

Az Óbudai Egyetem ötven éve az érdességmérésben

Fifty years of Óbuda University in surface roughness measurement

Czifra Árpád

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország
czifra.arpad@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás — A felületi érdességmérés története mindössze néhány évtizedes múltra tekint vissza. Ennek az időszaknak az elmúlt 50 évében az Óbudai Egyetem jogelődje, a mai Bánki Donát Gépész és Biztonsági Mérnöki Kar („Bánki”) aktív szerepet vállalt. Az itt folyó mérések, kutatások megalapozták annak a szakmai műhelynek a létrejöttét, ami számos ipari szakembert, PhD fokozattal rendelkező kutatót, valamint hazai és nemzetközi szinten is elismert szakmai eredményt produkált. Jelen munka áttekinti és összefoglalja azokat a mérőföldköveket, amik a nemzetközi életben és a Bánkin meghatározó mérőföldkövei voltak ezen szakterület fejlődésének.

Kulcsszavak: felületi érdesség, hullámosság, mikrogemtria, mikrotopográfia, felületi sajátosságok

Abstract — The history of surface roughness measurement dates back only a few decades. In the past 50 years of this period, the legal predecessor of Óbuda University, the current Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering (“Bánki”), has played an active role. The measurements and research conducted here laid the foundation for the establishment of a professional workshop that has produced numerous industrial specialists, researchers with PhD degrees, and professional results recognized both domestically and internationally. This work reviews and summarizes the key milestones in the development of this field both internationally and at Bánki.

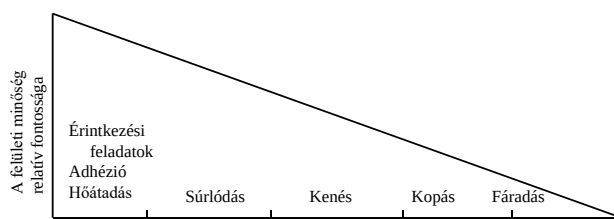
Keywords: surface roughness, waviness, microtopography, microgeometry, surface features

1 BEVEZETÉS

A felületi érdességmérés a metrológia területén belül a geometriai méretek meghatározásának témaköréhez tartozik. Az ISO 14638 [1] szabvány az érdességmérést a GPS (Geometrical Product Specification – Geometriai Termékspecifikációk) modell szerves részeként kezeli.

A felületek érdességének, hullámosságának vizsgálata szorosan kapcsolódik a gyártási és működési folyamatokhoz. A felületi érdesség egyben jellemzője a gyártási folyamat felületalakító-képességének, másrészt meghatározója a felületen lejátszódó tribológiai jelenségeknek. Ezért a felületi érdességmérés fejlődése is szorosan összefügg ezeknek a szakterületeknek a fejlődésével, és szorosan kapcsolódik azokhoz az igényekhez, amit a gyártástechnológia és a tribológia

indukál. Az 1. ábra áttekinti azokat a működési területeket – fontossági sorrendbe is állítva őket –, ahol a felületminőség valamilyen formában meghatározza a lezajló folyamatokat.



1. ábra: A felületminőség szerepe a különböző műszaki folyamatokban

Éppen a fenti szakterületek rendkívül dinamikus és folyamatos fejlődése igényli és eredményezi azt, hogy a felületi érdességmérésről is mint dinamikus fejlődő szakterületről beszéljünk, ahol még a vonatkozó szabványok tekintetében is megfigyelhető, hogy a korábban használt, jól bevált paraméterek mellett egészen újszerű módszerek jelennek meg.

A mérőműszerek fejlődésével pedig a klasszikus mikrométeres nagyságrendű egyenetlenségek vizsgálata mellett megjelennek a szubmikro és nanométer nagyságrendű mérések.

Jelen munka röviden bemutatja a szakterület nemzetközi fejlődésének főbb állomásait, azokat a mérőföldköveket, amik meghatározták és jellemezték a mérés technika ezen területének történetét, valamint felméri azokat a jelenlegi irányokat, amik a szakterület jövőbeni fejlődését jellemezhetik.

A nemzetközi fejlődés mellett külön hangsúlyt szeretnénk szentelni annak a hazai fejlődésnek, aminek egyik vezető kutatóhelye a mai Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara, avagy a „Bánki”.

