

Változások az érdességmérési szabványban

Changes in the roughness measurement standard

Győri Dorottya Beatrix, Czifra Árpád

Óbudai Egyetem - Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország
gyori.dorottya.beatrix@gmail.com

Összefoglalás — A valós felületek geometriája mindig eltér az ideáltól, és ezek az eltérések összetettek, nem írhatók le egyszerűen. A modern mérőműszerek precíz digitalizálást tesznek lehetővé, miközben a szabványosított mérési paraméterek biztosítják az eredmények összehasonlíthatóságát. Jelen munka az ISO 4287:1997 és az ISO 21920-2:2021 szabványok összehasonlítására fókuszál, kiemelve a tartalmi változásokat a korábbi kiadáshoz képest. Az új szabvány bevezetése lehetőséget kínál a pontosabb, szélesebb körű és megbízhatóbb mérésekre, így fontos megérteni a változásokat és azok gyakorlati hatásait is.

Kulcsszavak: ISO 4287, ISO 21920-2, geometriai termékspecifikáció, felületi érdesség.

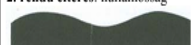
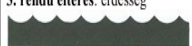
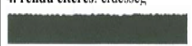
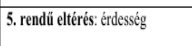
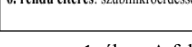
Abstract — The geometry of real surfaces always deviates from the ideal, and these deviations are complex and cannot be described simply. Modern measuring instruments enable precise digitization of surface quality, while the standardization of measurement parameters ensures the comparability of results. This study focuses on the comparison of ISO 4287:1997 and ISO 21920-2:2021, highlighting the content changes introduced in the latest edition. The introduction of the new standard allows for more accurate, more comprehensive and more reliable measurements, making it essential to understand its modifications and their practical implications in industrial applications.

Keywords: ISO 4287, ISO 21920-2, geometrical product specifications, surface roughness.

1 BEVEZETÉS

A felületi minőség egy komplex fogalom, amely magában foglalja a felületi textúrát, ami alatt a felszín fizikai és kémiai állapotát, keménységét, maradó feszültségeit, valamint geometriai jellemzőit értjük. Ide tartoznak továbbá a megmunkálás során létrejövő képlékeny alakváltozások és a szövetszerkezet változásai. A felületi mikrogeometriai eltérések, mint például az érdesség és a hullámosság, a felületi minőséget jellemző tényezők közé sorolhatók.

Miért is fontos egy adott alkatrész felülete? Az optimalizált felületi tulajdonságok közvetlen hatással vannak a berendezések hatékony és hosszú távú üzemeltetésére. A felületi minőség különböző aspektusait számos tudományág vizsgálja, amelyek szorosan összefonódnak. A DIN szabvány a felületi eltéréseket geometriájuk és keletkezési okaik alapján hat csoportra osztja, és 1-6. rendű egyenletlenségként definiálja. Az 1. ábrán láthatók a DIN 4760 szerinti jellegzetes eltérések és keletkezésük leggyakoribb okai:

	Példák	A keletkezés lehetséges okai
1. rendű eltérés: alakhiba 	egyenesség-, síkklapúság, köralkhiba	a szerszámgép vezetékhibái, a szerszámgép vagy a munkadarab deformációja, hibás befogás, kopás
2. rendű eltérés: hullámosság 	hullámok	hibás szerszámbefogás, a munkadarab-szerszámgép-szerszám rendszer lengései
3. rendű eltérés: érdesség 	barázdák	a szerszám vágóélének alakja, előtolás, fogásmélység
4. rendű eltérés: érdesség 	karcok, pikkelyek, dudorok	forgácsolás során anyagreszcsekk kiszakadása, elnyíródása, homokfúvaskor a felszín képlékeny alakváltozása, egyenetlen rétegek képződés galvanizálásakor
5. rendű eltérés: érdesség 	szövetszerkezet mintázata	kristálykítőredezés, a felület változása vegyi hatás következtében, korrózió
6. rendű eltérés: szubmikroérdesség 	kristályszerkezet mintázata	

1. ábra: A felületi egyenletlenségek csoportosítása [1]

A szakirodalomban általánosságban az eltéréseket a következő három kategóriába sorolják: alakhiba, hullámosság és érdesség. Eltérés az érdesség kistérközű komponenseinek értelmezésében figyelhető meg. [1]

De mik azok a paraméterek, amik alapján vizsgálni tudjuk a felületek geometriáját? Az ISO egy egységesen használható szabályrendszert alakított ki, ami által lehetővé vált egy adott termék geometriájának egységes mérési és kiértékelési folyamata, ami azonban nem tekinthető lezártnak, hisz a különböző vizsgálatok számos új kérdést fogalmaznak meg, ami a szabványok hiányosságát tárják fel, így szükséges időközönként az átdolgozásuk.

A geometriai termékspecifikációk (GPS) rendszerében a felületi mikrogeometria szabványosítása önálló helyet kapott. Ezek a szabványok biztosítják, hogy a felületek érdessége, mikrogeometriája, mikrotopográfiája mérhető és összehasonlítható legyen.

