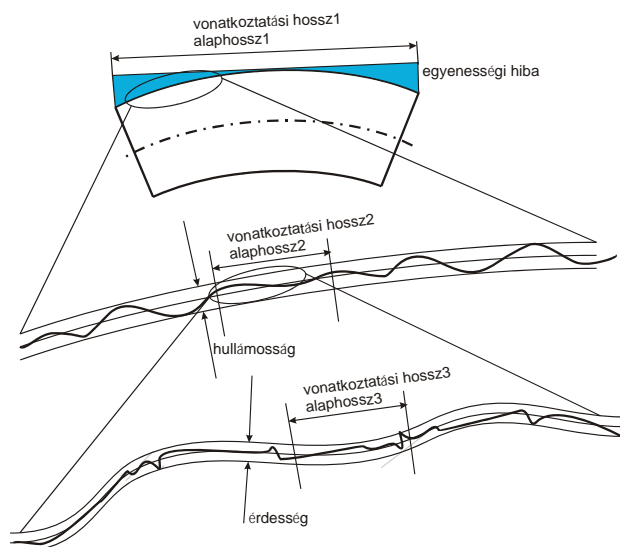


Az érdességmérők összehasonlító mérést végeznek, a mérés alapja az érdességmérő kalibrálása érdességi etalonon.

A valós felület eltérése a névleges, az ideális felülethez képest három összetevőből áll: a felület alakhibájából, hullámosságából és érdességéből. A felületi érdesség alatt a felület kis térközü eltéréseit (sem a teljes felületre vonatkozó, mert az az alakhiba, sem az annál egy fokozattal kisebbet, mert az a hullámosság) értjük. A hullámosságot az érdességtől szűréssel (Fourier-analízissel) választjuk el. A szűrés hullámhossza az ún. alaphossz (cutoff).



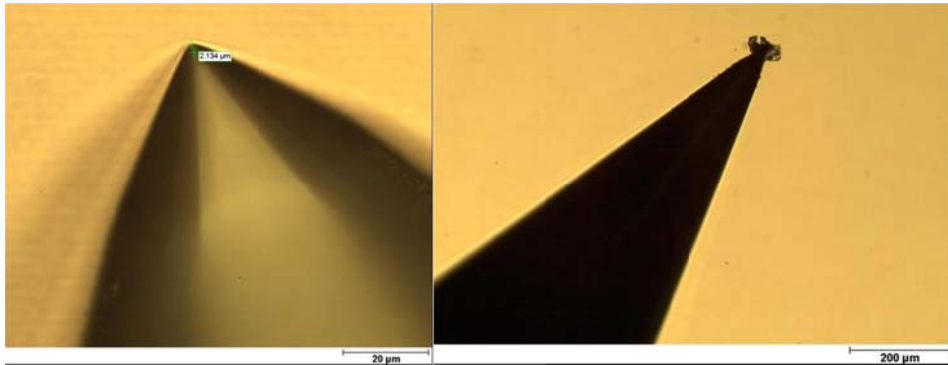
8.3 ábra: Az alakhiba, a felület hullámosságának és az érdességnek az értelmezése [DIN 4760]

A felületi érdesség mérésekor alkalmazandó **alaphosszak** a következő táblázat mutatja. Az alaphosszt az érdesség függvényében kell megválasztani, minél érdesebb a felület, annál nagyobb alaphosszal kell mérni és kiértékelni, simább felületet pedig kisebbel.

periodikus profilok	aperiodikus profilok		határhullámhossz (Cutoff)	egyedi/teljes mérési hossz
barázdaszélesség RS_m	R_z	R_a	λ_c	l_r/l_n
mm	μm	μm	mm	mm
0,013-0,04	-0,1	-0,02	0,08	0,08/0,4
0,04-0,13	0,1-0,5	0,02-0,1	0,25	0,25/1,25
0,13-0,4	0,5-10	0,1-2	0,8	0,8/4
0,4-1,3	10-50	2-10	2,5	2,5/12,5
1,3-4	50-200	10-80	8	8/40