2 AZ ÉRDESSÉGMÉRÉS NEMZETKÖZI FEJLŐDÉSE

A metszettepintós érdességmérés elvét Abbot és Firestone dolgozta ki a Michigani Egyetemen [3]. A kidolgozott elvet követve 1939-ben a Taylor Hobson cég bemutatta a berendezés kereskedelmi változatát Talysurf I néven az angliai Leicesterben. A cég optikai lencsék gyártásával foglalkozott és ezek felületi minőségének ellenőrzésére készítette a berendezést, de az hamar olyan

érdeklődésre tett szert, hogy az 1940-es években a vállalat már ennek a mérőműszernek a forgalmazásával is foglalkozott (ld. 2. ábra). A vállalat napjainkban is vezető szerepet tölt be az érdességmérő berendezések területén.



2. ábra: Talysurf 2-es modell az 1940-es évekből [4]

Ezután igen gyorsan megjelentek Németországban és Angliában az első analóg berendezések, melyek képesek voltak átlagos érdességi értéket számolni, valamint 2CR szűrés segítségével szétválasztani az érdességet és a hullámosságot [5].

1954-ben megkezdte működését az ISO (Nemzetközi Szabványügyi Szervezet) TC 57 bizottsága „Metrology and properties of surfaces” néven. Ez a bizottság 1996-ban beolvadt az ISO/TC 213-ba, mely a GPS szabványok gondozását, felülvizsgálatát, megújítását végzi azóta is. A bizottság által megalkotott első érdességmérési szabvány 1966-ban jelent meg, ISO/R 468-1966 „Felületi érdesség” címmel. A szabvány bevezetőjében hazánkat is megtaláljuk a jóváhagyó testületi tagok között (3. ábra).

This first Draft ISO Recommendation (No. 221) was circulated to all the ISO Member Bodies for enquiry in September 1958. As the results of this consultation were not considered satisfactory, the Technical Committee presented a second Draft ISO Recommendation, which was circulated to all the Member Bodies in April 1962 and which was approved by the following Member Bodies:

Austria	Greece	Poland
Belgium	Hungary	Republic of South Africa
Brazil	India	Romania
Bulgaria	Israel	Switzerland
Burma	Italy	U.S.A.
Czechoslovakia	Mexico	U.S.S.R.
Denmark	New Zealand	Yugoslavia

3. ábra: Részlet az ISO/R 468-1966 szabványból [6]

Az érdességmérés következő mérföldköve Greenwood és Williamson nevéhez fűződik. Munkásságuk az érdes felületek érintkezési viszonyainak feltárására fókuszált. Ismertté és széles körben használttá vált modelljüket [7] 1966-ban publikálták. Ezzel egyibőben fejlesztették ki „mikro-kartográf” névre elkeresztelt berendezésüket, ami képes volt 3D-s mikrotopográfia rögzítésére egymás mellett felvett érdességi profilokból. Bár ez a technológia már a '60-as években megjelent, nagy erőforrás igénye

miatt valódi fejlődése csak a számítástechnika rohamos fejlődésével, az 1980-as évektől kezdődött meg.

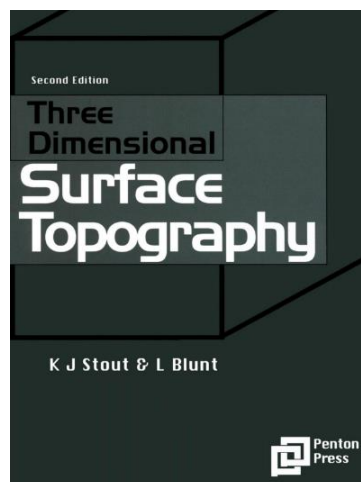
A nemzetközi szakmai közösségben felmerült az igény arra, hogy tapasztalataikat, szakudásukat megosszák, megismertessék egymással. A felületi érdességméréssel foglalkozó szakemberek első önálló konferenciája Oxfordban: *Properties and Metrology of Engineering Surfaces* címen 1968-ban került megrendezésre. A második alkalomra egészen 1978-ig kellett várni, onnantól kezdve 3 évente szerveződik ez a konferenciasorozat, melynek a világ számos országa, többek között Franciaország, Japán, Lengyelország, Svédország, USA, Németország vagy éppen Tajvan vagy Marokkó biztosított már helyszínt. A témakörök az érdességmérés műszerteknikája, a mért értékek kiértékelés-technikája és a felületi érdességmérés alkalmazástechnikája köré szerveződnek.

