

4.10. Hrapavost tehničkih površina

4.10.1. Značaj stanja tehničkih površina

Tehničke površine su sve one površine strojnih dijelova koje su dobivene nekom od obrada odvajanjem čestica ili nekom od obrada bez odvajanja čestica. One su tijekom obrade i eksploatacije strojnih dijelova izložene djelovanju različitih vrsta opterećenja, kao što su npr.: mehanička, toplinska, električna, kemijska ili biološka (moguće su i kombinacije). Najznačajnija su međutim mehanička i kemijska opterećenja, a njihova česta posljedica je habanje (trošenje) dijelova i korozija.

Tehničke površine nisu idealno glatke geometrijske plohe koje razdvajaju dva medija, nego su to, mikroskopski gledano, hrapave plohe karakterizirane nizom neravnina raznih veličina, oblika i rasporeda. Posljedica tome su postupci obrade odvajanjem čestica ili postupci obrada bez odvajanja čestica. Veličina hrapavosti tehničkih površina može utjecati na:

- smanjenje dinamičke izdržljivosti (odnosno, smanjenje čvrstoće oblika);
- pojačano trenje i habanje tarno (tribološki) opterećenih površina;
- smanjenje prijeklopa kod steznih spojeva, a time i smanjuje nosivosti steznog spoja;
- ubrzavanje korozije.

4.10.2. Osnovni pojmovi

Osnovni pojmovi o hrapavost tehničkih površina dani su prema normi ISO 4287.

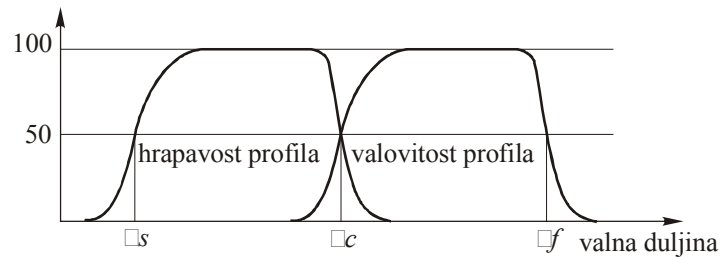
Površinska hrapavost je sveukupnost mikrogeometrijskih nepravilnosti na površini predmeta (koje su mnogo puta manje od površine cijelog predmeta), a prouzrokovane su postupkom obrade ili nekim drugim utjecajima.

Profil površine predstavlja presjek realne površine sa određenom ravninom. (vidi sliku 4.27.)

Profilni filter je filter koji razdvaja profile na dugovalne i kratkovalne komponente [ISO 11562]. Postoje tri filtera koji se koriste u uređajima kojima se mjeri hrapavost, valovitost i primarni profili (vidi sliku 4.25). Svi imaju iste prijenosne značajke, definirane u ISO 11562, ali različite granične valne dužine.

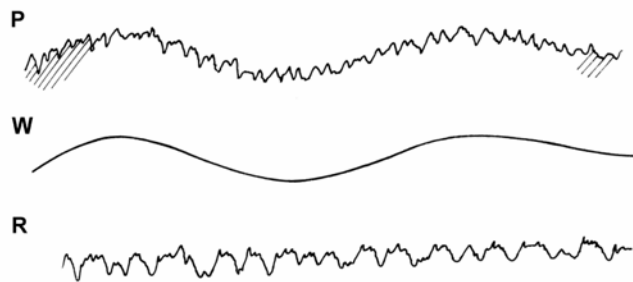
Sve pojave se analiziraju u pravokutnom koordinatnom sustavu u kojem su osi x i y smještene u promatranu realnu površinu a os z je usmjerena na susjedni medij. Os x pritom je orjentirana u smjeru profila hrapavosti (vidi sliku 4.27.)

Profil hrapavosti (R) je profil koji se izvodi iz primarnog profila zanemarujući dugovalne komponente korištenjem profilnog filtra λc . Profil hrapavosti osnovna je za mjerenje parametara hrapavosti profila.



Slika 4.25. Prijenosne karakteristike profila hrapavosti i valovitosti

Profil valovitosti (W) je profil koji proizlazi iz primarnog profila (P) primjenom profilnih filtera λ_f i λ_c .



Slika 4.26. Razlučivanje P , W , i R karakteristika profila

Srednja linija profila se definira posebno za primarni profil, profil hrapavosti i profil valovitosti. Za primarni profil se dobiva metodom najmanjeg kvadrata, to jest ona dijeli profil tako da je unutar dužine l zbroj kvadrata svih odstupanja profila Z od te crte najmanji, a za hrapavost i valovitost se upotrebljavaju profilni filteri λ_c i λ_f .

