

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépszerkezettani és Biztonságtechnikai Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

DIFFERENCIÁLMIŰ ALKATRÉSZ KOPÁSÁNAK ÉS MIKROGEOMETRIÁJÁNAK VIZSGÁLATA

Szerző: **Sándor Szabolcs**
gépészmérnöki szak, III. évfolyam

Konzulens: **Dr. Czifra Árpád**
egyetemi docens

Budapest 2012

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1.
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	2.
2.1 A FELÜLETI ÉRDESSÉG ÉS HULLÁMOSSÁG.....	2.
2.1.1 A FELÜLETI MIKROGEOMETRIA MAGASSÁGI PARAMÉTEREI	3.
2.1.2 AZ ÉRDESSÉG PROFILIRÁNYÚ PARAMÉTEREI.....	5.
2.2 A KOPÁS	6.
2.2.1 KOPÁSI FOLYAMATOK:	6.
2.2.2 A FELHASADÁSOS KOPÁS „SPALLING” JELLEMZŐI.....	7.
2.2.3 AZ ABRÁZIÓS KOPÁS	8.
3. ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK.....	9.
4. EREDMÉNYEK	13.
4.1 KOPÁSFORMA AZONOSÍTÁSA SZAKIRODALOM ALAPJÁN.....	13.
4.2 A PROFILMÉRÉSEK ÉRTÉKELESE.....	15.
KÖVETKEZETÉSEK.....	20.
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	21.
SUMMARY.....	21.
IRODALOMJEGYZÉK.....	21.
MELLÉKLET	22.

1. BEVEZETÉS:

A kopási folyamatok életünk szerves részei, még akkor is, ha erről a mindennapi életben gyakran megfeledkezünk. Gondoljunk csak egy pakli hagyományos magyar kártyára. Az elhasználódás nyomai ezen is markánsan jelentkeznek a lapok gyűrődésével, szakadásával, a színek kifakulásával. A műszaki gyakorlatban a kopásnak fokozott a jelentősége. A gyakorlatban szeretnénk minden alkatrész élettartamát, tönkremenetelének fázisait pontosan meghatározni, ehhez pedig a kopási folyamatok ismerete elengedhetetlen. A termelő vállalatok gyakran élettartamra méretezik termékeiket. Például egy személygépjármű szervizelési gyakorisága időtávhoz és/vagy futási kilométerhez kötött. Ezekhez az előírásokhoz a kopási folyamatok időbeli lezajlásának és mértékének ismerete mind gazdasági mind biztonsági szempontból nélkülözhetetlen.

A dolgozat elkészítése során BTR-80 típusú páncélozott katonai szállítójármű hajtáshídjának kopott elemeit vizsgáltam, azzal a céllal, hogy megállapítsam a rajtuk lejátszódó kopásformát és annak jellegzetességeit és okait. Az eredmények alapján szeretnék olyan javaslatokat adni az alkatrész gyártójának, amellyel a komponensek élettartama növelhető.

Továbbá a műszaki életben a fejlesztés soha sem áll meg. Évről évre jön valami váratlan valami új. Személyes célom a dolgozattal a kutató munka megismerése a módszerek elsajátítása az eredmények kiértékelésének megtanulása volt.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A FELÜLETI ÉRDESSÉG ÉS HULLÁMOSSÁG: [1][2]

A felületi mikrogeometriához kapcsolódó fogalom-meghatározásokat és a jellemzőket szabványosították. Léteznek ugyan nemzeti szabványok, de ezek jelentéktelen műszaki eltérésekkel megegyeznek az *ISO 4287/1-1997*. nemzetközi szabvánnyal.

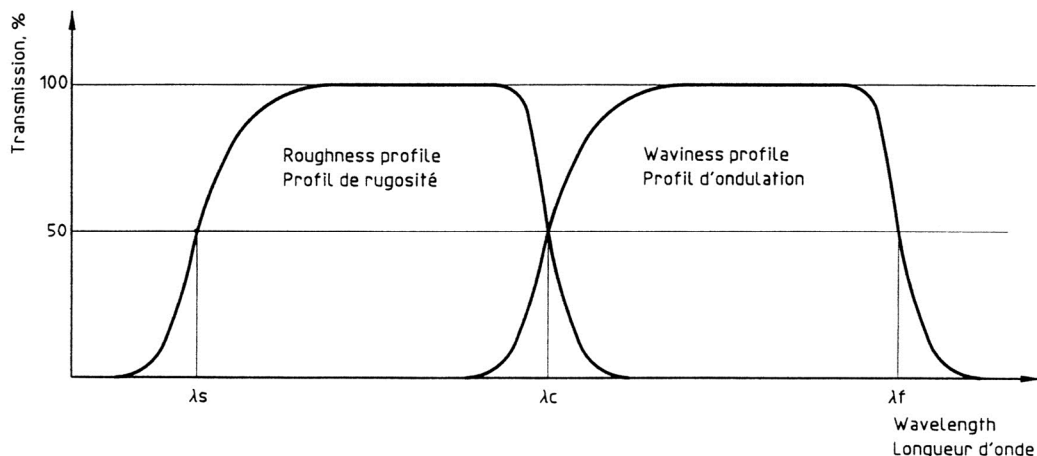
E szabványok alapján a jellemzők három fő csoportba sorolhatók:
 az egyenetlenségek magasságával kapcsolatos jellemzők
 az egyenetlenségek profilirányú méreteivel kapcsolatos jellemzők
 az egyenetlenségek formájával kapcsolatos (un. Híbrid) jellemzők.

A felületi mikrogeometriát összességében és legpontosabban szűrés nélküli ún. teljes profil jellemzi. A mérés technikai és kiértékelési gyakorlatban viszont e profil összetevői, az érdesség és a hullámossági profil játszik kiemeltebb szerepet.

A fenti profilok megkülönböztetése és szétválasztása a profilelemek hullámhossz-összetevői alapján történik az alábbiak szerint (lásd 2.1. ábra):

Az érdességi profilt adják a λ_s és a λ_c határhullámhosszok közötti összetevők,

A hullámossági profilt adják a λ_c és a λ_f határhullámhosszok közötti összetevők.



2.1. ábra. Érdességi és hullámossági szűrő [2]

Az érdesség és a hullámosság szétválasztásának jellemzője a λ_c , amelyet cut-off-nak nevezünk. A λ_c megegyezik az l_r érdességi alaphosszal ($\lambda_c = l_r$). Az érdességi paraméterek többségét alaphossz nagyságú szakaszon értelmezzük. A teljes kiértékelési szakasz az alaphossz többszöröse (általában $l_n = 5 \cdot \lambda_c$). Az előzőeket a hullámosságra értelemszerűen alkalmazzuk.

A műszerek mérési, illetve kiértékelési alapbeállításait is szabványok határozzák meg.

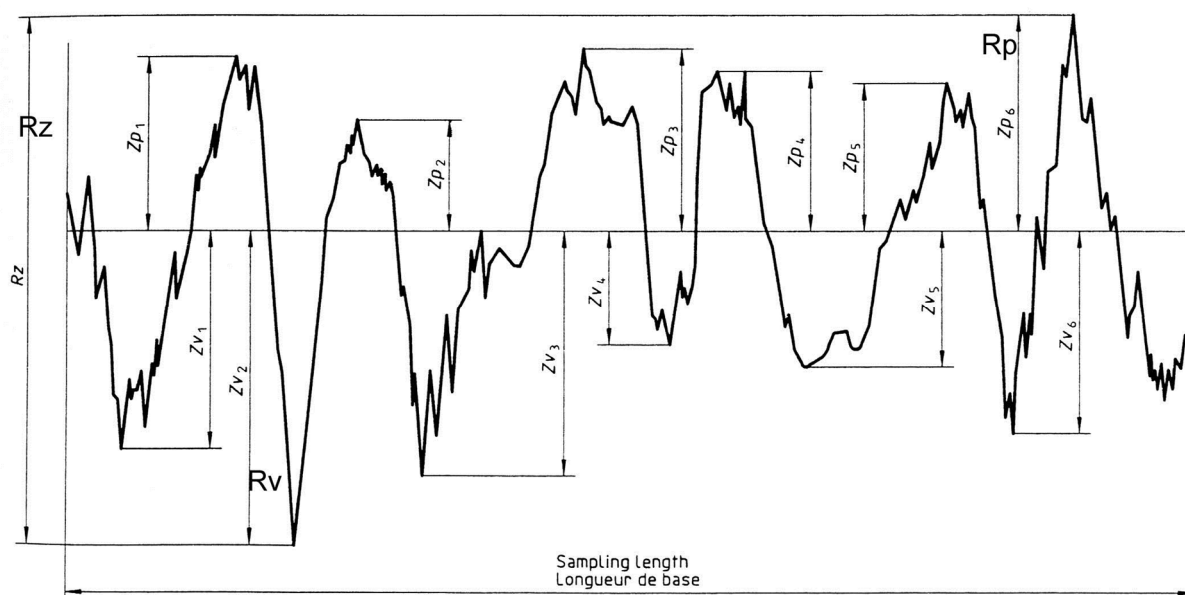
Az előírt beállítási értékeket a felület finomságától függően választhatjuk az alábbi, 2.1. táblázat szerint:

If not otherwise indicated on a drawing, the following should be used to determine the cut-off λ_c (ISO 4288)-1996.				
RECOMMENDED CUT-OFF ISO 4288-1996				
PERIODIC PROFILES	NON-PERIODIC PROFILES		CUT-OFFS	SAMPLING LENGTH/EVALUATION LENGTH
Spacing Distance S_m (mm)	R_z (μm)	R_a (μm)	λ_c (mm)	l_r/l_n (mm)
>0.013 to 0.04	to 0.1	to 0.02	0.08	0.08/0.4
>0.04 to 0.13	>0.1 to 0.5	>0.02 to 0.1	0.25	0.25/1.25
>0.13 to 0.4	>0.5 to 10	>0.1 to 2	0.8	0.8/4
>0.4 to 1.3	>10 to 50	>2 to 10	2.5	2.5/12.5
>1.3 to 4	>50	>10	8	8/40
PROCEDURES ARE AS DETERMINED IN ISO 4287-1997, ISO 11 562 AND OTHER INTERNATIONAL STANDARDS				

2.1. táblázat. Az érdekesség és hullámosság szétválasztása [4]

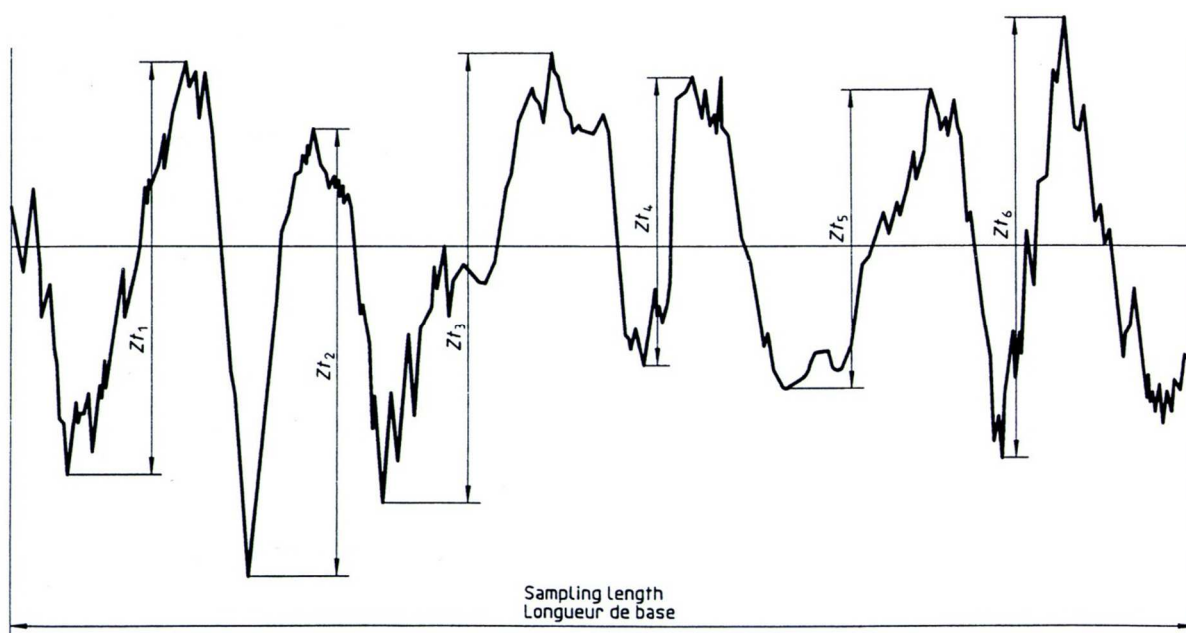
2.1.2 A FELÜLETI MIKROGEOMETRIA MAGASSÁGI PARAMÉTEREI

Az alkalmazott összefüggésekben szereplő értékek a 2.2. ábra alapján értelmezhetők.



