés Elt. %	1,14 33,5	1,32 38,7	1,04 30,4	0,90 26,5	1,40 41,1	Teljes eltér.:	1,46 43%
$D_{sz} = 100 \text{ mm}$	2,1	0,04	1,17	1,15	1,19	1,17	1,20	KI4 sík	3,00	2,98	2,84	2,96	3,09	0,25	4,9
	4,0	0,08	1,83	1,77	1,78	1,75	1,82	KI3 sík	5,12	4,64	4,65	4,69	4,97	0,48	9,5
	0,7	0,01	2,19	2,20	2,20	2,20	2,20	KI2 sík	5,66	5,65	5,83	5,71	5,49	0,34	6,8
	5,9	0,12	2,42	2,45	2,41	2,47	2,36	KI1 sík	6,67	6,24	6,43	6,46	5,96	0,71	14,1
	2,2	0,04	2,45	2,44	2,41	2,41	2,41	S sík	6,68	6,59	6,29	6,25	6,18	0,50	9,8
	2,5	0,05	2,44	2,45	2,42	2,41	2,40	BE1 sík	5,99	5,74	5,90	6,24	6,22	0,50	9,9
	2,5	0,05	2,22	2,20	2,22	2,22	2,18	BE2 sík	5,62	5,63	5,42	5,60	5,72	0,30	5,8
	3,0	0,06	1,83	1,85	1,81	1,79	1,79	BE3 sík	4,67	4,64	4,32	4,77	4,59	0,45	8,9
	2,2	0,04	1,20	1,20	1,22	1,18	1,21	BE4 sík	2,93	3,02	2,96	2,89	3,08	0,19	3,8
	Teljes eltér.:	1,32 67%	1,28 65,4	1,30 66,1	1,22 62,4	1,30 66,3	1,22 61,9	Eltérés Elt. %	3,74 74,2	3,62 71,7	3,59 71,2	3,57 70,7	3,14 62,2	Teljes eltér.:	3,83 76%

		R_z [μm]					Max.	R_p [μm]							
Elt. %	Eltér.	I	II	III	IV	V	Min.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt. %	
$D_{sz} = 50 \text{ mm}$	2,8	0,03		0,48	0,49	0,51		KI2 sík		0,28	0,29	0,30		0,02	3,6
	9,5	0,09	1,04	0,99	1,05	1,08	1,02	KI1 sík	0,62	0,58	0,65	0,67	0,64	0,09	16,4
	30,9	0,30	1,33	1,18	1,23	1,48	1,35	S sík	0,74	0,69	0,72	0,90	0,76	0,21	37,3
	16,5	0,16	1,20	1,12	1,06	1,07	1,04	BE1 sík	0,72	0,70	0,63	0,63	0,59	0,12	21,6
	8,6	0,08		0,47	0,56	0,51		BE2 sík		0,30	0,34	0,33		0,04	7,1
	Teljes eltér.:	1,01 104%	0,29 30,5	0,71 73,6	0,74 76,8	0,97 101	0,33 34,0	Eltérés Elt. %	0,12 20,7	0,42 72,5	0,43 74,6	0,60 105	0,17 28,8	Teljes eltér.:	0,62 108%
$D_{sz} = 63 \text{ mm}$	5,1	0,25	3,71	3,95	3,94	3,87	3,89	KI2 sík	2,01	2,18	2,07	2,10	2,10	0,18	6,6
	4,6	0,22	5,23	5,22	5,24	5,03	5,25	KI1 sík	2,97	2,94	2,91	2,85	2,93	0,11	4,2
	3,4	0,16	5,86	5,98	5,97	5,83	5,82	S sík	3,43	3,53	3,52	3,45	3,46	0,10	3,7
	6,0	0,29	5,37	5,42	5,13	5,23	5,20	BE1 sík	3,03	3,14	2,81	2,97	2,81	0,34	12,5
	1,7	0,08	3,86	3,89	3,81	3,81	3,81	BE2 sík	2,05	2,02	1,97	1,97	1,99	0,08	3,2
	Teljes eltér.:	2,27 47%	2,16 44,8	2,09 43,4	2,16 44,9	2,01 41,8	2,01 41,8	Eltérés Elt. %	1,42 52,8	1,50 55,9	1,56 57,9	1,48 55,1	1,47 54,5	Teljes eltér.:	1,56 58%
$D_{sz} = 100 \text{ mm}$	4,5	0,35	4,76	4,63	4,75	4,98	4,81	KI4 sík	2,84	2,72	2,83	3,04	2,79	0,33	6,9
	4,5	0,35	7,12	6,85	7,06	6,77	7,12	KI3 sík	4,15	4,09	4,22	3,96	4,21	0,27	5,6
	3,4	0,26	8,51	8,75	8,78	8,63	8,70	KI2 sík	5,04	5,35	5,31	5,19	5,27	0,31	6,6
	6,9	0,54	9,61	9,82	9,60	9,76	9,29	KI1 sík	5,73	6,00	5,76	5,89	5,59	0,40	8,5
	3,5	0,27	9,64	9,59	9,43	9,43	9,37	S sík	5,78	5,74	5,64	5,61	5,64	0,17	3,6
	2,5	0,20	9,46	9,44	9,59	9,39	9,45	BE1 sík	5,76	5,72	5,89	5,70	5,71	0,19	4,0
	2,2	0,17	8,88	8,81	8,93	8,83	8,98	BE2 sík	5,51	5,41	5,53	5,40	5,58	0,18	3,8
	2,9	0,23	7,38	7,27	7,18	7,15	7,18	BE3 sík	4,58	4,46	4,50	4,38	4,47	0,20	4,3
	2,6	0,21	5,03	5,03	5,02	4,82	4,96	BE4 sík	3,09	3,09	3,15	2,95	3,01	0,20	4,3
	Teljes eltér.:	5,19 67%	4,89 62,7	5,19 66,6	4,85 62,3	4,93 63,3	4,64 59,6	Eltérés Elt. %	2,94 62,2	3,28 69,5	3,06 64,9	2,95 62,5	2,92 62,0	Teljes eltér.:	3,28 70%