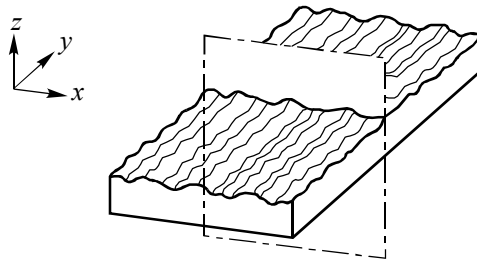
Referentna dužina (dužina uzorka) l_p , l_r , l_w je dužina u pravcu osi x koja se koristi za ustanovljavanje nepravilnosti koje karakteriziraju profile koji se mjere.

Dužina uzorka profila hrapavosti l_r i valovitosti l_w brojčano je jednaka karakterističnoj valnoj dužini profilnih filtera λ_c i λ_f . Dužina uzorka primarnog profila l_p jednaka dužini vrednovanja (ocjenjivanja).

Dužina vrednovanja l_n je razmak u pravcu osi x koja se koristi za vrednovanje profila koji se mjeri. Može sadržavati jednu ili više referentnih dužina. Za dogovorene dužine vrednovanja vidi ISO 4288:1996, tablica 4.61.

Tablica 4.61. Prikadne referentne dužine prema ISO4288 (Cutoff) λ (DIN 4768)

Periodični profili	Neperiodični profili		Granična valna dužina	Duž. vred/ref. dužina
Širina elementa X_s (mm)	R_z (μm)	R_a (μm)	λ (mm)	l_n/l_r (mm)
>0,01 do0,04	do0,1	do0,02	0,08	0,08/0,4
>0,04 do0,13	>0,1 d 0,5	>0,02do0,1	0,25	0,25/1,25
>0,13 do 0,4	>0,5 do10	>0,1do 2	0,8	0,8/4
>0,4 do1,3	>10 do50	>2do10	2,5	2,5/12,5

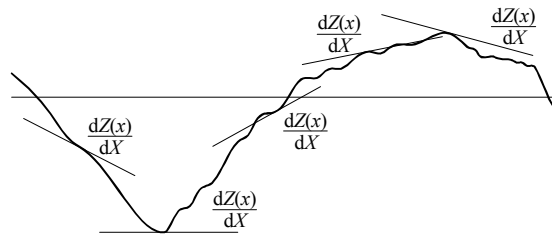


Slika 4.27. Profil površine sa prikazom koordinatnog sustava

Vrijednost ordinate $Z(x)$ je visina mjenenog profila u bilo kojoj točki X . Visina se smatra negativnom ako ordinata leži ispod osi x , dok se u suprotnom slučaju smatra pozitivnom.

Lokalni nagib dZ/dX je nagib mjenenog profila u položaju x_i (vidi sliku 4.28.). Približno se procjenjuje na temelju izraza

$$\frac{dz_i}{dx} = \frac{1}{60\Delta x} (z_{i+3} - 9z_{i+2} + 45z_{i+1} - 45z_{i-1} + 9z_{i-2} - z_{i-3})$$

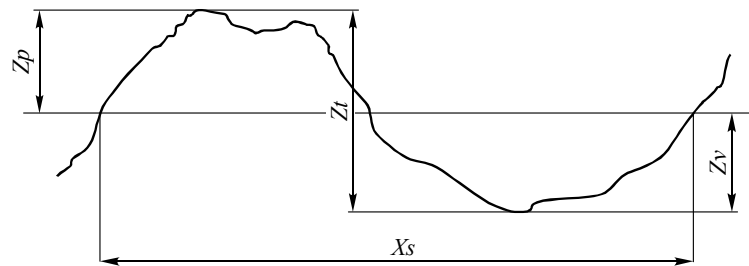


Slika 4.28. Lokalni gradijenti profila površine

Visina vrha profila Z_p je udaljenost između osi x i najviše točke vrha profila.

Dubina dna profila Z_v je udaljenost između osi x i najniže točke dna profila (slika 4.29.)

Visina elementa profila Z_t je zbroj visine vrha i dubine dna elementa profila (vidi sliku 4.29.). Isto tako se X_s zove širina elementa profila, a koja se prikazuje kao dužina isječka osi x koji sječe profilni element.