2.2. ábra A felületi profil csúcs és völgy méretei [2]

<u>A profil maximális csúcsmagassága:</u>	Rp, Wp, Pp (az alaphosszon értelmezzük) $R_p = Z_{p6}$ (Kisimítási mélység)
<u>A profil maximális völgymélysége:</u>	Rv, Wv, Pv (az alaphosszon értelmezzük) $R_v = Z_{v2}$
<u>A profil maximális magassága:</u>	Rz, Wz, Pz (az alaphosszon értelmezzük) $R_z = R_p + R_v$
<u>A profilelemek közepes magassága:</u>	Rc, Wc, Pc (az alaphosszon értelmezzük) $R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti}$ (lásd 2.3. ábrát)

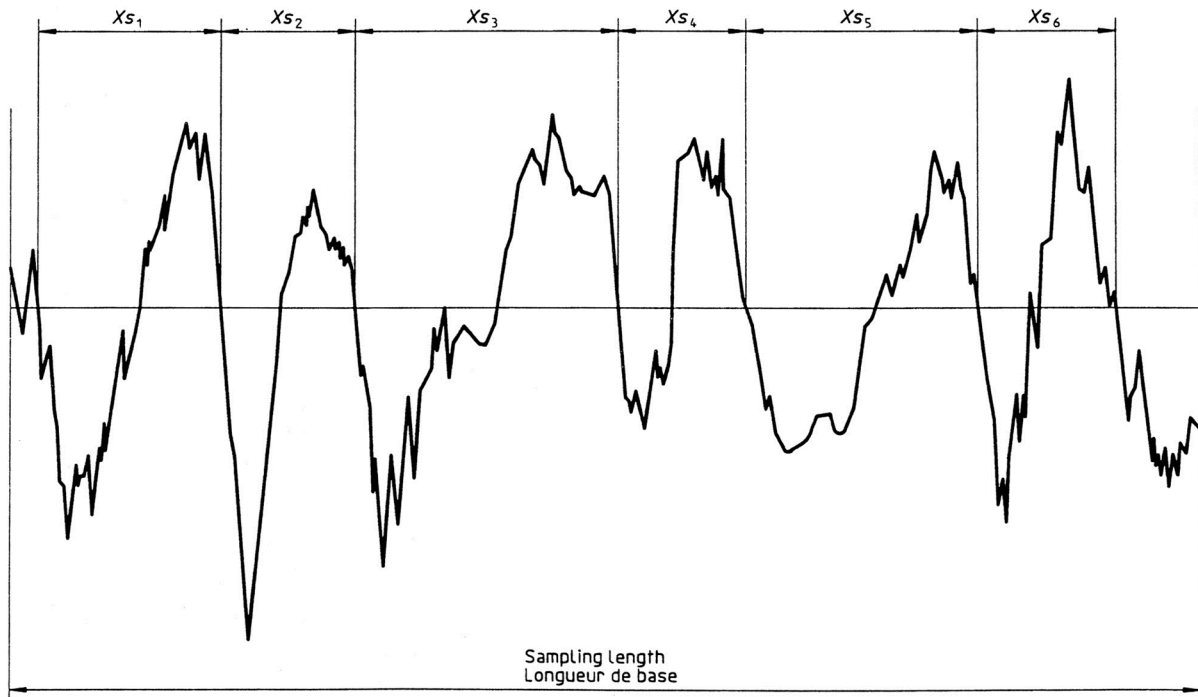


2.3. ábra Egyenetlenségek magasságának jelölése [2]

<u>Maximális egyenetlenség:</u>	Rt, Wt, Pt (a kiértékelési hosszon értelmezve) $R_t = R_{pmax} + R_{vmax}$ ($R_t \geq R_z$)
<u>A profil közepes eltérése:</u>	Ra, Wa, Pa $R_a = \frac{1}{l} \int_0^l Z(x) dx$, ahol $l = l_r, l_w$ vagy l_p
<u>A profil közepes mértani eltérése:</u>	Rq, Wq, Pq $R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$
<u>Ferdeségi mérőszám (skewness):</u>	Rsk, Wsk, Psk, $R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left(\frac{1}{l_r} \sum_{i=1}^m Z_i^3 \right)$
<u>Lapultsági mérőszám (kurtosis):</u>	Rku, Wku, Pku $R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left(\frac{1}{l_r} \sum_{i=1}^m Z_i^4 \right)$

2.1.3 AZ ÉRDESSÉG PROFILIRÁNYÚ PARAMÉTEREI

Az alkalmazott összefüggésekben szereplő értékek a 2.4. ábra alapján értelmezhetők:



2.4. ábra Az egyenetlenségek profilirányú méretei [2]

Az egyenetlenségek közepes hullámhossza:

RSm, WSm, PSm

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xsi$$

ahol: Xs_i a profil és a középvonal olyan két metszéspontjának a távolsága, melyek között a profilnak csak egy kiemelkedése és egy bemélyedése található.

A profil hajlásának négyzetes középértéke:

Rdq, Wdq, Pdq

$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{z_{i+1} - z_i}{\Delta x} \right)^2}$$

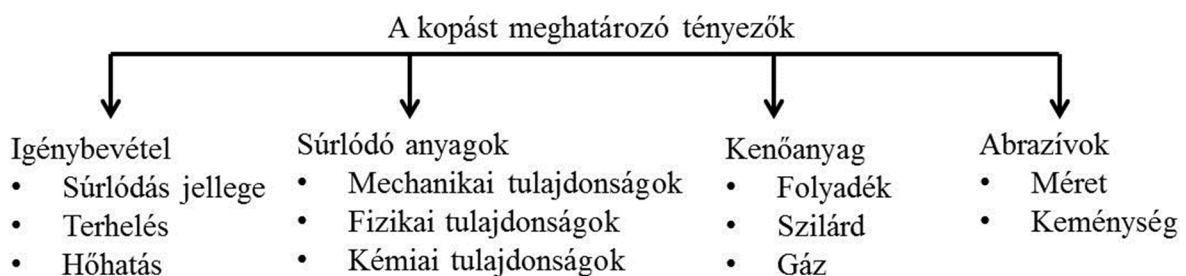
2.2 A KOPÁS [1] [3]

2.2.1 KOPÁSI FOLYAMATOK:

„A kopás az apró anyagrészecskéknek a mechanikai erők, súrlódó erők hatására történő leválása a felületről.”[1] Ez a folyamat üzemvitel szempontjából káros, mivel a kopás hatására a felület fizikai és kémiai valamint mechanikai és egyéb tulajdonságai megváltoznak, a kopott elemek mérete és tömege rendszerint csökken.

A gépalkatrészek élettartamát és előírászerű üzemelési feltételek között a kopás határozza meg. A kopás előrehaladásából adódó méret, mechanikai, fizika-kémia tulajdonság változások a működés szempontjából olyan káros hatásokat idéznek elő, melyek a munkavégző képesség csökkenésen túl berágódáshoz, repedéshez, töréshez vezethetnek. Ezek az alkatrész vagy az egész gép tönkremenetelét okozzák.

A gépelemeken a kopás a számos típusban jelenhet meg. Az egyes felületeken egy időben többféle kopástípus, kopási jelenség is kialakulhat. A kopást meghatározó fontosabb tényezőket a 2.5 ábra szerint csoportosíthatjuk.



2.5. ábra [1] A kopást meghatározó tényezők

A gépelemek felületén az igénybevételtől, az anyagi tulajdonságoktól és a kenési viszonyoktól függően a következő alapkopási típusok fordulnak elő: adhéziós kopás, oxidációs kopás, abrázios és fáradásos kopás.[1]

A dolgozat keretei nem teszik lehetővé, hogy az összes kopástípus jellemzőit részletezzem, ezért csak azokat fejttem ki, amelyek az általam vizsgált alkatrészen megjelennek.

2.2.2. A FELHASADÁSOS KOPÁS „SPALLING” JELLEMZŐI: [3]

A felhasadásos kopás Hertz érintkezés makroszkopikus léptékű fáradásaként definiálható. Ez a kopástípus a kapcsolódó felületeken szemmel látható, makroszkopikus kráter formában jelenik meg, fáradás eredménye, amely a hertz feszültségek zónájában kitöredezéssel terjed. A kráter legmélyebb pontja összehasonlítható a hertz nyíróerő maximumával.

A felhasadásos anyagfáradás régóta általánosnak vélt hibája Hertzi „gördülő” felszíneknek. Úgy hitték, hogy Hertz érintkezés esetén a fáradáshoz nem szükséges erő, tehát akármekkora is a terhelés, ha az elég ideig tart fáradás minden esetben bekövetkezik, még akkor is, ha más észrevehető hibák nincsenek. Ebből következik, hogy minden olyan kapcsolat, mely más károsodást előidéző hatásnak ellenállt, anyagfáradásra van ítélve.

Ezen kopásformán belül megkülönböztetjük:

- A felület kifáradását, ami nagymértékben, a hertz érintkezésből adódó fáradási jelenség
- lyukacsos, kráteres képződést

OKAI [3]:

ALACSONY SZILÁRDSÁG:

Az alacsony szilárdságú anyagok felszíni anyagfáradási tulajdonságai nem kedvezőek. Az acélok fáradással szembeni ellenállása a szívósságuk növelésével fokozható.

ALAPANYAG INHOMOGENITÁS:

Acéloknál a finom szemcsés összetevők szintén csökkentik az ellenállást.

FELSZÍNI TERHELÉS

Ha a működtetés során a terhelés jóval nagyobb a tervezettnél, az alkotó elemek ellenállása drasztikusan csökken.

Például:

- A teljes gép vagy gépelem terhelése meghaladja a tervezettét.
- Nem megfelelő a terhelés elosztás a gördülőelemenben, a csapágiban, vagy a fogaskerekben.
- Nem megfelelő a nyomás elosztás az anyagfelszínen

A FELÜLETI HŐMÉRSÉKLET:

Rendkívül magas hőmérsékleten, melyen az anyag szilárdsága jelentősen alacsonyabb a szobahőmérsékleten mérttől, a fáradással szembeni ellenállás csökken.

A TERHELÉSI CIKLUSOK SZÁMA:

A felpattogzás az egyéb sérülések felhalmozódásának egyfajta jelensége, melynek mértéke növekszik a terhelési ciklusok számának növekedésével

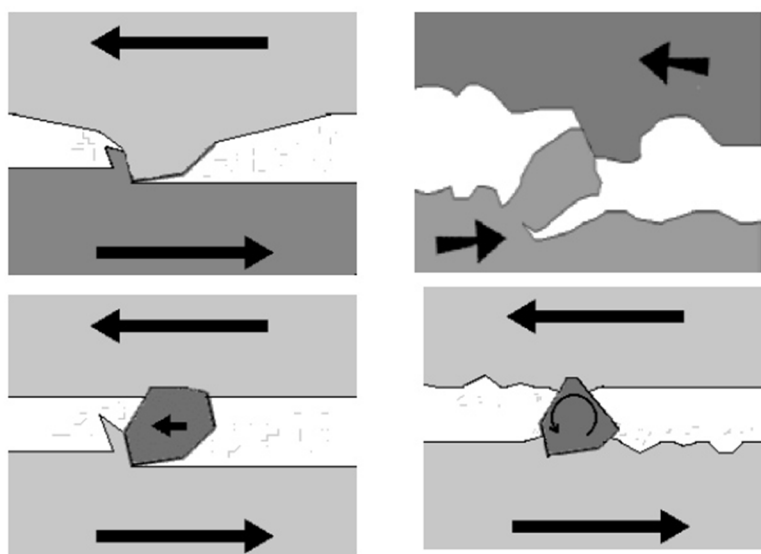
2.2.3 AZ ABRÁZIÓS KOPÁS:[1]

„Abráziós kopás folyamán keményebb felület kiálló csúcsai elmozdulás közben mélyedéseket, karcolásokat csinálnak a lágyabb felületben, illetve forgácsolják azt.[1]” Ezt nevezik két test-abráziós kopásnak.

Három test-abrázióknak nevezzük azt az esetet, amikor a két felület közé egy kisméretű ám nagy keménységű harmadik test ékelődik be. Ez a kemény abrazív anyag karcolja a felületet és azon helyi képlékeny alakváltozást okoz, karcolja a felületet és azon mikro forgácsolást végez.

Abrazív anyag lehet idegen eredetű vagy a kopástermékekből lepergő oxidokból is származhat.

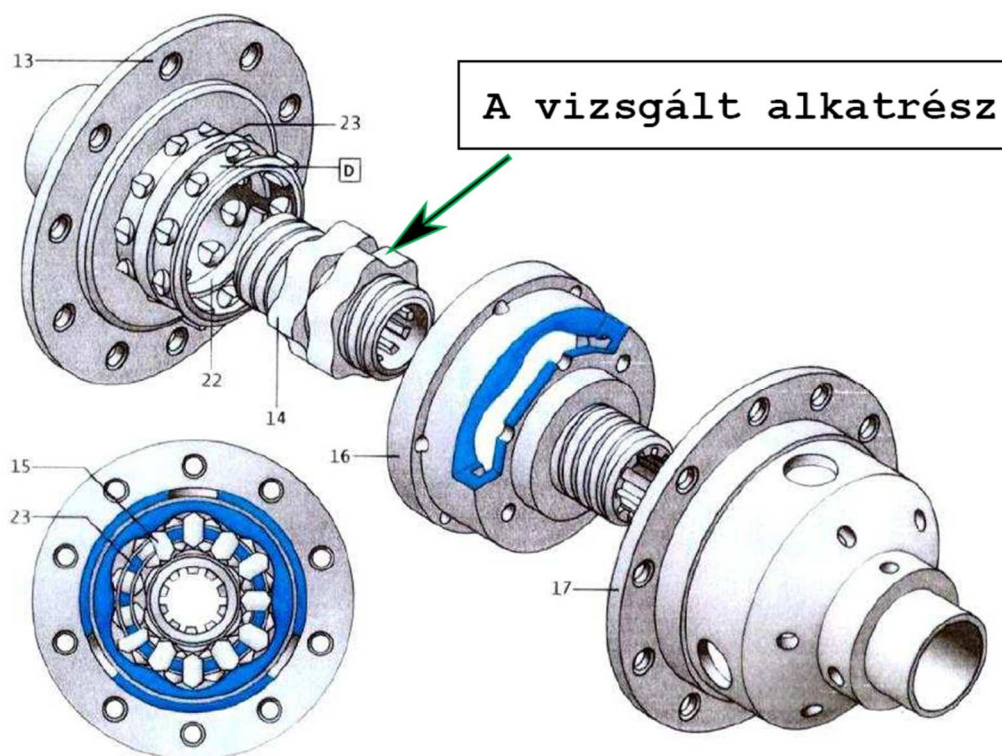
Az abrasziós kopás a leggyakoribb kopásforma. Ez köszönhető annak, hogy a berendezéseink poros környezetben végzik a feladatukat, másrészt pedig a súrlódó felületek között rekedt kopási termék a súrlódás során felkeményedik, oxidálódik és abrazív anyaggá válik.