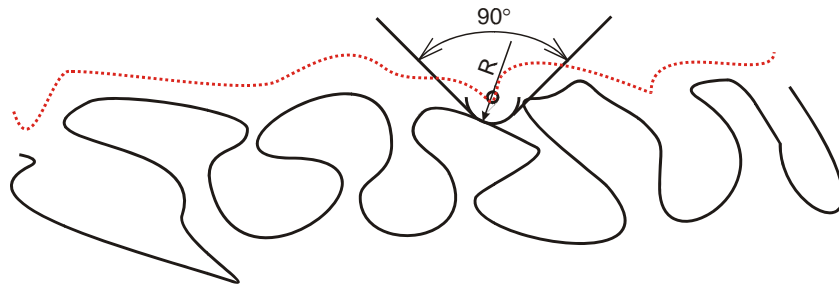
8.1 táblázat: A különböző érdességek mérésénél alkalmazandó alaphosszak (DIN EN ISO 4288, ASME B46.1)

A felületi érdesség mérésénél meghatározó fontosságú a mérés helyének és irányának, de az érzékelés módjának (tűs => tű geometriája és a mérőerő nagysága, vagy optikai érzékelés), a letapogatás sebességének és a pontsűrűségnek a megválasztása is.



8.4 ábra: 90°-os 5 µm-es lekerekítésű és 40°-os 2 µm-es lekerekítésű tű hegye érdességmérőhöz (optikai mikroszkópos felvétel, nagyítás 500x)

Az érdességmérésnél a mérés nem a tényleges felületi pontokat, hanem azokkal valamilyen (remélhetőleg valamilyen ismert és állandó összefüggésben álló) közelítő, vagy burkolófelületet szolgáltat eredményül.



8.5 ábra: Felület határolóvonala, a tapintótű és az érzékelt burkolóvonal (pontvonal)

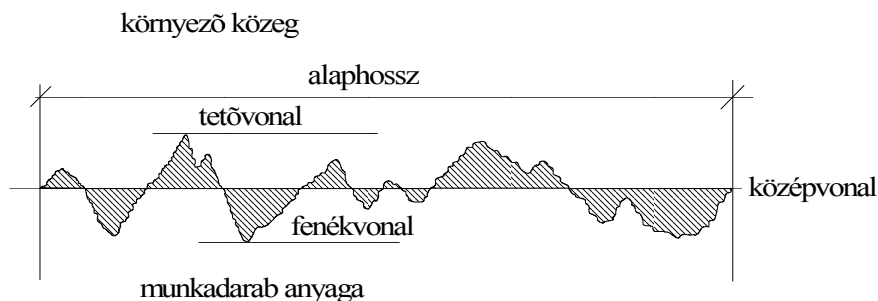
A felületi érdességgel kapcsolatban a következő megnevezések merülnek fel:

Alaphossz: az a szakasz, amelyen belül a ráfékvő profiltól (általában ez egyenes) való eltérésként értelmezzük az érdességet. Az alaphossz határozza meg, hogy az alakhiba kiszűrése után maradó eltérés hogyan osztjuk fel hullámosságra és érdességre. Minél kisebbre választjuk az alaphosszt, annál nagyobb rész kerül az eltérésből a hullámosságra és annál kevesebb marad az érdességnél.

Alapvonal (vagy fenékvonal): az a bázisvonal, amelytől a profil pontjainak távolságát mérve adjuk meg az érdesség számértékét

Kiemelkedések: a profilnak az alapvonaltól legtávolabbi pontjai

Bemélyedések: a profilnak az alapvonalhoz legközelebb eső pontjai



8.6 ábra: Az érdességi profil és az érdességgel kapcsolatos alapfogalmak

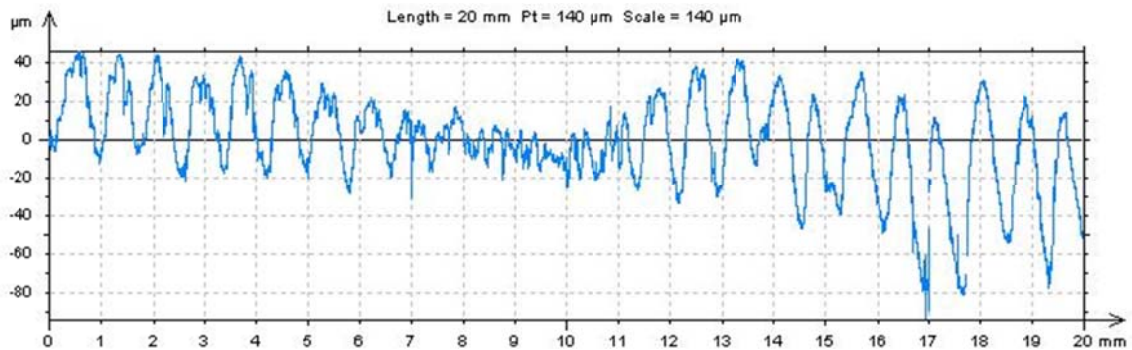
Középvonal: az alaphossz határain belül a névleges profil alakjával megegyező vonal, amely az észlelt profilt úgy osztja ketté, hogy a rá vonatkoztatott és az egymástól egyenlő távolságra felvett profilkoordináták négyzetösszege minimális, tehát

