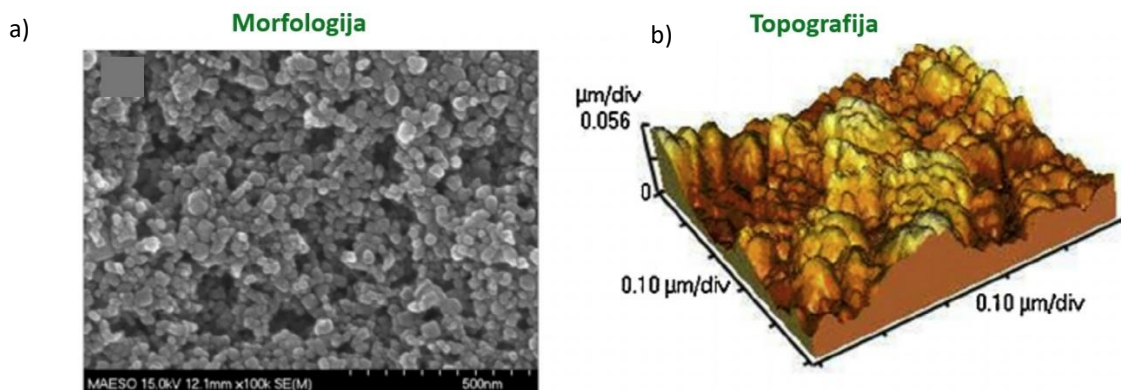


## 1. VEŽBA - TOPOGRAFIJA POVRŠINE

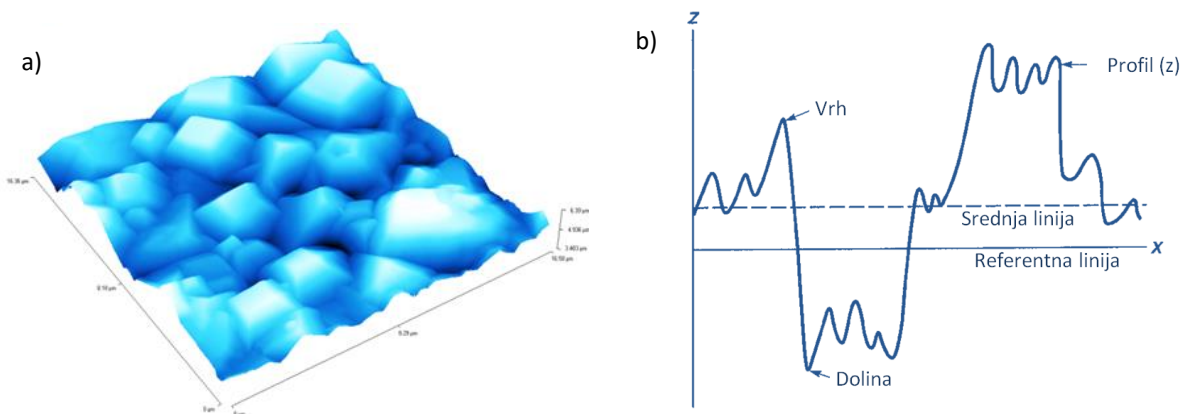
Inženjerske površine znatno odstupaju od idealnog stanja, kako po obliku tako i po hemijskom sastavu i strukturi. Poznavanje stanja površine igra važnu ulogu u utvrđivanju međusobnog odnosa inženjerskih površina i njihovog tribološkog ponašanja.

Pri definisanju ili oceni oblika površine razlikujemo dva osnovna pristupa ili dva osnovna pojma a to su: morfologija površine i topografija površine (slika 002). Morfologija površine predstavlja izgled površine, odnosno oblike na toj površini, njenu teksturu i raspored materijala po površini. Morfologija je kvalitativni uvid u oblik površine bez brojčanih vrednosti a može se dobiti na primer primenom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM), slika 002a. Topografija površine je trodimenzionalni izgled površine koja sadži i brojčane podatke o elementima na površini, kao što su visine neravnina itd. Topografija kvantitativno karakteriše površinu i iz nje se mogu izračunati parametri hrapavosti a ovakva merenja se mogu dobiti primenom 3D profilometara ili mikroskopijom atomskih sila (AFM) slika 002b.



Slika 1.1 Morfologija i topografija površine a) SEM snimak površine, b) 3D topografski snimak površine mikroskopijom atomskim silama (AFM)

Svaki deo površine sačinjen je od teksture i hrapavosti koja varira u zavisnosti od načina proizvodnje, kao i strukture dela koji se razmatra. Površina nekog objekta karakteriše se svojom topografijom (slika 003a) i profilom (slika 003b). Dok su ranije najčešće vršena merenja profila, danas se više važnosti pridaje određivanju topografije površine, pri čemu se koristi veliki broj 3D parametara hrapavosti za opisivanje topografije.



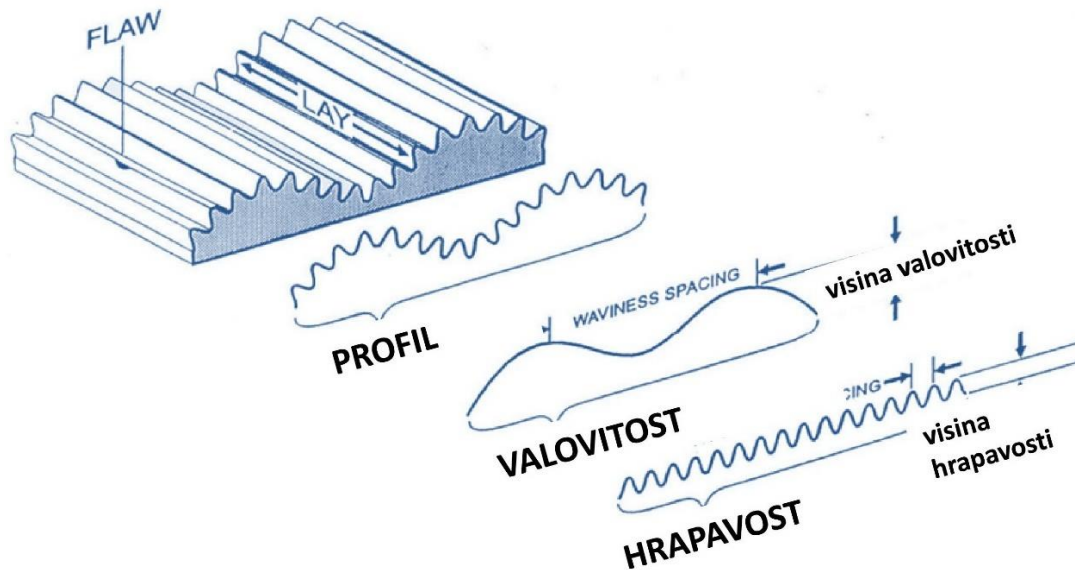
Slika 1.2: a) Topografija dijamanta, b) linija profila u jednom preseku

### OSNOVNI POJMOVI O HRAPAVOSTI TEHNIČKIH POVRŠINA

Osnovni pojmovi o hrapavosti tehničkih površina dati su prema standardu SRPS EN ISO 4287:2014.