A modern gyártási és tervezési folyamatok során egyre kisebb térfogatba zsúfolunk be alkatrészeket, így a méretek csökkenésével párhuzamosan egyre nagyobb precizításra van szükség, ami az anyagtudomány, gyártástechnológia, tribológia és a mérés technika fejlődését is ösztönzi. Az új elvárásoknak megfelelően a kapcsolódó szabványok is folyamatosan változnak. Jelen munkánk célja az ISO 21920 szabványba beépült, a korábbi ISO 4287 szabványon túlmutató mérési és kiértékelési módszerek áttekintése, bemutatása.

2 ÁTFOGÓ VÁLTOZÁSOK

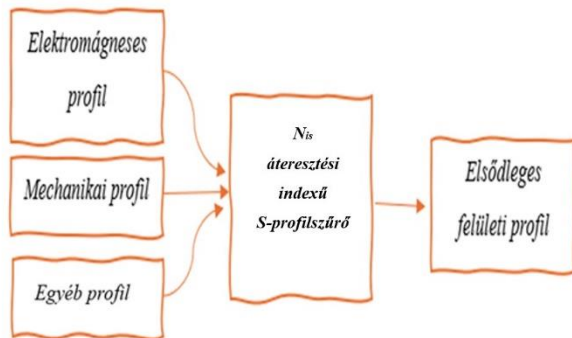
Az érdességmérési szabványok többségét az 1990-es évek végén tették közzé vagy vizsgálták felül utoljára. Az ISO 25178 szabvány – ami a felületi mikrotopográfia átfogó jellemzését foglalja össze – közelmúltbeli

közzététele azonban univerzális alapot teremt a felületi érdesség kiértékelésére. Célszerű és észszerű ugyanazokat a fogalmakat alkalmazni nem csak a 3D-s, hanem a 2D-s érdességmérésben is, és ezért történt meg a korábbi 2D-s érdességmérési szabványok felülvizsgálata és lecserélése.

2.1 Strukturális változások

Az új szabvány (ISO 21920) bemutatását a profilalkotás ismertetésével kezdjük, mivel a felületi érdesség értékelése továbbra is a profilok meghatározásán alapul. Korábban megkülönböztettünk periodikus és nemperiodikus érdességi profilokat, azonban az új szabvány már nem tesz különbséget ezek között [2,3].

Az első fogalom, amellyel a szabványban találkozunk, a burkolófelület, amely egy nemideális felületi modell. Ahhoz, hogy a mérési eredmények értelmezhetők és összehasonlíthatók legyenek, ezt a modellt részletesebben kell vizsgálnunk. A burkolófelület a munkadarab és környezete közötti fizikai interfészt írja le, figyelembe véve a gyártási folyamatokból eredő eltéréseket.



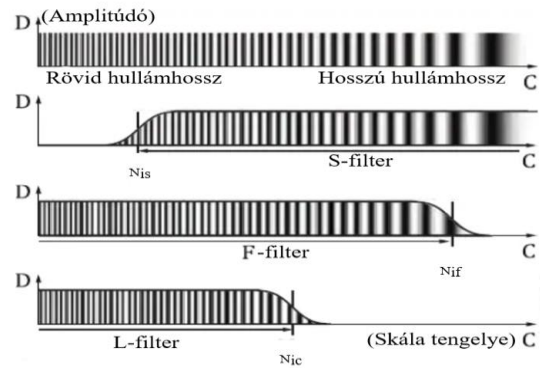
2. ábra: ISO 21920-2 alapján az elsődleges felületi profil meghatározása

Ahhoz, hogy megkapjuk a méréseink kiindulópontjaként szolgáló elsődleges profilt, az ISO 4287 szabványban már meghatározott módon egy metszősíkot kell kialakítanunk. Több típusa is létezik a profiloknak, amik kiindulási alapként szolgálhatnak. A burkolófelület velejárója az elektromágneses felület és elektromágneses profil, amely az optikai mérésekből származó profil.

Ha a munkadarab burkolófelületével nem mechanikai (metszettepontos műszerekkel végzett mérésekből) vagy elektromágneses kölcsönhatás eredményeként kapunk profilt, akkor azt egyéb profilnak nevezzük. Ilyen például amikor szoftveres mérési szabványokat alkalmazunk, amelyek nem közvetlenül a fizikai kölcsönhatás alapján, hanem algoritmusok és modellek segítségével dolgozzák fel az adatokat, illetve minden egyéb más mérés technikával meghatározott profilt is így nevezünk el. Ezeket, mint a szűrési folyamathoz szükséges kiindulási lépéseket a 2. ábra szemlélteti.

A '90-es években számos kutatás mutatott rá, hogy a felületek teljes körű jellemzésére a 3D-s vizsgálatok alkalmasabbak, ebből adódóan itt több paraméter már meghatározásra került, aminek analógja 2D-s vizsgálatoknál nem létezett. Az új szabványnak így ezen paraméterek 2D-s megfelelőinek meghatározásában nagy

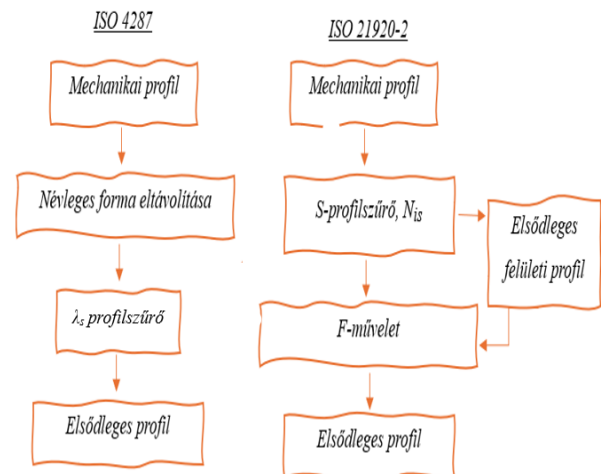
szerepe van, emellett számos paraméter változása a 3D-s mérésre vezethető vissza [1].