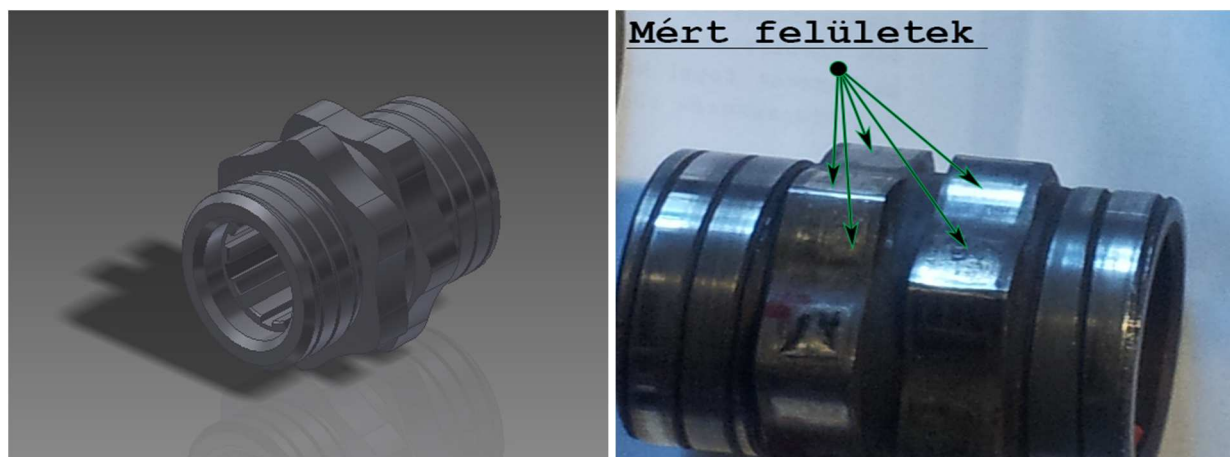
2.6 ábra kéttest-abrázió (felső sor) és háromtest-abrázió (alsó sor)

3. ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

A VIZSGÁLT MUNKADARAB:



3.1 ábra A differenciálmű részegységei

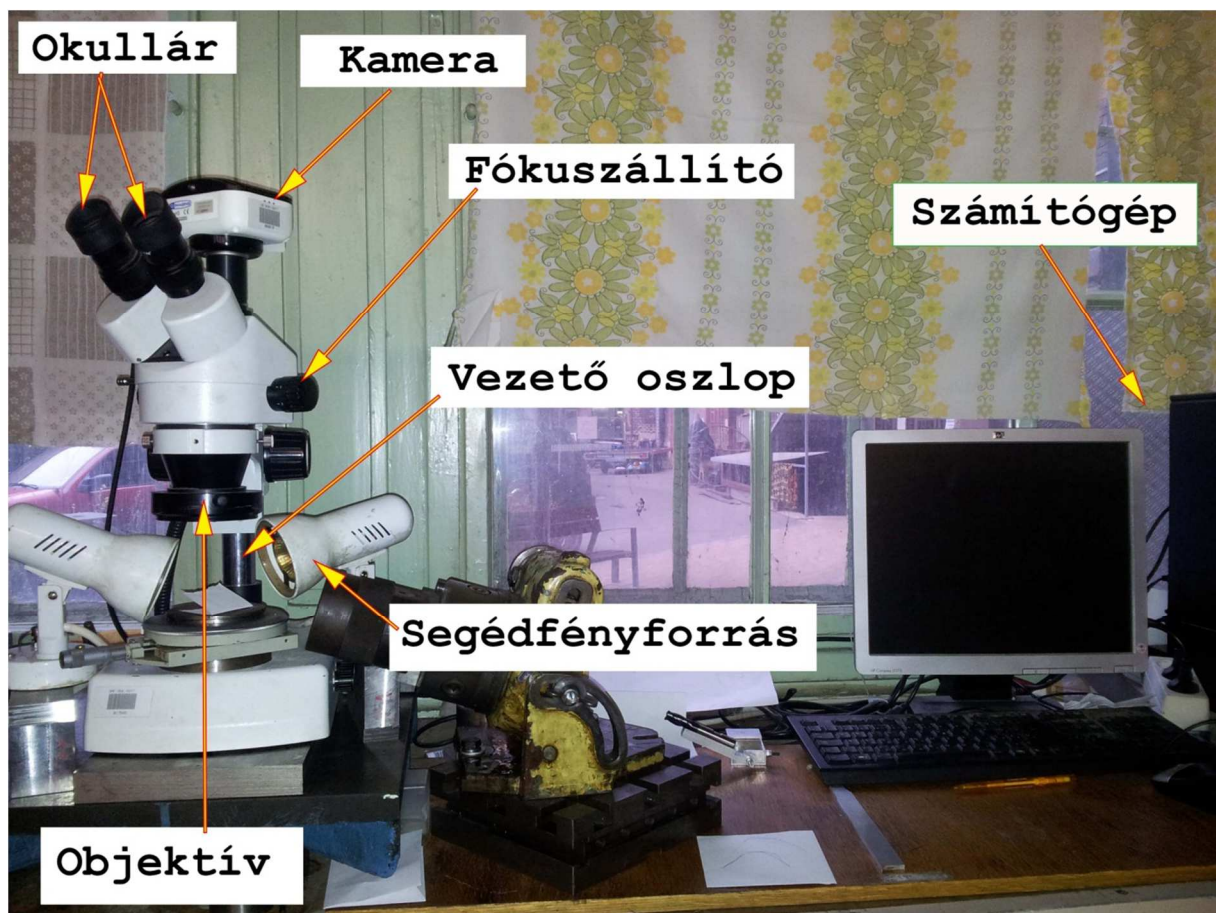


3.2 ábra A vizsgált munkadarab

A vizsgált alkatrész egy BTR80 típusú páncélozott katonai szállítójármű hajtáshídjának a része. Az alkatrész a „bütykein” keresztül, kapcsolódik a 3.1-es ábrán látható módon a 13-as alkatrésszel. A darabon a méréseket a 3.2-es ábrán jelölt felületeken végeztem.

3.1 SZTEREÓMIKROSKÓPOS VIZSGÁLAT:

A berendezés az egyetem gépműhelyében található és felépítése a 3.3-as ábrán látható. A vizsgálat során a munkadarabot felületének **zsírtalanítása** után egy felfogó tűskére rögzítettem, majd beállítottam a fókusz távolságot. Az objektív elsődleges helyzetét a vezetőoszlop határozza meg, amelyen függőleges irányban fel-le, mozgatható valamint bizonyos szögtartományban elfordítható. Az szükséges fényerősségről a természetes fény mellett két asztali lámpa gondoskodik. A berendezés össze van kötve egy számítógépes képrögzítő software-rel, amely a monitoron megjeleníti az objektív által látott pillanatnyi képet. A fókusz távolság helyes beállítása után a képernyőn a munkadarab felületének éles képe jelenik meg, amelyet a software segítségével el lehet menteni.

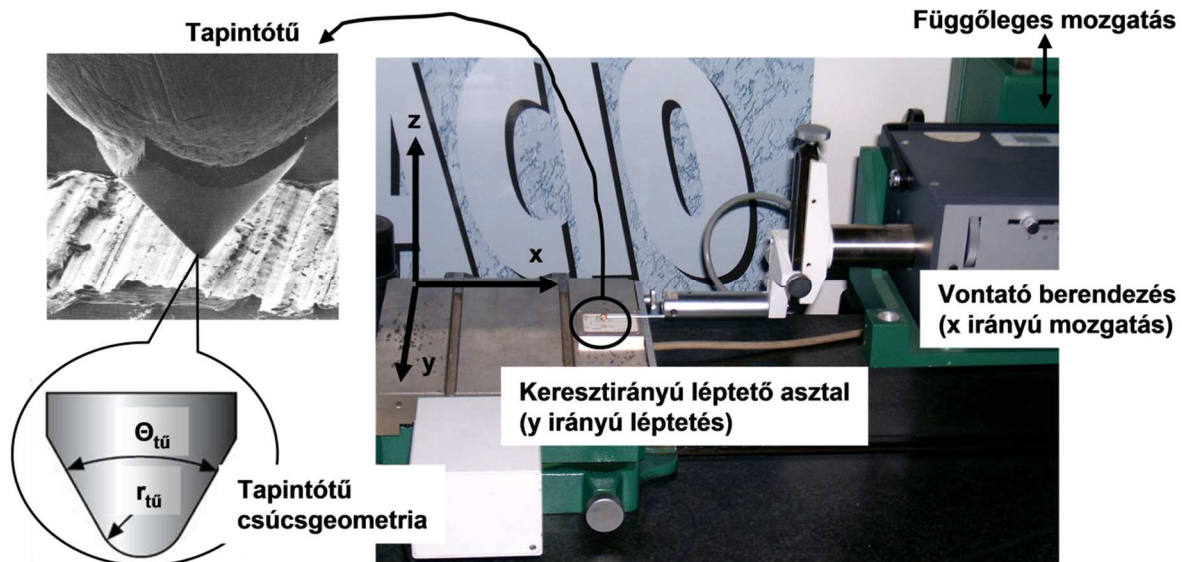


3.3-as ábra A sztereómikroszkóp felépítése

Ennek a berendezésnek a felbontóképessége nem vetekedhet egy elektronmikroszkóppal, de a vizsgálat célja csupán a felületen szabad szemmel is látható kopások felnagyítása volt. fókuszállító

3.2 FELÜLETI PROFILMÉRÉS

A profilmérés elkészítéséhez az egyetemen található Mahr Prethometer típusú metszettapintós mérőkészüléket használtam melynek felépítése a 3.4-es ábrán látható.



3.4. ábra Metszettapintós érdesség mérő berendezés

A metszettapintós mérőkészülék négy fő részből áll:

- TAPINTÓ TŰ,
- MOZGATÓASZTALOK,
- ELEKTRONIKUS RENDSZER,
- SZÁMÍTÓGÉP A VEZÉRLÉSHEZ, AZ ADATGYŰJTÉSHEZ ÉS A KIÉRTÉKELÉSHEZ.

A tapintó 2 fő részből áll. Egy gyémántkúpban végződő tűből, melynek csúcsszöge az általam használt FRW-250:1 jelű tapintó esetén $\Theta_{tű}=90^\circ$, csúcssugara $r_{tű}=5 \mu\text{m}$, és egy induktív jelátalakítóból, mely a tű elmozdulásával arányos elektromos feszültséget produkál. A tapintóerő 0,5 – 20 mN között változik.

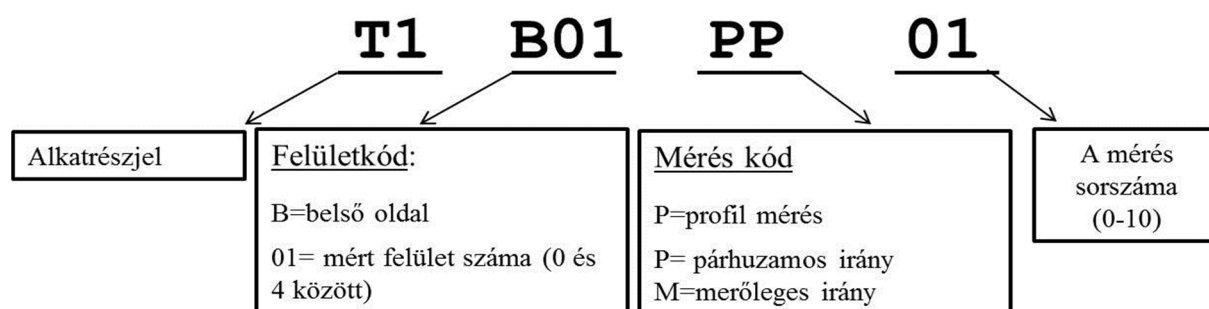
A mozgatórendszer esetén az X, Y, Z irányú elmozdulásokat egymástól független rendszerek valósítják meg. Az asztaloknak (vontatóknak) csak 1-1 szabadságfokuk van, előfeszített vezetékek vannak beépítve, ezáltal nagyobb pontosság érhető el. A mérőrendszer rezgésszigetelt a mérőasztal révén (márványlap).

A mérőrendszer vezérlése és az adatgyűjtés számítógéppel történik A/D jelátalakítókkal.

3.2.1 A MÉRÉS BEÁLLÍTÁSAI:

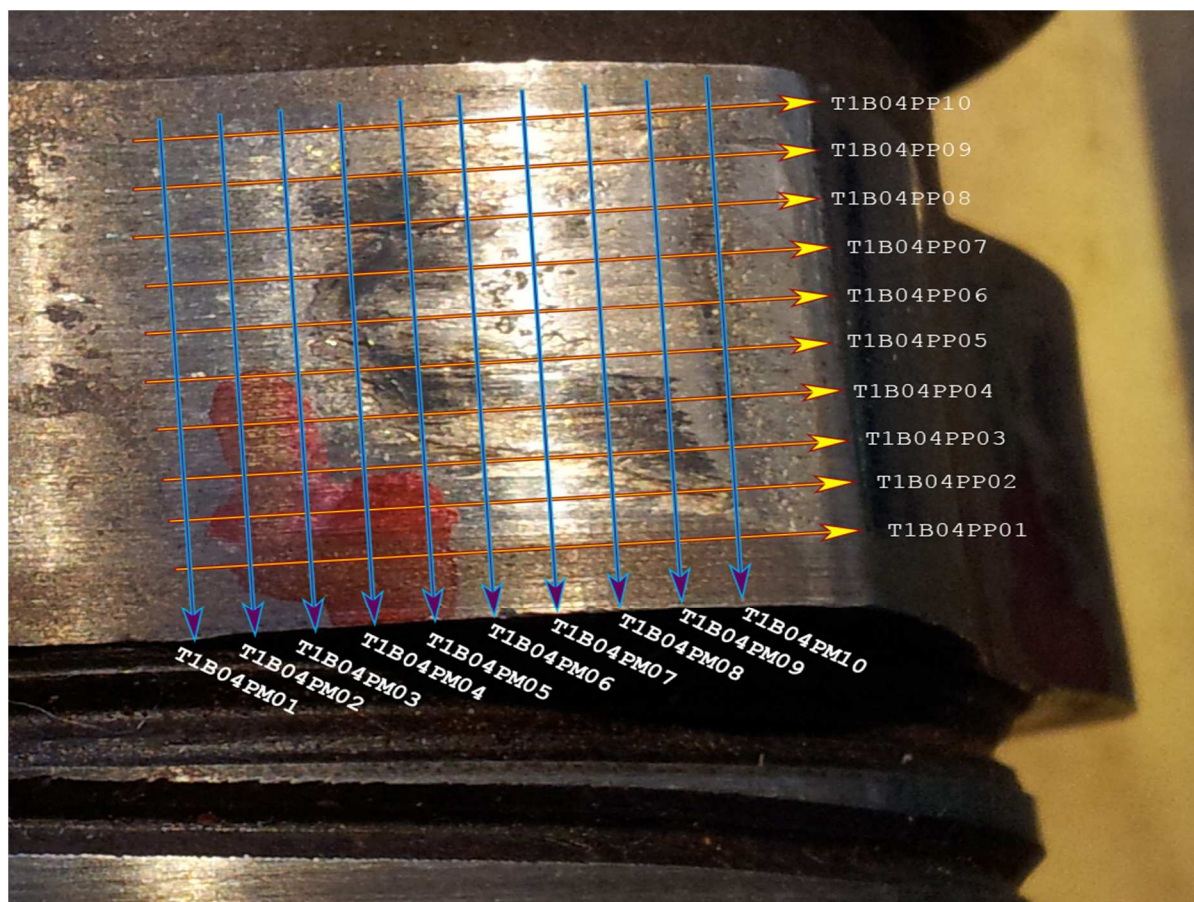
A mérést FRW-250:1 jelű tapintótűvel végeztem, előzetes etalonmérés után a mérőberendezést 2.1 táblázatban megadott szabványos alapbeállítások szerint állítottam be. A beállítások a következők: $\lambda_c=0,8$ mm és $l_r/l_n=0,8/4$ mm

A munkadarab négy darab kopott felületén forgástengelyhez viszonyítva párhuzamos és merőleges irányban is tíz-tíz profilmérést végeztem. A méréseim irányait a 3.6-os ábra szemlélteti. A mért felületek jelölését a 3.5-ös ábra szerint tettem.