$$\sum_{i=1}^n y_i^2 = \min, \text{ illetve } \int_0^l y^2 dx = \min \quad (8.1)$$

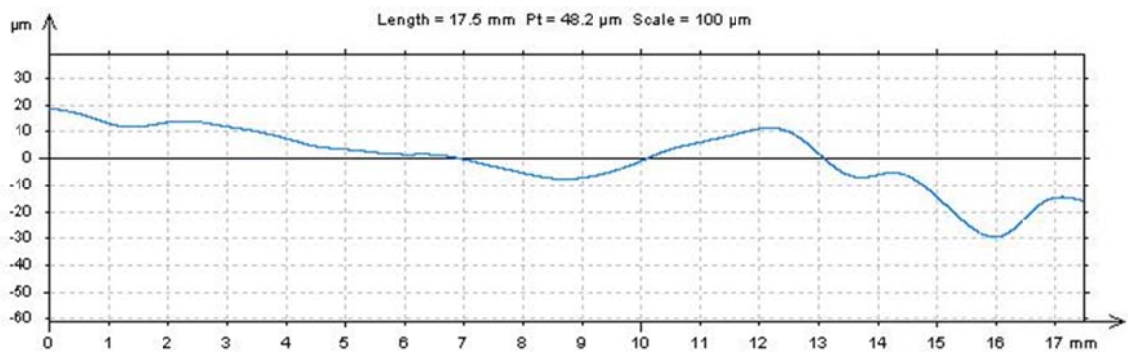
A középvonal úgy is meghatározható, hogy az alaphosszon belül az általa és a profil által határolt területek összege a középvonal mindkét oldalán azonos legyen.

Burkolóvonal: a profilon végigvezetett (gördített, vagy csúsztatott) meghatározott sugarú kör középpontjának a pályája, amely a profil kiemelkedéseire illeszkedik. Ez a vonal az adott kör sugaraival azonos körívekből tevődik össze. Tulajdonképpen minden észlelt profil valamilyen burkológörbének tekinthető, mivel konkáv bemélyedéseket nem tudunk (jelenleg) érzékelni.

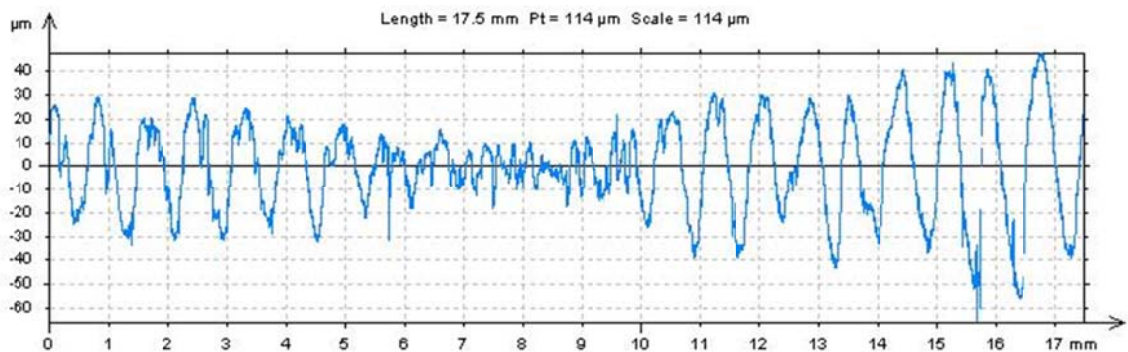
A legfontosabb érdességi jellemző az érdességi profil. Az érdességi profil úgy keletkezik, hogy az érzékelt profiltól kiszűrjük az alakhibát és a hullámosságot.