1. táblázat: A mérés-, kiértékelés-, és alkalmazástechnika aránya a *The Properties and Metrology of Engineering Surfaces* konferenciákon [8, 9]

	1988	2004
Méréstechnika	25 %	20 %
Kiértékelés-technika	42 %	37 %
Alkalmazástechnika	33 %	43 %

Az 1. táblázat az 1988-ban és 2004-ben megrendezett konferenciapublikációkban mutatja a három terület arányát. Az adatok mutatják, hogy miként tolódott el a hangsúly műszer- és kiértékelés-technikáról az alkalmazástechnika irányába.

A XX. század végét a 3D-s, topográfiai technika fejlesztése dominálta. 1994-ben megjelent az EUR 15178 EN európai ajánlás a felületek 3D-s kiértékelésre vonatkozóan. Ez felgyorsította az egyébként is dinamikus fejlődő szakterület kutatásait. 1998-ban beindult a SURFSTAND nevű európai program, mely az európai egyetemek, kutatóhelyek együttműködését, a felületi érdességgel foglalkozó kutatások összehangolását célozta. Ennek eredményeit foglalta össze az ún. „zöld könyv” [10], ami megalapozta a 2008-ban megjelent első 3D-s érdességméréssel és kiértékeléssel foglalkozó nemzetközi szabvány, az ISO 25178 [11] megjelenését.



4. ábra: A „zöld könyv” borítólapja [10]

A szakmai közösség *Surface Topography: Metrology and Properties* címen 2013-ban indított folyóiratot, ami

kizárólag a felületi érdességmérés területéhez szorosan kapcsoló publikációkat fogad. A szűkített szakterületi meghatározással és az igen magas, 2500 EUR fölötti publikációs költséggel működő folyóirat népszerűségét jelzi, hogy mindezek ellenére az elmúlt 2 év impakt faktora 2.0, és a folyóirat összes hivatkozási száma 1770.

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy a felületi érdességmérés 2D-s, érdességi profil alapú mikrogeometriai vizsgálata az 1930-as évekkel indult, fejlődése az 1950-es, '60-as években vált intenzívvé, míg a 3D-s, mikrotopográfiai vizsgálatok az 1960-as években kezdődtek, de a szakterület dinamikus fejlődése csak az 1990-es évekre tehető.

3 AZ ÉRDESSÉGMÉRÉS FEJLŐDÉSE A BÁNKIN

Az érdességmérés nemzetközi fejlődésének intenzitása az 1970-es években érte el intézményünket. Az érdességmérési vizsgálatok kezdetét az 1975-ben beszerzett, szovjet gyártmányú KALIBR-211 típusú analóg érdességmérő jelentette (ld. 5. ábra).



5. ábra: A KALIBR 211 érdességmérő a Bánkin

A berendezést Palásti Kovács Béla és csapata forgácsolt felületek érdességének vizsgálatára használta. Első publikációjuk 1978-ban jelent meg magyar nyelven [12].

A kutatások elsősorban forgácsolt felületek minősítésére, a forgácsolási folyamat és a felületi érdesség összefüggéseinek feltárására vonatkoztak. A „bánkis csapat”, felismerve a kiértékelés-technika korlátait, számos, a szűrőtechnikával és a felületek jellemzésével összefüggő kutatást is megkezdett ebben az időben.

A műszerezettség bővítése, fejlesztése 1982-ben indult meg, amikor karunk kapcsolatba került a göttingeni (Németország) székhelyű Mahr céggel. A cég azóta is a német érdességmérési technika vezető képviselője. A szoros partnerkapcsolat a cég és egyetemünk között mind a mai napig stabilitást nyújt a kutatási területnek. Az 1982-es kapcsolatfelvétel első realizálódása a Mahr S6P érdességmérő berendezés beszerzése volt (ld. 6. ábra). Ez még analóg módon, ugyanakkor széles tapintóválasztékkal és a kor ipari igényeit minden szempontból kielégítő kiértékelő rendszerrel rendelkezett.



