

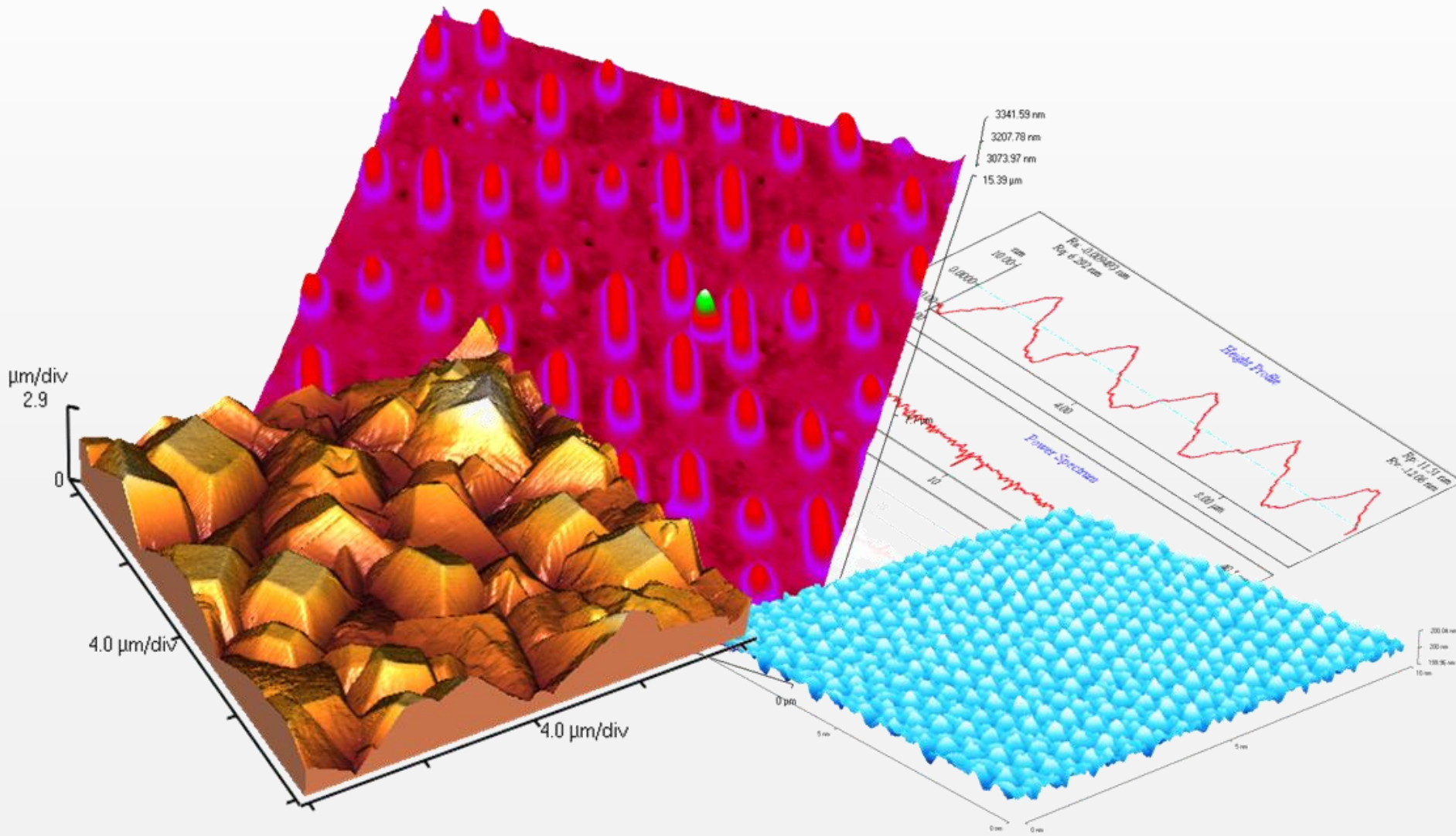


Nanotehnologije

Topografija površine

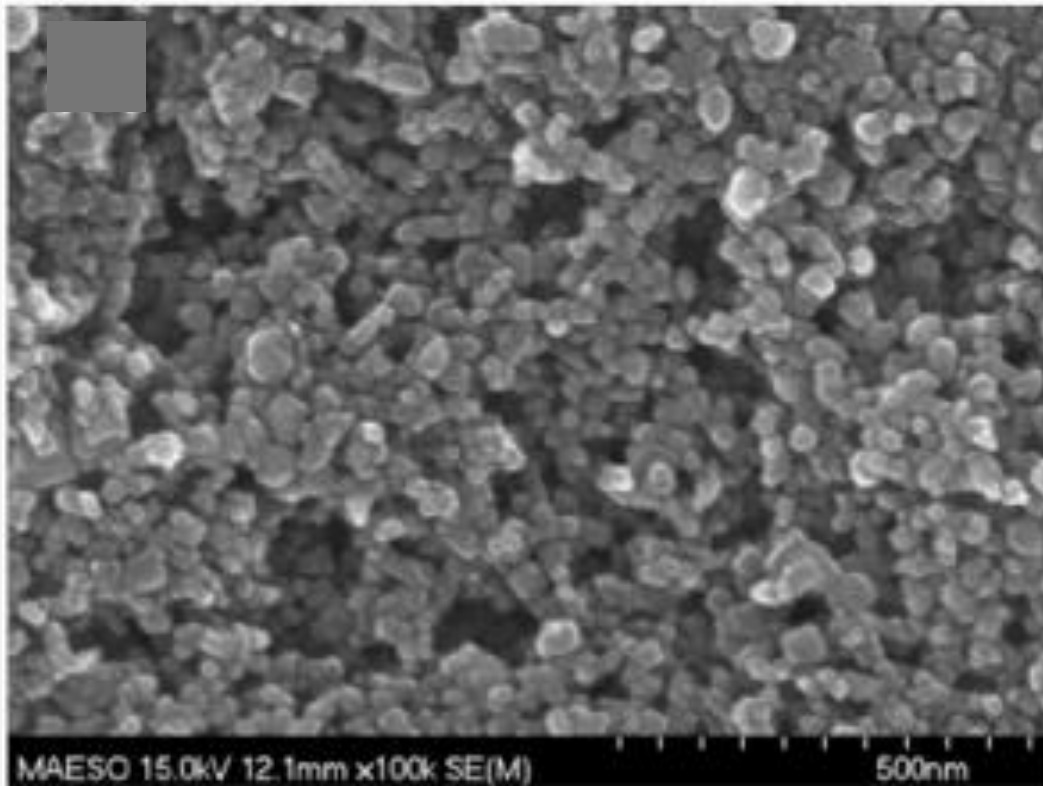
Doc.dr Pal Terek
Prof.dr Branko Škorić

Inženjerske površine

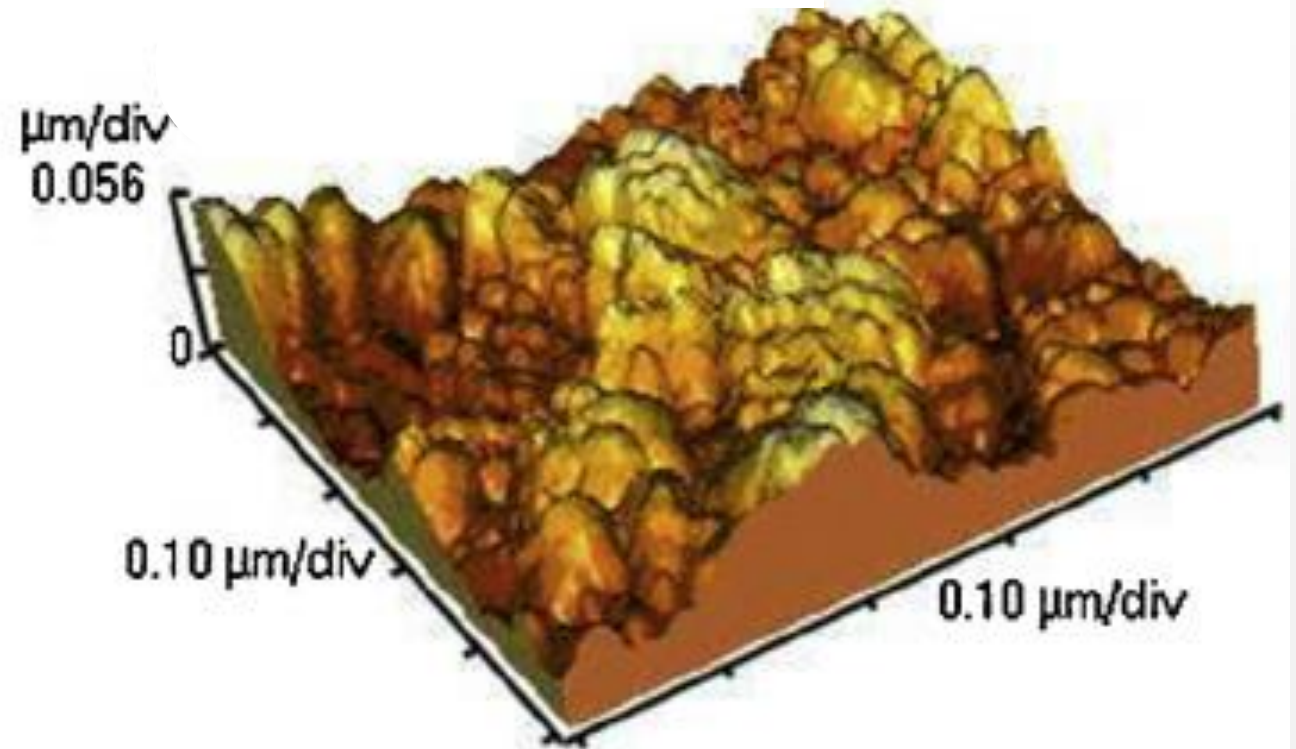


Morfologija / topografija površine

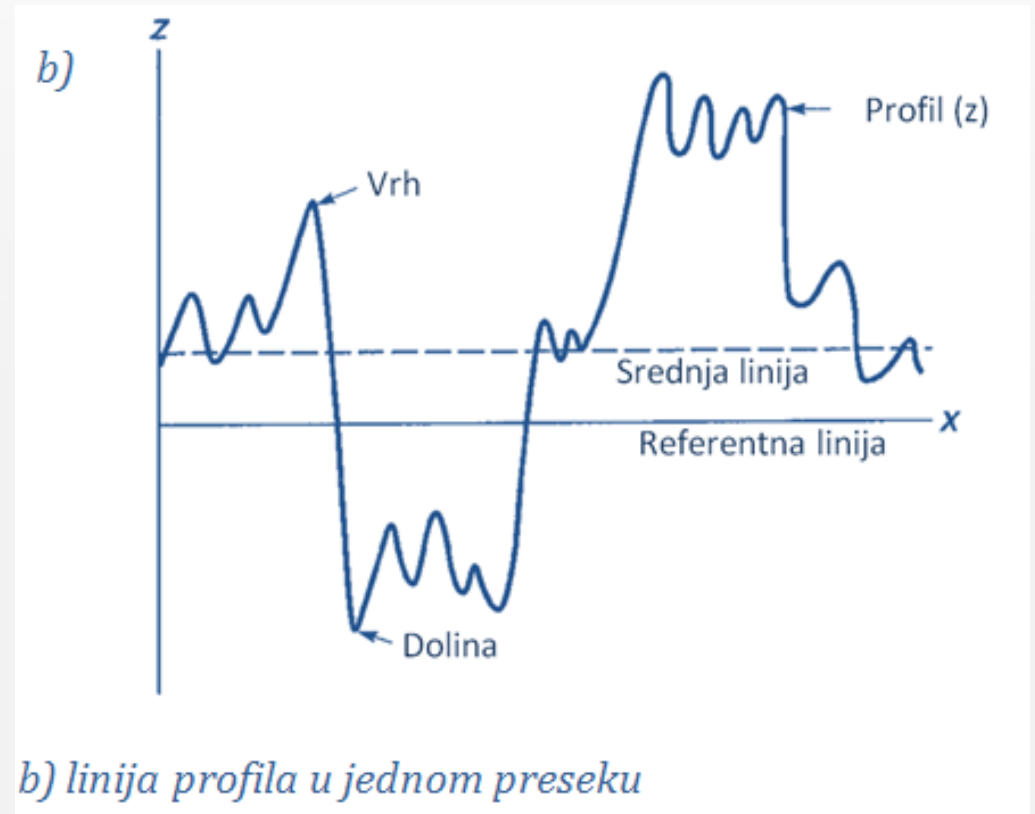
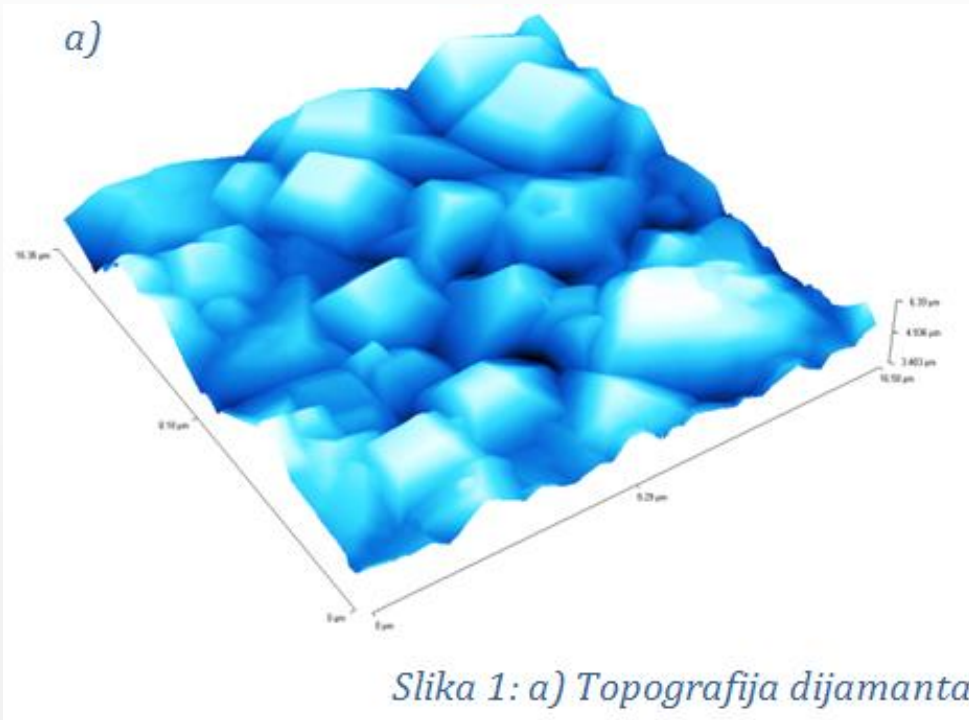
Morfologija