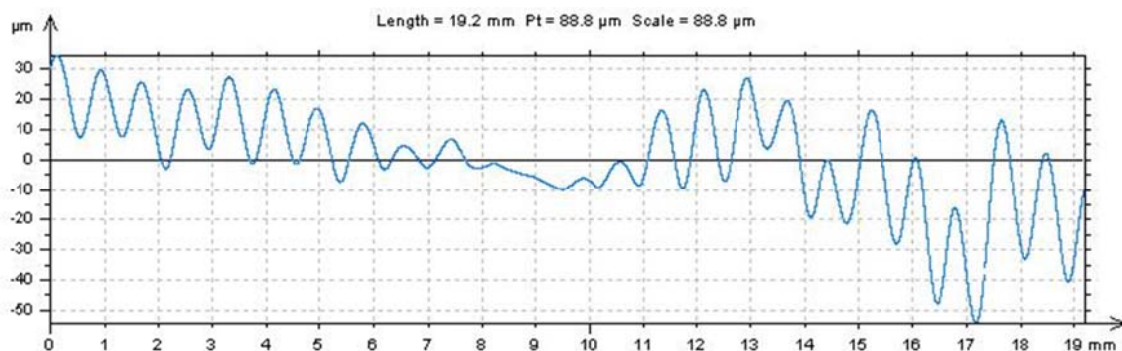
8.7 ábra: Felület burkológörbéje felületi érdességmérővel érzékelve (TALYSURF CLI2000)



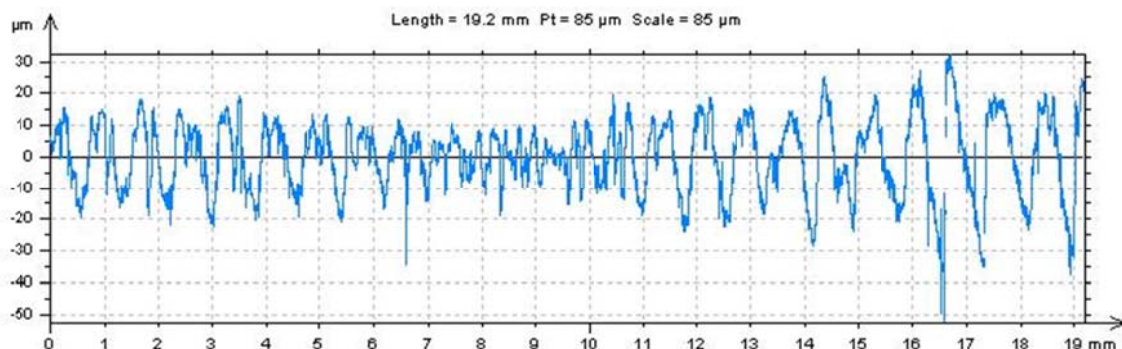
8.8 ábra: Az előző burkológörbéből 2,5 mm hullámhosszúságú szűrővel szűrt alakhiba és hullámosság



8.9 ábra: A felület burkológörbéből 2,5 mm-es hullámhosszúságú szűrés utáni érdességi profil



8.10 ábra: A felület burkológörbájéből 2,5 mm-es hullámhosszúságú szűrővel szűrt alakhiba és hullámosság



8.11 ábra: A felület burkológörbájéből 2,5 mm-es hullámhosszúságú szűrés utáni érdességi profil

Az érdességi profilnak egyenletesnek kell lennie, egyes kiugró értékek nem lehetnek a kiértékelésben, mert ezek helyi hibák (vagy környezeti rezgések, zajok). Ügyelni kell arra, hogy a kiértékelési/szűrési alaphossz és ennek megfelelően a mérési hossz összhangban legyen a felület érdességével a 8.1 táblázat szerint.

Az egyenetlenségek magasságával kapcsolatos érdességi paraméterek

Átlagos érdesség (R_a)