3. ábra: ISO 21920-2: profilszűrők [3]

Az új szabvány kétféle szűrőt és egy operátort különböztet meg a korábbi λ_s , λ_c , λ_f határhullámhossz helyett, melyeket a 3. ábra szemléltet. Ezeket az ISO 25178 szabvány a felületek vizsgálatra vonatkozóan már tartalmazta korábban.

- S-aluláteresztő szűrő, ami az N_{is} áteresztési (nesting) indexnél nagyobb hullámhosszú összetevőket tartja meg.
- L-feluláteresztő szűrő, ami az N_{lc} áteresztési (nesting) indexnél kisebb hullámhosszú összetevőket tartja meg.
- F-operátor olyan feluláteresztő szűrő, ami az N_{if} hullámhossznál kisebb összetevőjű elemeket tartja meg, azonban általában az alakhibát (formát) szűri.



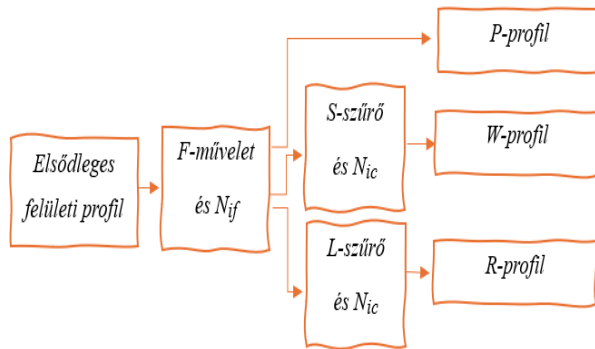
4. ábra: Elsődleges profil meghatározása metszettepontos mérésnél az ISO 4287 és ISO 21920-2 szabványokban

Az elsődleges profil, a P-profil meghatározása több típusú profilból is származtatható (ld. 2. ábra), N_{is} áteresztési indexű S-profil szűrő segítségével. Itt a korábbi szabványhoz képest változás történt: a műveletek fordított sorrendben követik egymást. Míg az ISO 4287 szerint a névleges formaeltávolítás után λ_s szűrő következett, az új szabvány alapján a F-műveletet csak szűrés után alkalmazzák (ld. 4. ábra). Ez azoknál a profiloknál jelenthet számottevő különbséget, ahol az elsődleges felület profil

valamilyen formát is tartalmaz. (Az elsődleges profil az S-F-felületből is származtatható, ami az S-szűrő és az F-operátor művelet után kapott felület.)

- W-profil (hullámossági profil): P-profilból L-profil-szűrővel, N_{ic} áteresztési index alkalmazásával határozható meg
- R-profil (érdességi profil): P-profilból S-profil-szűrővel, N_{ic} áteresztési index alkalmazásával határozható meg.

Ez megegyezik a korábbi gyakorlattal, és az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra: P-, W- és R-profilok meghatározása az ISO 2190-2 szabvány alapján

A kiértékeléshez szükséges referenciavonal (alap- vagy középvonal) a korábbi szabványhoz hasonlóan kerül meghatározásra. Az alapvonal meghatározása az F-művelet alkalmazásakor Gauss-illesztéssel (legkisebb négyzetek módszere) történik.

A kiértékelési hossz meghatározása nem változott, azonban a jelölése módosult. Míg az ISO 4287 szabványban l_n -nel jelölték, az új szabványban l_e lett a jelölése. A mintavételi vagy alaphossz (l_p , l_r , l_w) neve és jelölése is módosult, hogy elkerüljük a diszkrét profilon lévő pontok mintavételével való összetéveszthetőséget (angol nyelvben sampling length és sampling distance). Az új szabványban „szakaszhossz” lett az elnevezése, és l_{sc} jelölést kapott. Mivel a magyar szóhasználatban ennek nincs jelentősége, így a továbbiakban is az alaphossz megnevezést használjuk. Utolsó eltérés: az előzőekben említett névváltozáshoz igazodva, az alaphosszak számának jelölése is megváltozott: a korábban használt (n) helyett az új szabványban a meghatározott jelölés (n_{sc}) lett. [5]

2.2 Parametrikus változások

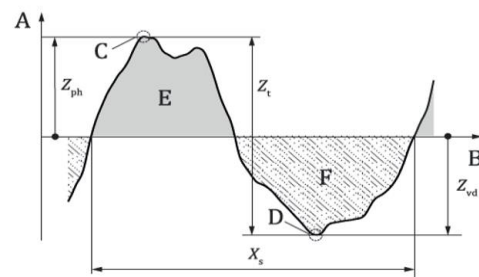
Az ISO 2190 szabványra is igaz marad, hogy minden paraméter (R_{xxk} , P_{xxk} kivételével) a P-, R- és W-profilra is egységesen értelmezhetőek.