Topografija

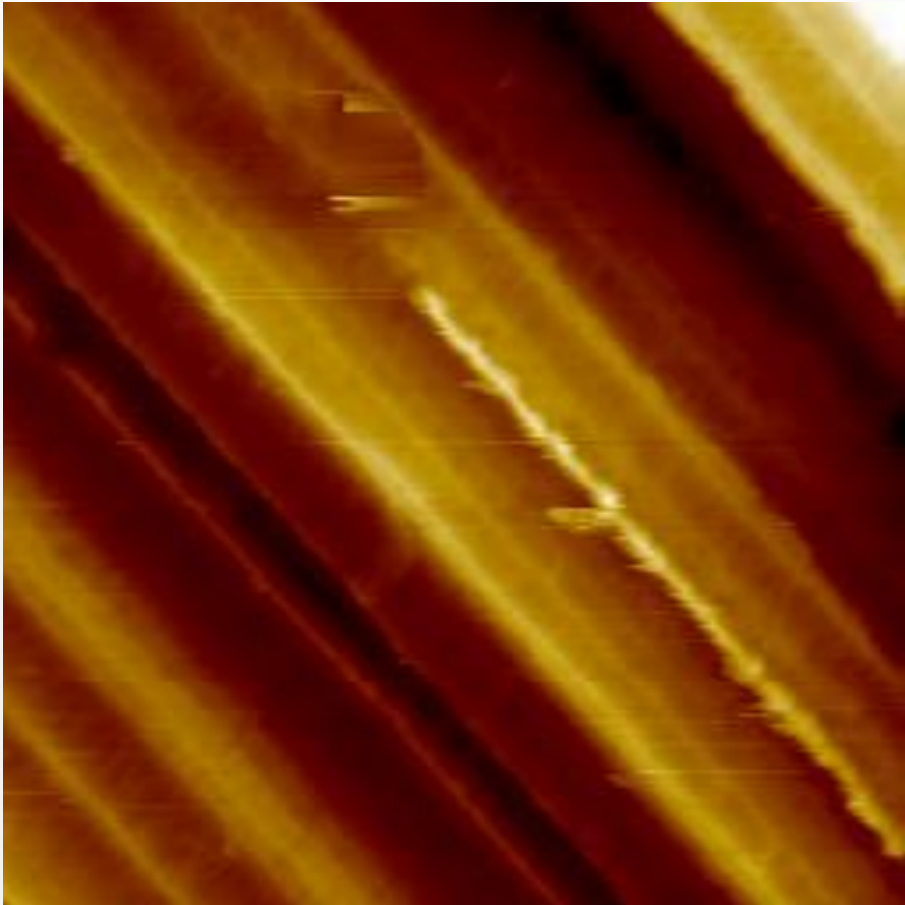


Topografija i profil površine

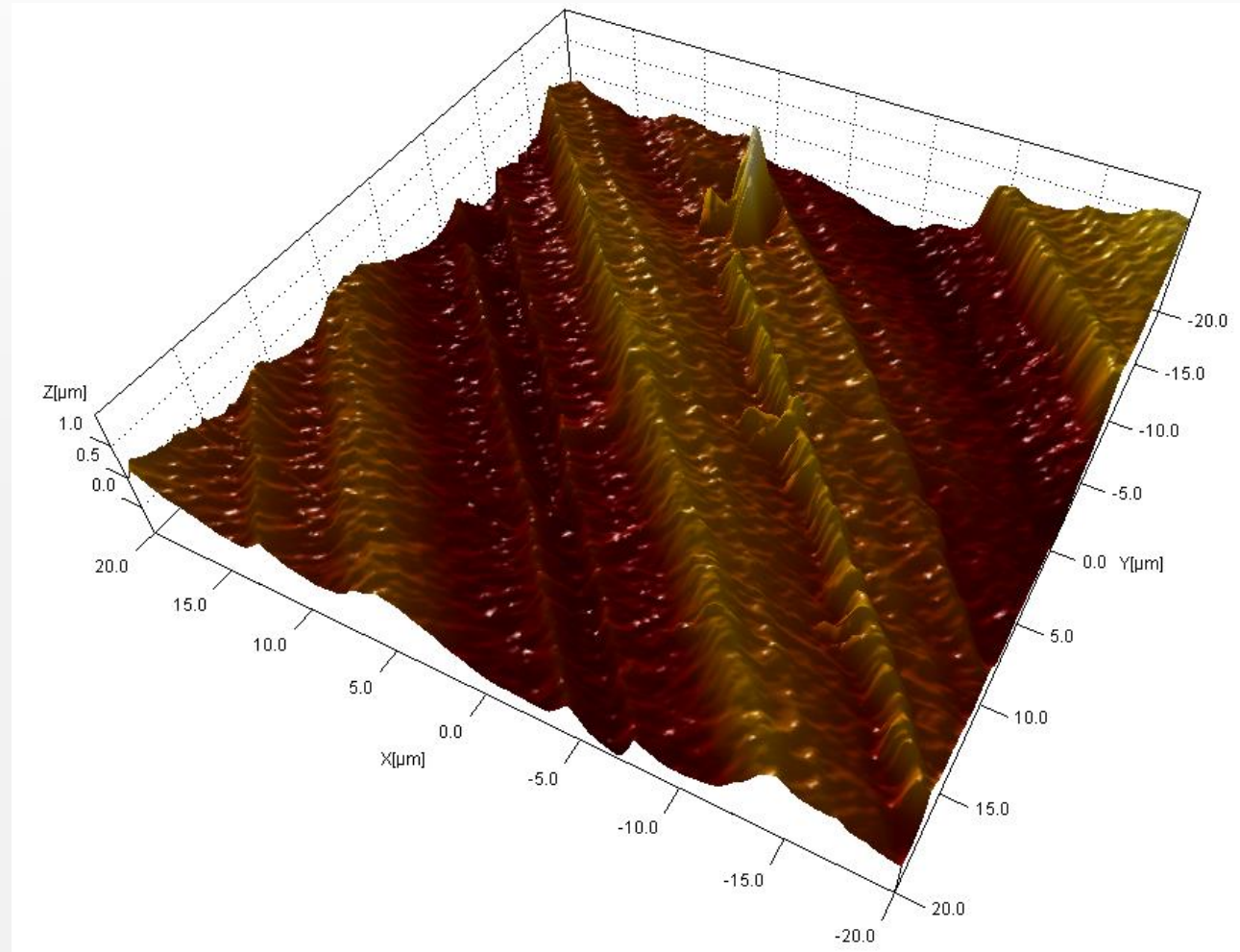


Primeri topografskih slika

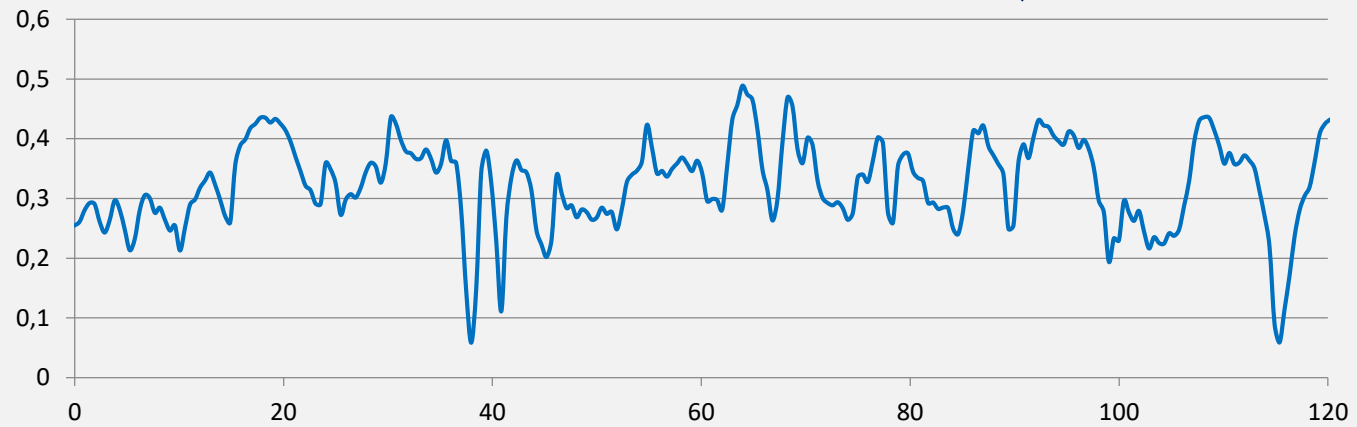
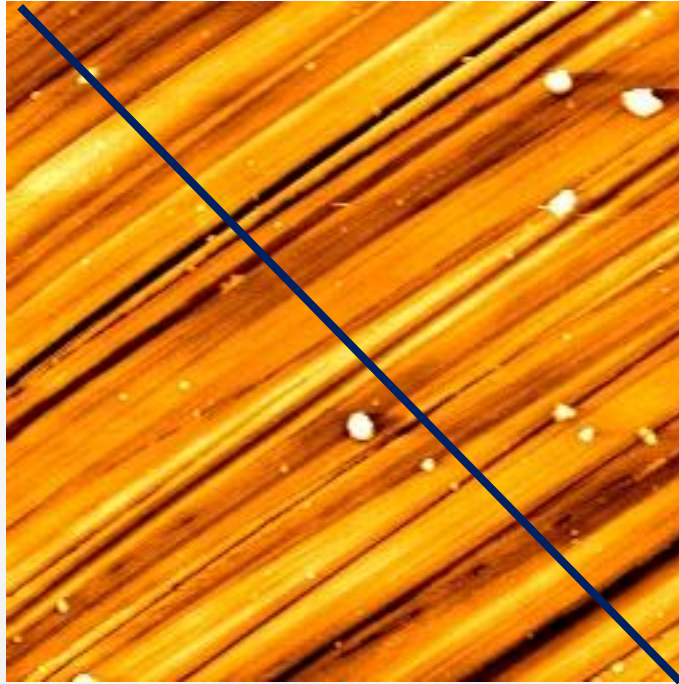
2D Topografska slika



3D Topografska slika



Primer izdvajanja profila hrapavosti

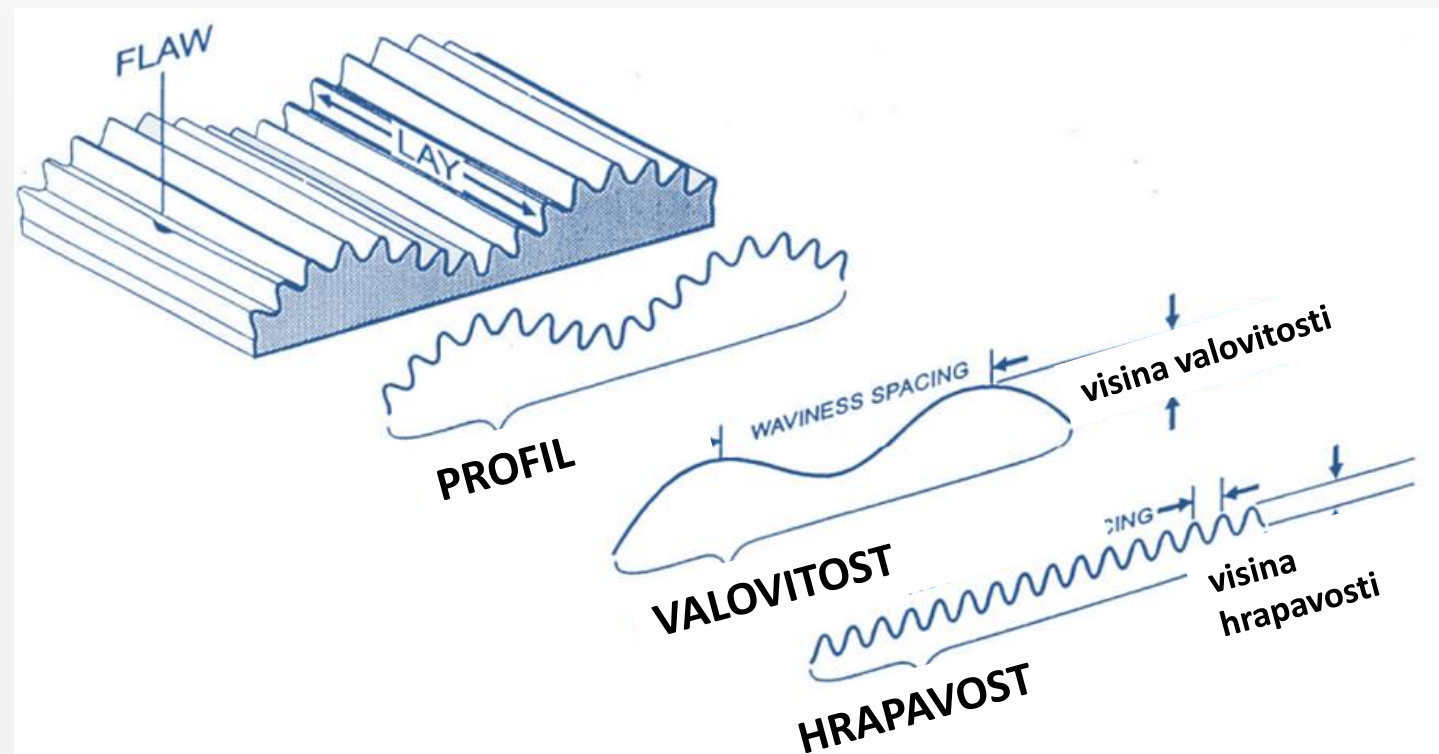


Pojmovi hrapavosti tehničkih površina

Profil valovitosti predstavlja profil koji prikazuje nepravilnosti većih talasnih dužina (nepravilnosti koje se javljaju na većim rastojanjima)

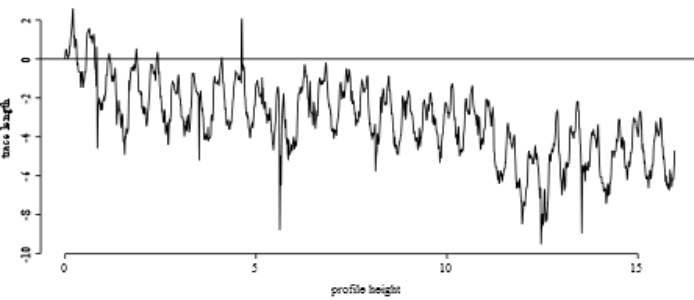
Profil hrapavosti predstavlja profil koji prikazuje nepravilnosti manjih talasnih dužina (nepravilnosti koje se nalaze na kraćem rastojanju)

Profilni filter razdvaja osnovni profil na komponente kratkih talasnih dužina (hrapavost) i velikih talasnih dužina (valovitost). Definiše se ISO 11562.