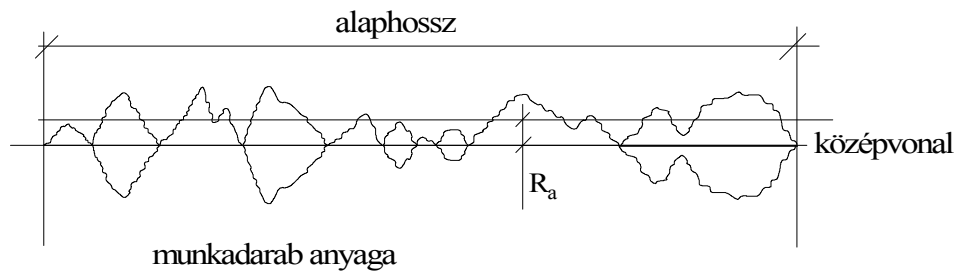
Az „a” index az aritmetikai közép-re utal. Az észlelt profil pontjainak a közép-vonaltól mért átlagos távolsága az alaphossz tartományában. Számításakor a profilpontok közép-vonaltól mért távolságainak abszolút értékeit kell összegezni (és átlagolni) az alábbi módon:

$$R_a = \frac{1}{\text{alaphossz}} \int_0^{\text{alaphossz}} |y(x)| dx, \text{ vagy közelítőleg } R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y(x_i)| \quad (8.2)$$

ahol

n az alaphosszon belül kiválasztott profilpontok száma (minél nagyobb legyen!)

$y(x_i)$ az egyes profilpontok távolsága a közép-vonaltól



8.12 ábra: Az érdesség középvonalának értelmezése

Egyenetlenség magasság (R_z)

A „z” index a német „Zehnpunktstand” (tíz pont távolsága) kezdőbetűje. Az alaphosszon belül észlelt profil öt legmagasabb és öt legmélyebb pontjának az átlagos távolsága

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \quad (8.3)$$

ahol $R_1 \dots R_{10}$ az alaphosszon belül az öt legmagasabb kiemelkedés (páros indexűek) és legmélyebb bemélyedésének (páratlan indexűek) távolsága egy, az alapvonalal párhuzamos vonaltól

A maximális egyenetlenség (R_{max}) a tetővonal és a fenékvonal távolsága, illetve a legmagasabb kiemelkedés és a legmélyebb bemélyedés távolsága.

Simasági mérőszám (R_q)

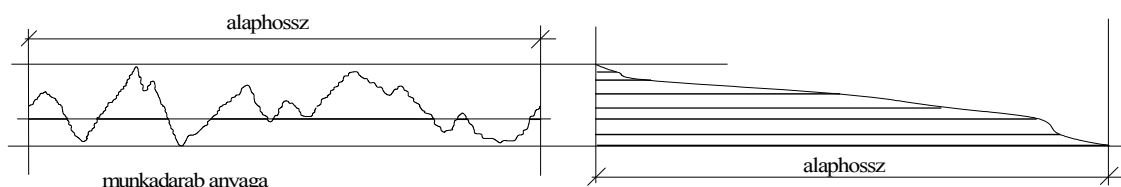
A „q” index a német „quadratisch” (négyzetes) kezdőbetűje, a profilpontoknak a középvonaltól mért távolságainak négyzeteinek számtani közepe (átlaga)

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx} \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y^2(x_i)} \quad (8.4)$$

Az egyenetlenség profilirányú méretével kapcsolatos jellemzők, az egyenetlenség hullámhossza, az egyenetlenségek közepes hullámhossza, a profil helyi kiemelkedéseinek hullámhossza, valamint a profil hossza és a profil viszonylagos hossza.

Az egyenetlenségek formájával kapcsolatos jellemzők: maga az észlelt profil, melynek iránya pontról pontra változik, jellemezhető pontról pontra a hajlásával (az adott pontba húzott érintővel), ezeknek számtani középértékével és négyzetes középértékével.

Fontos alakjellemző a **hordozóhossz**, amely a profilon belül valamilyen p magasságban a középvonallal egyenközü (akkor mondhatnánk párhuzamost, ha az alapvonal egyenes lenne) vonalszakasznak a munkadarab anyagán belül megtett szakaszainak összege.



8.13 ábra: A hordozóhossz (jobb oldali görbe) értelmezése az érdességi profil (bal oldali görbe) alapján

A hordozóhosszból az alaphosszal osztva megkapható a **viszonylagos hordozóhossz**.

A profil alakjára jellemző még a profil - ürtényező és a profilteljességi tényező.