A paraméterek csoportosításában teljesen új szemléletet követ az új szabvány [6]. A korábbi, matematikai alapú csoportosítás helyett geometriai sajátosságokon alapuló szemléletet vezet be. Új paramétercsoportosítás a mezőparaméterek – *field parameters* – (magassági, térközi, hibrid, anyagarány-, térfogatparaméterek), amelyek meghatározása minden esetben a kiértékelési hosszon történik, és valamilyen módon tartalmazzák a „teljes mérési

mező” minden mintavételi pontjának információit. A másik nagy csoport a geometriai sajátosságok – *feature parameters* – csoportja, amik a profil egyes geometriai sajátosságainak jellemzésére szolgálnak. Ide tartoznak a csúcsmagasság- és fenékpont-mélység-paraméterek, a profilelemek egyes jellemzői (pl.: profilelemek átlagos távolsága) és a profil sajátosságait, jellemző paraméterek (pl.: csúcscsúsz, görbület).

Ennek a felületi sajátosságokat kihangsúlyozó szemléletnek az eredménye, hogy a profilelemek azonosítása és jellemzése sokkal részletesebbé vált a 2D-s mérésekre vonatkozóan is.

Míg az ISO 4287-es szabvány az érdességszcúcsokat és -völgyeket azonosította, addig az ISO 2190 a csúcscsúsz és völgyek azonosítása mellett külön hangsúlyt fektet a csúcs- és fenékpontok meghatározására (ld. 6. ábra).

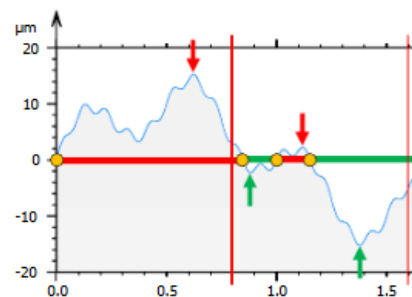


A	Magasság
B	x tengely (referenciavonal)
C	Hegycsúcs
D	Fenékpont
E	Hegy
F	Völgy

6. ábra: Profilelemek változása [3]

Az ISO 2190-2 új, a geometriai jellemzők kiemelésére használt eljárása a szegmentáció (a 3D-s mikrotopográfiára vonatkozó ISO 25178 szabvány ezt már korábban is alkalmazta). A szegmentálásnak három típusa van:

- 1) Csúcsmagasságon és fenékpontmélységen alapú paramétereknél a hegyek és völgyek azonosításával történik a szegmentáció, ahol az ordinátaértékek előjelet váltanak vagy nullával egyenlők.

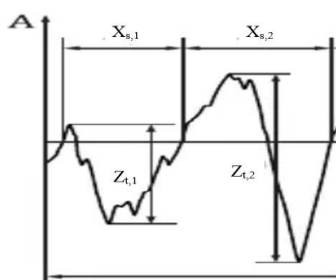


7. ábra: Csúcscsúsz és fenékpontok azonosítása [4]

A 7. ábra első alaphosszán egy csúcspontot (R_{p1}), a második alaphosszán pedig egy csúcs- (R_{p2}) és két fenékpontot (R_{v1} és R_{v2}) azonosíthatunk az új szabvány szerint. A vizsgált profil elejét vagy végét mindig hegynek vagy völgynek kell tekinteni.

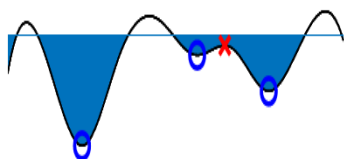
2) A profilelemek alapuló paramétereknél, keresztező – *crossing-the-line* – szegmentációt alkalmaznak. Ez a módszer a profil mentén azokat a pontokat azonosítja, ahol a profil átlépi a referenciavonalat. A meghatározás négy lépésből áll:

1. Tetszőleges magasságú és mélységű hegyek és völgyek észlelése a kiértékelési hosszban belül.
2. A számunkra jelentéktelen hegyek és völgyek törlése, alkalmazva a csúcsmagasság és a fenékpont-mélység megkülönböztetését.
3. A számunkra jelentős profilú hegy és völgy szomszédok összevonása.
4. Profilelemek meghatározása a kiértékelési hosszban oda és vissza is. Ezzel együtt megkapjuk az X_{si} , az i -edik profilelem-távolságát és a Z_{ti} , az i -edik profilelem magasságát is. (ld. 8. ábra).



8. ábra: Profilelemek meghatározása [3]

3) A felületi sajátosságokon alapuló paramétereknél a vízválasztó – *watershed* – szegmentációval választják el a topográfiai jellemzőket úgy, hogy a felületet mélyedések és dombok mentén osztják fel. A „víz a völgyekben gyűlik össze”, és a dombok választják el a különböző területeket az l_e értékelési hosszban keresztül.