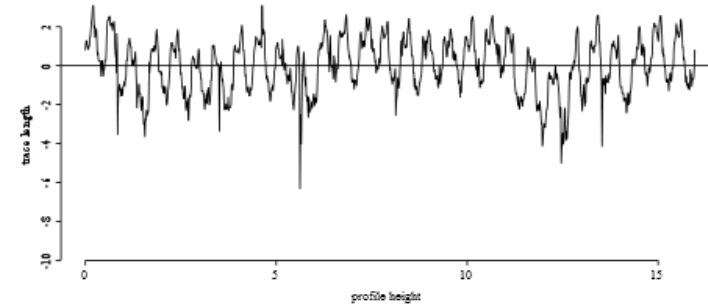


Rasčlanjivanje profila

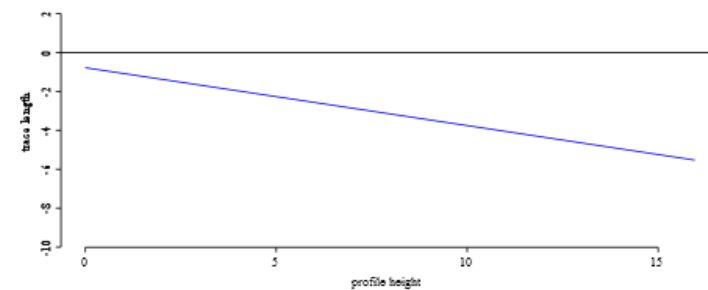
Sirov profil



Primarni profil

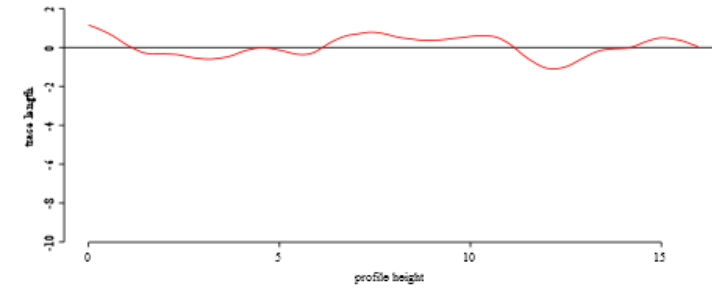


+

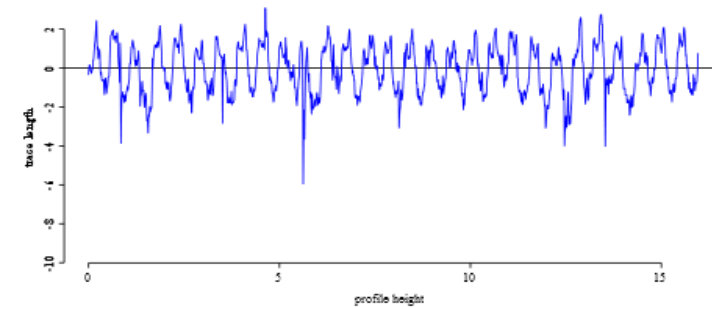


Profil oblika

Profil valovitosti



+



Profil hrapavosti

Parametri hrapavosti

Ra - Prosečna hrapavost, aritmetička srednja hrapavost: Najčešći parametar za opisivanje hrapavosti, predstavlja aritmetičku sredinu odstupanja profila od srednje linije

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

Rq (rms) - Srednja vrednost kvadratnog odstupanja: Prosečna vrednost kvadratnog odstupanja profila od srednje linije.

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

R10z - Srednja vrednost rastojanja između najviše i najniže tačke profila: Definiše se kao prosečna vrednost rastojanja pet najviših i pet najnižih tačaka.

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

Parametri za opisivanje površine

- **Parametri amplitude** – odnose se na vertikalne karakteristike devijacije površine;
- **Parametri razmaka** – odnose se na horizontalne karakteristike devijacije površine;
- **Hibridni parametri** – predstavljaju kombinaciju parametara amplitude i parametara razmaka;
- **Funkcionalni parametri** – primenjuju se za ocenu nosivosti i sposobnosti zadržavanja fluida.

Amplitudni parametri

S_a – PROSEČNA HRAPAVOST, ARITMETIČKA SREDNJA HRAPAVOST Predstavlja prosečnu vrednost odstupanja profila od „srednje“ ravni, cilindra ili sfere

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

S_q – SREDNJA VREDNOST KVADRATNOG Odstupanja - RMS Za površinu koja se sastoji od N tačaka, određuje se prema sledećem izrazu:

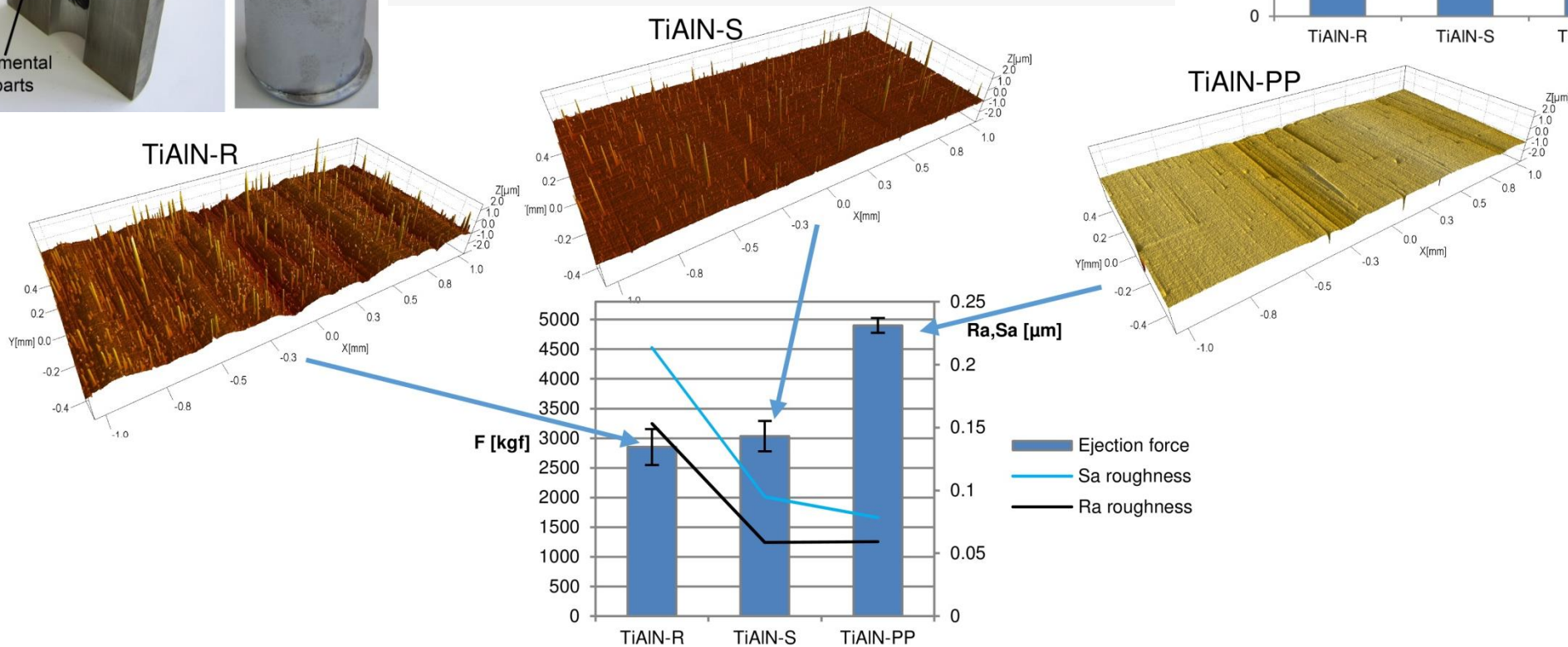
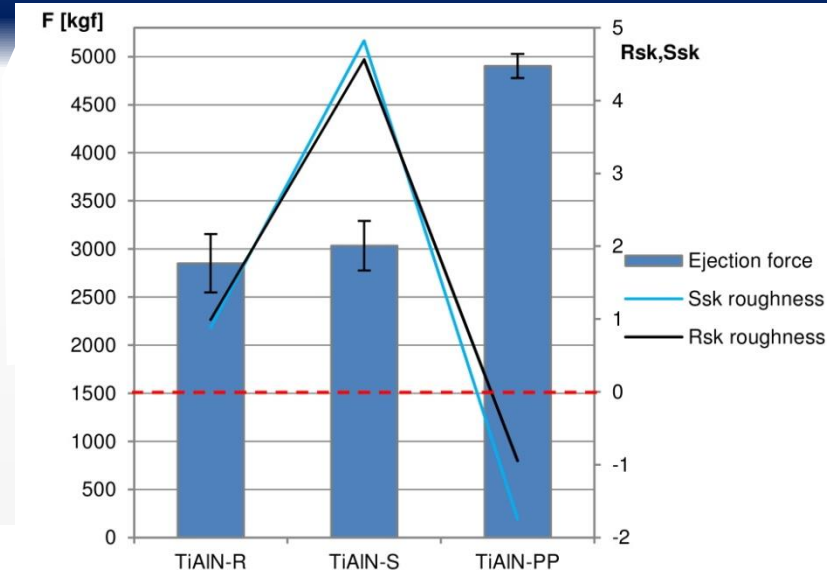
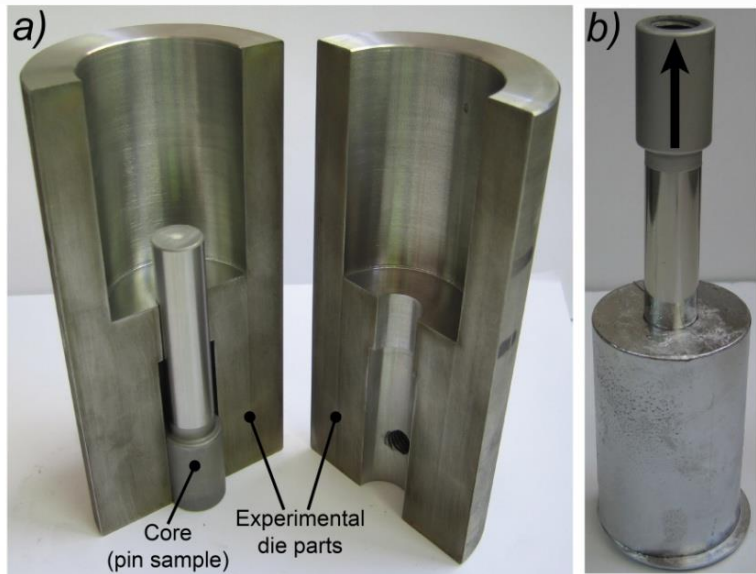
$$S_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |Z_n - \bar{Z}|^2}$$

S_{sk} – ASIMETRIJA POVRŠINE Definiše se sledećim izrazom (6):

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

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

Amplitudni parametri-primer upotrebe Ssk



Amplitudni parametri

S_{10z} – VISINA DESET TAČAKA (ENG.TEN POINT HEIGHT)

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

S_{ku} – ZAobljenost (ENG.KURTOSIS)

$$Sku = \frac{1}{R_q^4} \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} |zn - \bar{z}|^4$$

a)