3.5-ábra A felületek jelölése

3.2.2 AZ MÉRÉS IRÁNYA, A PROFILOK JELÖLÉSE



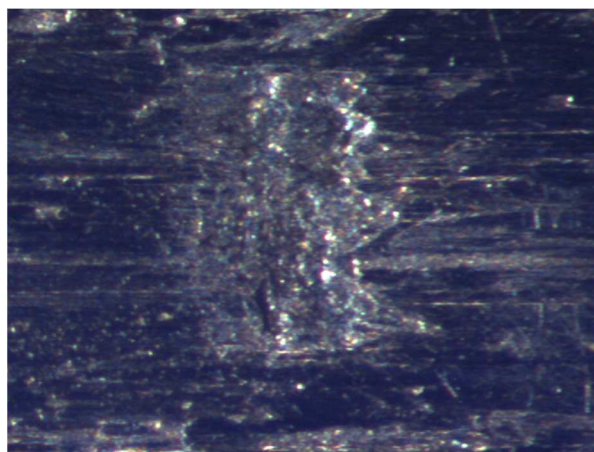
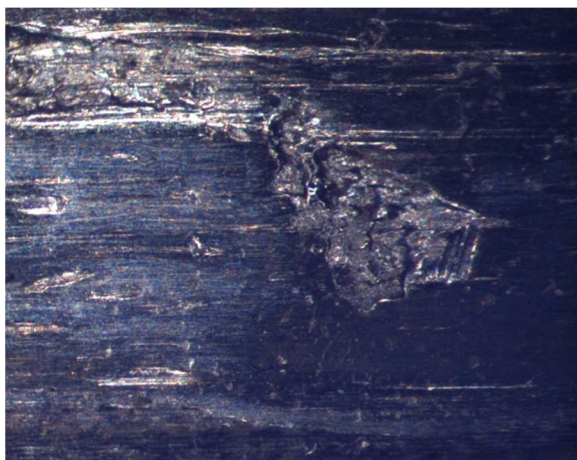
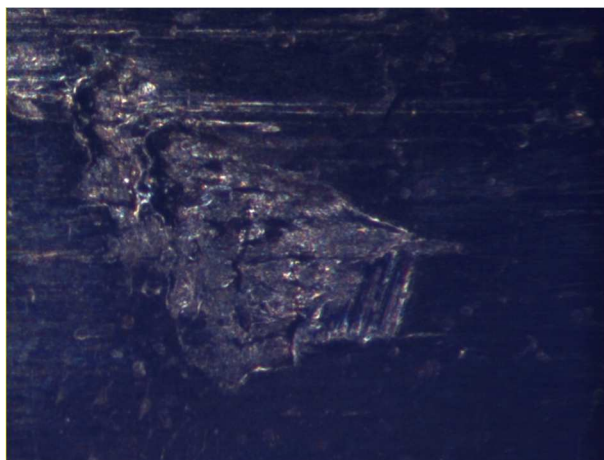
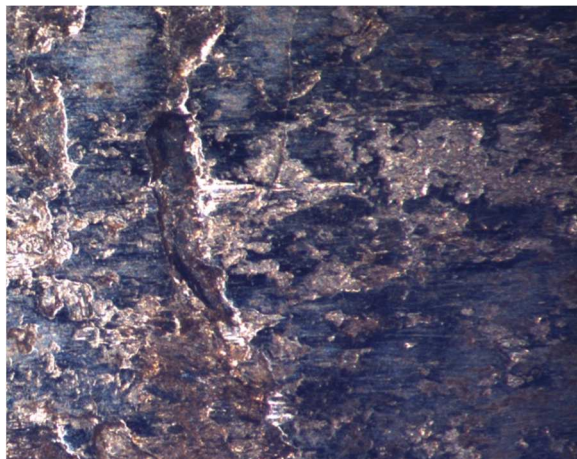
3.6. ábra A profilmérések irányai

4. EREDMÉNYEK

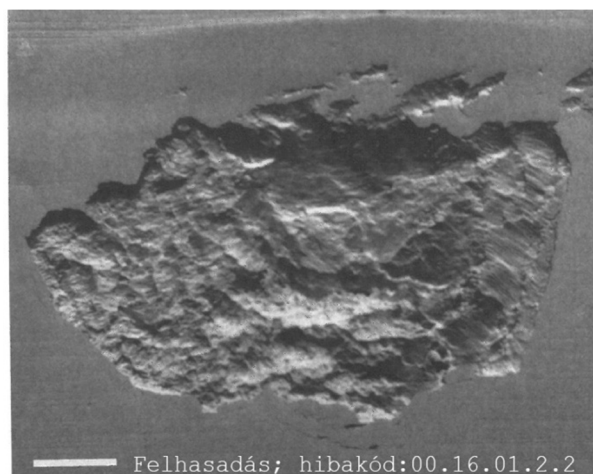
4.1. KOPÁSFORMA AZONOSÍTÁSA SZAKIRODALOM ALAPJÁN:

A sztereo mikroszkópos felvételek alapján a kopásnak egy olyan domináns formáját kerestem, amely az alkatrész minden felületén jelentkezik. Mint az a képeken is látszik többféle kopás jelenik meg az alkatrészen. Én ezekből arra összpontosítottam, amely mindenhol jelentkezik.

4.1.1 SZTEREO MIKROSZKÓPOS VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI:

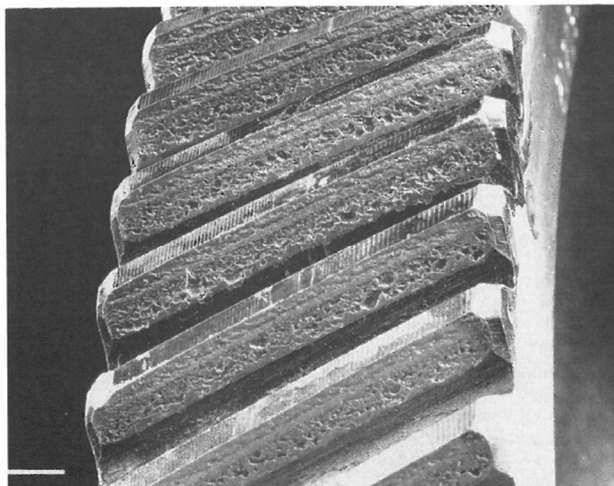


A SZAKIRODALOM KÉPE:



DATA

Plate No: 10.23
Archive No: 099-112
Image type: light macro
Scalebar = 25 mm (micros: $\pm 20\%$,
 others: $+100\%$, -50%)
Component: HG; W, medium hard, run
Speed:
Load:
Lubrication:
Failure code1: 00.16.01.3.1 Tooth
 pitchline or dedendum spalling
Failure code2: 00.16.02.5 Advanced
 spalling
Failure code3: -
Failure code4: -
 See also PLATES: 10.18 & 10.22



4.1 ábra A felhasadásos kopás „spalling” [3]

Az eredményeimet összevetve az irodalommal megfigyelhető, hogy ez a kopásforma az általam készített összes képen megjelenik. A szakirodalom ezt a „Spalling” vagyis felhasadásos kopások osztályába sorolja, amelynek jellegzetességeit a 2.2.2 pontban részleteztem.

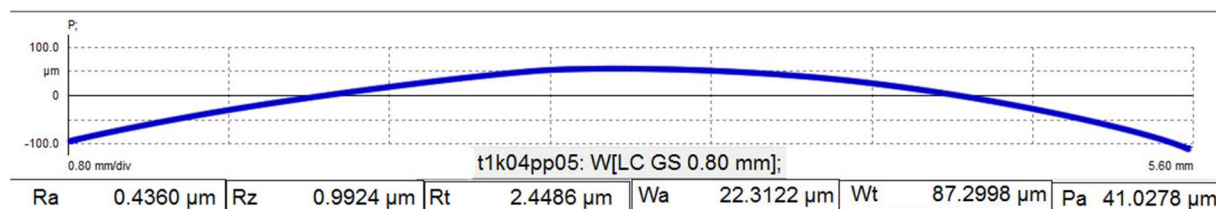
Továbbá megfigyelhető hogy a felhasadások környezetében apróbb abrázációs kopásnyomok is jelentkeznek, amelyet feltehetően a kiszakadásokból származó fémforgácsok okoztak, illetve ezt a járművet a magyar honvédség Irakban használja, ahol rendkívül poros környezetben üzemel. Mivel a működési környezet nem nevezhető hétköznapiaknak a szerkezet terhelését sem lehet pontosan előre kiszámítani. Bármennyire is túlméretezettek az alkatrészek bizonyos körülmények között túlterhelések vannak kitéve.

4.2 PROFILMÉRÉSEK ÉRTÉKELÉSE:

A felületi érdesség mérés eredményeinek kiértékelése kopott alkatrészek esetében komplikált feladat, mivel szakirodalom erről a területről egyelőre nem áll rendelkezésre. További nehézségeket okoz a paraméterek értékelésében, hogy a matematikai szűrők változtatásával teljesen eltérő mérőszámokat kapunk eredményül.

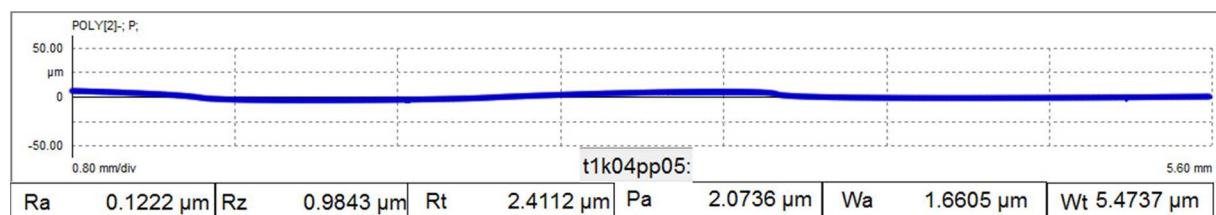
A az eredmények feldolgozása során minden profilra **harmadfokú polinom szűrőt** fektettem az alaksajátosságok kiszűrése érdekében. Ez a probléma az alkatrész geometriájából adódóan, főleg a párhuzamos irányú mérések kiértékelésénél jelentkezett markánsan.

A 4.2-es ábra egy általam mért profilt mutat, amelyen még nem alkalmaztam az alakszűréshez használt harmadfokú polinom szűrőt. Az ábrán megfigyelhető a vizsgált darab „bütykének” íves alaksajátossága, amely az értékelést nagy nagyban befolyásolja, valamint néhány paraméter szűrés nélküli számértéke.



4.2-ábra Egy szűretlen profil és a hozzá tartozó paraméterek

A 4.3-as ábra ugyan ezt a profilt mutatja harmadfokú polinom szűrő alkalmazása után. Jól láthatóan az alaksajátosságok „kisimultak” és a számértékek is lényegesen eltérnek a szűretlen profilétól.



4.3-ábra Ugyanazon profil és paraméterei szűrés után

A legjelentősebb eltérés a hullámossági paraméterek valamint a P profil paramétereket érinti. Ezek számértéke szűrés után jelentősen csökken.

A profilmérési paraméterek **szűrt eredményei** táblázatok formájában megtalálható a mellékletben.

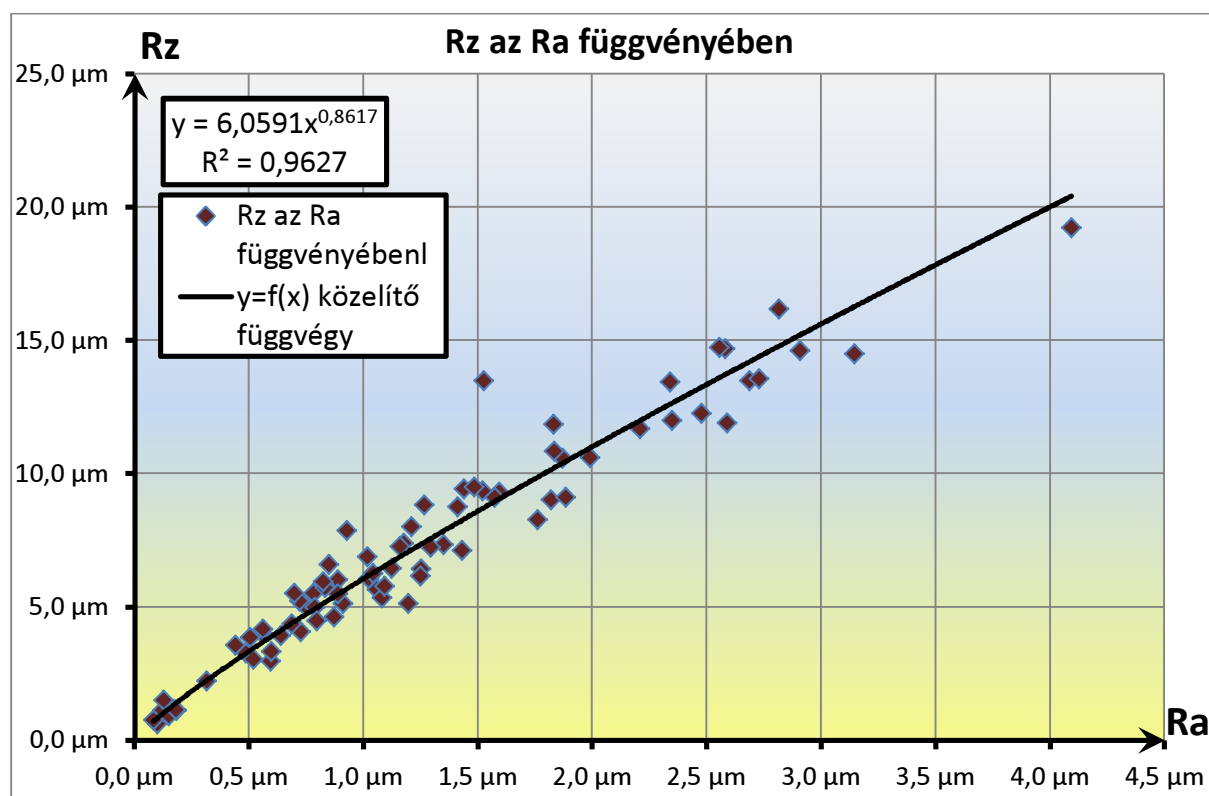
4.2.1 AZ **Ra** ÉS **Rz** PARAMÉTER KAPCSOLATA:

A kopásból adódóan felületeken mért Ra és Rz paraméterek számértékei jelentős

	Ra	Rz
Átlag	1,2488 μm	7,1934 μm
Szórás	0,82318	4,09445

szórással rendelkeznek. Ezek önmagukban nem képesek jellemezni a felület tulajdonságait, viszont a jelentős szórás ellenére is található kapcsolat a két jellemző között, melyet a 1-es

diagram szemléltet. A számértékek ugyan nagyon eltérőek, a diagramon mégis megfigyelhető mennyire erős korreláció van a két paraméter között



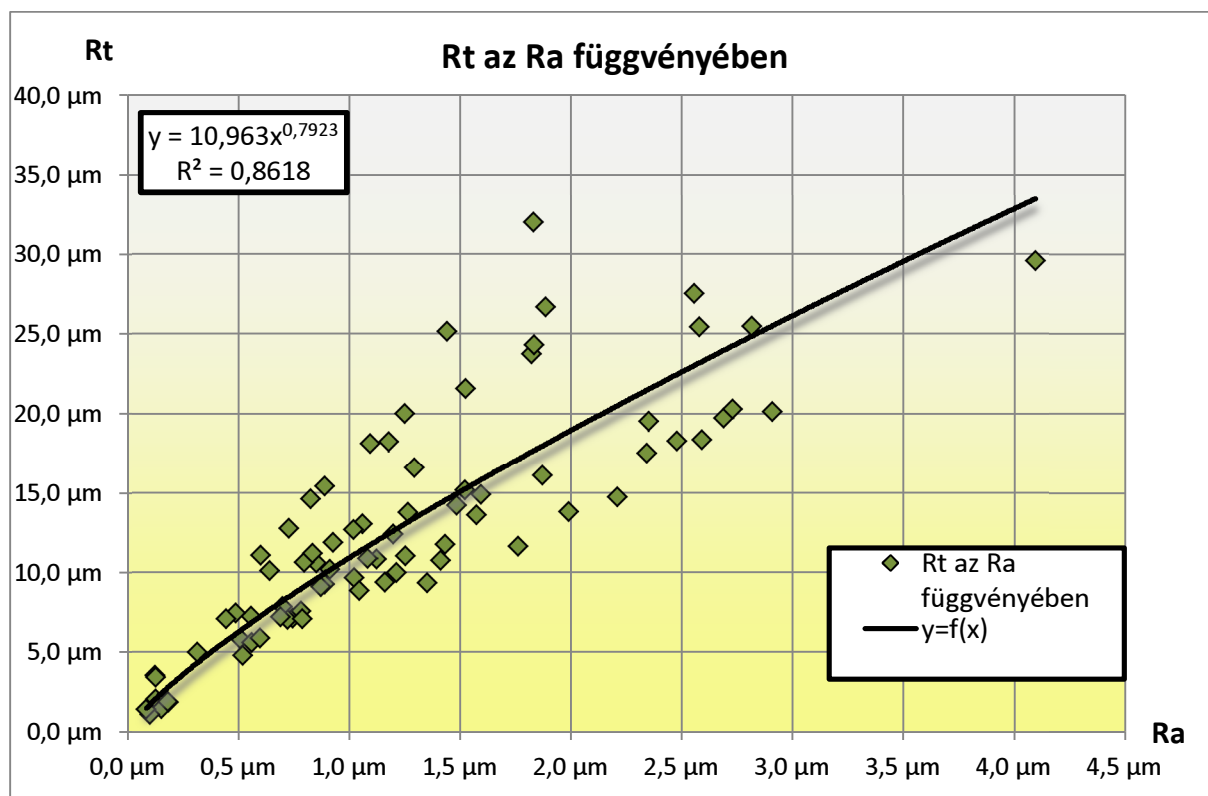
1. diagram Rz az Ra függvényében

Az Ra és Rz kapcsolata a szakirodalmak szerint megmunkálást követően $Rz=2...4,5(Ra)$ lineáris függvény szerint alakul [1]. A kopott darabon mért értékeket viszont hatvány függvény közelíti legjobban.

AZ RA ÉS RT KAPCSOLATA:

A maximális egyenetlenség (Rt) és az átlagos érdesség (Ra) viszonyát a 2. diagram mutatja. Az adatok ebben az esetben is jelentős szórással rendelkeznek, de itt is megfigyelhető a kapcsolat a két paraméter között. Ebben az esetben is hatvány függvényt lehet a legjobb közelítéssel a pontokra illeszteni.

	Ra	Rt
Átlag	1,2488 μm	12,7419 μm
Szórás	0,82318	7,11267



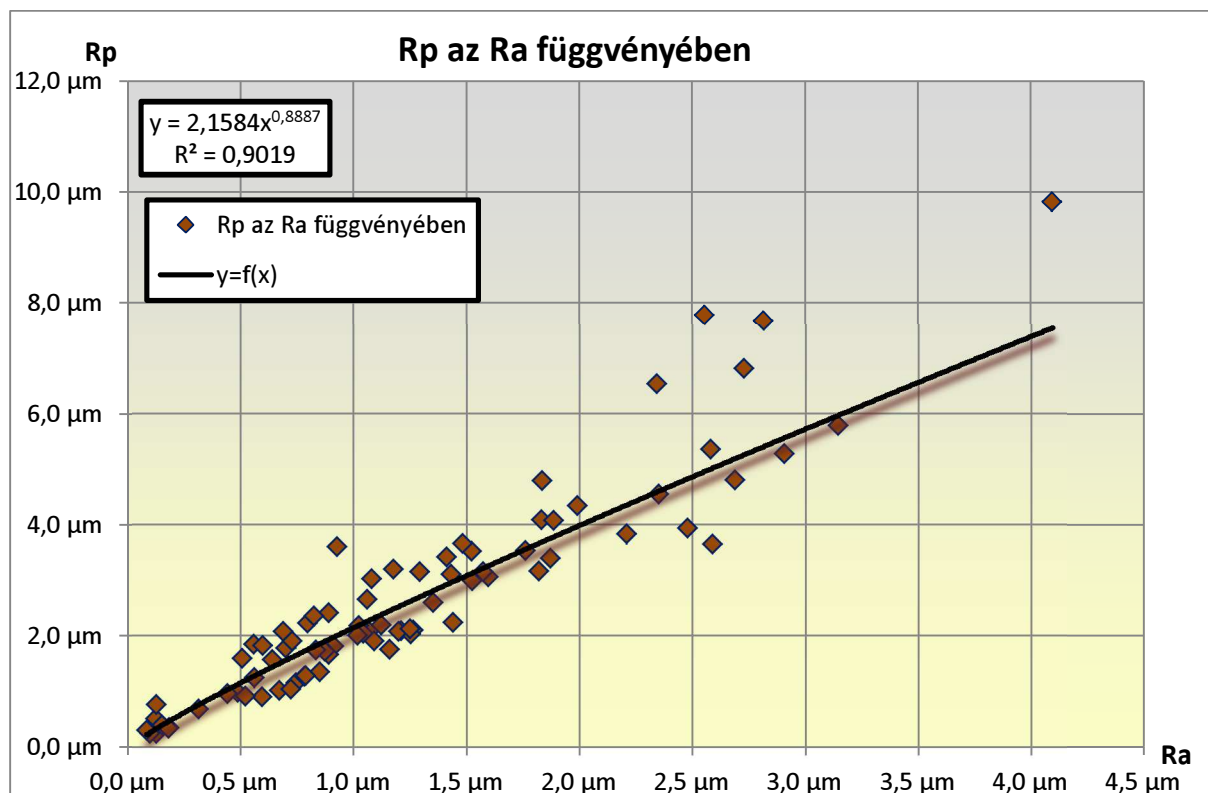
2. diagram Rt az Ra függvényében

A sztereómikroszkópos felvételeken látható durva szakadozott felületek és az Rt paraméter magas számértékei a felület jó kenőanyag megtartó tulajdonságáról árulkodnak, melyet az is igazol, hogy a mérést megelőzően nehezen tudtam zsírtalanítani a felületet. Ez a tulajdonság működés során jó kenési feltételeket biztosít és a kenőanyag utánpótlásáról is ritkábban kell gondoskodni. Az egyenetlenségmagasság (Rz) és a maximális egyenetlenség (Rt) korrelációs egyenletét összehasonlítva megfigyelhető hogy az Rt paraméter közel kétszerese az Rz-nek.

AZ RA ÉS RP KAPCSOLATA:

A profil maximális csúcsmagasságát (R_p) az átlagos érdesség (R_a) függvényében a 3. diagramon látható. Az értékek szórása itt is magasabb az átlag felénél, ami nagyon magasnak számít. A kapcsolatot a paraméterek között jelen esetben is hatvány függvénnyel lehet közelíteni és megfigyelhető az is, hogy a kitevő jelen esetben is kisebb egynél.

	R_a	R_p
Átlag	1,2488 μm	2,6766 μm
Szórás	0,82318	1,86434

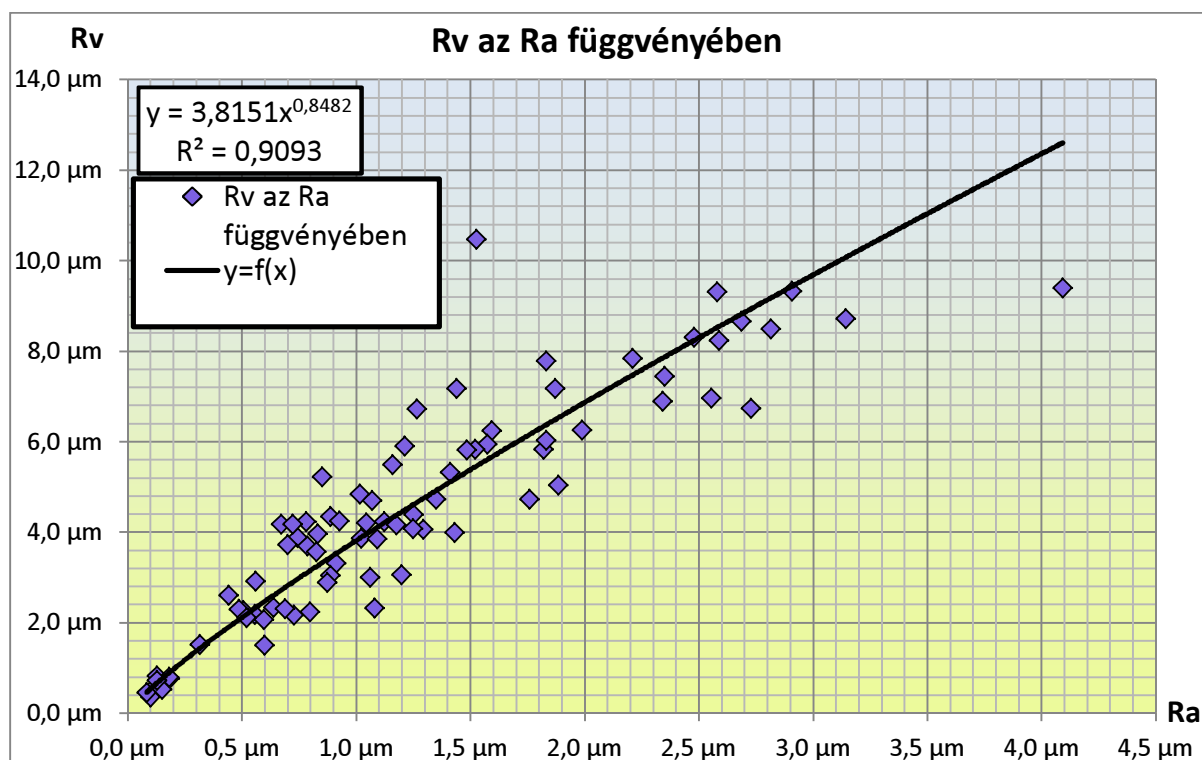


3. diagram Az R_p az R_a függvényében

A következő 4. és 5. diagramon is megfigyelhető ugyan az a trend, ami az előző esetekben is, nevezetesen, hogy a leírófüggvény minden esetben hatványfüggvény, melynek a kitevője kisebb egynél. Bár az egyes számértékek önmagukban nem alkalmasak a vizsgált darab felületének minősítésére, de az egyes paraméterek közti korrelációs egyenletek azt mutatják, hogy a kopás ellenére nem függetlenek egymástól ezek az jellemzők.

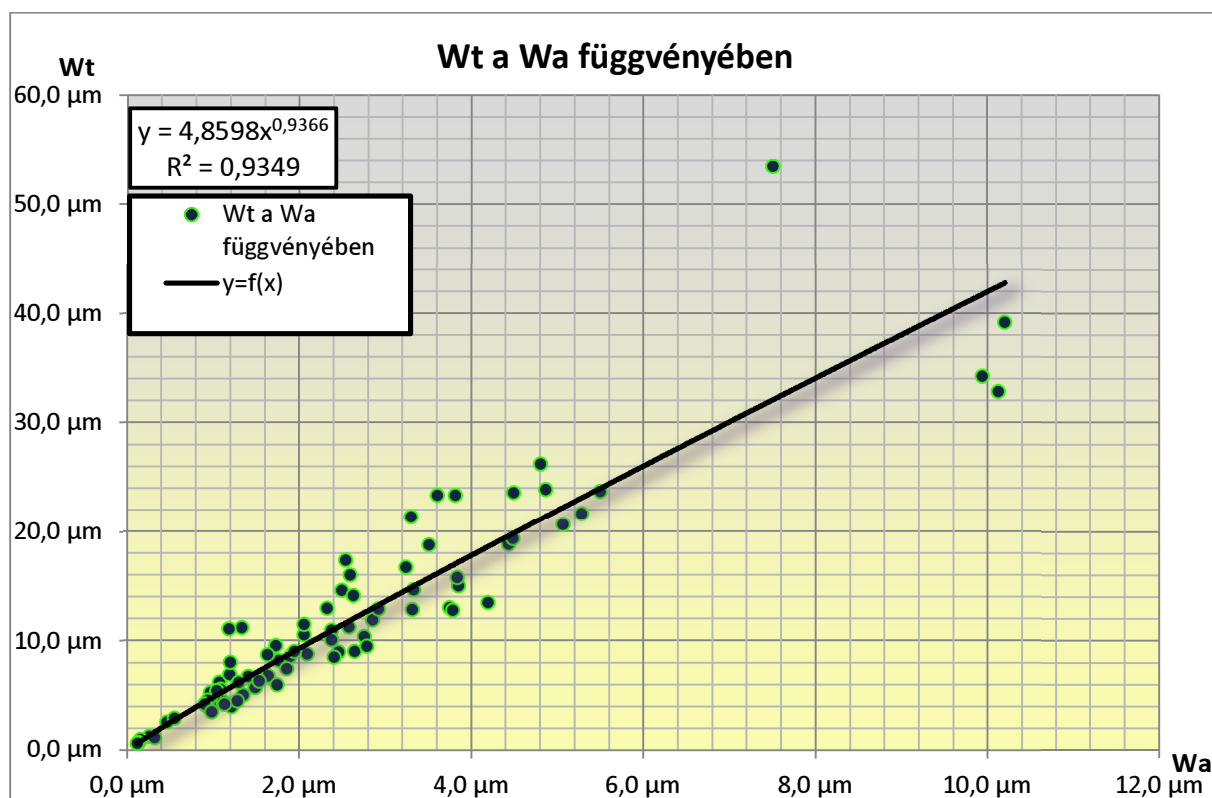
Az általam vizsgált alkatész felületének jellemzésére a diagramokon szereplő függvények alkalmasak.