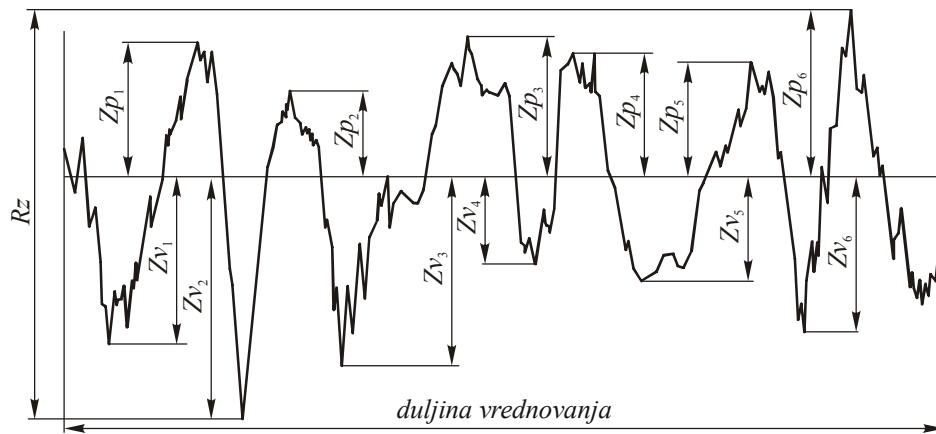
Slika 4.29. Element profila površine

Maksimalna visina vrha profila P_p , R_p , W_p je najveća visina vrha profila Z_p na dužini vrednovanja, a maksimalna dubina dna profila P_v , R_v , W_v najveća dubina dna profila Z_v na istoj dužini (vidi sliku 4.29).

Maksimalna visina profila P_z , R_z , W_z je zbroj visine najveće visine vrha profila Z_p i najveće dubine dna profila Z_v na dužini vrednovanja. ISO iz 1984 godine koristi simbol R_z sa drugačijom definicijom pa se mora paziti pri korištenju postojećih tehničkih crteža i dokumentacije, jer razlike nisu uvijek zanemarivo male.

Srednja visina elemenata profila P_c , R_c , W_c je srednja vrijednost elementa profila Z_t na dužini uzorkovanja.

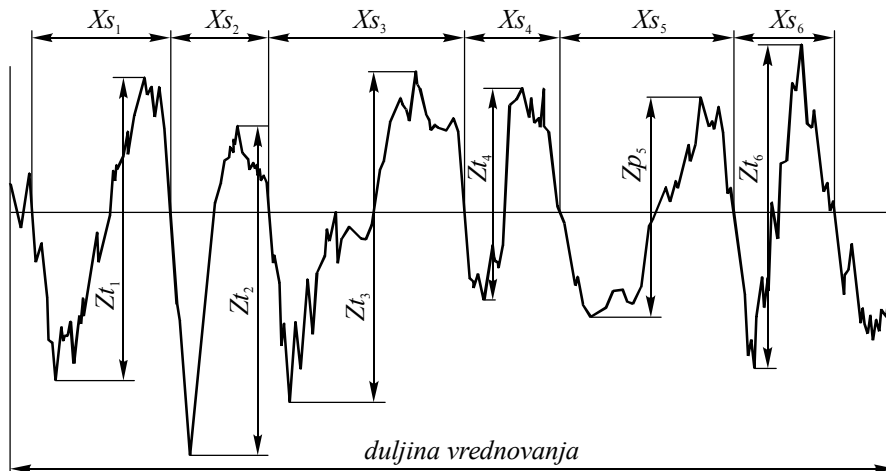
$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i}$$



Slika 4.30. Maksimalne vrijednosti na profilu hrapavosti

Ukupna visina profila P_t , R_t , W_t predstavlja zbroj najveće visine profila vrha Z_p i najveće dubine dna profila Z_v na dužini koja se mjeri. Obzirom da su P_t , R_t i W_t definirane na dužini koja se mjeri a ne na dužini vrednovanja, za svaki profil vrijedi da je:

$$P_t \geq P_z; R_t \geq R_z; W_t \geq W_z$$

Slika 4.31. Parametri X_s i Z_t na duljini vrednovanja

Srednje aritmetičko odstupanje mjenog profila P_a , R_a , W_a je aritmetički prosjek apsolutne ordinatne vrijednosti $Z(x)$ na dužini uzorka

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

pri tom je $l = l_p$, l_r ili l_w ovisno o parametru.