$S_{KU}=10$



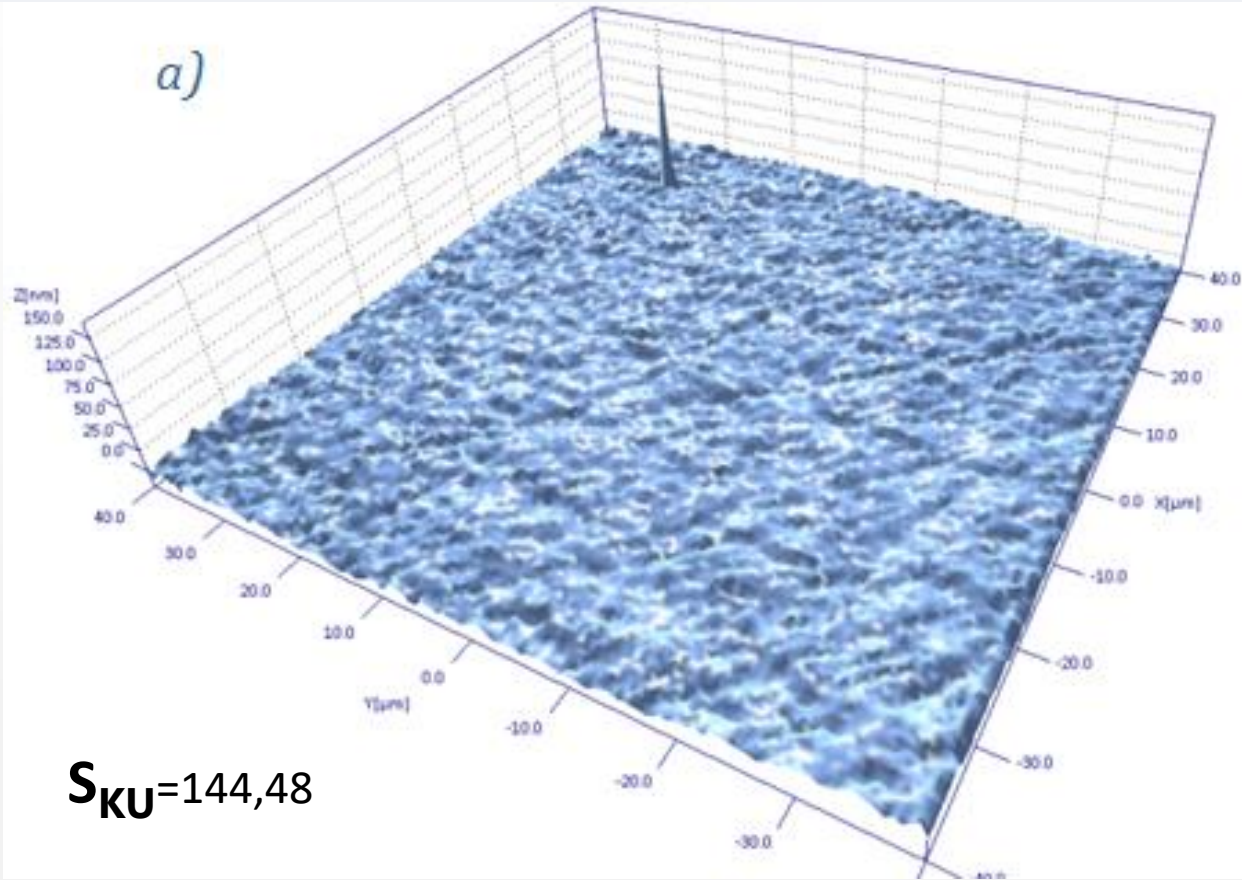
b)

$S_{KU}=1,5$



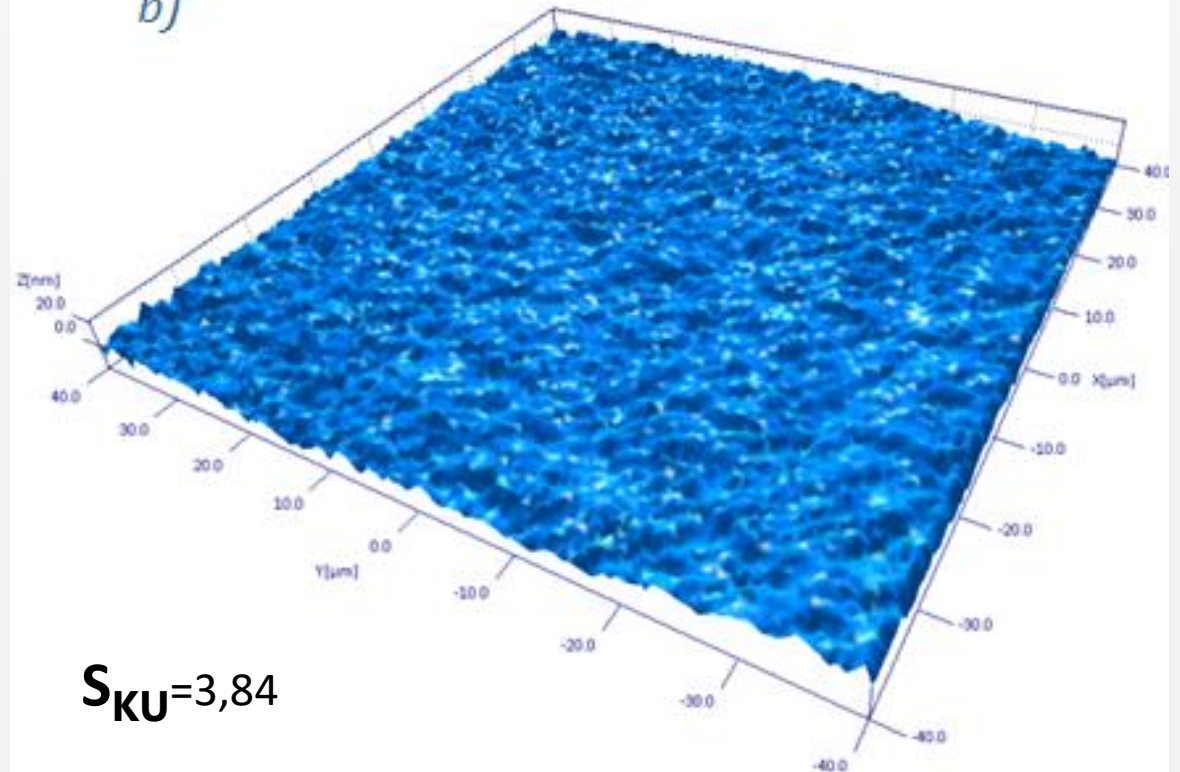
Amplitudni parametri – Zaobljenost S_{ku}

a)



$S_{ku}=144,48$

b)



$S_{ku}=3,84$

Parametri razmaka

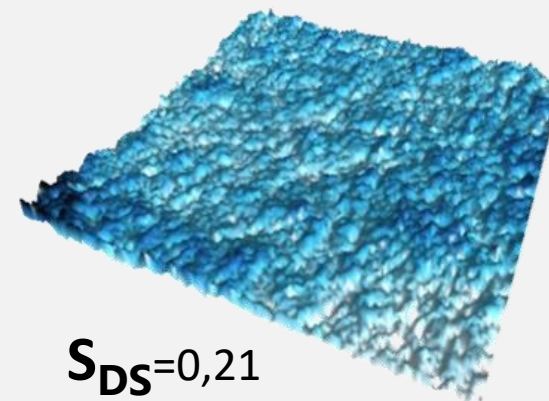
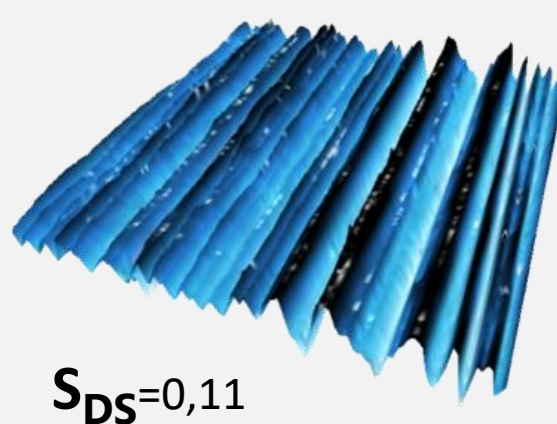
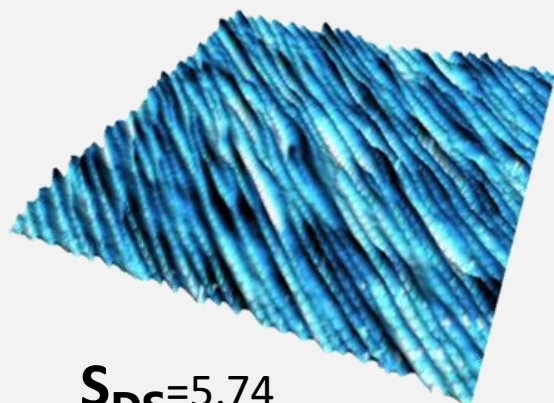
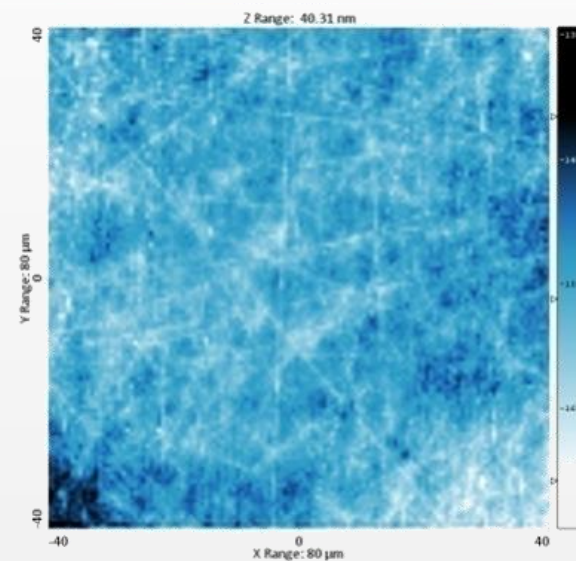
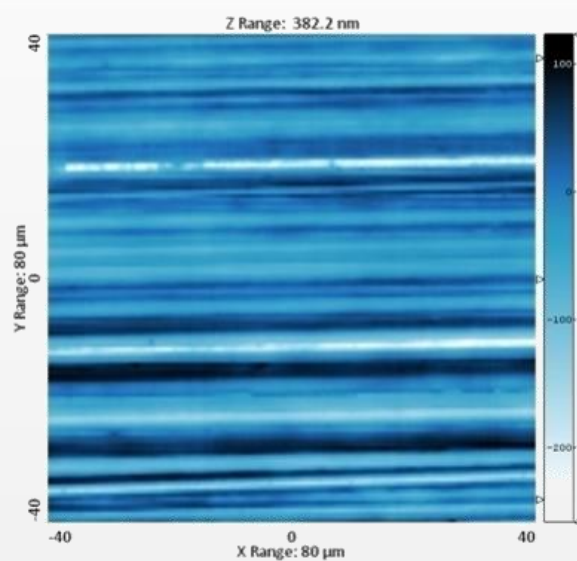
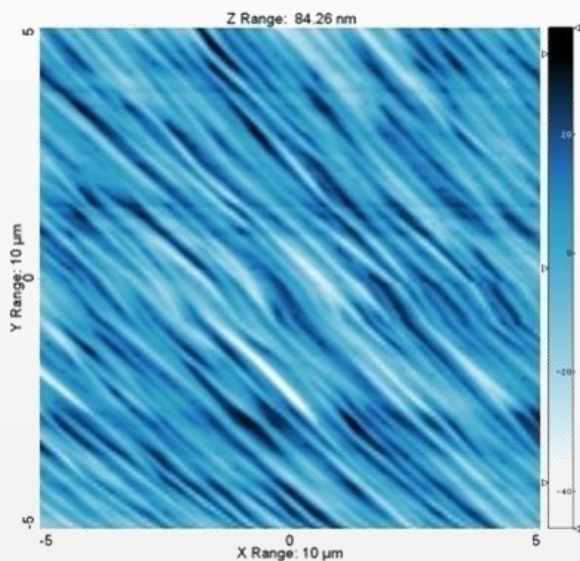
S_{ds} – Gustina vrhova [$1/\mu\text{m}^2$] (eng. density of summits)

InO sloj

Čelik brušen

Čelik poliran

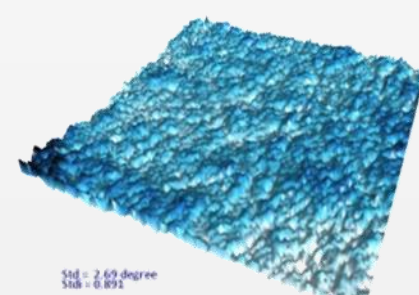
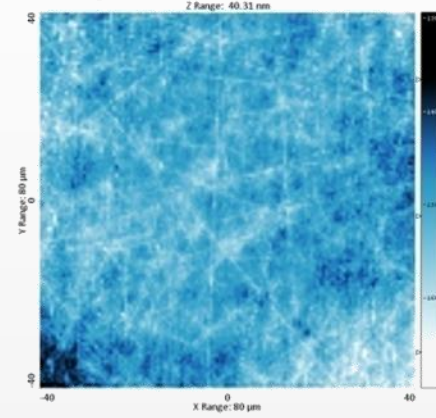
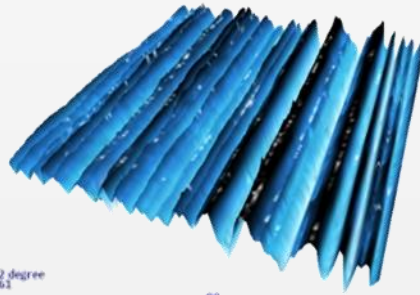
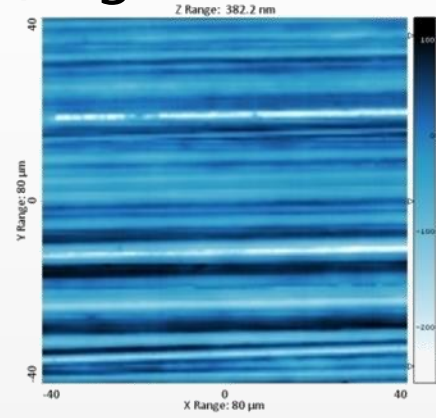
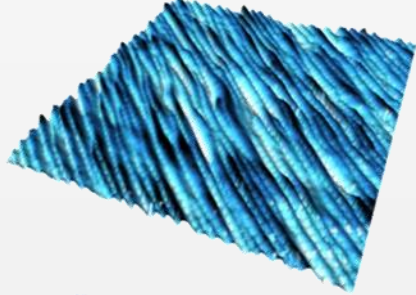
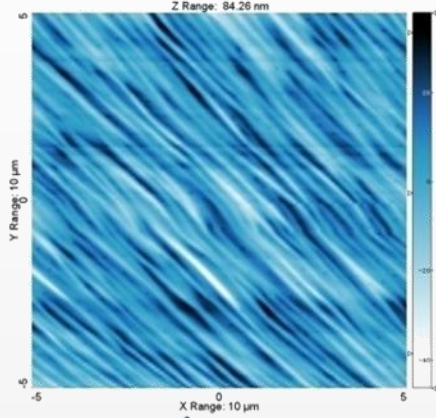
Topografija površine 2D i 3D prikaz