6. ábra: A Mahr S6P berendezés vezérlőegysége a Bánkin

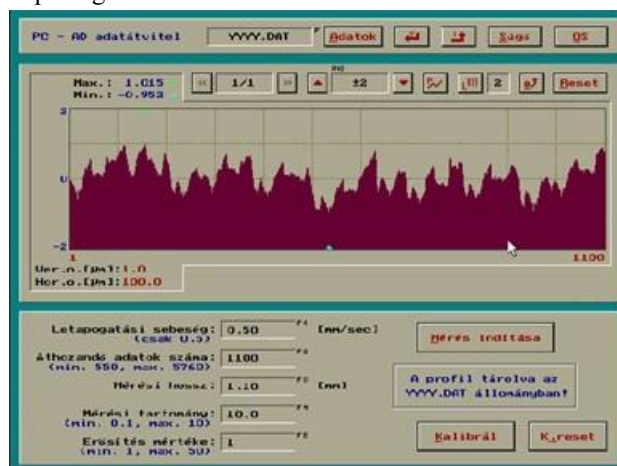
Az intenzív kutatások első nemzetközi megjelenésére a rendszerváltás utáni időszakban került sor. Horváth Sándor és Palásti Kovács Béla mutatta be a bankis műhely kutatási eredményeit német nyelven [13].

Az 1990-es éveket dinamikus fejlődés jellemezte. A forgácsoláskutatásban szükséges mérések intenzitását segítette az 1996-ban beszerzett Mahr Perthometer C3A/C40 kisberendezés (ld. 7. ábra). A műszer lehetővé tette a hatékony és gyors érdességmérést közvetlenül a megmunkálás helyén, a gépműhelyben.



7. ábra: A Mahr Perthometer C3A/C40 berendezés

A kiértékelés-technika fejlesztése terén megindult erőfeszítések eredménye is ebben az időszakban nyert gyakorlati formát. Az 1998-ban elkészült 2D-s profilok kiértékelését szolgáló szoftver a maga korában kiemelkedő képességekkel rendelkezett.



8. ábra: Bánkis fejlesztésű kiértékelő rendszer

A digitális kiértékelés-technika eszközeit használva számos szűrési lehetőséggel, széleskörű paraméterválasztékkal és olyan extra funkciókkal rendelkezett, mint például az autokorrelációs kiértékelés. A rendszer képességeit jól illusztrálja, hogy az

autokorrelációs függvény és annak jellemző paraméterei csak 23 évvel később, 2021-ben kerültek be a ma aktuális érdességi szabványba. A szoftver grafikus képességeit mutatja be a 8. ábra.

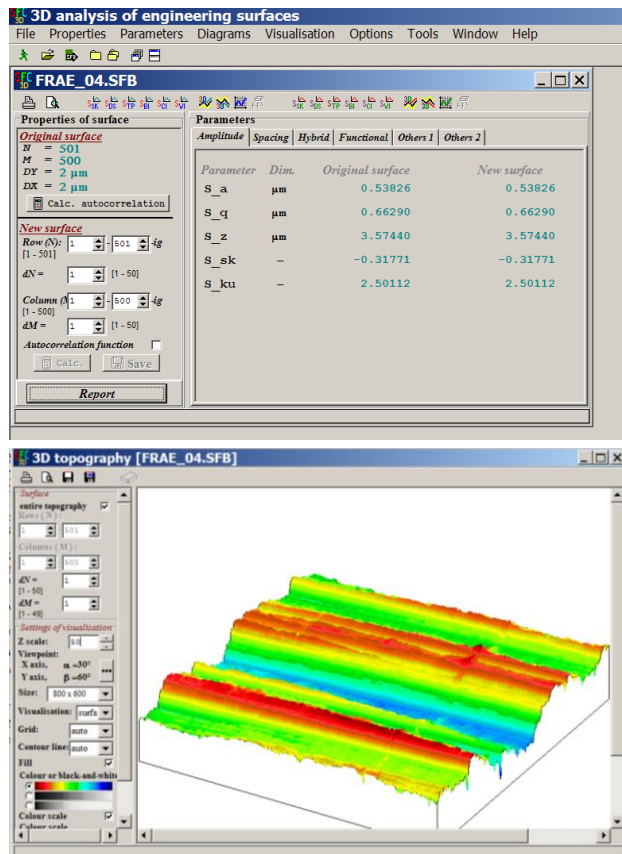
1999-ben a műszerpark megújult/kiegészült a kor igényeinek megfelelő, számítógépes vezérlésű, nagy pontosságú kutatóműszerrel a Mahr Perthometer Concept érdességmérővel. A beszerzett tapintókészlet gyakorlatilag az összes akkor létező tapintófajtát tartalmazta, így a berendezés képes volt mély furatok, fogaskerek fogfelületének, kis sugarú henger és gömb jellegű alkatrészeknek a mérésére. A speciális tapintók lehetőséget biztosítottak forgácsoló szerszámok élérdességének mérésére. A csúszkás tapintók 2 µm-es lekerekítési sugara az akkori (és mai) szabványos előírások legfinomabb felületek mérésére vonatkozó követelményét is teljesítette. A rákövetkező években a hagyományos forgácsolt fémfelületek mérése mellett repülőgép-alkatrészek, papír-, műanyag-, sőt gyümölcsfelületek mérése is megvalósult a műszerrel különböző kutatások keretében. A speciális tapintókészlet olyan egyedi ipari feladatok kivitelezését is lehetővé tette, mint vasúti fékekben megtalálható mozgatóorsók menetprofil-érdességének mérése, golyóorsók futópálya-érdességének mérése, vagy csapágyfutópályák érdességi és hullámossági vizsgálata.