6.2. melléklet: Háromféle átfogási szögben mart felületek mért értékei, terjedelmei (SZ3, K4.3-K4.5)

		R_a [μm]					Max.	R_k [μm]						
Elt. %	Eltér.	I	II	III	IV	V	Min.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt. %
$\varphi_1 = \varphi_2 = 30^\circ$														
1,8	0,02	1,08	1,09	1,07	1,08	1,07	KI1 sík	3,88	3,89	3,85	3,92	3,83	0,08	2,2
2,0	0,02	1,19	1,19	1,19	1,18	1,17	S sík	3,96	4,03	4,03	3,97	3,98	0,07	1,8
2,3	0,02	1,04	1,02	1,03	1,03	1,03	BE1 sík	3,49	3,39	3,56	3,58	3,61	0,22	5,8
Teljes	0,17	0,15	0,17	0,16	0,16	0,14	Eltérés	0,47	0,63	0,46	0,38	0,36	Teljes	0,64
eltér.:	16%	13,2	15,9	14,6	14,4	12,7	Elt. %	12,4	16,6	12,2	10,1	9,6	eltér.:	17%
$\varphi_1 = \varphi_2 = 60^\circ$														
3,9	0,04	0,85	0,89	0,85	0,88	0,87	KI2 sík	2,86	3,13	2,91	3,03	3,09	0,27	7,8
4,4	0,04	1,12	1,10	1,12	1,14	1,10	KI1 sík	3,93	3,86	3,94	4,04	3,86	0,18	5,2
1,7	0,02	1,18	1,20	1,19	1,19	1,19	S sík	3,92	3,94	3,84	3,84	3,93	0,10	3,0
6,3	0,06	1,09	1,09	1,06	1,08	1,03	BE1 sík	3,70	3,75	3,65	3,70	3,42	0,33	9,5
4,7	0,05	0,81	0,86	0,86	0,82	0,82	BE2 sík	2,65	2,93	2,93	2,68	2,79	0,28	8,2
Teljes	0,39	0,37	0,34	0,35	0,37	0,37	Eltérés	1,28	1,01	1,03	1,36	1,15	Teljes	1,39
eltér.:	38%	36,5	33,4	34,2	36,2	36,8	Elt. %	37,1	29,3	29,9	39,5	33,2	eltér.:	40%
$\varphi_1 = \varphi_2 = 90^\circ$														
7,1	0,07	0,83	0,88	0,89	0,91	0,89	KI2 sík	2,72	2,90	2,96	3,25	3,06	0,53	15,4
1,3	0,01	1,12	1,11	1,11	1,11	1,12	KI1 sík	3,70	3,76	3,67	3,76	3,85	0,18	5,3
3,4	0,03	1,24	1,25	1,25	1,22	1,22	S sík	3,86	3,99	3,95	3,76	3,85	0,22	6,5
3,2	0,03	1,12	1,11	1,11	1,11	1,14	BE1 sík	3,55	3,61	3,70	3,62	3,92	0,37	10,9
5,4	0,06	0,86	0,87	0,89	0,88	0,83	BE2 sík	2,80	2,67	2,91	2,86	2,52	0,39	11,5
Teljes	0,42	0,41	0,38	0,36	0,33	0,39	Eltérés	1,14	1,32	1,04	0,90	1,40	Teljes	1,46
eltér.:	40%	38,9	36,6	34,9	32,0	37,5	Elt. %	33,5	38,7	30,4	26,5	41,1	eltér.:	43%
		R_z [μm]					Max.	R_p [μm]						