PROFIL MAXIMÁLIS VÖLGYMÉLYSÉGE (Rv) AZ ÁTLAGOS ÉRDESSÉG FÜGGVÉNYÉBEN (Ra)



4. diagram Rv az Ra függvényében

A MAXIMÁLIS HULLÁMOSSÁG (Wt) AZ ÁTLAG HULLÁMOSSÁG FÜGGVÉNYÉBEN (Wa)



5. diagram Wt a Wa függvényében

KÖVETKEZTETÉSEK:

1. A vizsgált darabon megállapítható a „Spalling” jelensége, amely a nagy terhelésnek kitett gépelemek Hertz érintkezése során fellépő kifáradásos kopás. A nagy terhelésből adódóan a kapcsolódó alkatrészeknek szívósnak kell lennie, viszont a Hertz érintkezés, valamint az üzemelés poros környezetéből a rendszerbe kerülő abrazív részecskék roncsoló hatásának kivédéséhez nagy keménységet kell biztosítani az alkatrész felületén. Ezt a két tulajdonságot csak egymás „rovására” tudjuk változtatni. Anyagszerkezeti szempontból ezeknek az üzemfeltételeknek megfelelni nagy kihívást jelent, amely ennél a vizsgált konstrukción nem megoldott feladat.
2. A kopott felületek jellemzésére önmagában egyetlen mikrogeometriai paraméter nem alkalmas. A mérési eredményeimből látható, hogy az egyes jellemzők számértékei mekkora szórással rendelkeznek, viszont a jelentős szórás ellenére is van korreláció a jellemzők között.
3. A kopás jellegzetességeit leginkább vizuális formában lehet megjeleníteni mikroszkópos vagy egyszerű fényképfelvételek formájában. Az általam mért kopott felületek mikrogeometriai mérőszámmal való jellemzéséhez a diagramokon szereplő korrelációs egyenletek alkalmasak.
4. A kopott felületek mérési és kiértékelési folyamatokor különös tekintettel és körültekintéssel kell lenni a matematikai szűrőkre. A szűrők változtatása teljesen megváltoztatja a paraméterek számértékét. A szabványban rögzített alapszűrésen kívül célszerűen olyan szűrőt válasszunk, amely legjobban eltünteti a vizsgált munkadarab alakhibáit, illetve alak sajátosságait.

TOVÁBBLÉPÉSI LEHETŐSÉGEK:

A témában további vizsgálatra vár a munkadarab anyagtulajdonságainak kérdése és ezek összevetése a kopás jellegzetességeivel.

További kutatást igényel a mikrogeometriai paraméterekre megállapított függvények jellegének vizsgálata, figyelembe véve, hogy a most megállapított függvények mindegyike hatványfüggvény és a kitevő minden esetben kisebb egynél. Ezeket az egyenleteket össze kellene hasonlítani más kopott alkatrészekre felírt egyenletekkel, hogy lehet-e általános következtetéseket levonni a paraméterek analitikai jellemzésével kapcsolatban.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

(TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások)

Őszinte köszönettel tartozom Dr. Czifra Árpádnak, akinek a szakértelme és segítsége nélkül ez a dolgozat nem jöhetett volna létre.

Köszönetemet szeretném kifejezni Bátor Dórának a szakszerű fordítási segítségért.

Köszönettel tartozom Pintér Lászlónak és Debreczeni Bencének, hallgatótársaimnak, javaslataikért és észrevételeikért, amelyek emelték a dolgozat színvonalát.

Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom a családomnak a tanuláshoz szükséges feltételek megteremtéséért.

SUMMARY:

The wearing is very important part of the technical engineering. All parts, which are connecting with each other, are wearing parts. If we could model the wear process exactly, we would able to define the componets life expectancy. This knowledge would be valuable in automotive industry or for example in medical science. That is why I am investigate the wear process.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] Vámos E: Tribológiai kézikönyv Műszaki Könyvek Bp. 1983.

[2] ISO 4287:1997 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture:Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters

[3] T.E. Tallian: *Failure Atlas For HERTZ Contact Machine Elements*, New York 1992.

[4] ISO 4288:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture:Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture

MELLÉKLETEK

Felület	Érdességi paraméterek									
	Ra	Rq	Rz	Rt	Rp	Rv	R Sm	R Sk	R Ku	R dq
T1B01PM01	0,6709 µm	1,0355 µm	5,1993 µm	6,7721 µm	1,0257 µm	4,1736 µm	233,8438 µm	-2,596	11,309	0,081
T1B01PM02	1,0670 µm	1,5022 µm	6,7808 µm	9,0754 µm	2,0862 µm	4,6946 µm	268,0000 µm	-1,237	5,099	0,114
T1B01PM03	3,1427 µm	3,9521 µm	14,4954 µm	18,9194 µm	5,7852 µm	8,7102 µm	462,6250 µm	-0,547	2,432	0,149
T1B01PM04	1,2637 µm	2,0255 µm	8,8209 µm	13,7967 µm	2,1043 µm	6,7166 µm	357,8333 µm	-2,479	10,761	0,105
T1B01PM05	2,4766 µm	3,2974 µm	12,2530 µm	18,2847 µm	3,9419 µm	8,3110 µm	260,0417 µm	-0,91	4,034	0,182
T1B01PM06	1,8698 µm	2,5351 µm	10,5689 µm	16,1356 µm	3,4021 µm	7,1668 µm	305,4167 µm	-1,28	5,612	0,142
T1B01PM07	1,1208 µm	0,5053 µm	6,4355 µm	10,8547 µm	2,1997 µm	4,2357 µm	212,4706 µm	-0,841	4,536	0,137
T1B01PM08	2,9059 µm	3,6569 µm	14,6102 µm	20,1438 µm	5,2821 µm	9,3281 µm	264,2917 µm	-0,774	3,499	0,195
T1B01PM09	1,9880 µm	2,4945 µm	10,5904 µm	13,8158 µm	4,3413 µm	6,2491 µm	172,5238 µm	-0,189	2,739	0,196
T1B01PM10	0,5559 µm	0,8134 µm	4,0259 µm	7,2562 µm	1,8500 µm	2,1759 µm	115,7424 µm	-0,235	7,441	0,089
T1B02PM01	2,3395 µm	3,1019 µm	13,4351 µm	17,5331 µm	6,5438 µm	6,8913 µm	263,0714 µm	-0,044	3,101	0,212
T1B02PM02	4,0925 µm	5,3509 µm	19,2276 µm	29,6139 µm	9,8312 µm	9,3965 µm	360,3500 µm	0,246	3,206	0,217
T1B02PM03	1,0589 µm	1,5944 µm	5,6577 µm	13,0685 µm	2,6643 µm	2,9934 µm	436,0000 µm	0,675	7,188	0,108
T1B02PM04	0,9102 µm	1,2955 µm	5,1274 µm	10,2213 µm	1,8144 µm	3,3130 µm	346,7727 µm	-1,641	8,552	0,083
T1B02PM05	1,1751 µm	1,8575 µm	7,3720 µm	18,2465 µm	3,2084 µm	4,1635 µm	415,3333 µm	1,485	10,415	0,111
T1B02PM06	1,3495 µm	1,7919 µm	7,3331 µm	9,3483 µm	2,6000 µm	4,7332 µm	213,3889 µm	-0,871	3,733	0,135
T1B02PM07	0,7430 µm	1,1002 µm	5,0424 µm	7,1585 µm	1,1647 µm	3,8777 µm	265,3571 µm	-1,971	7,512	0,096
T1B02PM08	0,7807 µm	1,1378 µm	5,5064 µm	7,6091 µm	1,2730 µm	4,2334 µm	215,1667 µm	-2,153	8,319	0,12
T1B02PM09	1,0203 µm	1,5012 µm	6,0565 µm	9,6888 µm	2,1935 µm	3,8630 µm	272,6154 µm	-1,104	5,619	0,114
T1B02PM10	0,8873 µm	1,3212 µm	6,0123 µm	9,2616 µm	1,6696 µm	4,3427 µm	309,2727 µm	-1,836	7,358	0,119
T1B03PM01	0,7206 µm	1,1270 µm	5,2250 µm	7,0555 µm	1,0471 µm	4,1779 µm	294,2500 µm	-2,435	9,652	0,091
T1B03PM02	0,8493 µm	1,2913 µm	6,5792 µm	10,6061 µm	1,3632 µm	5,2160 µm	214,2941 µm	-2,373	12,337	0,123
T1B03PM03	1,1573 µm	1,5732 µm	7,2541 µm	9,3859 µm	1,7583 µm	5,4957 µm	242,1538 µm	-1,493	5,626	0,139
T1B03PM04	1,5931 µm	2,0994 µm	9,3000 µm	14,9156 µm	3,0654 µm	6,2346 µm	185,9412 µm	-1,070	5,575	0,166
T1B03PM05	1,5238 µm	2,5736 µm	13,4657 µm	21,5859 µm	2,9982 µm	10,4675 µm	322,3333 µm	-3,048	17,667	0,142

T1B03PM06	1,2100 µm	1,6756 µm	7,9998 µm	9,9978 µm	2,1003 µm	5,8995 µm	177,8158 µm	-1,577	5,550	0,135
T1B03PM07	2,5783 µm	3,6472 µm	14,6703 µm	25,4498 µm	5,3603 µm	9,3101 µm	431,2778 µm	-0,557	5,313	0,164
T1B03PM08	2,2071 µm	2,8347 µm	11,6792 µm	14,7521 µm	3,8359 µm	7,8433 µm	336,1818 µm	-1,144	4,328	0,162
T1B03PM09	2,6861 µm	3,4131 µm	13,4720 µm	19,7328 µm	4,8063 µm	8,6657 µm	249,0333 µm	-0,628	3,421	0,213
T1B03PM10	0,9259 µm	1,3865 µm	7,8507 µm	11,9108 µm	3,6093 µm	4,2414 µm	164,3333 µm	0,617	6,938	0,164
T1B04PM01	0,5047 µm	0,6542 µm	3,8544 µm	5,8666 µm	1,5947 µm	2,2597 µm	61,0937 µm	-0,519	4,488	0,193
T1B04PM02	2,7267 µm	3,4515 µm	13,5562 µm	20,3216 µm	6,8138 µm	6,7423 µm	225,5938 µm	-0,061	2,968	0,222
T1B04PM03	2,8144 µm	4,0178 µm	16,1650 µm	25,4964 µm	7,6814 µm	8,4836 µm	340,6364 µm	-0,609	4,274	0,199
T1B04PM04	1,8289 µm	3,4448 µm	11,8501 µm	32,0056 µm	4,0934 µm	7,7785 µm	449,0833 µm	-3,863	25,509	0,130
T1B04PM05	1,8188 µm	3,2030 µm	9,0082 µm	23,7633 µm	3,1753 µm	5,8328 µm	624,4000 µm	-2,864	14,441	0,106
T1B04PM06	1,0421 µm	1,4046 µm	6,2547 µm	8,8682 µm	2,0500 µm	4,2046 µm	292,2917 µm	-1,225	4,953	0,130
T1B04PM07	1,5721 µm	2,2169 µm	9,0961 µm	13,6285 µm	3,1535 µm	5,9426 µm	329,8636 µm	-0,994	4,448	0,152
T1B04PM08	1,4392 µm	2,7871 µm	9,4104 µm	25,1692 µm	2,2435 µm	7,1669 µm	448,8125 µm	-3,912	25,453	0,134
T1B04PM09	0,6978 µm	1,0511 µm	5,5040 µm	7,8594 µm	1,7799 µm	3,7241 µm	181,4118 µm	-1,304	7,048	0,104
T1B04PM10	0,5591 µm	0,7721 µm	4,1618 µm	5,6072 µm	1,2520 µm	2,9098 µm	212,1111 µm	-1,679	6,294	0,087
T1B01PP01	1,4094 µm	1,8795 µm	8,7412 µm	10,7646 µm	3,4235 µm	5,3176 µm	270,0357 µm	-0,338	3,815	0,146
T1B01PP02	1,5195 µm	2,2049 µm	9,3583 µm	15,1891 µm	3,5280 µm	5,8303 µm	376,2500 µm	-0,550	4,688	0,127
T1B01PP03	1,4297 µm	1,9261 µm	7,1116 µm	11,7875 µm	3,1169 µm	3,9947 µm	482,2500 µm	0,026	3,533	0,103
T1B01PP04	1,4817 µm	2,2905 µm	9,4799 µm	14,2311 µm	3,6630 µm	5,8168 µm	539,6429 µm	-0,833	5,175	0,118
T1B01PP05	1,0159 µm	1,5709 µm	6,8656 µm	12,7160 µm	2,0205 µm	4,8451 µm	247,8077 µm	-2,097	10,424	0,131
T1B01PP06	0,5940 µm	0,7517 µm	2,9698 µm	5,9089 µm	0,9053 µm	2,0645 µm	345,1364 µm	-0,167	8,087	0,072
T1B01PP07	0,7854 µm	1,1398 µm	4,9828 µm	7,0974 µm	1,2943 µm	3,6885 µm	317,8500 µm	-1,462	5,966	0,082
T1B01PP08	0,3131 µm	0,6018 µm	2,2070 µm	5,0247 µm	0,6884 µm	1,5186 µm	3,7165 µm	-3,608	21,112	0,045
T1B01PP09	0,1822 µm	0,2400 µm	1,1134 µm	1,8739 µm	0,3495 µm	0,7639 µm	240,5000 µm	-0,615	4,303	0,030
T1B01PP10	0,1253 µm	0,1684 µm	1,0699 µm	2,0934 µm	0,2457 µm	0,8236 µm	230,3125 µm	-1,847	11,820	0,030
T1B02PP01	0,1216 µm	0,2692 µm	1,1126 µm	3,5501 µm	0,5157 µm	0,5969 µm	97,9359 µm	-2,547	22,792	0,045
T1B02PP02	0,7255 µm	1,4807 µm	4,0671 µm	12,7937 µm	1,9065 µm	2,1606 µm	396,2500 µm	-0,347	10,404	0,074
T1B02PP03	0,8870 µm	1,6300 µm	5,4728 µm	15,4415 µm	2,4245 µm	3,0483 µm	262,3333 µm	0,975	11,277	0,105
T1B02PP04	0,1496 µm	0,2040 µm	0,9220 µm	1,4923 µm	0,4008 µm	0,5213 µm	335,9000 µm	-0,035	4,029	0,022
T1B02PP05	0,8710 µm	1,3266 µm	4,6094 µm	9,1218 µm	1,7280 µm	2,8814 µm	416,3750 µm	0,065	5,093	0,100