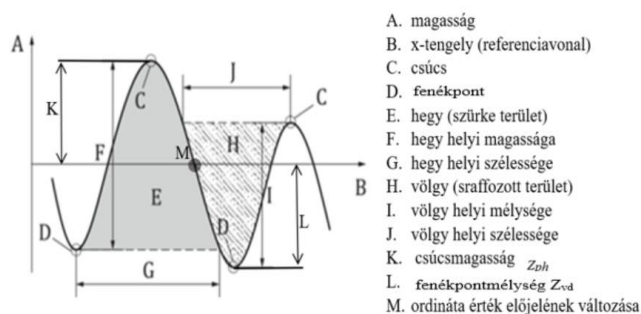


9. ábra: Vízválasztó szegmentáció [7]

A különböző szegmentációk máshogy definiálják a profilelem részeit. Míg a vízválasztó szegmentációs módszer szerint a hegycsúcsa a profil olyan pontja, ami magasabb, a fenékpontja meg olyan pontja, ami alacsonyabb, mint a szomszédságába lévő összes többi pont. A referenciavonalhoz képest viszont annyiban változik a meghatározásuk, hogy a hegycsúcs a hegy legalacsonyabb pontja a fenékpont meg a völgy legalacsonyabb pontja. Ehhez kapcsolódóan létezik a csúcsok száma paraméter (n_p) ami a jelentős csúcsok számát jelöli, és a jelentős fenékpontok száma paraméter (n_v) is, ami a fenékpontok számát jelöli a kiértékelési hosszban belül. Hasonlóan, a hegy és a völgy definíciója is változik attól függően, hogy milyen szegmentációt alkalmazunk. A vízválasztó szegmentáció szerint a hegy egy csúcs körüli terület, amelynek az összes felfelé irányuló útja a csúcson ér véget, míg a völgy a fenékpont körüli

terület, amelynek az összes lefelé irányuló útja a fenékponton ér véget (ld. 9. ábra). A referencia-vonalhoz képest viszont a hegyet és a völgyet két szomszédos pont határozza meg, amit a profil és a referenciavonal keresztezésével kapunk. Míg a hegy a két pont közötti rész, ami a vonal felett található, addig a völgy az a terület a két pont között, ami a vonal alatt található [7].

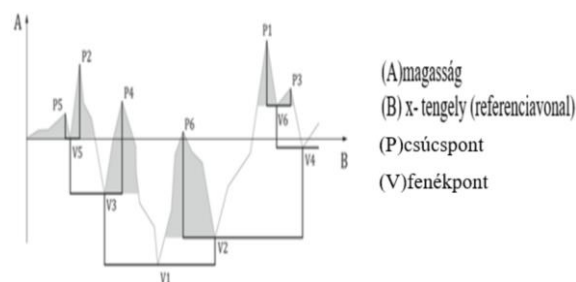
Továbbá profilon a topográfiai jellemzők besorolása szerint a hegy és a völgy vonal típusú jellemző, míg a csúcs és a fenék pont típusú jellemző lett.



10. ábra: Hegy/völgy lokális magassága/mélysége, szélessége, térfogata [3]

Ehhez kapcsolódó paraméterek (ld. 10. ábra) a csúcsmagasság (Z_{ph}) és a fenékpontmélység (Z_{vd}). Minden korábbi paramétert is a hegycsúcs és a fenékponthoz viszonyítva határozzuk meg az új szabvány szerint.

Az új profilelemekhez kapcsolódik a hegycsúcsok és a fenékpontok közötti kapcsolatot ábrázoló grafikon, amelynek egyik változata a hegycsúcsváltozás-fa, amely a csúcsok lokális magassága szerint ábrázolja a csúcsokat a sorok végén, míg a fenékpontokat az összekötő vonalak jelölik. Ennek fordítottja a völgyváltozás-fa, amely a fenékpontok és csúcsok közötti kapcsolatokat a völgyek lokális mélysége szerint ábrázolja.



11. ábra: Hegycsúcsváltozás-fa [3]

Nemcsak a felületi érdességsúcsok és -völgyek jellemzésében vezet be új módszereket a szabvány a különféle szegmentációkkal, hanem kibővíti a térközi jellemzők kiértékelésének módszertanát is.

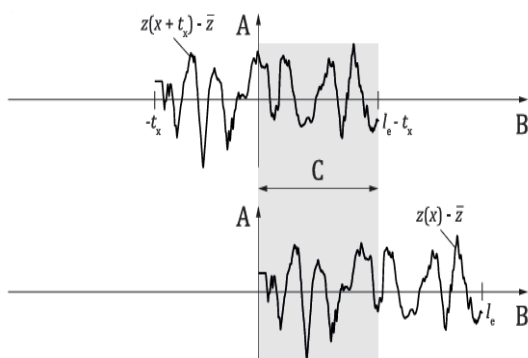
A felületek vizsgálatakor az izotrop vagy anizotrop jellegről a Fourier-transzformáció, vagy az autokorrelációs függvény alkalmazása ad információt.

Az autokorrelációs függvény (ACF) a profil globális szerkezetét és periodicitását vizsgálja, megmutatja, hogy a $z(x)$ profil egy adott x pontja mennyire hasonlít saját

magához egy bizonyos t_x távolsággal eltolva, ez azonosítja a felületi mintázatokat és periodikus jellemzőket. Az ehhez tartozó paraméter az autokorrelációs hossz $R_{al}(s)$ (ISO 21920-3 határozza meg az s értékét). Az autokorreláció vizsgálata több évtizedes múltra tekint vissza, de a korábbi 2D-s szabványok ezt a módszert nem tartalmazták. Az ISO 25278 3D-s topográfiai szabvány alkalmazza ezt a paramétert, és most az ISO 21920 is lehetőséget biztosít ennek meghatározására.