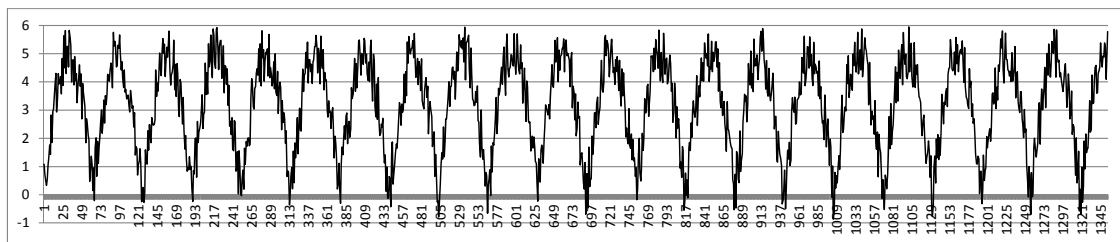
A **profil - úrtényező** az alaphossz tartományán belül az észlelt profil és a tetővonal közötti üres terület, valamint a tetővonal és a fenékvonal által határolt terület aránya.

A **profilteljességi tényező** az észlelt szelvény és a fenékvonal között az alaphosszon belül anyaggal kitöltött terület, valamint a tetővonal és fenékvonal közötti területek aránya.

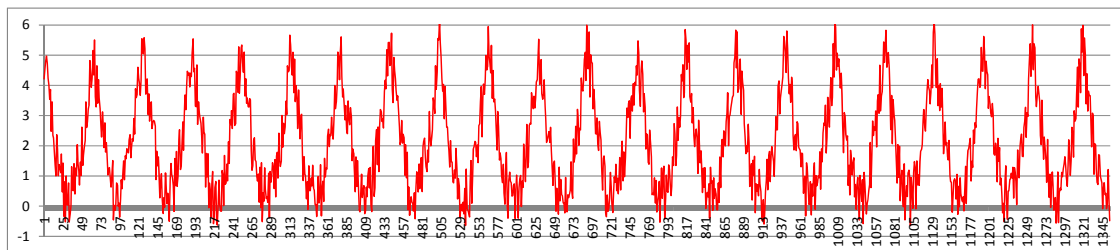
A profil - úrtényező és a profilteljességi tényező összege = 1.

Hordozóhossz diagram

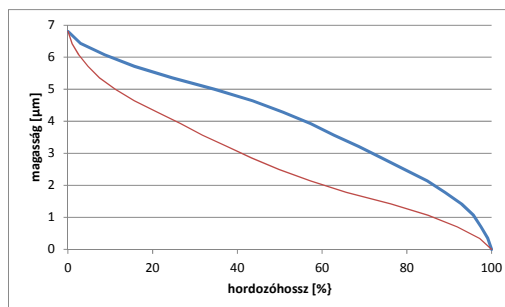
Az érdességi profil hordozóhossz-diagramja (Abbott-görbének is nevezik) azt mutatja, hogy a magasság függvényében milyen arányban van anyag. A következő ábra két jellemzően különböző érdességi profilt mutat, amelynek az egyenetlenség magasságával kapcsolatos jellemzőik (R_a , R_q , R_{max} , R_z) egyenlők.



8.14 ábra: Érdességi profil lapos tetejű kiemelkedésekkel és hegyes árkokkal



8.15 ábra: Érdességi profil hegyes kiemelkedésekkel és lapos árkokkal



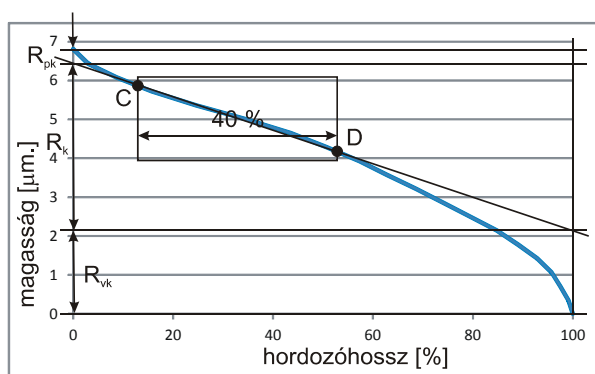
8.16 ábra: Az érdességi profilok hordozóhossz-diagramjai: lapos tetejű – vastag kék vonal, hegyes kiemelkedésű – vékony piros vonal