T1B02PP06	1,8825 µm	3,4133 µm	9,1137 µm	26,6891 µm	4,0813 µm	5,0323 µm	459,6429 µm	-0,263	7,959	0,152
T1B02PP07	0,6378 µm	1,0492 µm	3,9168 µm	10,1142 µm	1,5819 µm	2,3349 µm	356,7000 µm	-2,099	13,954	0,080
T1B02PP08	0,4845 µm	0,8408 µm	3,2756 µm	7,4589 µm	0,9837 µm	2,2919 µm	548,2500 µm	-2,897	19,822	0,057
T1B02PP09	0,5972 µm	1,3343 µm	3,3256 µm	11,1083 µm	1,8304 µm	1,4952 µm	885,6250 µm	-3,556	14,770	0,054
T1B02PP10	2,5539 µm	4,1429 µm	14,7373 µm	27,5271 µm	7,7800 µm	6,9573 µm	466,9375 µm	-0,565	6,437	0,188
T1B03PP01	0,6869 µm	1,1311 µm	4,3630 µm	7,2474 µm	2,0876 µm	2,3087 µm	310,8571 µm	-0,541	5,926	0,065
T1B03PP02	1,7584 µm	2,2396 µm	8,2681 µm	11,6688 µm	3,5413 µm	4,7267 µm	234,3929 µm	-0,346	2,910	0,119
T1B03PP03	1,2917 µm	1,9345 µm	7,2237 µm	16,5990 µm	3,1625 µm	4,0611 µm	306,3182 µm	-0,037	6,948	0,107
T1B03PP04	1,2509 µm	1,7630 µm	6,4187 µm	11,0643 µm	2,0367 µm	4,3820 µm	461,7500 µm	-1,314	5,828	0,106
T1B03PP05	2,5874 µm	3,3415 µm	11,8915 µm	18,3819 µm	3,6556 µm	8,2360 µm	320,3182 µm	-1,095	4,493	0,182
T1B03PP06	2,3478 µm	3,0989 µm	11,9955 µm	19,5268 µm	4,5578 µm	7,4377 µm	395,6250 µm	-1,029	4,638	0,134
T1B03PP07	0,5184 µm	0,7169 µm	3,0359 µm	4,8160 µm	0,9227 µm	2,1132 µm	379,5000 µm	-1,533	6,327	0,052
T1B03PP08	0,4411 µm	0,7474 µm	3,5697 µm	7,1048 µm	0,9609 µm	2,6088 µm	192,4706 µm	-2,619	15,602	0,071
T1B03PP09	0,1789 µm	0,2639 µm	1,1415 µm	1,9357 µm	0,3477 µm	0,7938 µm	334,5455 µm	-2,248	11,306	0,024
T1B03PP10	0,0975 µm	0,1222 µm	0,5981 µm	1,1057 µm	0,2455 µm	0,3527 µm	233,6923 µm	-0,839	5,046	0,019
T1B04PP01	0,0824 µm	0,1063 µm	0,7520 µm	1,4194 µm	0,3050 µm	0,4470 µm	213,2778 µm	-0,538	5,649	0,023
T1B04PP02	0,1257 µm	0,2481 µm	1,4967 µm	3,4493 µm	0,7753 µm	0,7214 µm	190,3947 µm	2,118	24,508	0,036
T1B04PP03	0,7957 µm	1,3175 µm	4,4753 µm	10,6557 µm	2,2387 µm	2,2366 µm	476,7500 µm	-0,223	7,267	0,065
T1B04PP04	1,1960 µm	2,0605 µm	5,1316 µm	12,4281 µm	2,0817 µm	3,0500 µm	702,0000 µm	-1,074	5,656	0,079
T1B04PP05	1,0796 µm	1,6772 µm	5,3481 µm	10,8810 µm	3,0297 µm	2,3184 µm	446,6875 µm	-0,402	5,441	0,100
T1B04PP06	1,8315 µm	3,2195 µm	10,8303 µm	24,3439 µm	4,7972 µm	6,0331 µm	470,6250 µm	-1,915	11,431	0,159
T1B04PP07	1,2473 µm	2,4282 µm	6,1646 µm	20,0045 µm	2,1289 µm	4,0765 µm	623,0000 µm	-2,204	14,326	0,098
T1B04PP08	1,0908 µm	2,1077 µm	5,7586 µm	18,1154 µm	1,9081 µm	3,8505 µm	1168,3333 µm	-1,590	11,690	0,092
T1B04PP09	0,8309 µm	1,3494 µm	5,7130 µm	11,2113 µm	1,7541 µm	3,9588 µm	604,6667 µm	-1,103	8,440	0,071
T1B04PP10	0,8233 µm	1,3684 µm	5,9337 µm	14,6238 µm	2,3615 µm	3,5721 µm	245,8330 µm	-1,317	11,053	0,134

Felület	Hullámossági paraméterek					
	Wa	Wt	Wdq	WDsm	W Dc	W Dt
T1B01PM01	0,4575 µm	2,5596 µm	0,003	0,43 mm	1,8813 µm	3,0796 µm
T1B01PM02	1,4019 µm	6,7225 µm	0,006	0,67 mm	2,9198 µm	4,8247 µm
T1B01PM03	9,9325 µm	34,2656 µm	0,035	0,47 mm	10,5105 µm	16,5838 µm
T1B01PM04	0,9664 µm	4,4343 µm	0,005	0,39 mm	4,4002 µm	9,7262 µm
T1B01PM05	2,4514 µm	8,9865 µm	0,009	0,27 mm	8,0370 µm	16,7937 µm
T1B01PM06	2,7485 µm	10,3725 µm	0,012	0,45 mm	6,8691 µm	10,3223 µm
T1B01PM07	1,7506 µm	8,1998 µm	0,009	0,74 mm	2,8391 µm	4,6766 µm
T1B01PM08	2,4876 µm	14,6157 µm	0,014	0,45 mm	9,2563 µm	16,1400 µm
T1B01PM09	1,0699 µm	6,1900 µm	0,007	0,42 mm	4,8542 µm	8,1022 µm
T1B01PM10	0,2556 µm	1,2781 µm	0,002	0,53 mm	1,3636 µm	3,3463 µm
T1B02PM01	1,7198 µm	9,5868 µm	0,009	0,35 mm	7,2020 µm	11,9027 µm
T1B02PM02	10,1173 µm	32,8603 µm	0,035	0,52 mm	14,2014 µm	25,0630 µm
T1B02PM03	1,3307 µm	11,1831 µm	0,012	0,53 mm	3,3030 µm	5,2659 µm
T1B02PM04	2,3173 µm	12,9745 µm	0,010	0,00 mm	0,0000 µm	0,0000 µm
T1B02PM05	3,2934 µm	21,3529 µm	0,017	0,56 mm	4,8299 µm	7,9771 µm
T1B02PM06	3,3259 µm	14,6439 µm	0,012	0,39 mm	3,8543 µm	7,1553 µm
T1B02PM07	1,6358 µm	6,7756 µm	0,007	0,71 mm	3,5194 µm	4,6608 µm
T1B02PM08	0,9633 µm	5,2766 µm	0,006	0,27 mm	1,9361 µm	3,8641 µm
T1B02PM09	2,4000 µm	8,4777 µm	0,007	0,46 mm	2,5496 µm	5,5010 µm
T1B02PM10	2,6399 µm	9,0343 µm	0,008	0,50 mm	4,0599 µm	4,9002 µm
T1B03PM01	0,9327 µm	4,5708 µm	0,004	0,28 mm	2,2689 µm	5,1318 µm
T1B03PM02	1,0801 µm	5,5514 µm	0,005	0,60 mm	2,5027 µm	5,7165 µm
T1B03PM03	1,4846 µm	5,7267 µm	0,006	0,51 mm	2,7911 µm	5,8024 µm
T1B03PM04	1,6232 µm	8,7347 µm	0,009	0,55 mm	4,2010 µm	7,3251 µm
T1B03PM05	2,0900 µm	8,8211 µm	0,010	0,54 mm	6,5366 µm	12,8809 µm
T1B03PM06	3,3107 µm	12,8141 µm	0,012	0,66 mm	4,6106 µm	7,7993 µm
T1B03PM07	3,8083 µm	23,3612 µm	0,025	0,68 mm	14,8388 µm	24,5314 µm
T1B03PM08	3,8445 µm	15,0322 µm	0,015	0,54 mm	7,3053 µm	9,2506 µm
T1B03PM09	3,8288 µm	15,8012 µm	0,015	0,57 mm	8,6532 µm	13,7893 µm
T1B03PM10	0,5448 µm	2,9429 µm	0,003	0,61 mm	1,8758 µm	3,6993 µm
T1B04PM01	0,3136 µm	1,1981 µm	0,001	0,15 mm	1,0036 µm	2,6444 µm
T1B04PM02	2,0509 µm	10,5449 µm	0,013	0,78 mm	6,2427 µm	11,5597 µm
T1B04PM03	10,1951 µm	39,1776 µm	0,033	0,60 mm	13,1885 µm	18,1848 µm
T1B04PM04	4,8615 µm	23,8458 µm	0,024	0,74 mm	15,1737 µm	22,6729 µm
T1B04PM05	3,6023 µm	23,3252 µm	0,022	0,00 mm	0,0000 µm	0,0000 µm
T1B04PM06	5,2745 µm	21,6262 µm	0,015	0,78 mm	6,1825 µm	6,1825 µm
T1B04PM07	3,5030 µm	18,7917 µm	0,015	0,55 mm	5,2552 µm	7,3616 µm
T1B04PM08	2,5314 µm	17,3441 µm	0,014	0,75 mm	4,0662 µm	6,0205 µm
T1B04PM09	0,9100 µm	4,0838 µm	0,004	0,45 mm	2,1823 µm	3,9589 µm
T1B04PM10	1,7392 µm	5,9620 µm	0,005	0,79 mm	1,7995 µm	2,3290 µm

Felület	Hullámossági paraméterek					
	Wa	Wt	Wdq	WDsm	W Dc	W Dt
T1B01PP01	2,3699 µm	10,9761 µm	0,012	0,00 mm	0,0000 µm	0,0000 µm
T1B01PP02	2,8456 µm	11,9174 µm	0,009	0,51 mm	5,4166 µm	7,7823 µm
T1B01PP03	4,1879 µm	13,4924 µm	0,014	0,59 mm	5,3407 µm	10,6264 µm
T1B01PP04	4,4286 µm	18,8198 µm	0,014	0,79 mm	6,5761 µm	8,9202 µm
T1B01PP05	1,1840 µm	6,9235 µm	0,007	0,58 mm	4,1400 µm	6,0945 µm
T1B01PP06	1,1101 µm	4,4662 µm	0,004	0,60 mm	2,2439 µm	3,6044 µm
T1B01PP07	1,5311 µm	6,3592 µm	0,005	0,49 mm	2,7758 µm	5,4295 µm
T1B01PP08	1,2091 µm	3,9967 µm	0,003	0,49 mm	1,2601 µm	3,0815 µm
T1B01PP09	1,3430 µm	5,0540 µm	0,003	0,60 mm	0,6434 µm	1,0855 µm
T1B01PP10	1,2764 µm	4,5321 µm	0,003	0,40 mm	0,4152 µm	0,6508 µm
T1B02PP01	0,1498 µm	0,9832 µm	0,001	0,56 mm	0,5831 µm	0,5831 µm
T1B02PP02	1,1777 µm	11,0792 µm	0,009	0,66 mm	4,6247 µm	7,5182 µm
T1B02PP03	2,9174 µm	12,8862 µm	0,010	0,71 mm	6,6280 µm	6,6280 µm
T1B02PP04	1,2894 µm	6,2397 µm	0,003	0,61 mm	0,7593 µm	1,2129 µm
T1B02PP05	1,5260 µm	6,3444 µm	0,008	0,00 mm	0,0000 µm	0,0000 µm
T1B02PP06	5,0570 µm	20,6616 µm	0,019	0,64 mm	11,7285 µm	18,3315 µm
T1B02PP07	2,7796 µm	9,4849 µm	0,007	0,73 mm	2,9649 µm	3,9308 µm
T1B02PP08	3,7436 µm	13,0362 µm	0,008	0,46 mm	2,9480 µm	3,7392 µm
T1B02PP09	2,5834 µm	16,0209 µm	0,016	0,59 mm	10,3798 µm	10,3798 µm
T1B02PP10	4,7951 µm	26,2077 µm	0,031	0,00 mm	0,0000 µm	0,0000 µm
T1B03PP01	1,0390 µm	5,4538 µm	0,004	0,00 mm	0,0000 µm	0,0000 µm
T1B03PP02	1,8845 µm	8,5618 µm	0,008	0,47 mm	5,7660 µm	8,9895 µm
T1B03PP03	2,3715 µm	10,0978 µm	0,009	0,52 mm	3,8323 µm	6,5968 µm
T1B03PP04	2,5750 µm	11,2792 µm	0,010	0,61 mm	6,4336 µm	8,9514 µm
T1B03PP05	1,9351 µm	9,0165 µm	0,010	0,74 mm	6,8999 µm	10,1012 µm
T1B03PP06	5,4935 µm	23,7039 µm	0,024	0,67 mm	10,6870 µm	15,4914 µm
T1B03PP07	1,8523 µm	7,4613 µm	0,006	0,58 mm	2,0822 µm	3,3937 µm
T1B03PP08	0,8922 µm	4,2329 µm	0,003	0,21 mm	2,1455 µm	5,0380 µm
T1B03PP09	0,9780 µm	3,5161 µm	0,003	0,57 mm	0,6426 µm	1,4789 µm
T1B03PP10	1,1271 µm	4,2023 µm	0,003	0,34 mm	0,2628 µm	0,4129 µm
T1B04PP01	0,1267 µm	0,6863 µm	0,001	0,26 mm	0,2161 µm	0,3994 µm
T1B04PP02	0,1123 µm	0,6322 µm	0,001	0,42 mm	0,3821 µm	0,9966 µm
T1B04PP03	4,4752 µm	19,3633 µm	0,016	0,40 mm	3,3379 µm	8,8525 µm
T1B04PP04	7,5041 µm	53,4840 µm	0,027	0,50 mm	8,6164 µm	14,2788 µm
T1B04PP05	4,4880 µm	23,5736 µm	0,015	0,44 mm	3,4346 µm	5,9076 µm
T1B04PP06	3,2313 µm	16,6875 µm	0,019	0,69 mm	9,5126 µm	14,9331 µm
T1B04PP07	3,7746 µm	12,8125 µm	0,010	0,65 mm	5,6912 µm	7,9562 µm
T1B04PP08	2,6214 µm	14,1295 µm	0,012	0,68 mm	5,7890 µm	12,1423 µm
T1B04PP09	2,0515 µm	11,5184 µm	0,011	0,49 mm	4,2224 µm	7,1231 µm
T1B04PP10	1,1935 µm	8,0399 µm	0,007	0,19 mm	2,3810 µm	5,3320 µm