**Površinska hrapavost** predstavlja skup mikro-geometrijskih nepravilnosti na površini predmeta, koje su mnogo puta manje od površine celog predmeta. Ove nepravilnosti nastaju tokom obrade radnog predmeta ili mogu biti izazvane drugim uticajima, na primer korozijom površine.

**Profil površine** predstavlja presek stvarne površine sa određenom ravni (vidi Slika 1.2b i Slika 1.3).

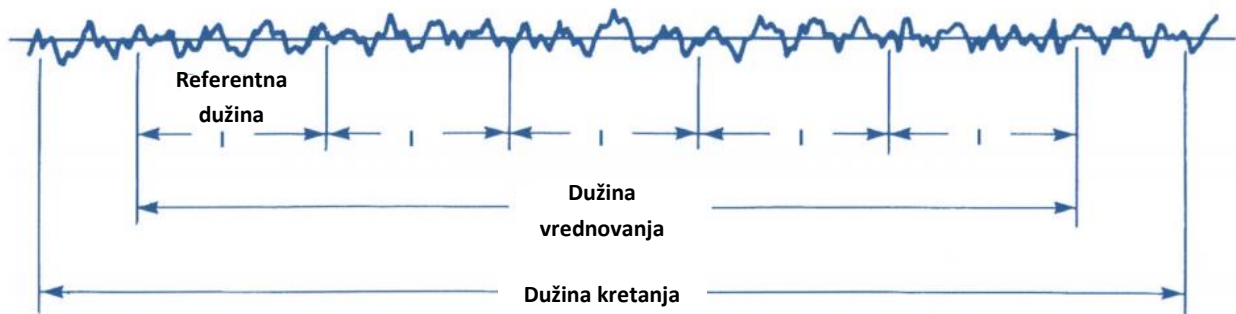


Slika 1.3: Stvarna površina, profil površine, profil valovitosti i profil hrapavosti (1)

**Profil valovitosti** predstavlja profil koji prikazuje nepravilnosti većih talasnih dužina (nepravilnosti koje se javljaju na većim rastojanjima). Ovaj profil dobija se iz osnovnog profila primenom profilnih filtera  $\lambda_f$  i  $\lambda_c$  (vidi Slika 1.3).

**Profil hrapavosti** predstavlja profil koji prikazuje nepravilnosti manjih talasnih dužina (nepravilnosti koje se nalaze na kraćem rastojanju). Dobija se iz osnovnog profila zanemarivanjem komponenti većih talasnih dužina, a primenom profilnog filtera  $\lambda_c$  (vidi Slika 1.3).

**Profilni filter** razdvaja osnovni profil na komponente kratkih talasnih dužina (hrapavost) i velikih talasnih dužina (valovitost). Definiše se standardom SRPS EN ISO 11562:20092.



Slika 1.4: Značajne dužine pri merenju profila površine (1)

**Srednja linija profila** - definiše se posebno za osnovni profil, profil valovitosti i profil hrapavosti. Za osnovni profil dobija se metodom najmanjih kvadrata, tada srednja linija profila deli profil tako da je unutar neke dužine  $l$  zbir kvadrata svih odstupanja profila  $Z$  od te linije najmanji (vidi Slika 1.2b). U slučaju profila valovitosti i profila hrapavosti upotrebljavaju se profilni filteri  $\lambda_c$  i  $\lambda_f$ .

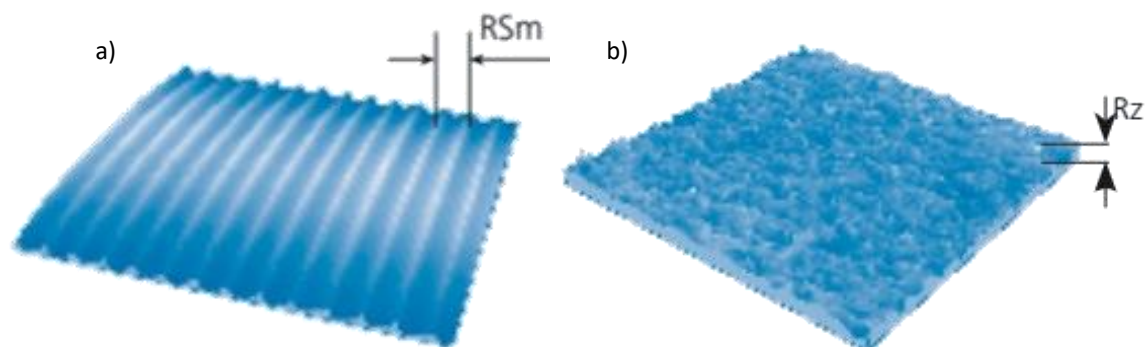
**Referentna dužina** predstavlja dužinu na kojoj se vrše merenja (vidi Slika 1.4). Razlikuje se za osnovni profil, profil valovitosti i hrapavosti. Referentna dužina za profil valovitosti  $l_w$  i hrapavosti  $l_r$  brojačno je jednaka karakterističnoj talasnoj dužini profilnih filtera  $\lambda_f$  i  $\lambda_c$ . Referentna dužina osnovnog profila  $l_p$  jednaka je dužini vrednovanja.

**Dužina vrednovanja**  $l_r$  predstavlja deo dužine kretanja koji se koristi za vrednovanje profila koji se meri. Može da sadrži jednu ili više referentnih dužina (Tabela 1.1). Da bi merenje hrapavosti bilo po standardu dužina vrednovanja se određuje naspram hrapavosti površine na kojoj se vrše merenja iz tabele 002, uzimajući u obzir da li se radi o površini sa periodičnim profilom ili sa neperiodičnim profilom, slika 006. Hrapavost koja je potrebna za određivanje dužine vrednovanja se određuje probnim merenjem hrapavosti (koje neće biti po standardu).