Azonban a felületi érdesség és hullámosság teljes körű frekvenciaalapú elemzéséhez a Fourier-transzformációt használjuk. Ez lehetővé teszi, hogy a felület különböző mérettartományú egyenetlenségeit térfrekvenciák szerint rendezzük, és azonosítsuk a gyártási folyamatokból eredő különböző komponenseket. A Német Autóipari Szövetség (VDI) a 2000-es évek elején adta ki a domináns hullámhosszok kiértékelésére vonatkozó ajánlását [8], amit az új szabvány most széles körű alkalmazásra is javasol.

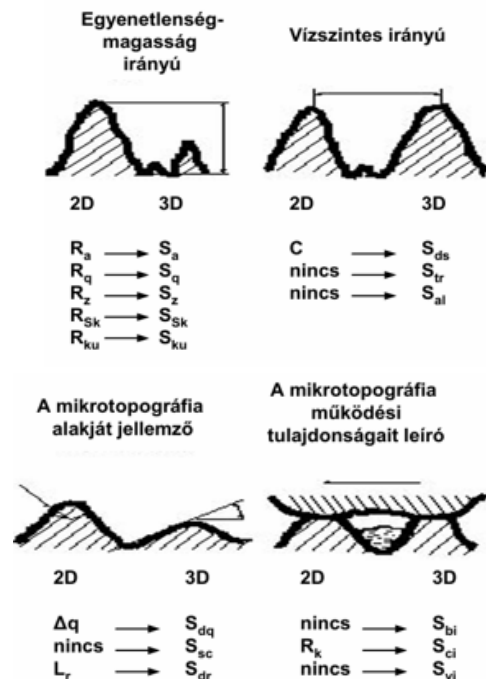
A Fourier-transzformáció és az autokorrelációs függvény között szoros matematikai kapcsolat van. Az autokorrelációs függvény Fourier-transzformáltja az úgynevezett teljesítményspektrum ($S(p)$), amely megmutatja, hogy mely frekvenciák járulnak hozzá leginkább a felületi szerkezethez. A Fourier-analízishez tartozó fogalmak még az amplitúdó spektrális sűrűsége és a teljesítmény-spektrálsűrűség. Az első megmutatja, hogy a különböző térfrekvenciákhoz tartozó komponensek milyen intenzitással vannak jelen a felületi struktúrában, míg a másik azt írja le, hogy a felületi profil különböző térfrekvenciáinál milyen a teljesítmény eloszlása, az ehhez tartozó paraméter a domináns térbeli hullámhossz (R_{sw}).



12. ábra: Autokorrelációs hossz átfedési intervalluma [3]

3 MEGVÁLTOZOTT ÉS ÚJ PARAMÉTEREK

Az új szabvány a 3D-s felületi mikrotopográfiai vizsgálatok paramétereinek megfelelő 2D-s paramétereket vezetett be, így a legtöbb esetben az ott használt jelölést dolgozta át. Felsorolásunkban csak az újonnan behozott paramétereket említjük meg, a csoportosításokban szereplő többi paraméter már meg volt határozva korábban az ISO 4287 által is (ld. 13. ábra).



13. ábra: Az ISO 21920 bevezetése előtt a mikrotegeometria és a mikrotopográfia paraméterei [1]

3.1 Új felületi jellemzők

Az új kiértékelési módszerek új jellemzők megadására adnak lehetőséget. Az alábbiakban összefoglaljuk azokat a paramétereket, amik a mikrotegeometria eddig nem vizsgált sajátosságainak, jellemzőinek az értékelésére szolgálnak. A paraméterek részletes leírását mellőzzük, csak arra hívjuk fel a figyelmet, hogy az új szabvány milyen új geometriai tényezők leírását teszi lehetővé. Továbbá minden esetben csak az érdességre vonatkozó jelölést használjuk, de a szabvány ezeket a paramétereket az elsődleges és a hullámossági profilon is értelmezi.

- R_{dl} (developed length): Profilhossz (kiterítési hossz) paraméter, ami megmutatja a profilvonal teljes hosszúságát.
- R_{dr} (developed length ratio): Relatív profilhossz (relatív kiterítési hossz), ami megmutatja a profilvonal hosszának és az l_e kiértékelési hosszának a relatív arányát. Ha az érték 0, az azt jelenti, hogy a profilvonal hossza megegyezik a kiértékelési hosszal, azaz nincs érdesség a profilon. Az érték növekedése egyre tagoltabb profilra utal. 3D-s megfelelője az S_{dr} (developed interfacial area ratio).
- R_{smq} és R_{cq} a profilelemek távolságának (térközének) és magasságának szórását adja. A korábbi szabványok nem tartalmazták az egyes jellemzők szórását. Újdonság, hogy ez önálló paraméterként került be a szabványba.
- R_{pc} (csúcscsúsz), R_{pd} (érdességsúcsok sűrűsége), R_{vd} (völgyek sűrűsége) paraméterek az egységnyi hosszra eső profilelemek, csúcsok és völgyek számát mutatják. Ezek a jellemzők a korábbi ISO szabványban nem szerepeltek, de pl. az amerikai ASME B 46.1. érdességi szabvány meghatározott csúcscsúsz paramétert. Erre most már az ISO is részletes értékelési lehetőséget ad, különösen úgy,