Minden hordozóhossz-diagram a csúcsvonalnál (0 %) 0 % hordozóhosszból indul és a fenékvonalnál (100 %) 100 %-os hordozóhosszba érkezik és mivel a befelé táguló üregeket nem tudjuk körbetapogatni, tehát az érzékelésből következően minden üreget befelé szűkülőnek érzékelünk, ezért a hordozóhossz-diagram monoton növekvő. Az a működés szempontjából kedvezőbb felület, amelyiknek a hordozóhossz-diagramja felette van a másiknak. Ha a két érdességi profilunkat középmagasságban összehasonlítjuk, akkor azt látjuk, hogy középmagasságban ($3,5 \mu\text{m}$ -nél) az első érdességi profilnál nagyobb az anyag keresztmetszete, mint az üregé, míg a második profilnál középmagasságban az üregek szélessége nagyobb az anyagénál. Ezt mutatják a hordozóhossz-diagramok is, az első 50%-os magasságban kb. 65 %-nál van, míg a második kb. 35 %-nál.

Hordozóhossz-diagram a felület kopási viselkedésére is jellemző, ahol a hordozóhossz-diagram meredeken változik, ott a kopás gyors, ahol laposan változik, ott a kopás lassú. Ennek alapján az első profil már a bejáratódáskor is kevesebbet kopik és nem kell elkopnia az érdesség 50 %-nak ahhoz, hogy a keresztmetszetnek a 60 %-a felfeküdjön. A második profilnál az érdesség 60 %-nak el kell kopnia ahhoz, hogy a keresztmetszet 60 % felfeküdjön. Ez az összehasonlítás csak olyan érdességi profiloknál használható, amelyek érdessége (R_a , R_z ...) közel egyforma.

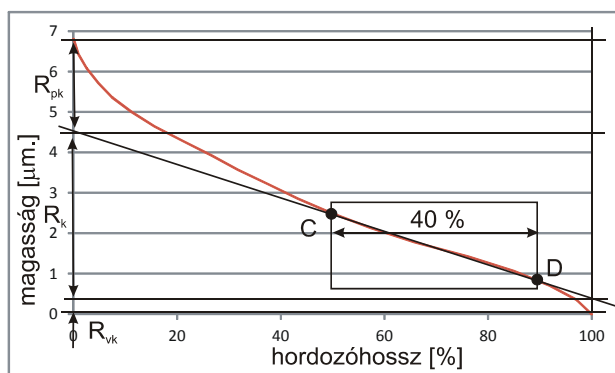
A hordozóhossz-diagramon alapulnak azok az érdességi paraméterek, amelyek egymáson elcsúszó felületek tribológiai (súrlódási, kenési, kopási) tulajdonságait számszerűsítik [ISO 13565-2 / DIN 4776].

Az érdességi profilt működés szempontjából 3 részre osztjuk: kiálló csúcsok, melyek gyorsan elkopnak, letöredeznek, az árokfenékek, melyeknek az a jelentőségük, hogy lehetővé teszik a kenőanyag megtapadását a felületen, valamint a szennyeződéseknek és a kopadékoknak helyet biztosítanak. A csúcsok és az árokfenékek közti középső tartomány a működés szempontjából mérvadó.



8.17 ábra: Az első érdességi profil R_{pk} , R_k és R_{vk} paramétereinek meghatározása

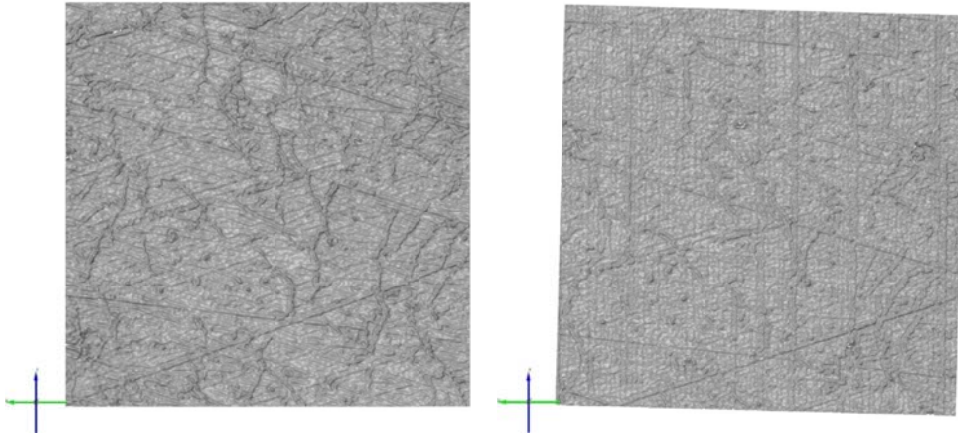
A hordozóhossz-diagramra úgy kell egy 40 % szélességű ablakot illeszteni, hogy a hordozóhossz-diagram a lehető legkisebb magasságkülönbséggel metssze az ablak függőleges oldalait, tehát meg kell keresni a hordozóhossz-diagramnak a leglaposabb 40 % hosszúságú szakaszát. Az ablak széleinek és a hordozóhossz-diagram metszéspontjaira (C és D) egy egyenest fektetünk, ami 0 és 100 %-nál kimetszi R_k -t, R_{pk} -t és R_{vk} -t. Az R_k paraméter az érdességi profil középső keresztmetszetének a szélessége, a „k” a „Kernel” (mag angolul) rövidítése. A R_{pk} a csúcsok tartománya (Peak), sáv szélessége, az R_{vk} az árkoké (Valley). Működés szempontjából az a kedvező, ha az R_{pk} minél kisebb és az R_{vk} minél nagyobb, és ha az R_k kicsi.