**Dužina kretanja** predstavlja ukupnu dužinu koja se prelazi u toku snimanja profila.

Tabela 1.1: Profilni filter (Cutoff)  $\lambda$  prema ISO4288 (DIN 4768)

Periodični profili	Neperiodični profili		Granična talasna dužina	Referentna dužina / dužina vrednovanja
širina elemenata $X_s$ (mm)	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda$ (mm)	$L_r/L_n$ (mm)
> 0,01 do 0,04	do 0,1	do 0,02	0,08	0,08/0,4
> 0,04 do 0,13	> 0,1 do 0,5	> 0,02 do 0,1	0,25	0,25/1,25
> 0,13 do 0,4	> 0,5 do 10	> 0,1 do 2	0,8	0,8/4
> 0,4 do 1,3	> 10 do 50	> 2 do 10	2,5	2,5/12,5
> 1,3 do 4,0	> 50	> 10	8	8/40



Slika 1.5 Površina sa: a) periodičnim profilom, b) neperiodičnim profilom

### Parametri hrapavosti

Počeci merenja topografije površina datiraju iz 1930. godine, kada su merenja vršena takozvanim profilometrima kod kojih se meri vertikalno pomeranje sonde (igle) prilikom njenog povlačenja po ispitivanoj površini. Prilikom takvih merenja dobijeni su profili površina u obliku dijagrama u kojima je svaka tačka profila definisana sa svojim koordinatama u x, z koordinatnom sistemu. Na osnovu tih profila karakterisala se hrapavost površine. Da bi se brojačno mogle okarakterisati površine sa različitim profilima osmišljene su desetine različitih parametara hrapavosti koji se koriste za te namene. Do danas je razvijeno i više vrsta tehnika kojima se može izmeriti topografija površine u tri dimenzije te su stoga trodimenzionalna merenja danas mnogo zastupljenija. Parametri hrapavosti se mogu podeliti na više načina a osnovina podela je: ako su korišćeni profili za određivanje parametara onda se radi o linijskim (2D) parametrima hrapavosti a ako su korišćena 3D topografska merenja onda su to površinski (3D) parametri hrapavosti (2). Linijski parametri hrapavosti se označavaju sa slovom „R“ a površinski parametri hrapavosti se označavaju sa slovom „S“.

Dalja podela parametara kojima se vrši opis stanja površine je izvršen naspram vrste geometrijskih karakteriska za čiji opis se oni koriste a to su:

- Amplitudni parametri (amplitude parameters) – odnose se na vertikalne karakteristike devijacije površine;
- Parametri razmaka (spacing parameters) – odnose se na horizontalne karakteristike devijacije površine;
- Hibridni parametri (hybrid parameters) – predstavljaju kombinaciju parametara amplitude i parametara razmaka;
- Funkcionalni parametri (functional parameters) – primenjuju se za ocenu nosivosti i sposobnosti zadržavanja fluida.

### **Linijski (2D) parametri hrapavosti – amplitudni parametri**

**R<sub>a</sub> - Prosečna hrapavost, aritmetička srednja hrapavost:** Najčešći parametar za opisivanje hrapavosti, predstavlja aritmetičku sredinu odstupanja profila od srednje linije

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx$$

Ukoliko se na tehničkom crtežu navodi hrapavost, a nije upisano o kom se parametru radi u pitanju je aritmetička srednja hrapavost R<sub>a</sub>. Ovaj parametar ima dobru primenljivost kod nasumičnih površina (*eng. random type surfaces*) kod kojih nema ponavljanja posebne šeme ili izražene usmerenosti. Parametar je koristan za kontrolisane procese kod kojih su uslovi uvek isti. Na primer prilikom kontrole delova koji se obrađuju primenom istog alata, iste brzine rezanja i istog sredstva za podmazivanje i hlađenje. Dodatno, parametar ne može pokazati razliku za različite tipove površina (slika 006) jer njegove vrednosti ne zavisi od talasne dužine neravnina, nema razlike u vrednosti za pikove i doline .

**R<sub>q (rms)</sub> - Srednja vrednost kvadratnog odstupanja:** Prosečna vrednost kvadratnog odstupanja profila od srednje linije.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L z^2(x) dx}$$

Ovaj parametar je osetljiviji na postojanje visokih vrhova (pikova) i dolina od parametra R<sub>a</sub> jer se vrednosti odstupanja dižu na drugi stepen. Primena je slična kao za R<sub>a</sub> s tim da se R<sub>q</sub> češće upotrebljava za opšte slučajeve.

**R<sub>1.0z</sub> - Srednja vrednost rastojanja između najviše i najniže tačke profila:** Definiše se kao prosečna vrednost rastojanja pet najviših i pet najnižih tačaka.

$$R_z = \frac{P1 + P2 + \dots + P5 - V1 - V2 - \dots - V5}{5}$$

Ovaj parametar je osetljiviji na promene kvaliteta površine jer uzima u obzir najveća, a ne prosečna odstupanja. Sa ovim parametrom često se kombinuje parametar R<sub>max</sub>. R<sub>max</sub> se koristi kada nije dozvoljeno postojanje nijedne greške, npr. ogrebotina na glatkoj površini. Ova dva parametra se kombinuju za praćenje promene kvaliteta površine u toku proizvodnog procesa. Slične vrednosti R<sub>z</sub> i R<sub>max</sub> označavaju ujednačen kvalitet površine, dok značajnije razlike ukazuju na postojanje defekata na površini.

Veći broj savremenih tehnika merenja topografije površina mogu veoma brzo izvršiti 3D merenja velikih zona jedne površine. Za razliku od linijskih (2D) merenja, na osnovu površinskih merenja (3D) se mogu doneti mnogi zaključci o stanju površine kao što su valovitost površine, nagib površine, uvid u detalje na površini kao što su postojanje ogrebotina, brazdi ili kratera. Na početku razvoja oblasti merenja hrapavosti (topografije) izpovršinskih merenja su se proračunavali isti parametri koji se koriste u slučaju linijskih merenja, samo su bili prilagođeni za tri dimenzije. Takvi su na primer parametri S<sub>a</sub>, S<sub>q</sub> i S<sub>z</sub> koji se isto definišu i znače kao i R<sub>a</sub>, R<sub>q</sub> i R<sub>z</sub> ali se odnose na celu površinu.