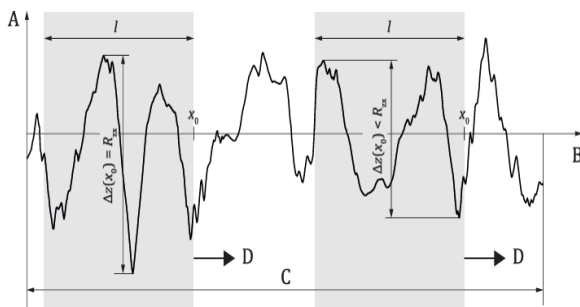
hogy az R_{pc} paraméter a *crossing-the-line* szegmentációhoz, míg az R_{pd} és R_{vd} paraméterek a *watershed* szegmentációhoz kapcsolódnak.

- R_{mpc} és R_{mve} a csúcsok és a völgyek görbületét jellemző paraméterek. A korábbi szabványok semmilyen formában nem értékelték a geometriának ezt a jellemzőjét, így ezzel teljesen új lehetőség nyílik a kiértékelésben.

3.2 Kiegészítő paraméterek

Az új kiértékelési lehetőségek a korábban is használt és paraméterekkel jellemzett geometriai sajátosságok kiértékelésére is nyújtanak új módszereket. A továbbiakban kategorizálva mutatjuk be azokat a paramétereket, amiknek a korábbi szabványokban is volt megfelelője, de most a széleskörű lehetőségek ugyanannak a geometriai sajátosságnak a jellemzésére kettő vagy több különböző paramétert is meghatároznak. Illetve az is megváltozott, hogy egyes paraméterek, amelyek eddig a kiértékelési hosszon kerültek kiértékelésre, most az összes szekcióhosszon kiszámításra kerül, majd ezek átlaga adja a paraméter értékét (pl. a soron következő R_z paraméternél is).

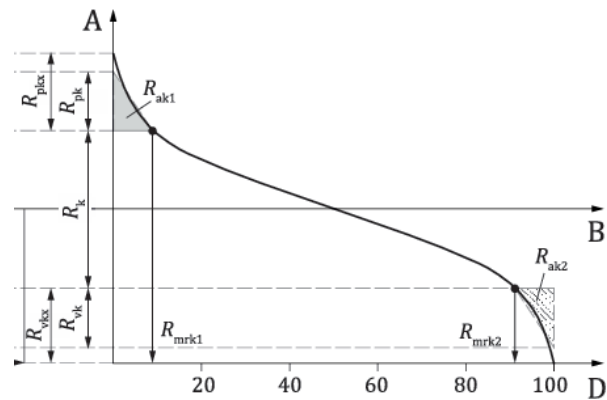
- Az R_z maximális átlagos profilmagasság paramétert megtartotta a szabvány, de kiegészítésként találunk nagyon hasonló jelentéstartalmú paramétereket. Ilyen az R_{zx} (alaphossz egyenletlenség magassága) paraméter, ami a kiértékelési hosszon (l_e) mozgó l hosszúságú szakaszon kiszámított legmagasabb és a legalacsonyabb pont közötti különbség maximális értéke (ld. 14. ábra). Hasonlóan a profil maximális egyenletlenségére utalnak az R_t , R_c , R_{cx} és R_{10z} paraméterek. Az R_t a profil érdesség magasságát, a legmagasabb és legalacsonyabb pont távolságát, adja a teljes kiértékelési hosszon, az R_c a profilelemek átlagos magasságát, míg az R_{cx} a profilelemek legnagyobb magasságát adja a keresztező (*crossing-the-line*) szegmentációt használva, míg az R_{10z} paraméter a vízválasztó (*watershed*) szegmentációval meghatározott 5 legmagasabb csúcs és legmélyebb völgy átlagos távolságát mutatja.



14. ábra: Alaphossz egyenletlenség magassága, l hosszúságú mozgó szakasz a kiértékelési hosszon [3]

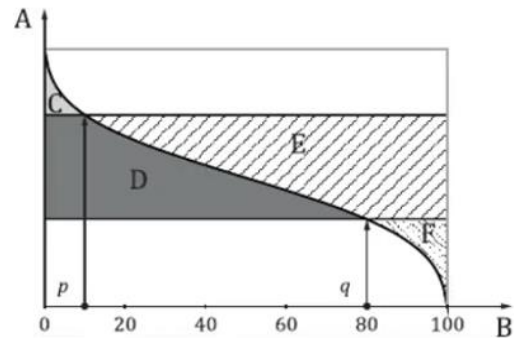
- A közepes profil meredekségéből (R_{dq}) kiindulva az új szabvány két kiegészítő paramétert határoz meg:
 - R_{da} : abszolút gradiens számtani átlaga, mely a felület szabályosságát és simaságát jellemzi,

- R_{dt} : maximális abszolút gradiens segít meghatározni a profil éles változásait.