9. ábra: Mahr Perthometer Concept érdességmérő a Bánkin

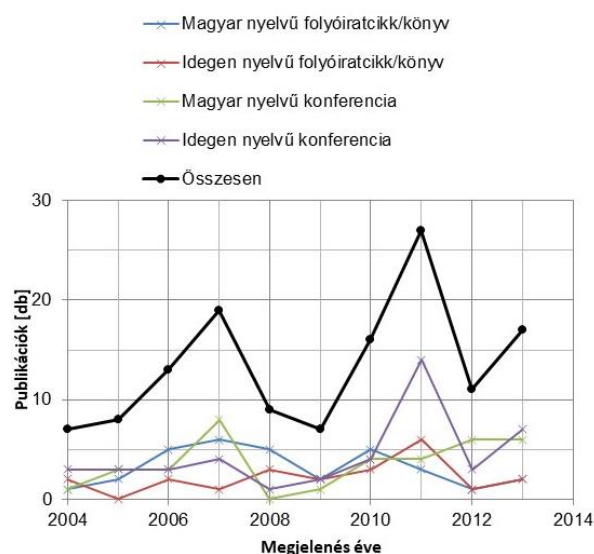
A XXI. századba lépve – követve az 1990-es évek nemzetközi trendjeit – a Bánkin is megindultak a 3D-s topográfiai mérésre és kiértékelésre irányuló kutatások.

A Mahr Perthometer Concept kutatóműszer kiegészült a keresztirányú mozgásokat biztosító mozgatóasztallal, ami 3D-s topográfiai mérését is lehetővé tette. Ezzel párhuzamosan 2000-ben elkészült a kutatócsoport (Palásti Kovács Béla, Horváth Sándor, Kovács Kálmán, Wiesel Csaba) által az akkori 3D-s érdességmérés minden fellelhető paraméterét és kiértékelési lehetőségét magába foglaló Surf3D szoftver. A rendszer képességeit jól jellemzi, hogy több mint 30 topográfiai paraméter kiértékelésére volt képes, melyek közül több még ma is kurióznak számít a topográfiai érdességmérés terén, és a szabvány vagy az ipari szoftverek számára ismeretlen. A szoftver olyan mélyreható elemzésekhez biztosított háttérrel, mint a mintavételi lépésköz hatásának vizsgálata, vagy a 3D-s autokorrelációs kiértékelés. Képes volt a kopási folyamatok „matematikai szimulációjára” oly módon, hogy a felületeket „csonkolta”, azaz eltávolította egy adott szint felett az érdességet, majd azt síkfelülettel pótolta. A szoftver később angol nyelvű modullal is bővült. Grafikus képességeit mutatja a 10. ábra.



10. ábra: A Surf3D kezelőfelülete (fent) és topográfiai megjelenítési modulja (lent)

Az intenzív kutatómunka eredményei a 2005-2015 időszakban értek be. Több PhD értekezés (Czifra Árpád, Farkas Gabriella, Horváth Sándor, Barányi István, Horváth Richárd) készült el, számos hazai és nemzetközi publikáció látott napvilágot (ld. 11. ábra).