### **Površinski (3D) parametri - amplitudni parametri**

**S<sub>a</sub> - Prosečna hrapavost, aritmetička srednja hrapavost (eng. average roughness)**

Predstavlja prosečnu vrednost odstupanja profila od „srednje“ ravni, cilindra ili sfere. Za površinu sa N tačaka, određuje se prema izrazu (4):

$$S_a = \sum_{n=1}^N \frac{|Z_n - \bar{Z}|}{N}$$

Gde su:  $\bar{Z}$  - srednja visina neravnina; Z<sub>n</sub> - visina n-te tačke.

Aritmetička srednja hrapavost je jedan od prvih parametara korišćen za opisivanje stanja površine. U većini slučajeva se koristi kao glavni faktor za opisivanje stanja površine ili kao referenca. Nažalost, parametar S<sub>a</sub> nije pouzdan, jer površine različitih profila, oblika i frekvencija mogu imati iste vrednosti pomenutog parametra. Odnosi se samo na odstupanje visine i ne zavisi od prostornog rasporeda visina. Pored toga, ne zavisi od „polariteta“

teksture, što znači da će površine sa visokim vrhovima sa jedne i dubokim dolinama sa druge strane imati istu vrednost  $S_a$ . Najviše se koristi za klasifikaciju površina izrađenih istim postupkom.

### $S_q$ - Srednja vrednost kvadratnog odstupanja - RMS (eng. root mean square roughness)

Za površinu koja se sastoji od  $N$  tačaka, određuje se prema sledećem izrazu:

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |z_n - \bar{z}|^2}$$

Kao i u slučaju  $S_a$ ,  $S_q$  ne zavisi od prostornog rasporeda visina, niti od „polariteta“ teksture. Jedina razlika u odnosu na  $S_a$  jeste da se vrši kvadriranje odstupanja pre određivanja prosečne vrednosti. Ovo znači da se velika odstupanja od srednje vrednosti mogu bolje detektovati primenom  $S_q$  nego  $S_a$ , ali iz istog razloga manja odstupanja utiće manje na  $S_q$  nego na  $S_a$ . Veliki broj teorija povezuje način rasejavanja svetla od površine sa parametrom  $S_q$ , pa se isti najčešće koristi u optici za specifikaciju završnog kvaliteta površine.

### $S_{sk}$ - Asimetrija površine (eng. surface skewness)

Definiše se sledećim izrazom (5):

$$S_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} |z_n - \bar{z}|^3$$

Ovaj parametar predstavlja meru asimetrije površine. Pošto se vrednosti visine tačaka dižu na treći stepen pre usrednjavanja, može se dobiti informacija o „polaritetu“ površine. Površine sa izraženim dubokim dolinama odlikuju se negativnom asimetrijom  $S_{sk} < 0$ , dok se površine sa izraženim pikovima odlikuju pozitivnom asimetrijom  $S_{sk} > 0$ . Za vrednost  $S_{sk} = 0$  kaže se da visine tačaka imaju simetričnu raspodelu kao što je npr. Gausova raspodela. Pošto se vrednosti visina tačaka dižu na treći stepen nekoliko veoma visokih ili veoma niskih tačaka značajno utiče na vrednost parametra. Stoga ponovljivost merenja može biti slaba i potrebno je izvršiti dovoljan broj merenja koji obezbeđuje statistički značajne vrednosti merenog parametra.

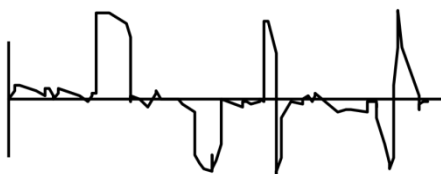
### $S_{ku}$ - Zaobljenost (eng. kurtosis)

Definiše se sledećim izrazom (5):

$$S_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} |z_n - \bar{z}|^4$$

Može se reći da je „zaobljenost“ mera nasumičnosti i oštine površine. Potpuno nasumična površina odlikuje se faktorom zaobljenosti  $S_{ku} = 3$ . Što je vrednost  $S_{ku}$  dalja od broja 3 površina je manje nasumična. Faktor zaobljenosti imaće vrednost veću od 3 kod površina sa visokim vrhovima ili dubokim dolinama koji odstupaju od normalne raspodele (Slika 1.6a). Površinu koju sačinjavaju „brežuljci“ odlikuje faktor zaobljenosti  $S_{ku} < 3$  (Slika 1.6b).

a)



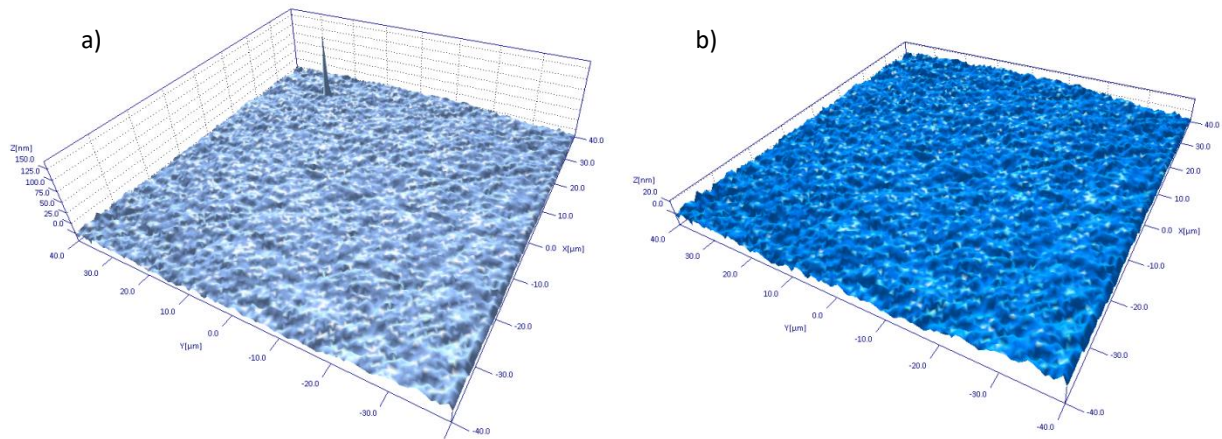
b)



Slika 1.6: Profil a) površine sa izraženim vrhovima/dolinama ( $R_{ku} = 10$ ); b) sporo varirajuće površine ( $R_{ku} = 1.5$ )

Ovaj faktor može da se iskoristi za određivanje površinskih defekata i neuobičajenih vrhova i dolina. Tipičan primer prikazan je na slici Slika 1.7. Slika 1.7a predstavlja tek snimljenu topografiju površine, a Slika 1.7b topografiju nakon uklanjanja visokog vrha koji najverovatnije predstavlja grešku merenja. Za površinu prikazanu na slici Slika 1.7b može se reći da je nasumična i faktor zaobljenosti ima vrednost  $S_{ku} = 3.84$ , dok je vrednost  $S_{ku} = 144.45$  za površinu prikazanu na slici Slika 1.7a, što ukazuje na prisustvo visokog vrha.