Srednjeg kvadratno odstupanje mjenog profila Pq , Rq , Wq je vrijednost srednjeg korijena ordinatne vrijednosti $Z(x)$ na dužini uzorkovanja:

$$Pq, Rq, Wq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$$

pri tom je $l = lp, lr$ ili lw ovisno o slučaju.

Zbog relativno velikih promjena u novom izdanju ISO 4287 u donjim su tablicama date usporedne vrijednosti nekih pojmova aktualnog i prethodnog izdanja standarda.

Tablica 4.61. Usporedba nekih osnovnih pojmova ISO 4287-1:1984 i ISO 4287:1996

Osnovni pojmovi	Izdanje iz 1984	Izdanje iz 1996
dužina uzorka	l	$lp, lw, lr^{1)}$
dužina vrednovanja	l_n	l_n
vrijednost ordinate	y	$Z(x)$
lokalni nagib	-	$\frac{dZ}{dX}$
visina vrha profila	y_p	Z_p
dubina dna profila	y_v	Z_v
visina elementa profila	-	Z_t
širina elementa profila	-	X_s

1) Dužina uzorka tri različita profila: l_p (primarni profil), l_w (profil valovitosti) i l_r (profil hrapavosti).

Tablica 4.62. Usporedba nekih osnovnih parametara površine ISO 4287-1:1984 i ISO 4287:1996

Parametri	1984.	1996.	Određeni na	
			dužini vrednovanja l_n	dužini uzorkovanja l_r
maksimalna visina vrha profila	R_p	$R_p^{2)}$		x
maksimalna dubina dna profila	R_m	$R_v^{2)}$		x
maksimalna visina profila	R_v	$R_z^{2)}$		x
srednja visina profila	R_c	$R_c^{2)}$		x
ukupna visina profila	-	$R_t^{2)}$	x	
srednje aritmetičko odstupanje mjerenog profila	R_a	$R_a^{2)}$		x
odstupanje srednjeg korijena mjerenog profila	R_q	$R_q^{2)}$		x
srednja širina profila elemenata	S_m	$R_{sm}^{2)}$		x
nagib srednjeg korijena mjerenog profila	Δ_q	$R\Delta_q^{2)}$		x
«ten point height» (poništen kao ISO parametar)	R_z	-	-	-

1) Ova dužina uzorka je l_r , l_w i l_p za R-, W- i P- parametre; l_p jednak je l_n
2). Parametri definirani za tri profila: primarni profil, profil valovitosti i profil hrapavosti. Tablica sadrži samo parametre profila hrapavosti.

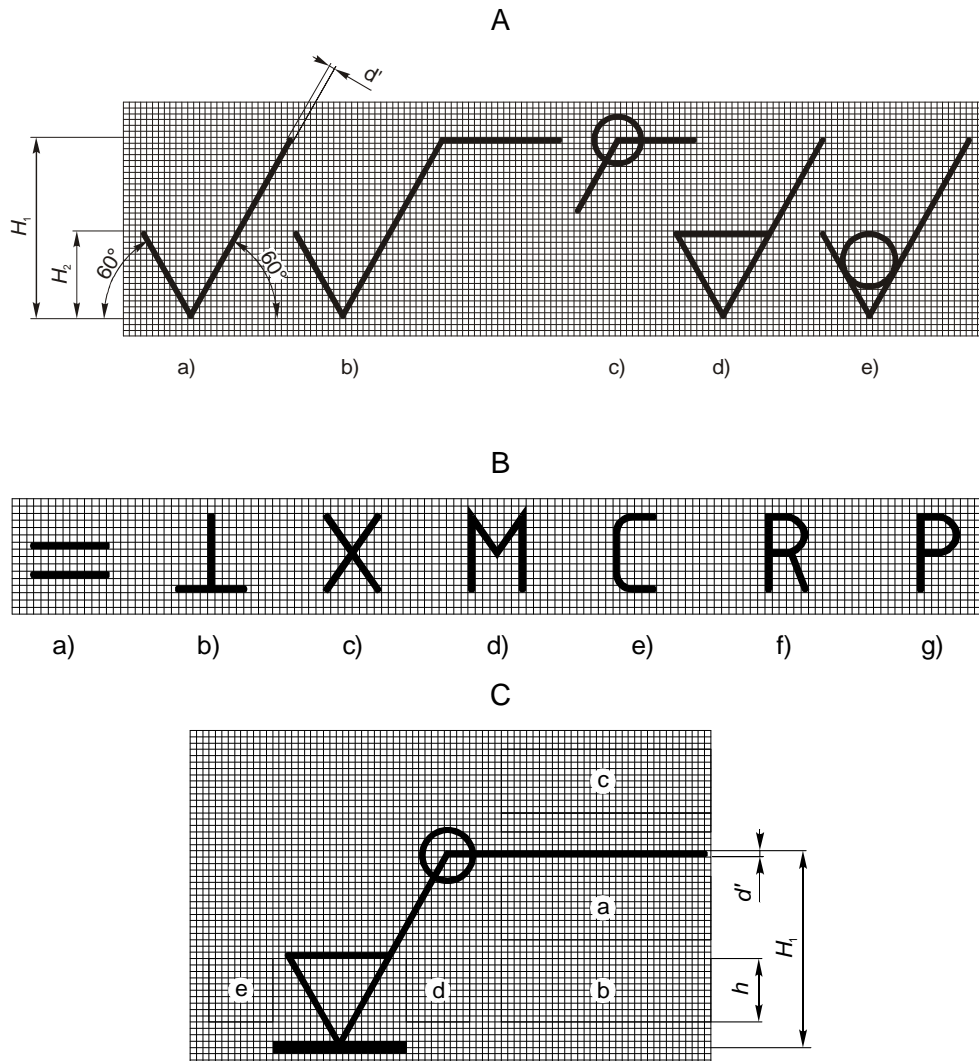
4.10.3. Označavanje hrapavosti tehničkih površina na tehničkim crtežima