Felület	Profil paraméterek								
	Pa	Pq	Pt	Pp	Pv	PSm	PSk	Pku	Pdq
T1B01PM01	0,8614 µm	1,2960 µm	8,2196 µm	1,3460 µm	4,9892 µm	397,9167 µm	-2,032	7,837	0,084
T1B01PM02	2,0550 µm	2,8210 µm	17,5889 µm	2,4133 µm	6,0423 µm	866,1667 µm	-1,301	5,198	0,119
T1B01PM03	9,9840 µm	12,1065 µm	44,8075 µm	9,8152 µm	13,6698 µm	1460,0000 µm	-1,069	2,957	0,146
T1B01PM04	1,9679 µm	2,7037 µm	17,9005 µm	2,7098 µm	7,4569 µm	451,9545 µm	-1,577	6,439	0,117
T1B01PM05	3,1112 µm	4,0074 µm	20,4447 µm	3,6928 µm	8,4339 µm	453,3889 µm	-1,153	4,163	0,168
T1B01PM06	3,2845 µm	4,1088 µm	20,5192 µm	4,1981 µm	8,6475 µm	910,5000 µm	-1,071	3,678	0,142
T1B01PM07	2,5776 µm	3,2305 µm	17,4430 µm	3,7592 µm	7,2218 µm	799,8000 µm	-0,707	3,264	0,147
T1B01PM08	3,5599 µm	4,8098 µm	25,0899 µm	5,5520 µm	9,8587 µm	429,5909 µm	-0,744	4,181	0,179
T1B01PM09	2,0481 µm	2,7444 µm	15,5670 µm	4,4081 µm	5,6580 µm	275,9118 µm	-0,025	3,373	0,176
T1B01PM10	0,5660 µm	0,8425 µm	8,6036 µm	1,7036 µm	2,0693 µm	123,5455 µm	-0,226	9,688	0,085
T1B02PM01	2,6908 µm	3,7569 µm	22,9035 µm	7,4054 µm	5,8514 µm	368,3571 µm	0,618	4,172	0,198
T1B02PM02	11,3123 µm	12,9202 µm	55,8248 µm	16,6637 µm	17,9972 µm	1435,8333 µm	-0,433	1,968	0,239
T1B02PM03	4,1912 µm	6,1430 µm	39,4875 µm	7,7455 µm	8,8317 µm	1042,3000 µm	-0,748	5,343	0,160
T1B02PM04	3,8273 µm	5,3551 µm	34,4326 µm	6,0414 µm	8,1311 µm	1723,0000 µm	-0,116	4,480	0,136
T1B02PM05	6,1083 µm	8,6278 µm	50,1322 µm	7,9278 µm	11,8807 µm	2108,7500 µm	-0,844	4,714	0,146
T1B02PM06	3,9359 µm	4,8366 µm	20,1493 µm	5,9929 µm	7,4122 µm	1060,6667 µm	0,447	2,432	0,150
T1B02PM07	2,1452 µm	2,6275 µm	15,0357 µm	2,8574 µm	5,8041 µm	1111,2500 µm	-0,752	3,095	0,114
T1B02PM08	1,6512 µm	2,3160 µm	14,1576 µm	3,2050 µm	5,2498 µm	5,8694 µm	-0,236	4,377	0,123
T1B02PM09	2,7162 µm	3,2909 µm	17,3388 µm	3,5737 µm	5,9521 µm	1259,6250 µm	-0,786	3,070	0,118
T1B02PM10	2,7581 µm	3,2880 µm	15,5574 µm	3,2983 µm	5,8874 µm	1079,2000 µm	-0,722	2,650	0,129
T1B03PM01	1,0567 µm	1,5723 µm	10,6648 µm	1,5518 µm	4,5821 µm	582,8333 µm	-1,417	7,352	0,089
T1B03PM02	1,4176 µm	1,9695 µm	15,1481 µm	2,3695 µm	5,1395 µm	612,9375 µm	-0,845	6,282	0,119
T1B03PM03	1,9084 µm	2,3754 µm	13,6372 µm	2,4810 µm	6,0680 µm	751,0714 µm	-1,002	3,804	0,136
T1B03PM04	2,1855 µm	3,0381 µm	20,7376 µm	3,1241 µm	7,7632 µm	525,2500 µm	-0,285	4,238	0,164
T1B03PM05	2,9061 µm	3,7837 µm	23,4907 µm	2,8340 µm	11,8143 µm	1659,5000 µm	-1,279	5,561	0,149

T1B03PM06	3,6893 µm	4,7650 µm	23,7990 µm	3,9907 µm	7,4828 µm	803,1667 µm	-0,994	3,457	0,164
T1B03PM07	4,2768 µm	6,6429 µm	35,1980 µm	5,1172 µm	12,1752 µm	1053,2500 µm	-1,926	7,315	0,155
T1B03PM08	4,4613 µm	5,5023 µm	27,3509 µm	5,1765 µm	11,7026 µm	881,8000 µm	-0,561	2,788	0,166
T1B03PM09	4,4826 µm	5,6440 µm	25,6221 µm	6,9124 µm	7,4463 µm	627,3125 µm	0,528	2,713	0,198
T1B03PM10	1,0496 µm	1,5419 µm	13,0558 µm	3,4452 µm	4,0900 µm	195,2115 µm	0,864	7,894	0,148
T1B04PM01	0,5688 µm	0,7318 µm	6,2899 µm	1,6485 µm	2,2409 µm	76,1233 µm	-0,244	3,697	0,177
T1B04PM02	3,6649 µm	4,8581 µm	31,2340 µm	8,0933 µm	8,8056 µm	463,1500 µm	-0,261	3,796	0,208
T1B04PM03	11,6632 µm	13,3648 µm	57,7322 µm	14,7225 µm	20,6037 µm	2486,5000 µm	-0,601	2,181	0,211
T1B04PM04	5,1594 µm	7,2662 µm	53,2256 µm	6,2382 µm	13,5884 µm	2251,0000 µm	-2,133	10,237	0,147
T1B04PM05	3,5793 µm	6,1509 µm	43,0376 µm	5,7818 µm	7,8059 µm	1708,6667 µm	-2,366	12,366	0,122
T1B04PM06	5,5603 µm	6,6519 µm	30,1042 µm	7,9200 µm	7,5501 µm	3445,0000 µm	0,140	2,292	0,127
T1B04PM07	4,3056 µm	5,7023 µm	28,7800 µm	7,0583 µm	9,0338 µm	951,6250 µm	-0,077	2,917	0,156
T1B04PM08	3,7123 µm	5,5734 µm	42,7298 µm	5,5975 µm	9,7026 µm	957,9000 µm	-0,809	6,114	0,138
T1B04PM09	1,2061 µm	1,6397 µm	11,2219 µm	2,8235 µm	4,2016 µm	400,2778 µm	0,091	4,340	0,099
T1B04PM10	1,8700 µm	2,3403 µm	17,0878 µm	3,5452 µm	3,2192 µm	1434,5000 µm	0,570	4,449	0,089
T1B01PP01	3,1488 µm	3,9718 µm	17,9984 µm	5,3188 µm	7,7608 µm	700,6000 µm	-0,248	2,633	0,136
T1B01PP02	3,2037 µm	3,9690 µm	23,1872 µm	5,4690 µm	6,7417 µm	592,6667 µm	0,123	2,910	0,123
T1B01PP03	4,1488 µm	5,0663 µm	20,0270 µm	4,8194 µm	6,0729 µm	3471,5000 µm	-0,165	2,099	0,100
T1B01PP04	4,8326 µm	6,2147 µm	31,6684 µm	5,2647 µm	9,6409 µm	3161,0000 µm	-0,922	3,415	0,112
T1B01PP05	1,6292 µm	2,2604 µm	15,2763 µm	2,2675 µm	5,3463 µm	623,8750 µm	-0,937	5,437	0,119
T1B01PP06	1,4023 µm	1,7230 µm	7,8516 µm	2,3104 µm	2,8298 µm	1336,0000 µm	-0,237	2,310	0,074
T1B01PP07	1,7461 µm	2,2237 µm	13,0513 µm	2,8098 µm	4,1908 µm	996,1000 µm	-0,036	3,104	0,078
T1B01PP08	1,2962 µm	1,5657 µm	9,181	1,65 mm	2,3628 µm	2728,5000 µm	-0,386	3,213	0,046
T1B01PP09	1,4662 µm	1,7107 µm	8,3161 µm	1,7575 µm	1,7156 µm	2850,5000 µm	0,211	2,367	0,029
T1B01PP10	1,3705 µm	1,5826 µm	8,9369 µm	1,7873 µm	1,7537 µm	2476,5000 µm	0,207	2,186	0,028
T1B02PP01	0,3198 µm	0,5679 µm	7,1813 µm	0,9713 µm	1,2925 µm	624,7500 µm	-0,835	15,205	0,054
T1B02PP02	1,7599 µm	2,9347 µm	17,9572 µm	3,1580 µm	3,0338 µm	873,3333 µm	0,294	5,424	0,071
T1B02PP03	3,8483 µm	4,5370 µm	21,8459 µm	5,6865 µm	5,1494 µm	1278,5000 µm	0,121	2,365	0,127
T1B02PP04	1,7145 µm	2,3132 µm	17,3148 µm	1,9959 µm	3,4782 µm	3328,5000 µm	-1,170	7,691	0,040
T1B02PP05	2,3290 µm	3,0121 µm	19,4576 µm	3,4009 µm	4,9561 µm	935,5000 µm	-0,736	4,913	0,112

T1B02PP06	5,9222 µm	7,5064 µm	43,5047 µm	9,2726 µm	9,5820 µm	2721,5000 µm	-0,313	3,276	0,154
T1B02PP07	2,9913 µm	3,4021 µm	12,4710 µm	3,9631 µm	5,3095 µm	1073,5000 µm	-0,130	1,717	0,090
T1B02PP08	4,0162 µm	4,6349 µm	27,8704 µm	4,7280 µm	6,9958 µm	1929,5000 µm	-0,354	2,913	0,080
T1B02PP09	4,6113 µm	6,4854 µm	39,8319 µm	5,9063 µm	7,8803 µm	3625,5000 µm	-1,034	5,198	0,087
T1B02PP10	7,0152 µm	9,9860 µm	55,1499 µm	10,9944 µm	15,2397 µm	1786,7500 µm	-1,421	5,251	0,193
T1B03PP01	1,1923 µm	1,6872 µm	11,0267 µm	1,9923 µm	3,2815 µm	401,5000 µm	-0,172	3,923	0,069
T1B03PP02	2,5973 µm	3,2550 µm	15,5259 µm	4,5370 µm	5,4866 µm	621,4375 µm	0,288	2,717	0,107
T1B03PP03	2,9592 µm	3,5973 µm	19,0662 µm	5,1132 µm	5,3572 µm	1011,3000 µm	0,117	2,421	0,098
T1B03PP04	2,8021 µm	3,7074 µm	20,8209 µm	3,3138 µm	6,4241 µm	1110,5000 µm	-1,450	5,318	0,100
T1B03PP05	3,3084 µm	4,2503 µm	22,5021 µm	4,5128 µm	8,4564 µm	413,2000 µm	-1,328	4,934	0,162
T1B03PP06	5,8265 µm	7,2927 µm	36,0890 µm	7,0696 µm	11,2814 µm	1391,0000 µm	-0,869	3,442	0,133
T1B03PP07	1,8464 µm	2,3188 µm	10,9652 µm	2,7633 µm	3,3979 µm	3169,5000 µm	0,254	2,561	0,050
T1B03PP08	1,0954 µm	1,4357 µm	10,5696 µm	1,8239 µm	2,9174 µm	377,6250 µm	-0,150	3,716	0,066
T1B03PP09	1,0457 µm	1,2044 µm	6,1431 µm	1,3952 µm	1,3815 µm	2467,0000 µm	0,121	2,121	0,027
T1B03PP10	1,2003 µm	1,3927 µm	6,6622 µm	1,5669 µm	1,3670 µm	2541,5000 µm	0,289	2,170	0,021
T1B04PP01	0,2255 µm	0,2965 µm	1,9099 µm	0,4483 µm	0,6503 µm	616,8750 µm	-0,599	4,495	0,026
T1B04PP02	0,1716 µm	0,2861 µm	4,2980 µm	0,8326 µm	0,8233 µm	376,5833 µm	2,594	22,591	0,036
T1B04PP03	4,2867 µm	5,3776 µm	22,9750 µm	5,9589 µm	5,0080 µm	2950,0000 µm	0,551	2,870	0,062
T1B04PP04	6,9410 µm	9,2867 µm	44,7636 µm	7,9589 µm	7,6323 µm	3495,0000 µm	-0,650	4,070	0,092
T1B04PP05	5,2226 µm	7,2846 µm	41,0222 µm	8,2107 µm	8,7633 µm	4043,5000 µm	-0,536	3,990	0,097
T1B04PP06	4,2570 µm	5,8133 µm	38,6191 µm	6,3626 µm	9,0830 µm	1237,5000 µm	-1,735	7,583	0,156
T1B04PP07	4,9470 µm	5,7960 µm	27,6059 µm	5,8704 µm	9,0789 µm	1505,0000 µm	-0,709	2,810	0,119
T1B04PP08	3,1490 µm	4,3787 µm	33,8863 µm	5,3628 µm	5,7125 µm	2223,0000 µm	-0,700	5,840	0,097
T1B04PP09	3,0461 µm	3,8888 µm	24,5707 µm	4,9054 µm	6,7277 µm	1309,0000 µm	-0,065	3,963	0,093
T1B04PP10	2,4886 µm	4,2005 µm	34,6886 µm	4,3644 µm	7,5421 µm	943,8000 µm	-2,148	12,054	0,135