Slika 1.7: Topografija površine poliranog čelika: a) tek snimljena, b) nakon uklanjanja visokog vrha

Pošto se vrednosti visina tačaka poddižu na četvrti stepen nekoliko veoma visokih ili veoma niskih tačaka značajno utiče na vrednost parametra. Stoga ponovljivost merenja može biti slaba i potrebno je izvršiti dovoljan broj merenja koji obezbeđuje statistički značajne vrednosti merenog parametra.

#### **S<sub>10Z</sub> - Visina deset tačaka (eng. ten point height)**

Definiše se sledećim izrazom:

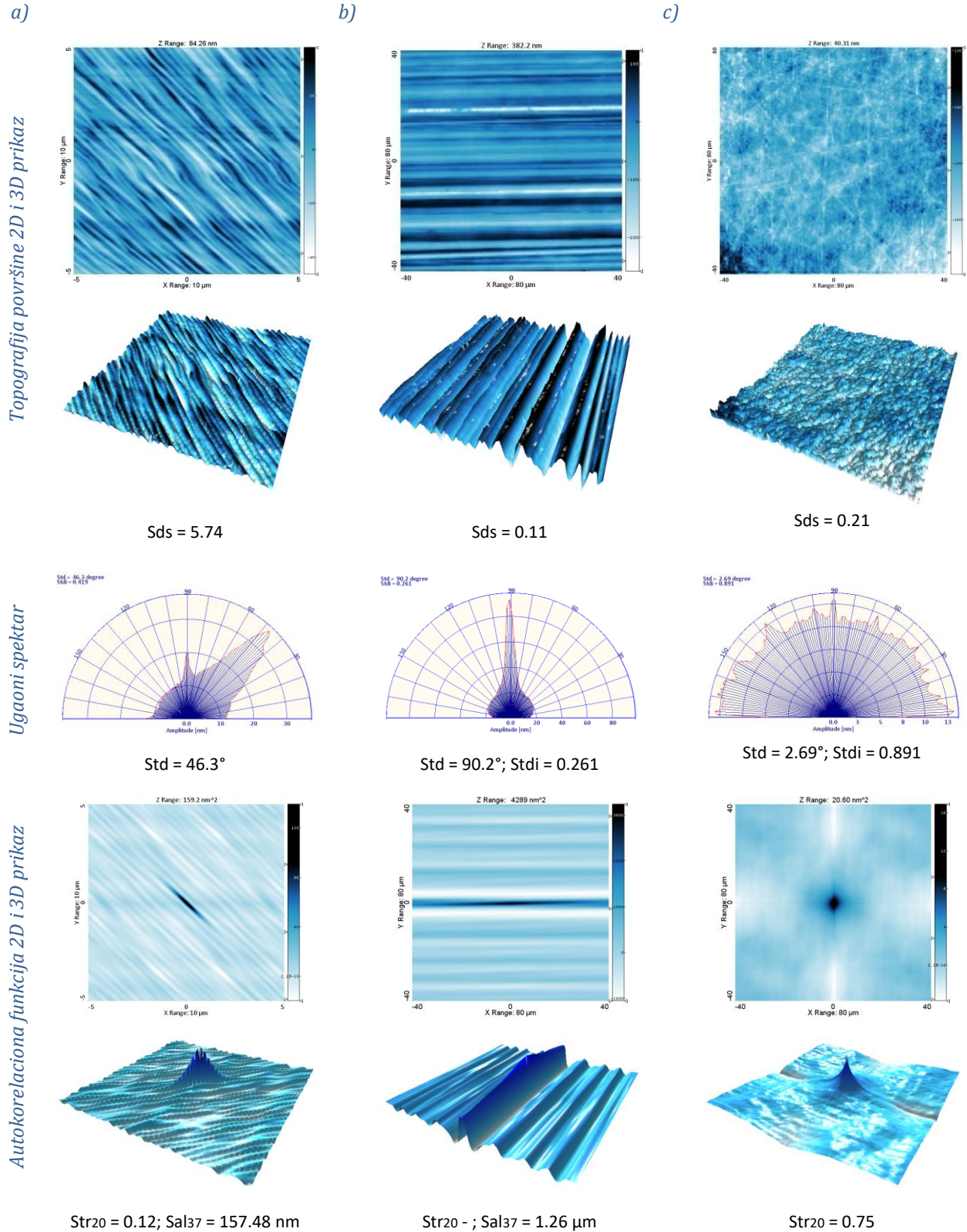
$$S_{10Z} = \frac{1}{5} \left( \sum_{n=1}^5 |z_{pn}| + \sum_{n=1}^5 |z_{vn}| \right)$$

Predstavlja prosečnu visinu pet najviših i pet najnižih tačaka posmatrane površine. Primenjuje se u slučaju zaptivnih površina i na polju prevlaka.

**Površinski (3D) parametri – parametri razmaka**

**Sds - Gustina vrhova (eng. density of summits)**

Predstavlja broj vrhova po jediničnoj površini ( $1/\mu\text{m}^2$ ). Definiše se ASME B46.1 standardom. Sa slike Slika 1.8 se vidi da najveći broj vrhova po jediničnoj površini ima površina indijum fosfata tretirana jonskim snopom. Ova površina ima veliki broj brazdi reda veličine nm, pa je stoga broj vrhova po  $\mu\text{m}^2$  ove površine najveći.