11. ábra: ÓE-BGK felületminőség kompetenciaterrületén született publikációi 2004-2013 között

Ebben az időszakban a Bánki már több hazai és nemzetközi együttműködés része volt. Szoros kapcsolat alakult ki a BME (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem) és a SZIE (Szent István

Egyetem; ma MATE: Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem) kutatóműhelyeivel. A forgácsoláskutatás mellett megjelentek a tribológiai vonatkozású vizsgálatok és a Bánki mint a felületminőség kompetenciaterület gondozója jelent meg ezekben az együttműködésekben. A felületvizsgálatok szélesebb körét biztosította a Kar anyagvizsgáló laborjainak műszerállománya: sztereomikroszkópos vizsgálatok, elektronmikroszkópos mérések, keménységmérések, mikro-keménységi vizsgálatok.

Az eredmények mellett ebben az időszakban megérkeztek a hazai és nemzetközi elismerések is. 2005-ben a Gépipari Tudományos Egyesület jutalmazta Műszaki Irodalmi Díjjal a kutatócsoport munkáját [14], elismerve a hazai szaknyelv ápolásában elért eredményeinket, melyet 2018-ban egy újabb Műszaki Irodalmi Díjjal erősített meg [15].

2009-ben a felületi érdességméréssel foglalkozó szakemberek 12. nemzetközi konferenciáján, a XII. *Metrology and Properties of Engineering Surfaces* rendezvényen, Rzeszówban a *Best Poster Award* elismerésben részesült kutatócsoportunk munkája (ld. 12. ábra).



12. ábra: A MetProp2009 Best Poster Award díja

A 2005-2015 közötti időszakban a műszerpark fejlesztése is kiteljesedett. A 2006-ban beszerzett Mahr gyártmányú MahrSurf PS1 hordozható kisműszer gyors és hatékony műhellyműszerként állt rendelkezésre a kor igényinek megfelelő kiértékelés-technikával, adatgyűjtési és csatlakozási lehetőségekkel (ld. 13. ábra).



13. ábra: MahrSurf PS1 műszer a Bánkin

A középkategóriás, ipari mérőlaboratóriumi műszereket a Mitutoyo cég 2009-ben beszerzett SJ 301 típusú műszere képviselte. A könnyen kezelhető, állványos, stabil kis műszert a TDK-zó hallgatók is előszeretettel használták, használják. Több szakdolgozat, TDK-munka, ipari megrendeléshez szükséges mérések elvégzését tette lehetővé.



14. ábra: Mitutoyo SJ 301 mérőlabori érdességmérő műszer

A kutatásokat a Mahrtól 2012-ben beszerzett GD 120-as vontatóegysége és a hozzá kapcsolódó XCR és XT szoftvercsomag segítette. Ennek hazánkban elsőként része volt a VDI akkori ajánlását követő domináns hullámhossz-kiértékelő modul is. Ezek a paraméterek a legújabb, 2021-es érdességi ISO-szabványba (ISO 21920) is bekerültek.



15. ábra: Mahr GD 120-as vontatóegység az állványon a Bánki érdességmérő laborjában

A kutatásokat a mérés technikai lehetőségek mellett a kiértékelési lehetőségek folyamatos fejlesztése jellemezte. 2005-ben készült el a felületi érdességsúcsok és karcok azonosítását és jellemzését lehetővé tevő szoftver, az SfbView. Ez az eszköz már olyan felületi jellemzőket azonosított, mint az érdességsúcsok vagy -völgyek görbülete. Ezek a jellemzők a 2008-as topográfiai szabványban is helyet kaptak. A 2009-ben kifejlesztett PSDforSurfaces szoftver a mikrotopográfia teljesítménysűrűség-spektrumának kiértékelését tette lehetővé. A 2010-es években a kiértékelés-technikai módszerek mellett megjelentek a kutatócsoport kiterjesztette tevékenységét a szimulációs eljárások irányába is. A kidolgozott módszer abráziós kopási folyamatok érdes felületeinek előrejelzését célozta.

4 FEJLŐDÉSI IRÁNYOK A FELÜLETI ÉRDESSÉGMÉRÉSBEN

A hazai és nemzetközi kutatások a felületi érdességmérés terén több irányban jellemezhetők.