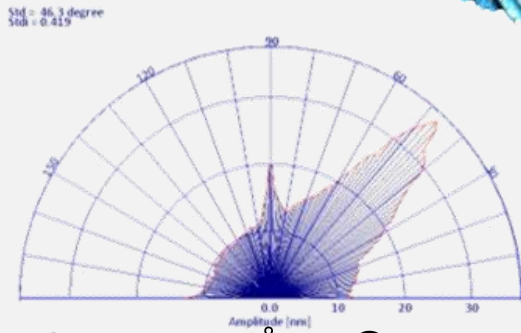
Parametri razmaka

S_{td} – Pravac usmerenosti neravnina (eng. texture direction)

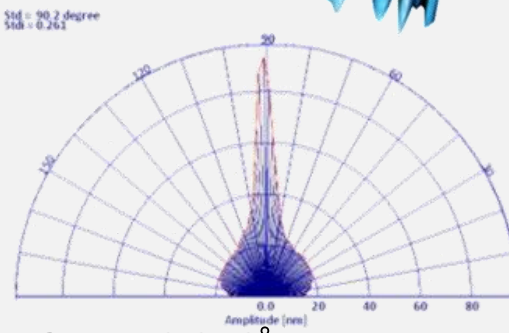
Topografija površine 2D i 3D prikaz



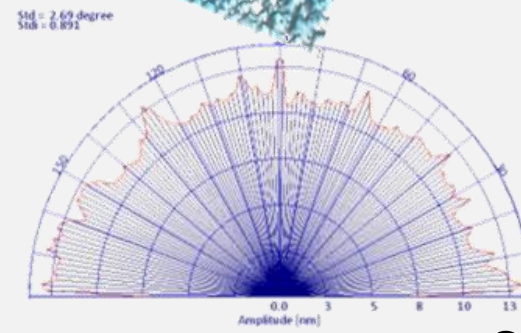
Ugaoni spektar



S_{TD} = 46,3° **S_{TDI} = 0.261**



S_{TD} = 90,2°



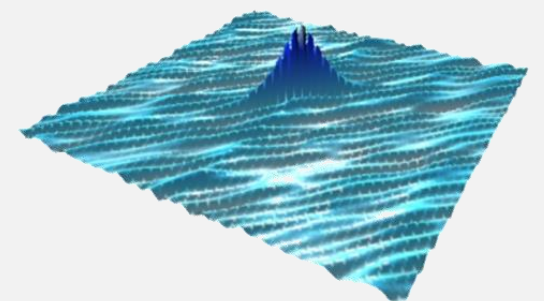
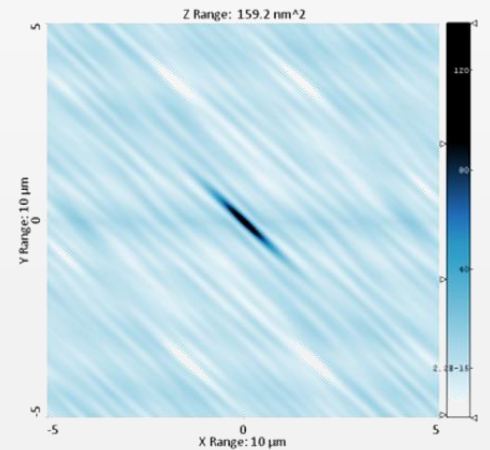
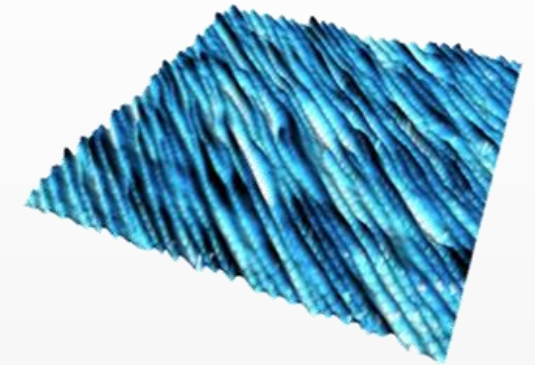
S_{TD} = 2,69° **S_{TDI} = 0.891**

S_{tdi} - Indeks pravca usmerenosti (eng. texture direction index)-koliko je dominantna određena usmerena struktura

Parametri razmaka

S_{tr} – Odnos usmerenosti neravnina (eng. texture aspect ratio)

- Pokazatelj izotropnosti površine
- Određuje se pomoću autokorelacione funkcije
- Autokorelaciona slika sadrži:
 - Centralni vrh,
 - Kod površina koje su periodične ili pseudoperiodične javljaju se vrhovi sa strane
- Oblik centralnog vrha - izotropnost površine
 - Ukoliko su osobine površine jednake u svim pravcima centralni vrh ima približno kružni oblik
 - Kod površina koje imaju izraženu orijentaciju, centralni vrh je izdužen



Autokorelaciona funkcija 2D i 3D prikaz

Parametri razmaka

S_{tr} – Odnos usmerenosti neravnina (eng. texture aspect ratio)

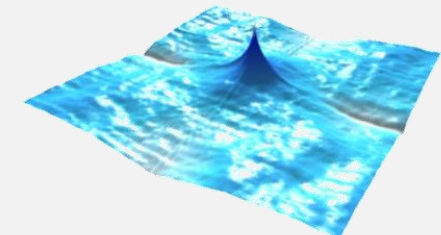
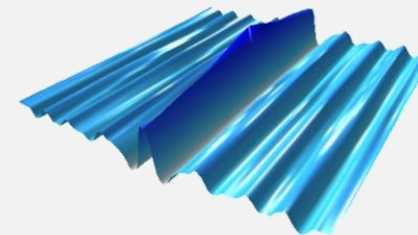
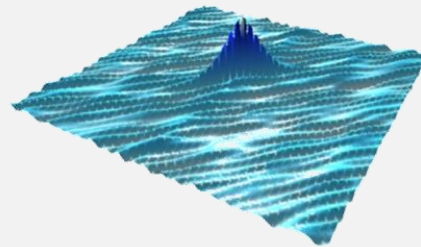
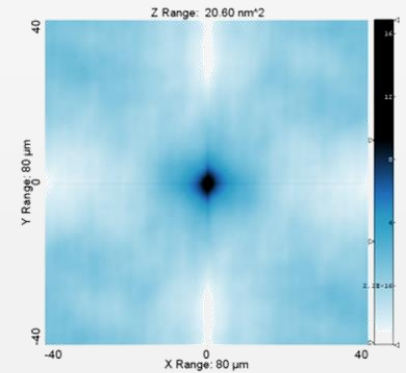
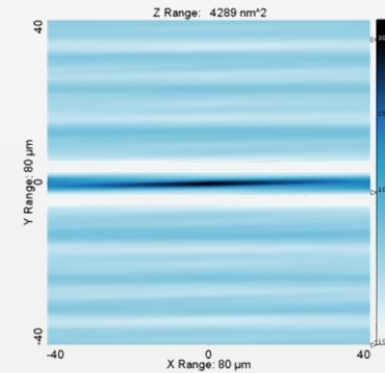
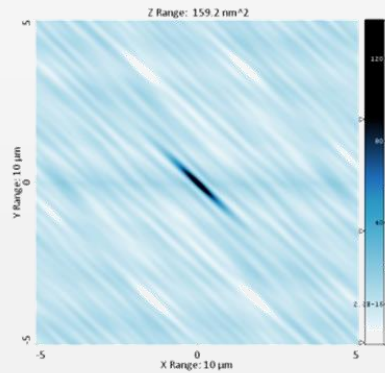
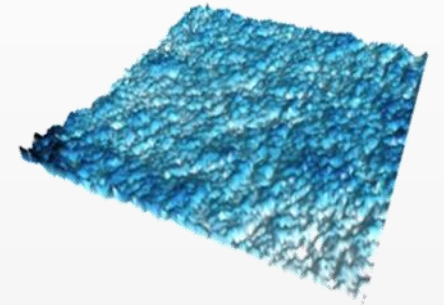
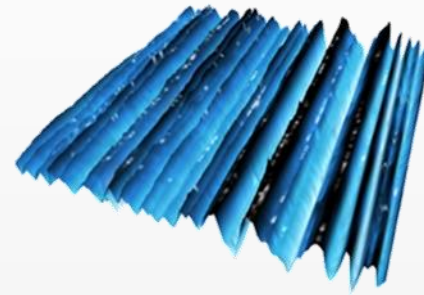
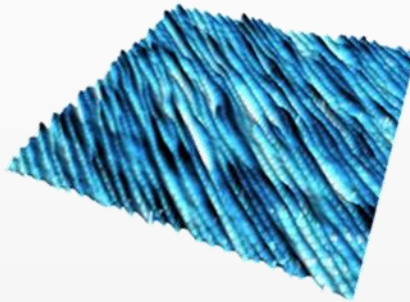
$S_{tr} = 1$ – potpuno izotropna površina

$S_{tr} > 0,5$ – izotropna površina

$S_{tr} < 0,3$ – izotropna površina

$S_{tr} = 0$ – potpuno anizotropna površina

Autokorelaciona funkcija 2D i 3D prikaz



$S_{TR20}=0,12$ $S_{AL37}=157,48$

$S_{TR20}=1,26$ $S_{AL37}=1,26$

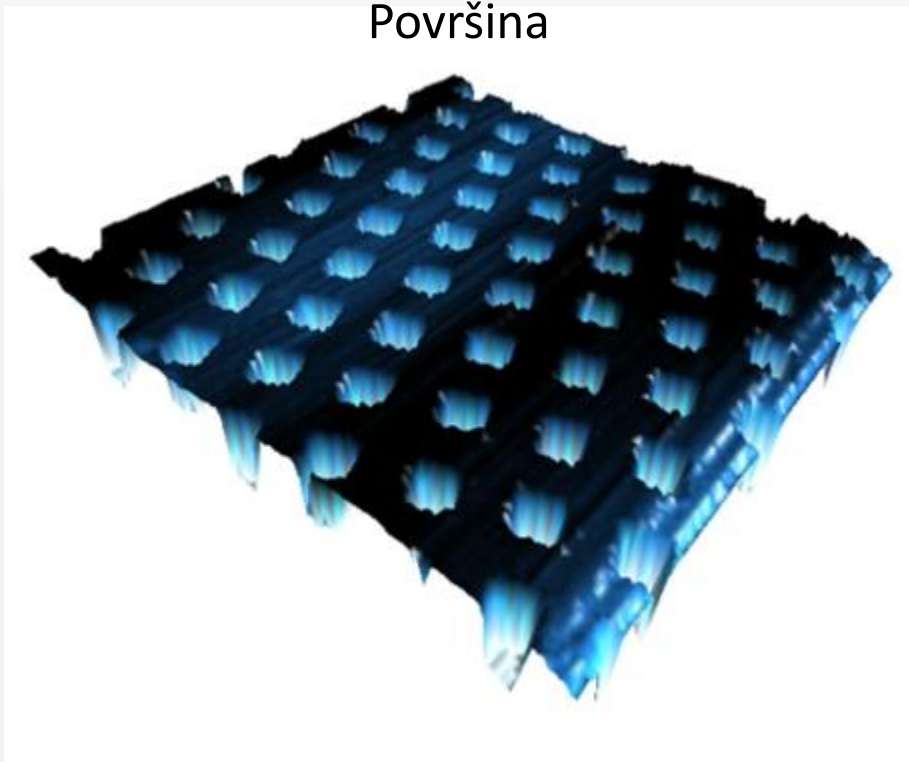
$S_{TR20}=0,75$

Parametri razmaka

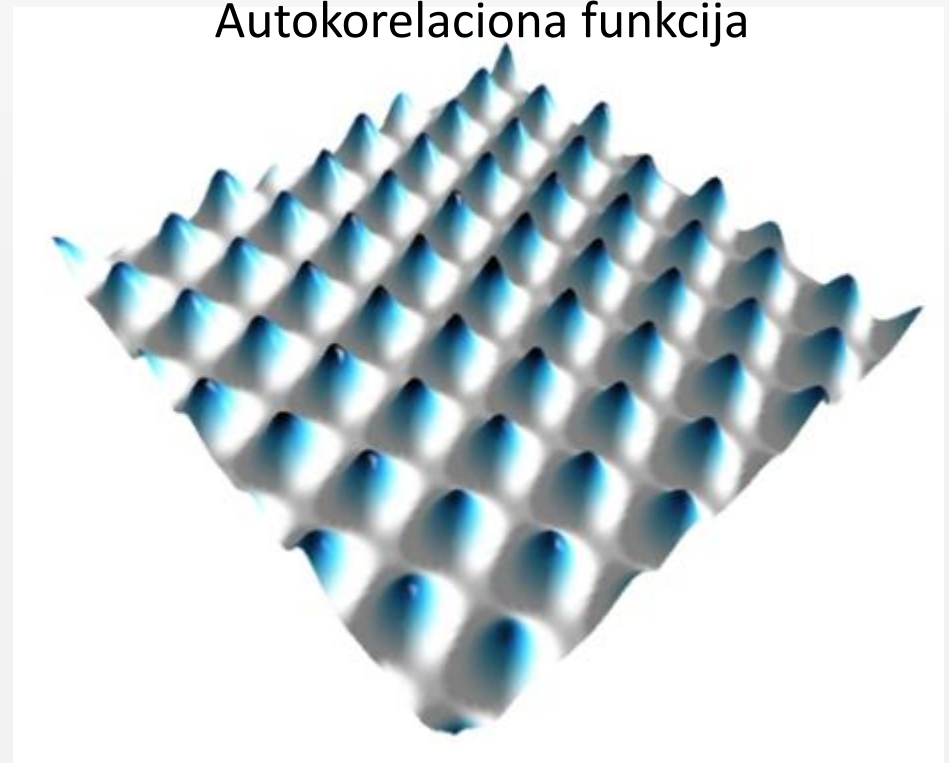
S_{tr} – **Odnos usmerenosti neravnina** (eng. texture aspect ratio)