Slika 1.8: Gustina vrhova, ugaoni spektar i autokorelaciona funkcija različitih površina: a) površina indijum fosfata (InP) dobijena jonskim bombardovanjem, b) brušena površina čelika, c) polirana površina čelika

**Std - Pravac usmerenosti neravnina (eng. texture direction)**

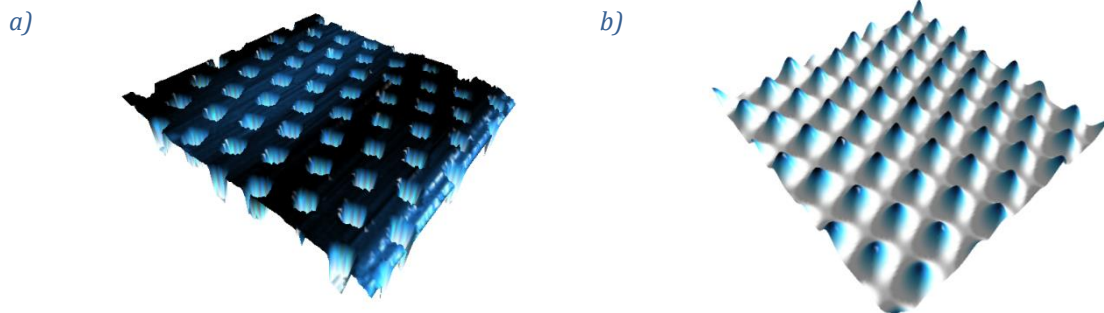
Predstavlja ugao dominantne teksture na površini, a određuje se iz Furijeovog spektra. Za različite uglove se određuje relativan zbir amplituda sabiranjem amplituda duž linija koje se prostiru u radialnom pravcu. Rezultujući spektar naziva se ugaoni spektar. Za površine koje se sastoje od paralelnih brazdi, pravac usmerenosti teksture je paralelan pravcu brazdi. Ukoliko su brazde upravne na X - pravac  $Std = 0$ . Parametar izražava se u stepenima suprotno kretanju kazaljke na satu (6), ima smisla samo ukoliko postoji uticajan pravac na uzorku. Na slici Slika 1.8 prikazani su ugaoni spektri tri površine. Brazde jonski bombardovanog InP prostiru se duže pravca pod uglom od  $46.3^\circ$ , brazde brušenog čelika pod uglom od  $90.2^\circ$ , dok na poliranom uzorku ne postoji dominantna tekstura.

**Stdi - Indeks pravca usmerenosti (eng. texture direction index)**

Pokazuje intezitet dominantnosti dominantne teksture, a definiše se kao odnos prosečne vrednosti sume amplituda i sume amplituda duž dominantnog pravca. Površine sa veoma dominantnom teksturom odlikuje Stdi blizak nuli (npr. površina brušenog čelika sa izraženim brazdama,  $Stdi = 0.261$ , Slika 1.8b), dok površine bez izražene teksture odlikuje Stdi blizak jedinici (npr. površina poliranog čelika,  $Stdi = 0.891$ , Slika 1.8c).

**Str - Odnos usmerenosti neravnina (eng. texture aspect ratio)**

Koristi se kao pokazatelj izotropnosti površine. Određuje se pomoću autokorelacione funkcije koja se predstavlja u vidu 3D prikaza (Slika 1.8). Autokorelaciona slika sadrži uvek centralni vrh, a u pojedinim slučajevima mogu se javiti i sekundarni vrhovi koji ukazuju na određenu korelaciju između jednog dela površine i same površine. Sekundarni vrhovi se javljaju kod površina koje sadrže periodične i pseudoperiodične motive (Slika 1.9). O izotropnosti površine može se govoriti na osnovu oblika centralnog vrha. Ukoliko su osobine površine jednake u svim pravcima centralni vrh ima približno kružni oblik (Slika 1.8c). Kod površina koje imaju izraženu orijentaciju, centralni vrh je izdužen (Slika 1.8 a i b).



Slika 1.9: Kalibraciona rešetka a) i pripadajuća autokorelaciona funkcija b) i c)

Definiše se kao odnos najkraćeg i najdužeg rastojanja na kome autokorelaciona funkcija opada na 20 ili 37% u bilo kom pravcu, tj. kao odnos najbržeg i najsporijeg opadanja autokorelacione funkcije na 20 ili 37%. Pošto je veličina površine koja se može snimiti konačna, kod nekih anizotropnih površina postoji mogućnost da najsporije opadanje autokorelacione funkcije nikada ne dostigne 20% unutar snimane površine. U tom slučaju se može koristiti najduže rastojanje autokorelacione funkcije duž pravca najsporijeg opadanja.

Parametar Str može imati vrednosti između 0 i 1. Ukoliko je reč o potpuno izotropnoj površini parametar ima vrednost 1, za površine sa  $Str > 0.5$  kaže se da su izotropne (npr. polirana površina na slici Slika 1.8c), dok vrednost parametra  $< 0.3$  pokazuje da je reč o anizotropnoj površini (npr. jonski bombardovana površina InP na slici Slika 1.8a).

**Sal - Scl - Dužina autokorelacije (eng. fastest decay autocorrelation length)**

Predstavlja najkraće horizontalno rastojanje na kome autokorelaciona funkcija opada na 0.2 ili 0.37 ( $1/e$ ) u bilo kom pravcu. U slučaju anizotropne površine (sa dominantnom usmerenošću) dužina autokorelacije nalazi se upravno na dominantni pravac. Ukoliko na površini dominiraju komponente niske frekvencije (komponente velike talasne dužine), Sal će imati velike vrednosti i obrnuto. Jonski bombardovana površina InP sastoji se iz komponenti niže frekvencije u odnosu na površinu brušenog čelika, pa je  $Sal_{InP} = 0.16 < Sal_{bruš.čel.} = 1.26 \mu m$  (Slika 1.8).

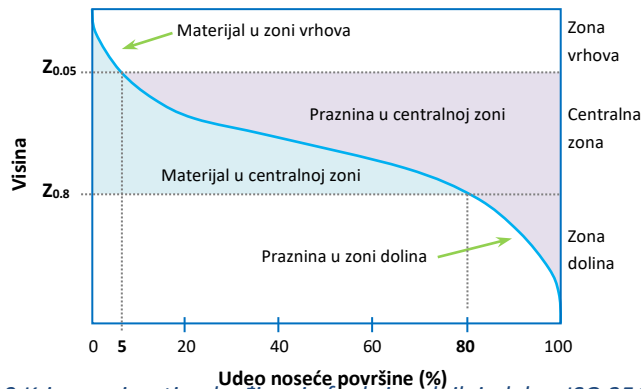


### Funkcionalni parametri

Funkcionalna karakterizacija površine je od fundamentalnog značaja za sve delove koji se nalaze u kontaktu sa drugim delovima. Funkcionalni parametri se dobijaju na osnovu *krive nosivosti* (eng. bearing ratio curve). Često se za krivu koristi naziv *Abe - Fajerstonova kriva* (eng. Abbott - Firestone curve) ili samo *Abeova kriva* (). U fizičkom smislu predstavlja prikaz udela noseće površine (deo površine koji nosi opterećenje) na različitim visinama (od najvišeg vrha do najniže doline).