Az egyik fontos terület az alkalmazástechnika fejlődése. Itt a legnagyobb kihívás a működéshez optimalizált felületi minőség meghatározása és annak legyártása. Az ehhez kapcsolódó kutatások keresik azokat a felületi jellemzőket, amivel a működési, tribológiai folyamat legjobban leírható (ld. [16-18]). Másrészt fontos, hogy képesek legyünk

ezeknek a felületeknek a legyártására. A hagyományos gyártástechnológia eljárásokban megjelenő fejlesztések és az új technológiák egyaránt kihívást jelentenek ezen a téren (ld. [19, 20]). A gyártástechnológiai paraméterek és a felületi érdesség jellemzői közötti kapcsolat vizsgálata intenzív kutatási terület napjainkban. A jövőbeni kutatások egyik fontos területe, hogy a mérés- és kiértékelés-technika nyújtotta lehetőségek megjelenjenek az alkalmazások területén. A tribológia és a gyártástechnológia területén dolgozó szakemberek és kutatók felismerik, hogy néhány hagyományosan alkalmazott paraméter használata nem elégséges a felületek komplex leírásához, ennek következtében egyre tudatosabban fordulnak a ma már szabvány által is biztosított széleskörű kiértékelési lehetőségekhez, ezáltal komplex módon írják le a felületeket (ld.: [21, 22]).

Ezzel együtt a kiértékelés-technika területén újabb és újabb módszerek látnak napvilágot, amik a felületek egyre részletesebb jellemzését teszik lehetővé. A 2021-ben megjelent ISO 21920 szabvány már a paraméterek besorolásában is érvényesíti azt a szemléletváltást, ami az elmúlt éveket jellemezte ezen a területen. A paramétereket mező (*field*) és sajátosság (*feature*) kategóriákba sorolja. Ez a felosztás hűen tükrözi azt a két irányvonalat, amerre a felületek (2D-s profilok és 3D-s topográfiai) kiértékelése fejlődik. A teljes mérési adathalmazra épülő, „globális” eljárások közé tartoznak a fraktál alapú kiértékelések [23], az autokorrelációs és a *wavelet*-transzformációs analízisek [17]. Ezek célja olyan, az egész felületet jellemző, sőt azon túlmutató ún. teljes spektrumú (*full-range*) vizsgálatok biztosítása, ami átfogóan képes jellemezni a felületet. Sok esetben ezek emelt szintű matematikai ismeretek alkalmazását és a kiértékelési eljárásokba történő beépítést igénylik. A másik domináns irány a felület geometriai sajátosságaira fókuszáló módszertan [24].

A fejlesztések a műszertechnika területén is folyamatosak. Az új technológiák, például a CT (computer tomográfia) alkalmazása az érdességmérésben folyamatos kihívást jelent. Hasonló kihívás a berendezések alkalmassá tétele speciális, főként nagy pontosságú, precíziós mérések végzésére [25].

5 KÖVETKEZTETÉSEK

A felületi érdességmérés az 1930-as évek óta jelentős fejlődésen ment keresztül. Az átlagos érdességet (R_a) és érdesség magasságot (R_z) számoló tapintós profilométerek világából napjainkra a nanométeres nagyságrendű érdességet mérni képes atomi erő-mikroszkópok és optikai elven működő berendezések által biztosított 3D-s topográfiai felületi sajátosságokkal, autokorrelációs függvényekkel vagy éppen fraktálokkal történő jellemzéséig jutottunk.