Pseudoperiodični motivi

Površina



Autokorelaciona funkcija

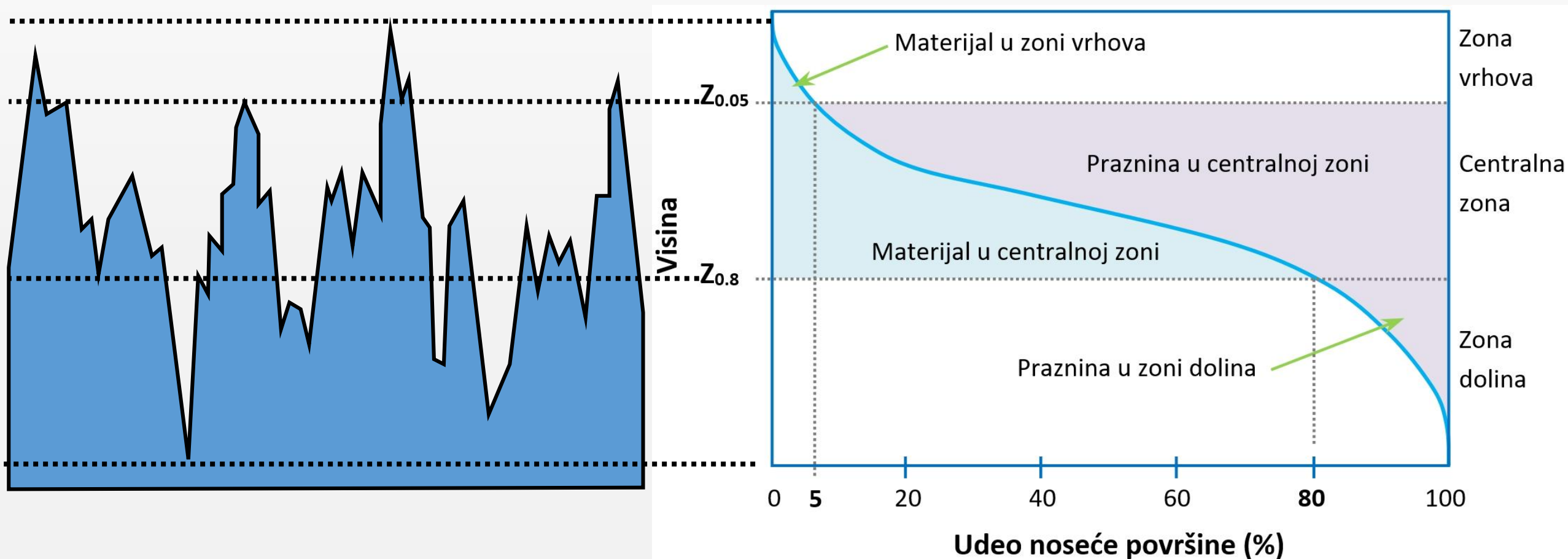


Funkcionalni parametri




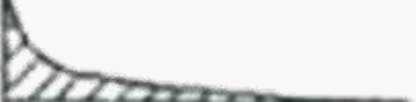












Funkcionalni indeksi – važno za sve delove koji su u kontaktu sa drugim

➤ **Kriva nosivosti** - Abe - Fajerstonova kriva

➤ Podela vrhova na zone



Funkcionalni parametri-Krive nosivosti

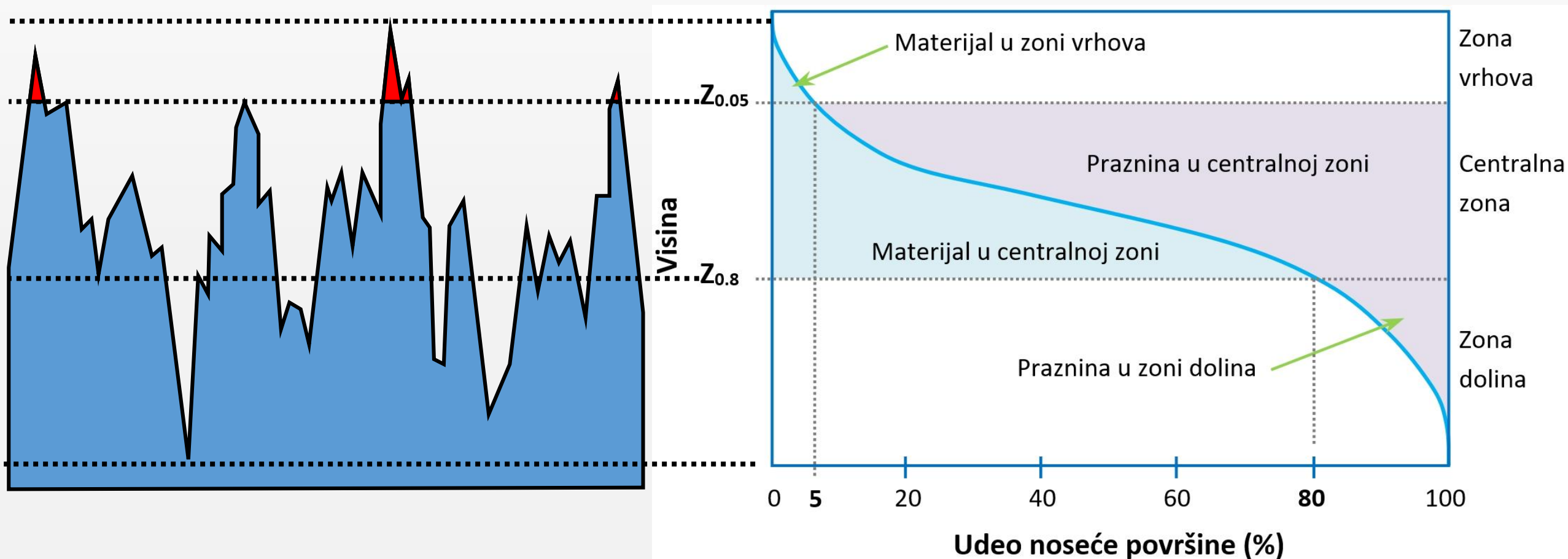
Roughness profile	Rt	$Rmax$	Rz	Ra	$Rmr (0.25)$	Abbott curve
	1	1	1	0.25	75%	
	1	1	1	0.25	15%	
	1	1	1	0.20	85%	
	1	1	1	0.20	20%	
	1	1	0.4	0.08	88%	
	1	1	0.4	0.08	7%	
	1	1	1	0.20	25%	
	1	1	1	0.30	38%	

Funkcionalni parametri

S_{bi} – indeks nosivosti površine (eng. surface bearing index)
pokazuje koji deo gornje zone površine učestvuje u habanju

$$S_{bi} = \frac{S_q}{Z_{0.05}} = \frac{1}{h_{0.05}}$$

$h_{0.05}$ – normalizovana visina

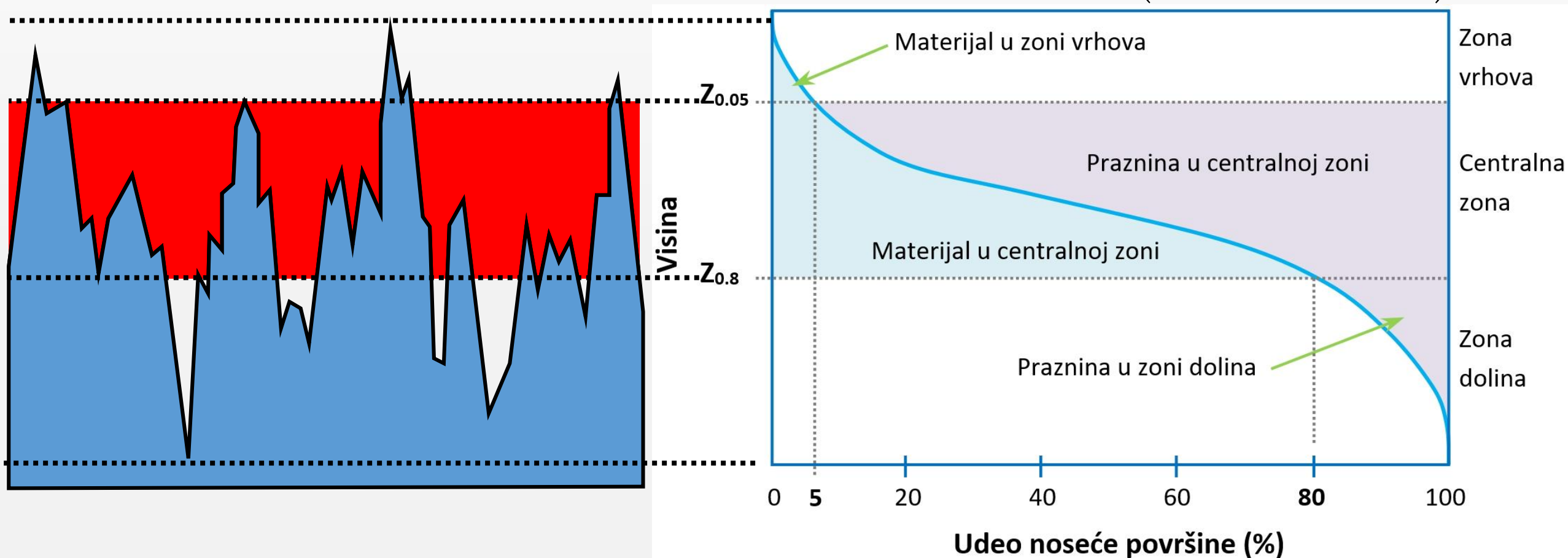


Funkcionalni parametri

S_{ci} – Indeks zadržavanja fluida u jezgru (eng. core fluid retention index)

pokazatelj veličine zapremine u kojoj se smešta sredstvo za podmazivanje

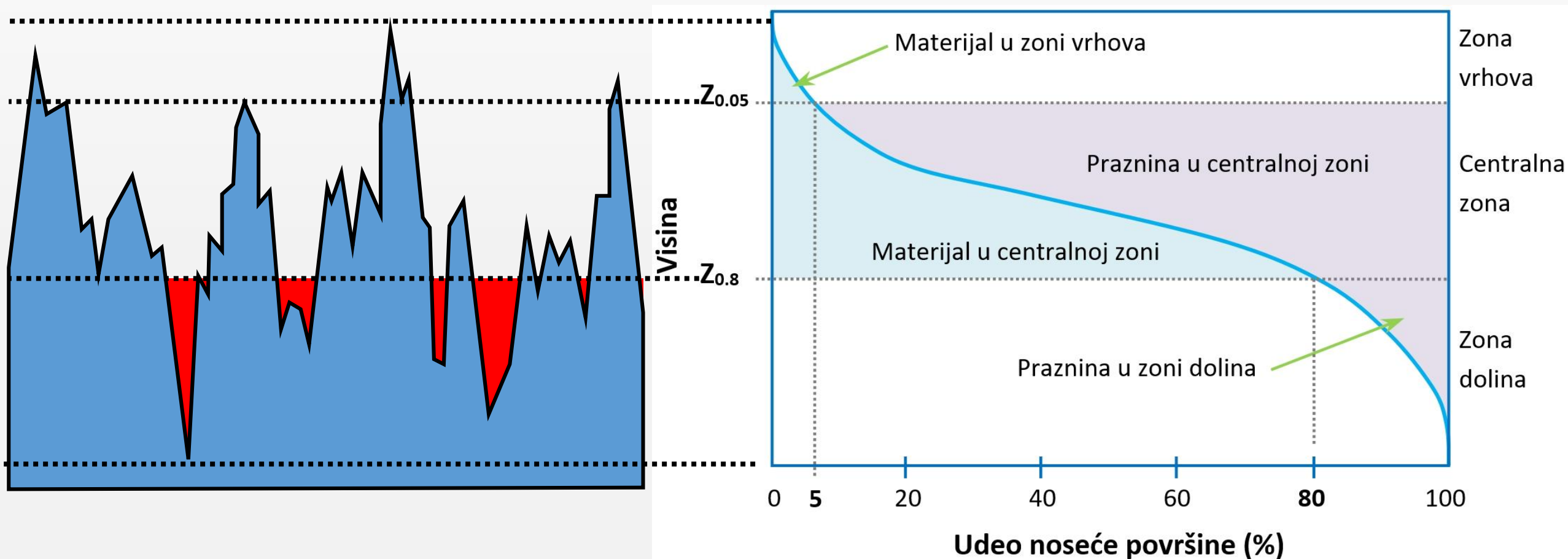
$$S_{ci} = \left(\frac{V_v(h_{0.05}) - V_v(h_{0.80})}{A} \right) \div S_q$$