Elt. %	Eltér.	I	II	III	IV	V	Min.	I	II	III	IV	V	Eltér.	Elt. %
$\varphi_1 = \varphi_2 = 30^\circ$														
2,7	0,14	4,84	4,83	4,75	4,70	4,75	KI1 sík	2,83	2,85	2,78	2,72	2,76	0,14	4,6
3,4	0,17	5,40	5,40	5,41	5,41	5,24	S sík	3,20	3,23	3,23	3,27	3,12	0,15	5,2
2,3	0,12	4,79	4,75	4,69	4,70	4,68	BE1 sík	2,85	2,78	2,70	2,71	2,71	0,14	4,9
Teljes	0,73	0,61	0,64	0,72	0,71	0,56	Eltérés	0,36	0,46	0,53	0,56	0,41	Teljes	0,57
eltér.:	15%	12,2	13,0	14,5	14,3	11,4	Elt. %	12,5	15,6	18,1	19,1	14,1	eltér.:	19%
$\varphi_1 = \varphi_2 = 60^\circ$														
5,2	0,24	3,89	4,02	3,80	3,83	3,78	KI2 sík	2,08	2,20	2,09	2,12	2,11	0,12	4,5
2,5	0,11	5,01	4,91	5,02	4,98	4,93	KI1 sík	2,83	2,82	2,83	2,83	2,85	0,03	1,0
3,1	0,14	5,57	5,61	5,61	5,47	5,59	S sík	3,28	3,26	3,26	3,21	3,25	0,06	2,5
4,4	0,20	4,98	4,94	4,85	4,90	4,77	BE1 sík	2,90	2,83	2,79	2,80	2,73	0,17	6,5
2,3	0,11	3,64	3,71	3,74	3,67	3,65	BE2 sík	1,95	2,01	2,00	1,98	1,96	0,06	2,2
Teljes	1,97	1,93	1,90	1,87	1,80	1,94	Eltérés	1,33	1,25	1,27	1,23	1,29	Teljes	1,33
eltér.:	43%	42,1	41,4	40,6	39,1	42,2	Elt. %	51,0	48,1	48,7	47,5	49,8	eltér.:	51%
$\varphi_1 = \varphi_2 = 90^\circ$														
5,1	0,25	3,71	3,95	3,94	3,87	3,89	KI2 sík	2,01	2,18	2,07	2,10	2,10	0,18	6,6
4,6	0,22	5,23	5,22	5,24	5,03	5,25	KI1 sík	2,97	2,94	2,91	2,85	2,93	0,11	4,2
3,4	0,16	5,86	5,98	5,97	5,83	5,82	S sík	3,43	3,53	3,52	3,45	3,46	0,10	3,7
6,0	0,29	5,37	5,42	5,13	5,23	5,20	BE1 sík	3,03	3,14	2,81	2,97	2,81	0,34	12,5
1,7	0,08	3,86	3,89	3,81	3,81	3,81	BE2 sík	2,05	2,02	1,97	1,97	1,99	0,08	3,2
Teljes	2,27	2,16	2,09	2,16	2,01	2,01	Eltérés	1,42	1,50	1,56	1,48	1,47	Teljes	1,56
eltér.:	47%	44,8	43,4	44,9	41,8	41,8	Elt. %	52,8	55,9	57,9	55,1	54,5	eltér.:	58%

7. melléklet: Négyféle élű szerszámmal mart felületek érdességi profilgörbéi (SZ1, SZ2.1, SZ3, SZ6; K1.4)



8. melléklet: Mérési terv folyamatábrája topográfiai inhomogenitás vizsgálathoz