### Funkcionalni indeksi

Određuju se na osnovu slike 011. Povlače se horizontalne linije za vrednost udela noseće površine 5% i 80%. Ove linije obeležavaju se sa  $Z_{0.05}$  i  $Z_{0.8}$ . Nastale zone nazivaju se zona pikova, centralna zona (zona jezgra) i zona dolina.



Slika 1.10 Kriva nosivosti, određivanje funkcionalnih indeksa ISO 25178 (7; 8)

### Sbi – indeks nosivosti površine (eng. surface bearing index)

Indeks nosivosti površine pokazuje koji deo gornje zone površine učestvuje u habanju. Predstavlja odnos RMS devijacije i visine  $Z_{0.05}$  koja odgovara 5%-nom udelu noseće površine:

$$Sbi = \frac{Sq}{Z_{0.05}} = \frac{1}{h_{0.05}}$$

Gde je:  $h_{0.05}$  – normalizovana visina

Za površinu sa Gausovom raspodelom  $Sbi = 0.61$ . Velika vrednost ovog parametra ukazuje na dobru nosivost.

### Sci – Indeks zadržavanja fluida u jezgru (eng. core fluid retention index)

Predstavlja pokazatelj veličine zapremine u kojoj se smešta sredstvo za podmazivanje. Određuje se kao odnos zapremine praznina u centralnoj zoni (zona između visine koja odgovara 5%-nom udelu noseće površine i visine koja odgovara 80%-nom udelu noseće površine) i RMS devijacije:

$$Sci = \left( \frac{V_v(h_{0.05}) - V_v(h_{0.80})}{A} \right) \div Sq$$

Gde je:  $V_v(Z_x)$  – zapremina praznog prostora ispod horizontalne linije  $Z_x$

Za površinu sa Gausovom raspodelom  $Sci = 1.56$ . Manje vrednosti se dobijaju u slučaju glatkih površina, što pokazuje da one loše zadržavaju sredstvo za podmazivanje.

### Svi – Indeks zadržavanja fluida u dolinama (eng. valley fluid retention index)

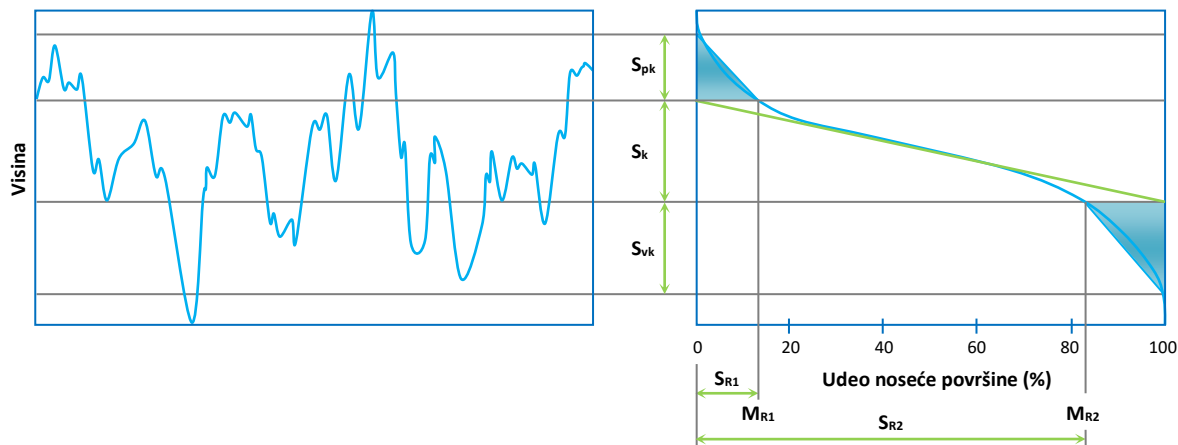
Predstavlja pokazatelj veličine zapremine praznina najdubljih dolina. Određuje se kao odnos zapremine praznina u zoni dolina (zona između visine koja odgovara 80%-nom udelu noseće površine i visine koja odgovara 100%-nom udelu noseće površine) i RMS devijacije:

$$Svi = \frac{V_v(h_{0.80})}{A} \div Sq$$

Za površinu sa Gausovom raspodelom  $Svi = 0.11$ . Veća vrednost ovog parametra označava bolju sposobnost zadržavanja fluida, tj. veću zapreminu praznina u zoni dolina.

### Parametri definisani ISO 13565-2 standardu

Određuju se na osnovu 012. Prvo se traži segment krive nosivosti koji ima najmanji nagib, a zatim se metodom najmanji kvadrata određuje prava linija koja prolazi kroz pomenuti segment. Veličina segmenta mora biti 40% od veličine krive nosivosti. U tačkama preseka nastale linije i vertikalnih linija (0% i 100%) ucrtavaju se horizontalne linije. Zatim se ucrtava linija sa početkom u tački preseka krive nosivosti i gornje horizontalne linije i krajem na vertikalnoj liniji 0%. Položaj krajnje tačke treba da je takav da površina oformljenog trougla odgovara površini između krive nosivosti i gornje horizontalne linije. Na sličan način se ucrtava linija od donje horizontalne linije do vertikalne linije 100% (8).



Slika 1.11 Kriva nosivosti, određivanje funkcionalnih parametara prema ISO 13565-2 (6; 7; 9)

#### Spk – Redukovana visina vrhova (eng. reduced summit/peak height)

Parametar Spk predstavlja meru visine vrhova koji se nalaze iznad nominalne hrapavosti površine, tj. vrhova koji izviru iznad glavnog platoa površine. Pokazatelj je visine materijala koji se uklanja u početnoj fazi klizanja. Tako npr. kod automobilskih cilindara Spk predstavlja meru pohabanosti odmah po paljenju motora.