Funkcionalni parametri

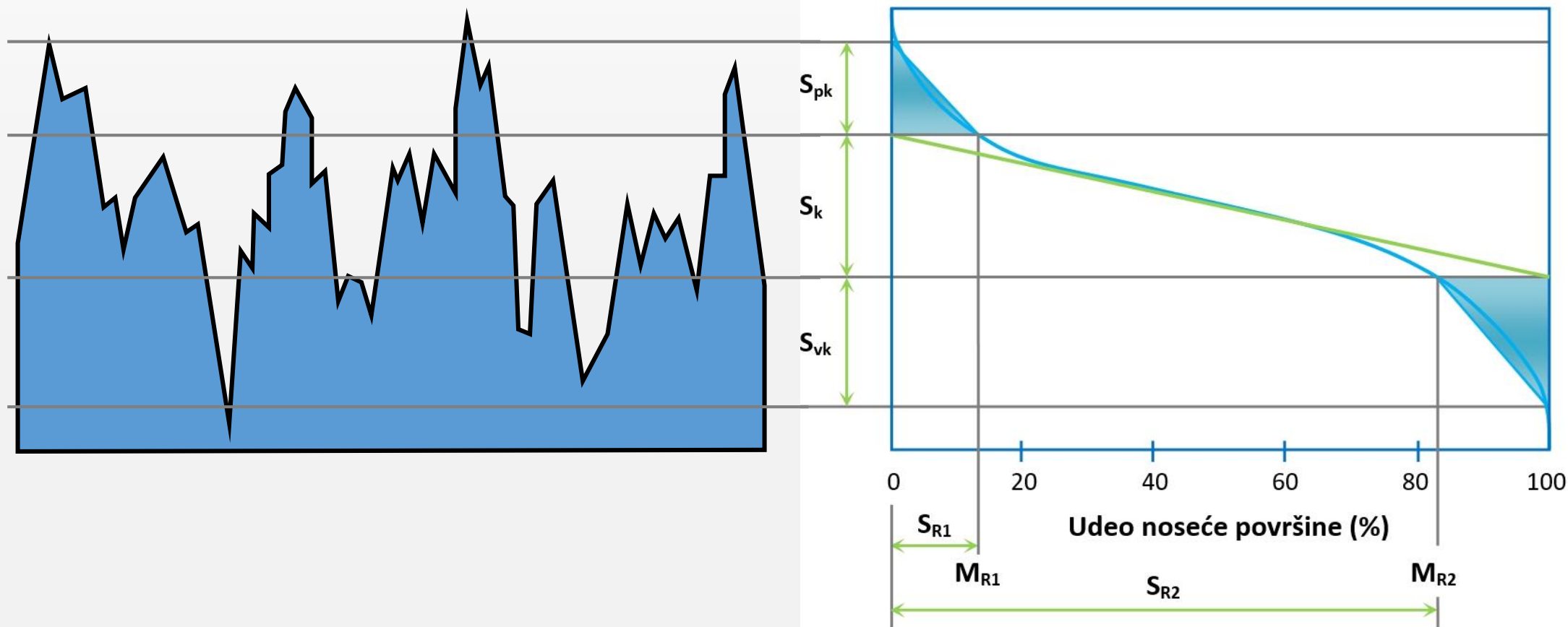
S_{vi} – Indeks zadržavanja fluida u dolinama (eng. valley fluid retention index)

$$S_{vi} = \frac{V_v(h_{0.80})}{A} \div S_q$$



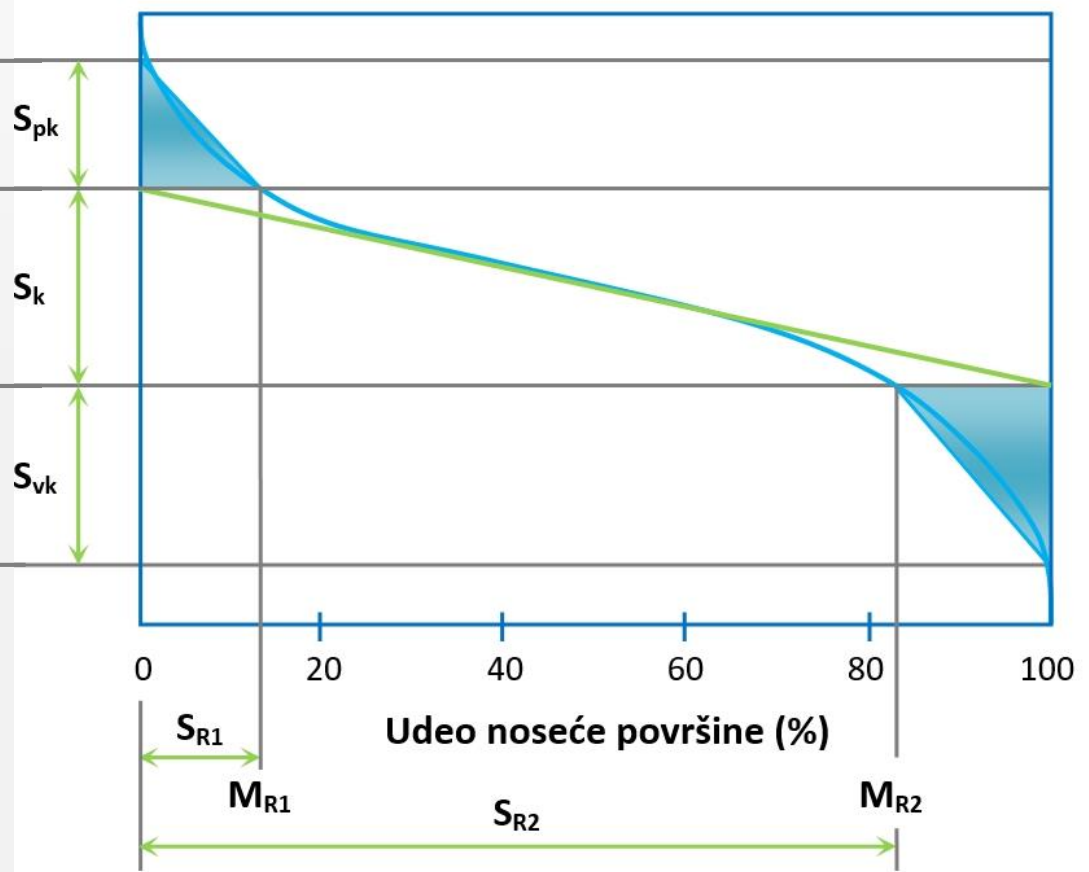
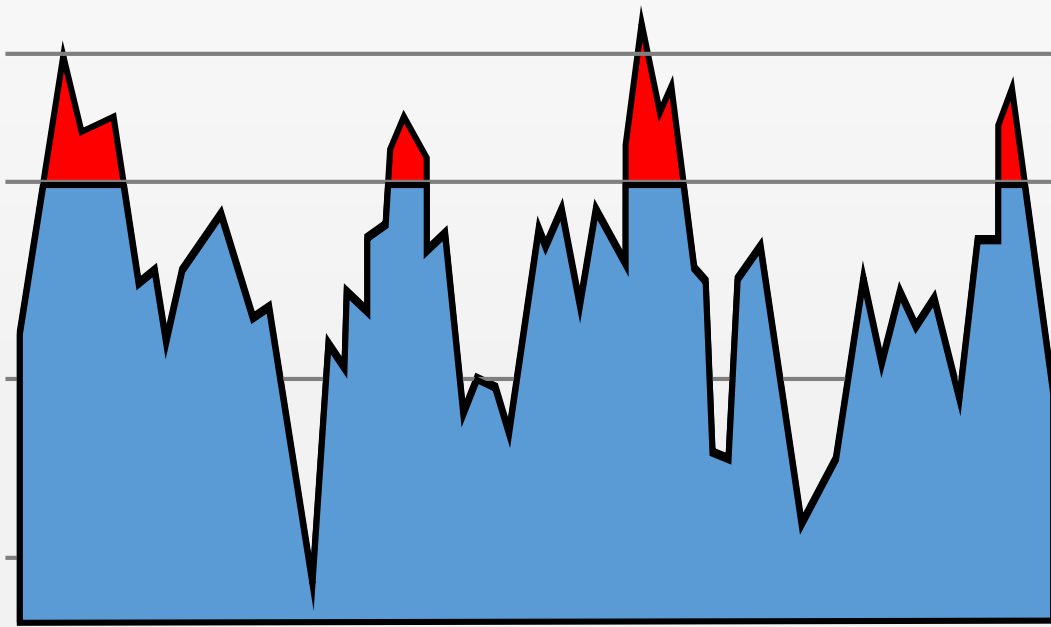
Parametri definisani ISO 13565-2 standardom

Analiza krive nosivosti – Određuje se segment krive nosivosti koji ima najmanji nagib, pa se metodom najmanji kvadrata određuje prava linija koja prolazi kroz pomenuti segment. Veličina segmenta mora biti 40% od veličine krive nosivosti.



Parametri definisani ISO 13565-2 standardom

S_{pk} – **Redukovana visina vrhova** (eng. reduced summit/peak height)
mera visine vrhova koji se nalaze iznad nominalne hrapavosti površine, tj. (iznad glavnog platoa površine).

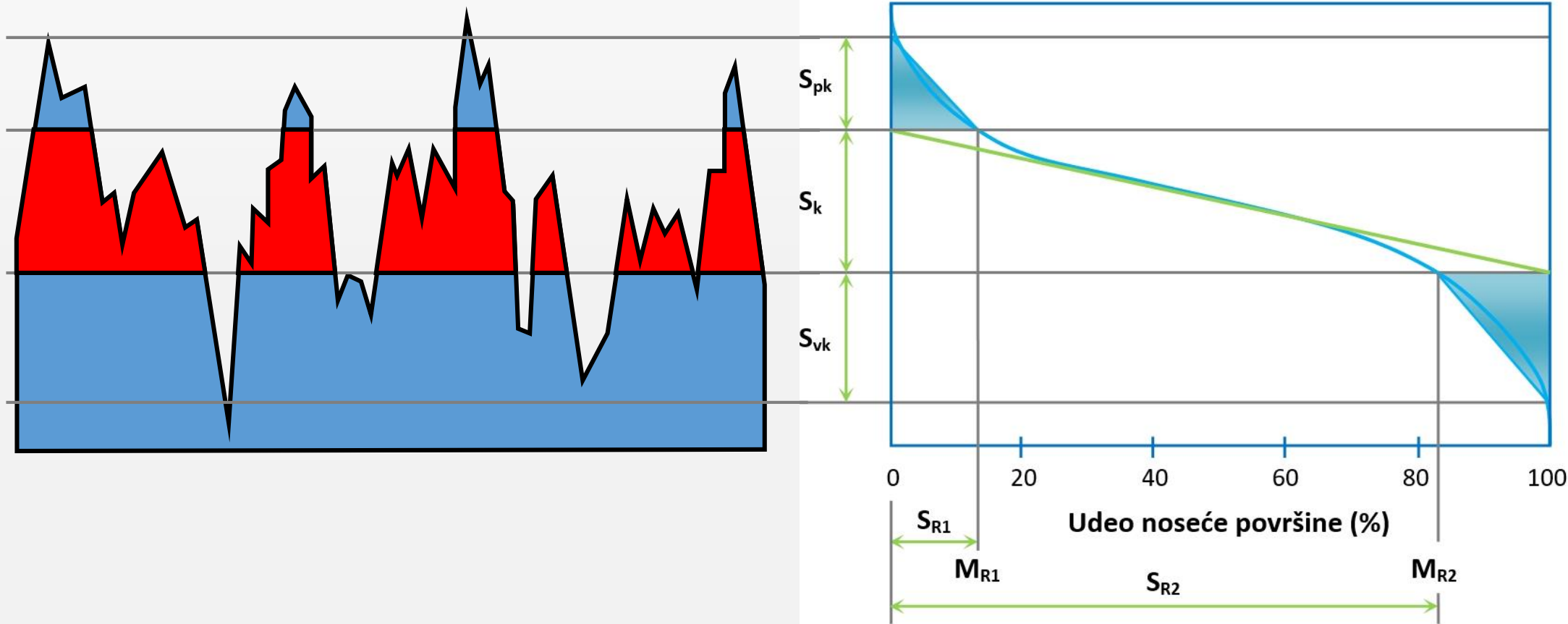


Što manja vrednost to bolje

Parametri definisani ISO 13565-2 standardom

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

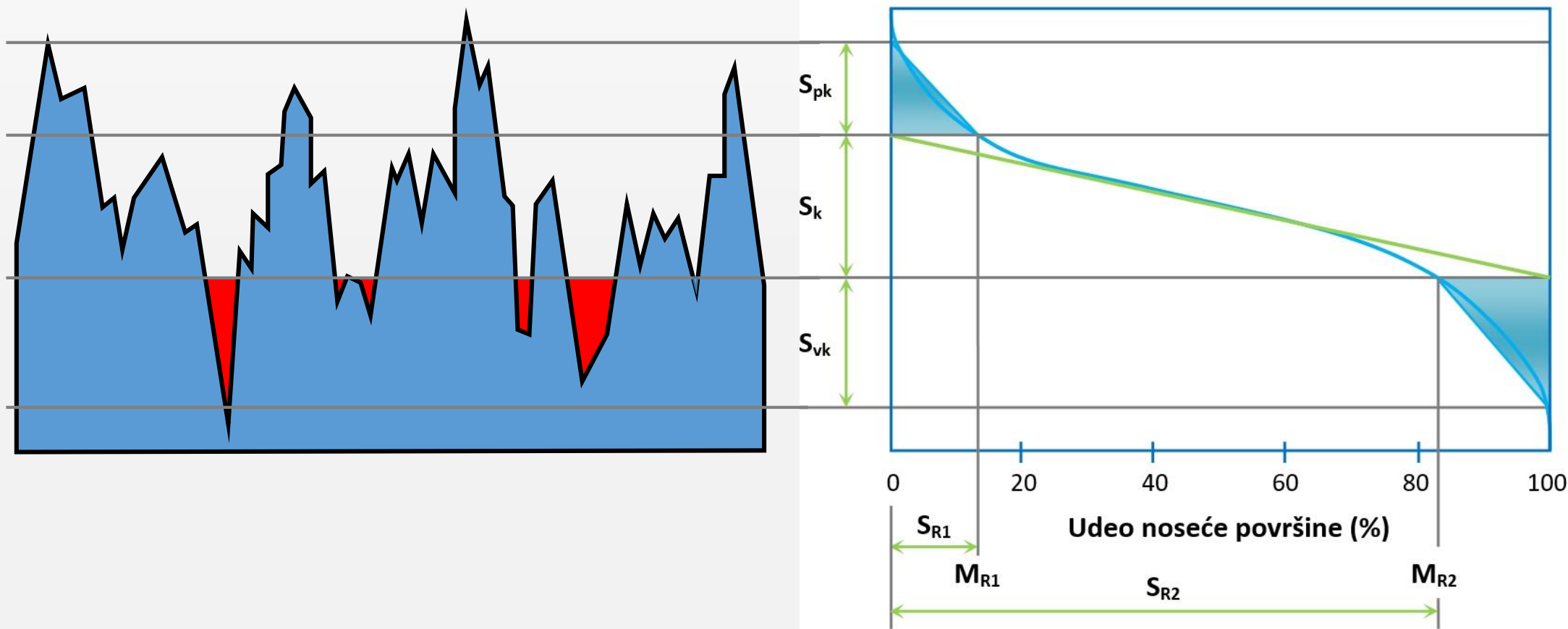
Mera nominalne hrapavosti (rastojanje od najviše do najniže tačke) površine koja bi nastala nakon uklanjanja dominirajućih vrhova i dolina. Predstavlja hrapavost površine koja nosi opterećenje nakon početnog uklanjanja vrhova.