15. ábra: Hordfelületgörbe és paraméterei [3]

- A hordfelületgörbéből származtathatjuk a korábban is ismert paramétereket (ld. 15. ábra), de ezeket bővíti az új szabvány. Egyrészt az R_{pk} és R_{vk} paramétereket kiegészíti az R_{pkx} és R_{vix} paraméterekkel; másrészt a hordfelületi görbe 3D-s értékelésből (ISO 25178) származó értelmezéssel kerülnek meghatározásra az anyagtérfogat- és ürestérfogat-paraméterek (ld. 16. ábra). Így a 15. ábrán szereplő R_{ak1} paraméternek egy alternatív meghatározását adja a 16. ábrán C-vel jelölt érdességsúcsanyagtérfogat-paraméter (R_{vmp}), míg az R_{ak2} paraméter megfelelője az R_{vvv} érdességvölgyürestérfogat-paraméter.



16. ábra: Ürestérfogat- és anyagtérfogat-paraméterek (C terület paramétere: R_{vmp} , F terület paramétere: R_{vvv}) [3]

- A térközi jellemzők közül továbbra is használatos az R_{sm} paraméter (profilelemek átlagos távolsága), de a térközök jellemzése kibővíti. Egyrészt megjelent az R_{smx} paraméter, ami megadja a maximális profilelem-távolságot, másrészt az autokorrelációs és domináns hullámhossz-analízis két új paraméterrel bővítette a hullámhossz jellegű kiértékelés lehetőségeit:
 - az R_{al} paraméter az autokorrelációs hosszt, míg
 - az R_{sw} a domináns hullámhosszt adja meg.
- Az R_p csúcsmagasság és R_v völgymélység meghatározása a korábban ismert profilelem-azonosítás mellett a keresztező és vízválasztó szegmentációkkal is lehetséges. Így az R_p paraméterrel hasonló tartalmú az R_{pt} és az R_{5p} , míg az R_v paraméter kiegészítői az R_{vt} és R_{5v} paraméterek.

4 KÖVETKEZTETÉSEK

Következtetéseinket az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- A szűrésnél változást jelent, hogy az F-operátor alkalmazása csak az N_{is} indexű, S-profilszűrő után történik, azaz először a kistérközű, zavarások eltávolítása történik és csak utána az alakszűrés.
- Az új szabvány teljesen új gondolkodásmódot követ, melynek alapjai a korábbi 3D-s ISO 25178 szabványon alapulnak. Az érdességi profilok kiértékelésében kiemelt hangsúlyt kap a felületi sajátosságok azonosítása. Ehhez a korábbi profilelemek meghatározó technika mellett további két szegmentáció alkalmazására is lehetőséget biztosít a szabvány: ezek a keresztező (*crossing-the-line*) és a vízválasztó (*watershed*) módszerek. Ez utóbbi az ISO 12085, *motif* alapú kiértékelésen nyugszik.
- Az új szabvány az R_{al} és R_{sw} paraméterekkel lehetőséget teremt az autokorrelációs és domináns hullámhossz-analízis alkalmazására.
- Az újonnan bevezetett szegmentációk eddig nem használt, új paramétereket definiálását implementálták. Ilyenek az R_{dl} profilhossz, az R_{dr} relatív profilhossz, az R_{pc} csúcscsúsz, az R_{mpc} profilcsúcsgörbület és R_{mve} profilvölgygörbület. A különböző szegmentációk révén azonos geometriai sajátosságokat többféle módon jellemezhetünk. Így a korábban ismert R_z és R_t paraméterek mellett megjelent az R_{zx} , R_c , R_{cx} és R_{10z} paraméter. Az R_{pk} és R_{vk} paraméter kiegészült az R_{pkx} és R_{vtx} paraméterekkel, míg az R_{ak1} és R_{ak2} anyag- és ürestérfogati paraméterek mellett megjelent az R_{vmp} és R_{vvv} paraméterpár. Az R_{dq} paramétert kiegészíti az R_{da} és R_{dt} paraméter, míg az R_p és R_v paramétereket kiegészítik az R_{pt} , R_{5p} , valamint az R_{vt} és R_{5v} paraméterek.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Dr. Horváth Sándor, A felületi hullámosság 2D-s és 3D-s jellemzése, a működési tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata és elemzése. Budapest. 2008
- [2] ISO 4287:1997, ISO hivatalos weboldal szabványkereső:
<https://www.iso.org/standard/10132.html> (2024.12.12)
- [3] ISO 21920 2:2021, ISO hivatalos weboldal szabványkereső:
<https://www.iso.org/standard/72226.html> (2025.02.10)
- [4] François Blateyron, Differences between ISO 21920-2 and ISO 4287, 2023, Paris,
https://www.researchgate.net/publication/369169160_Differences_between_ISO_21920-2_and_ISO_4287 (2025.02.16)
- [5] François Blateyron: The profile standards ISO 21920, 2006-2024 Digital Surf,
<https://guide.digitalsurf.com/en/guide.html> (2025.03.20)
- [6] François Blateyron, The profile standards ISO 21920 2006-2025 Digital Surf, France,
<https://guide.digitalsurf.com/en/guide-iso-21920-parameters.html> (2025.03.18)
- [7] A. Müller, M. Eifler, A. Jawaid and J. Seewig, Feature characterization for profile surface texture, Germany 2025,
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2051-672X/adaa07/pdf> (2025.03.22)
- [8] VDA 2006: Oberflächenbeschaffenheit, Regeln und Verfahren zur Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit, 2002