Velika vrednost Spk ukazuje na postojanje visokih vrhova i tada je površina kontakta mala. U većini slučajeva poželjna je mala vrednost Spk kako bi se smanjio broj čestica habanja nastalih u početnoj fazi klizanja.

Određuje se sa Slika 1.11 kao visina levog trougla koji se formira prema gore opisanom postupku. Osnovica nastalog trougla označava se sa  $S_{R1}$ , dok  $M_{R1}$  predstavlja udeo površine koji može biti uklonjen na početku klizanja (9).

#### Sk – Hrapavost u centralnoj zoni (eng. the core roughness depth)

Parametar Sk je mera nominalne hrapavosti (rastojanje od najviše do najniže tačke) površine koja bi nastala nakon uklanjanja dominirajućih vrhova i dolina. Predstavlja hrapavost površine koja nosi opterećenje nakon početnog uklanjanja vrhova.

Ovaj parametar može se koristiti umesto parametara Sa, St i Sz u slučajevima kada prisustvo preterano velikih vrhova ili dolina može ugroziti ponovljivost određivanja nabrojanih parametara (9).

#### Svk – Redukovana dubina dolina (eng. reduced valley depth)

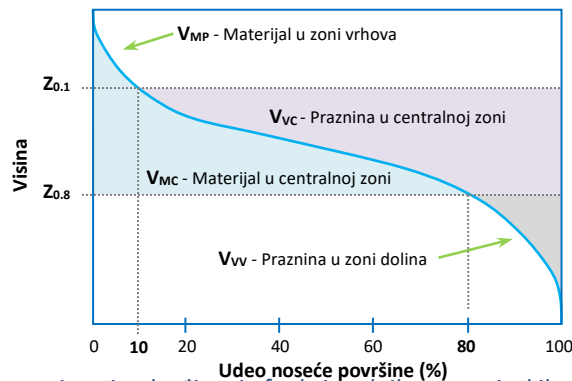
Predstavlja meru dubine dolina ispod nominalne hrapavosti, tj. dolina ispod glavnog platoa površine. Parametar se koristi za procenu sposobnosti zadržavanja fluida i zarobljavanja čestica habanja.

Određuje se sa slike 7 kao visina levog trougla koji se formira prema gore opisanom postupku. Osnovica nastalog trougla označava se sa  $S_{R2}$ . Razlika  $100 - M_{R1}$  predstavlja udeo površine koju sačinjavaju najdublje doline (9).

## Funkcionalni zapreminski parametri

U novom standardu ISO 25178 3D funkcionalni indeksi zamenjeni su funkcionalnim zapreminskim parametrima koji bolje predstavljaju funkcionalne osobine površine. Vrednosti funkcionalnih indeksa su slične za različite tipove površina, kao i za različite vrednosti hrapavosti. Stoga je na osnovu njih teško govoriti o nosivosti površine ili o mogućnosti zadržavanja fluida, pogotovo ako je reč o sličnim površinama kod kojih postoji razlika samo u veličini motiva slika 013. Funkcionalni zapreminski parametri nemaju navedeni nedostatak (10).

Određuju se kao i prethodne dve grupe parametara na osnovu Abeove krive (Slika 1.10) i izražavaju se u jedinici zapremine po jedinici površine ( $\text{ml}/\text{m}^2$  ili  $\mu\text{m}^3/\text{mm}^2$  ili  $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ ) (6).



Slika 1.12 Kriva nosivosti, određivanje funkcionalnih zapreminskih parametara ISO 25178 (6)

### V<sub>mp</sub> – Zapremina materijala vrhova (eng. peak/surface material volume)

Predstavlja zapreminu materijala koji se nalazi u prvih 10% noseće površine, po jedinici površine:

$$V_{mp} = \frac{V_m(h_{0.10})}{A}$$

Gde je: V<sub>m</sub> – zapremina materijala na određenoj visini

### V<sub>mc</sub> – Zapremina materijala jezgra (eng. core material volume)

Predstavlja zapreminu materijala koji se nalazi u zoni od 10% do 80% noseće površine, po jedinici površine:

$$V_{mc} = \frac{V_m(h_{0.80}) - V_m(h_{0.10})}{(M - 1)(N - 1) \cdot \Delta x \Delta y}$$

### V<sub>vc</sub> – Zapremina praznina u jezgru (eng. core void volume)

Predstavlja zapreminu praznina koje se nalaze u zoni od 10% do 80% noseće površine, po jedinici površine:

$$V_{vc} = \frac{V_v(h_{0.10}) - V_v(h_{0.80})}{A}$$

## LITERATURA

1. *Surface finish 101*. 800-875-4243.
2. Zygo. *MetroPro Surface Texture Parameters*. s.l. : Zygo Corporation. [www.zygo.com](http://www.zygo.com).
3. Zecchino, Mike. *Characterizing Surface Quality: Why Average Roughness is Not Enough*. s.l. : Veeco Instruments, Inc.
4. Veeco. *Image Processing Software Reference Manual*. Santa Barbara, California : s.n., 2004.
5. Bhushan, Bharat. Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques. *Modern Tribology Handbook*. s.l. : CRC Press LLC, 2001.
6. Blateyron, Francois. *New 3D Parameters and Filtration Techniques for Surface Metrology*. s.l. : Digital Surface, 2006.
7. *Surface Texture - Panel Discussion*. Committee, ASME B46. International Joint Tribology Conference.
8. Imagemet. *Roughness Parameters*. s.l. : [www.imagemet.com](http://www.imagemet.com).
9. Metrology, Michigan. *Glossary of surface texture parameters - 3d surface texture parameters*. s.l. : Michigan Metrology.
10. Liam Blunt, Xiangqian Jiang. *Advanced Techniques for Assessment Surface Topography: Development of a Basis for 3D Surface Texture Standards "Surfstand"*. s.l. : Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN-10: 1903996112.
11. *Vežbe iz inženjerstva površina*. Rakita, Milan. s.l. : Laboratorija za termičku obradu, 2006.
12. *Effect of roughness on the phase velocity of Rayleigh waves in GaAs crystals*. N.Tarasenko, P.Bohac, L.Jastrabik, D.Chvostova, A.Tarasenko. 491, 2005, Thin Solid Films, str. 184 - 189.
13. *Plasmons on a randomly rough surface*. L.A. Moraga, Raul Labbe. 14, 1990, Physical Review B, T. 41, str. 221-223.
14. dizajna, Studij. *Hrapavost tehničkih površina*.