Parametri definisani ISO 13565-2 standardom

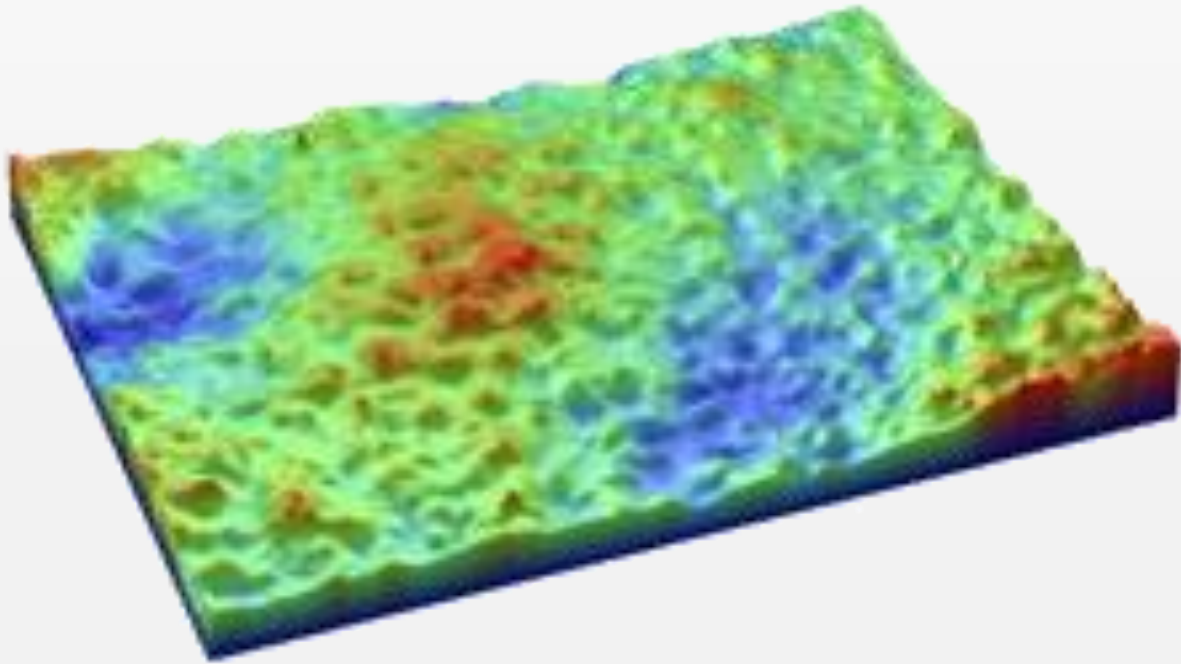
S_{vk} – Redukovana dubina dolina (eng. reduced valley depth)

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.

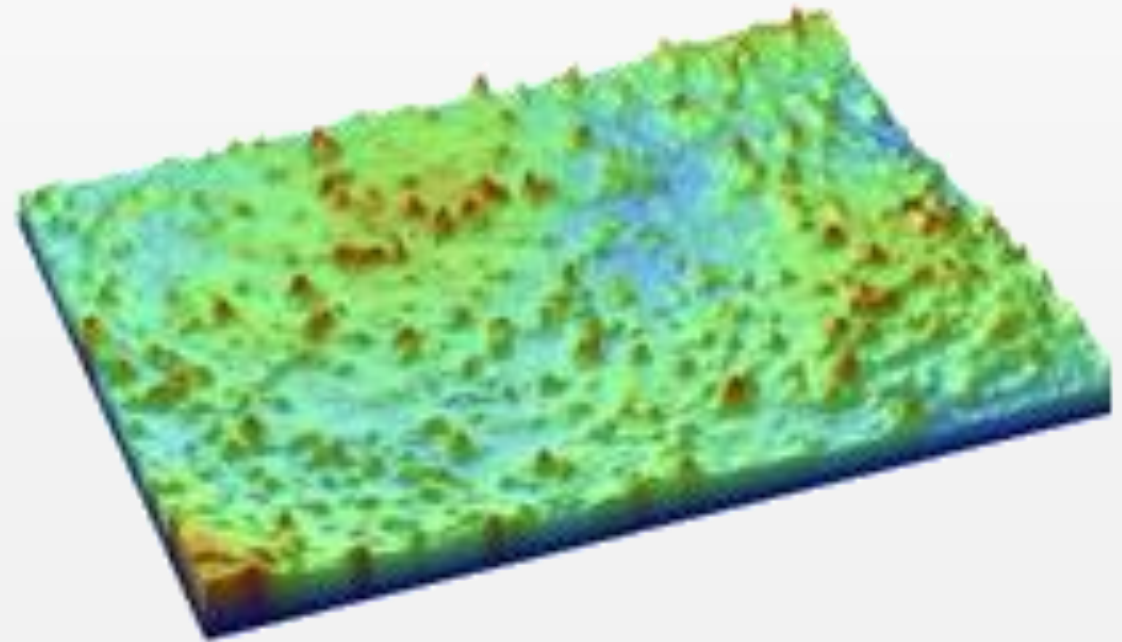


Hibridni parametri

S_{dr} – **Odnos razvijene površine** (eng. Developed Interfacial Area Ratio)



$S_a = 0,52 \mu\text{m}$; $S_{dr} = 0,0023\%$



$S_a = 0,33 \mu\text{m}$; $S_{dr} = 0,0623\%$

Funkcionalni zapreminski parametri

Problem: Vrednosti funkcionalnih indeksa su slične za različite tipove površina, kao i za različite vrednosti hrapavosti.

V_{mp} – Zapremina materijala vrhova (eng. peak/surface material volume)

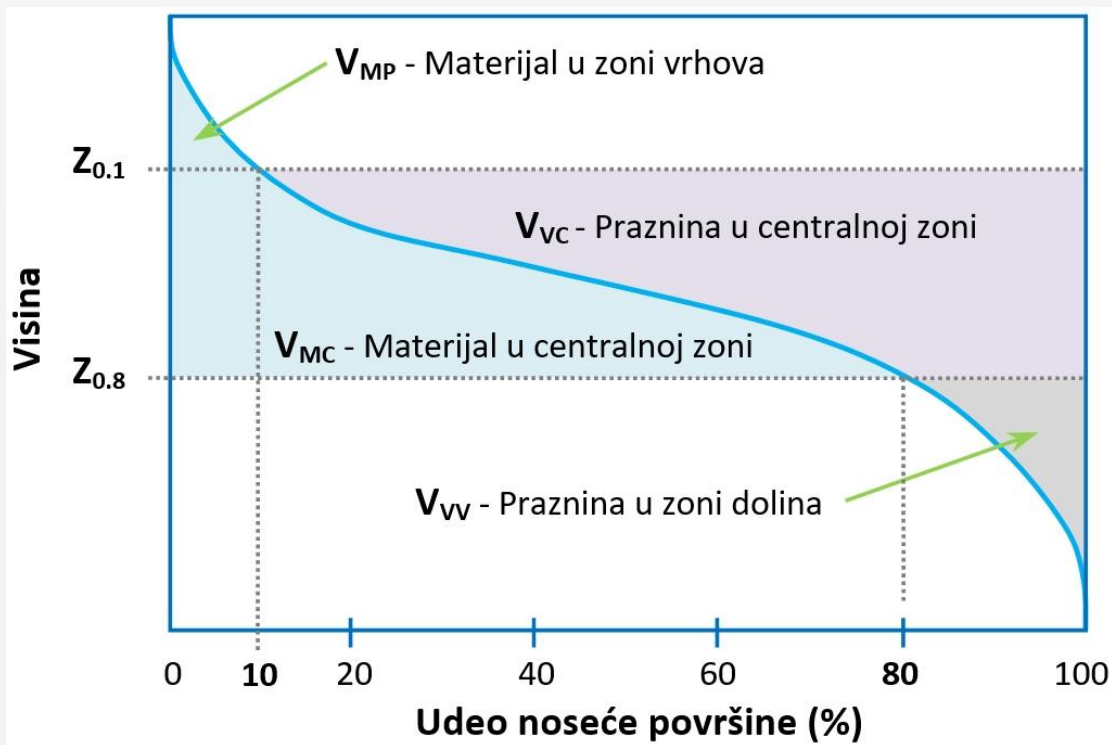
Predstavlja zapreminu materijala koji se nalazi u prvih 10% noseće površine, po jedinici površine:

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

V_m – zapremina materijala na određenoj visini

Jedinice:

(ml/m² ili μm³/mm² ili μm³/μm²)

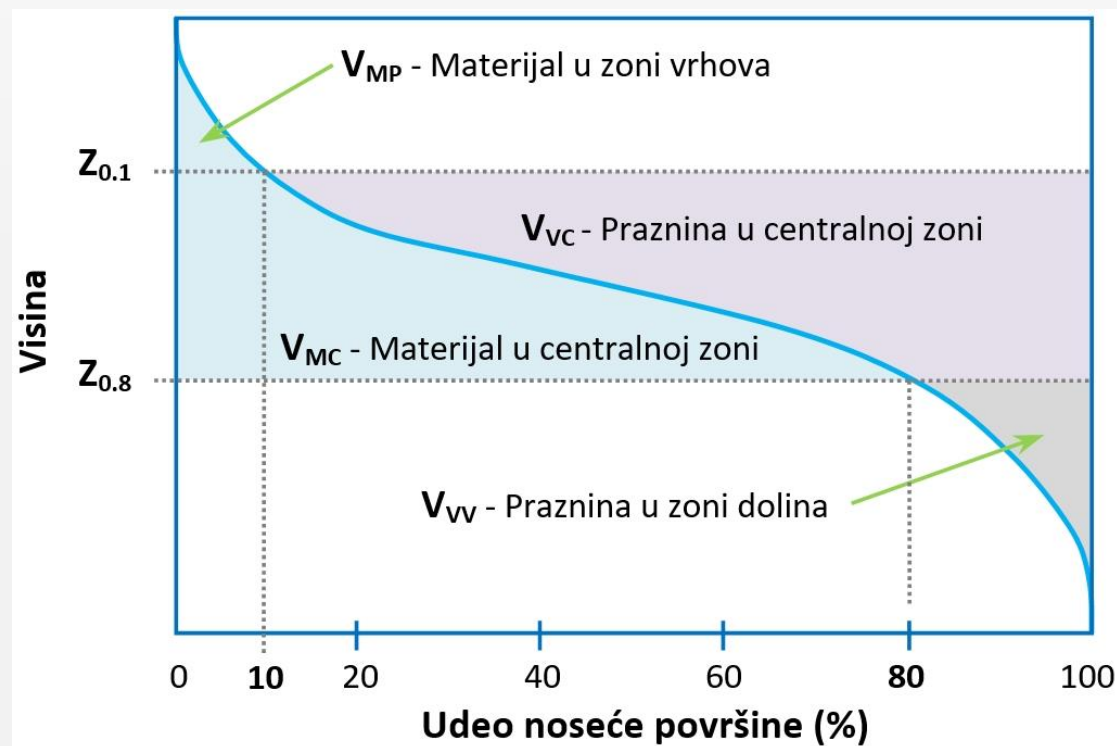


Funkcionalni zapreminski parametri

V_{mc} – **Zapremina materijala jezgra** (eng. core material volume)

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

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

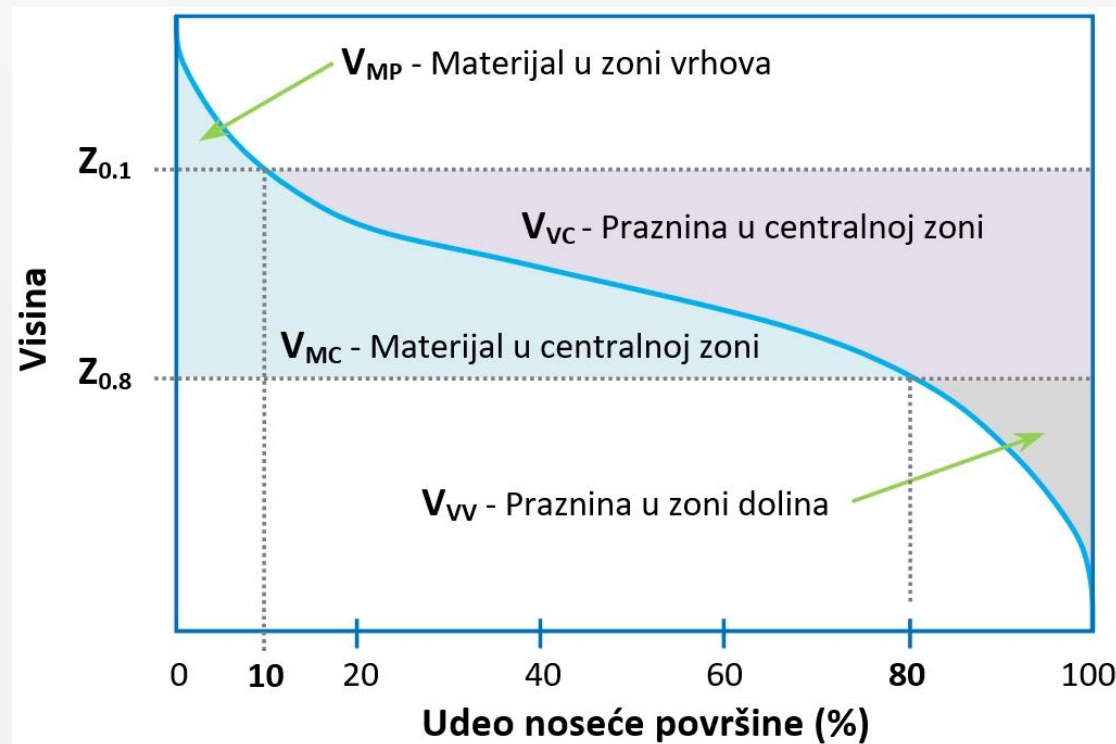


Funkcionalni zapreminski parametri

V_{vc} – 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:

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





Hvala na pažnji