8.18 ábra: A második érdességi profil hordozóhossz-diagramja

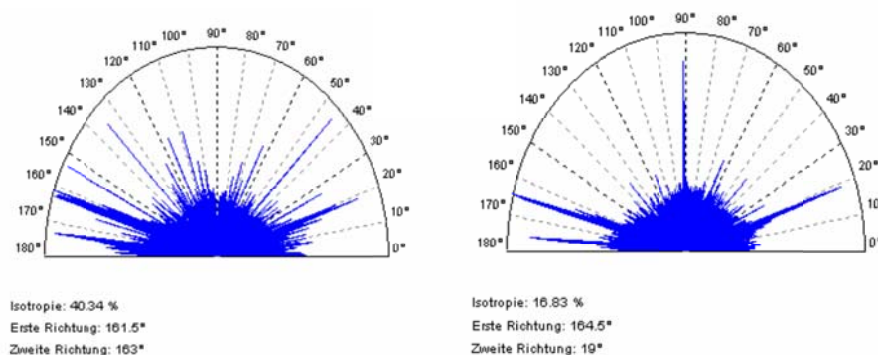
Összehasonlítva a két érdességi profil R_k paramétereit, ezek közel egyenlők, viszont az első profil R_{pk} paramétere kisebb, mint a másodiké és az R_{vk} paramétere pedig nagyobb. Ez mutatja, hogy az első profil mind a kis kiálló csúcsok (kis R_{pk}), mind a nagy árok keresztmetszet (nagyobb R_{vk}) szempontjából kedvezőbb, mint a 2. profilnál.

Vannak olyan vonalmenti letapogatást végző érdességmérők, amelyek lehetővé teszik egymás melletti párhuzamos metszetek készítésével az érdesség térbeli érzékelését. Az optikai felületérzékelési módszerek is valamilyen pontsűrűséggel térbeli képet nyújtanak a felületről. Ennek megfelelően egyrészt egyre jobban teret nyernek a metszet menti R_a , R_z (Roughness) paramétereknek megfelelő S_a (Surface), S_z felület menti érdességi paraméterek, valamint a felület mintázatát kifejező síkbeli Fourier-transzformáción alapuló spektrálanalízis.



8.19 ábra: Belsőégésű motor hengerfelületének képe használat előtti és kopott állapotban

Belsőégésű motor hengerfelületén hónolással olyan mintázatot hoznak létre, ami a kenőolaj megtapadását elősegíti (8.19 ábra bal oldala). A kopás eltünteti/kifényesíti a finom mintázatot és a henger hosszirányában olyan karcokat hoz létre, amelyek gyártáskor nem keletkeztek (8.19 ábra jobb oldala). A felületen lévő karcok, barázdák, völgyek irányát a felület 2D-Fourier-elemzésével lehet számszerűsíteni.



8.20 ábra: A felületek 2D-Fourier-elemzésének eredménye

A 2D-Fourier-elemzésből megállapítható, hogy a kiindulási felületen a legtöbb karc 164° illetve 174° irányú, valamint 18° irányú. A kopás azt eredményezi, hogy viszonylag sok (ha nem is annyi, mint ezek a ferdék) karc van hosszirányban (90°), ami nem a megmunkálás, hanem a működési kopás eredménye, ami mind a tömítés, mind a kenés szempontjából kedvezőtlen.