A Bánki ennek a dinamikus fejlődésnek az aktív részese volt az elmúlt ötven évben. A forgácsolt felületek és forgácsolószerszámok geometriáját jellemző, valamint a súrlódó felületek tribológiáját meghatározó felületi vizsgálatok mellett komoly kiértékelés-technikai fejlesztések zajlottak és zajlanak ma is a karon. A kutatási területeknek egyaránt része a paraméterek gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálata, az összetett paraméterkombinációkon, autokorrelációs viselkedésen, vagy éppen fraktálokon nyugvó kiértékelés-technika fejlesztése. Mindezek eredményeként az érdességmérés egyik legjelentősebb hazai műhelye működik karunkon.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] ISO 14638 (2015): Geometrical product specifications (GPS). Matrix model
- [2] Whitehouse, D. J. (1994). *Handbook of surface metrology*, Inside of Physics Publ., Bristol
- [3] Dowson, D. (1979). *History of tribology*, Longman Inc., New York
- [4] Andy Dingley - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18797600>
- [5] Stout, Sullivan, Dong, Mainsah, Luo, Mathia, Zahouni (1993). *The development of methods for characterisation of roughness in three dimensions*, Printing Section, University of Birmingham Edgbaston, Birmingham
- [6] ISO R468 (1966): Surface roughness
- [7] Greenwood, J.A. and Williamson, J.P. (1966). Contact of nominally flat surfaces. *Proceedings of the royal society of London. Series A. Mathematical and Physical sciences*, 295(1442), pp.300-319.
- [8] Stout, K. J., Vorbuerger, T. V. (1988). Metrology and properties of engineering surfaces, *Proceedings of 4th International Conference*, National Bureau of Standards, Washington DC
- [9] Rosén, B. G., Thomas, T. R. (2004). Metrology and properties of engineering surfaces, *Proceedings of 9th International Conference*, Halmstad University, Halmstad
- [10] Stout, K. J., Blunt, L. (2000). *Three-Dimensional Surface Topography*, Penton Press, London, UK
- [11] ISO/DIS 25178-2 (2008). Geometrical product specifications, Surface texture: Terms, definitions and surface texture parameters
- [12] Palásti Kovács, B., Csiszár, G. (1978). A felületi mikrogeometria jellegzetességeinek változása keményfém váltólapkás szerszámmal végzett simító esztergáláskor, *IV. Szerszám és Szerszámanyag Kollokvium*, Miskolc, pp. 1-12
- [13] Horváth, S.; Palásti Kovács, B. (1993). Forschungsergebnisse der Oberflächengeometrie in Ungarn., 4. Internationales DAAAM Symposium, Brno, pp. 119-120
- [14] Czifra, Á., Váradi, K., Palásti Kovács, B. (2004). A felületi mikrotopográfia karcainak vizsgálata szeletelő módszerrel, *Gép* 2004/10-11 p. 40-43.
- [15] Czifra Á., Horváth S. (2017). Műszaki felületek osztályozása mikrotopográfiai paraméterek alapján, *GÉP* 2017/3, 68., p. 23-27.
- [16] Zainab, A., Bognár, G. (2024). Investigation of the Impact of Surface Roughness, on a Ship's Drag (Hull Resistance), *Acta Polytechnica Hungarica* 21 : 2 pp. 7-32. , p. 26
- [17] Edjeou W., Cerezo V., Zahouani H., Do M.-T. (2023) Contribution of multiscale analysis to the understanding of friction evolution of aggregates surfaces, *Surf. Topogr.: Metrol. Prop.* 11 014006
- [18] Barányi I. (2020). Characterization of Tribological Behaviour of Surface Topographies by Roughness Measurement at the Beginning of the Wear Process, *Acta Technica Jaurensis* 13 : 2 pp. 151-160.
- [19] Mikó, B. (2023). Comparison of the Surface Roughness and its Geometric Model in Case of Z-level Milling, *Acta Mechanica Slovaca* 27 : 2 pp. 32-41.
- [20] Bartkowiak, T., Gapiński, B., Wiczorowski, M., Mietliński, P., Brown, C. A. (2023). Capturing and characterizing geometric complexities of metal additively manufactured parts using x-ray micro-computed tomography and multiscale curvature analyses, *Surf. Topogr.: Metrol. Prop.* 11 014002
- [21] Czifra, Á.; Barányi, I. (2020). Sdq-Sdr Topological Map of Surface Topographies, *Frontiers in Mechanical Engineering* 6 pp. 1-9.
- [22] Horváth, R., Czifra, Á., Drégelyi-Kiss, Á. (2015). Effect of conventional and non-conventional tool geometries to skewness and kurtosis of surface roughness in case of fine turning of aluminium alloys with diamond tools, *Int J Adv Manuf Technol* 78, pp. 297-304
- [23] Czifra, Á., Ancza E. (2024). Micro- and Nano-Roughness Separation Based on Fractal Analysis, *MATERIALS* 17 : 2 p. 292
- [24] Reddy, V. V., Krishna, A. V., Schultheiss, F., Rosén, B. G. (2017). Surface topography characterization of brass alloys: lead brass (CuZn39Pb3) and lead free brass (CuZn21Si3P), *Surf. Topogr.: Metrol. Prop.* 5 025001
- [25] Mustafa, A., Muhamedsalih, H., Tang, D., Kumar, P., Jiang, J. & Blunt, L. (2025). Investigation of focus variation microscopy immunity to vibrations, *Precision Engineering*, 93, p. 87-98.