Oznakom ili simbolom na tehničkim crtežima se označavaju određene površine kako bi se propisala njihova hrapavost i način obrade za njezino postizanje. Simboli hrapavosti pri obradi odvajanjem ili bez odvajanja čestica dani su normom ISO 1302-2001. Postoje *osnovni* i *dopunski* simboli koji opisuju stanje površina.

Osnovni grafički simbol sastoji se od dvije ravne crte nejednake dužine nagnute za 60° u odnosu na liniju koja predstavlja označenu površinu, kao što pokazuje slika 4.32A,a). Osnovni grafički simbol se ne upotrebljava bez dopunskih oznaka.

Za usklađivanje veličine simbola s ostalim natpisima na tehničkim crtežima (kote, tolerancije, itd.) primjenjuje se ISO 81714-1. Osnovni grafički simbol i

njegove dopune crtaju se prema slici 4.32. Oblik simbola na slici 4.32.B, c) do g), isti je kao kod velikih slova prema ISO 3098-2:2000 (oblik B, uspravno). Dimenzije simbola prikazane su u tablici 4.64.



Slika 4.32. Građa simbola za označavanje kvalitete obrađenih površina na tehničkim crtežima

(A- osnovni i dopunski simboli i njihove izmjere prema tablici 4.64.; B- dopunski znakovi i slova, C- potpuni grafički simbol- slova u području c mogu biti velika ili mala, visina ovog područja može biti veća od h da se omogući upotreba velikih i malih slova.)

Tablica 4.64. Izmjere oznaka na slici 4.32.

Visina brojki i slova, h (vidi ISO 3098-2)	2,5	3,5	5	7	10	14	20
Debljina linije za simbole d'	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
Debljina linije za slova d							
Visina H_1	3,5	5	7	10	14	20	28
Visina H_2	7,5	10,5	15	21	30	42	60

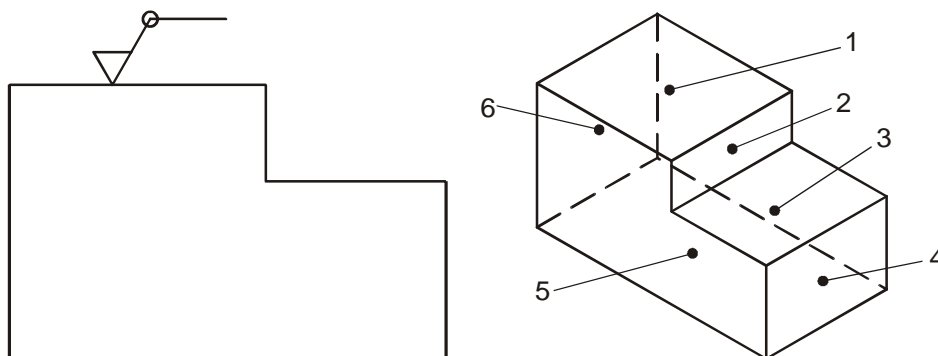
Ako se zahtjeva strojno odvajanje čestica potrebno za postizanje tražene površinske obrade, potrebno je dodati horizontalnu ravnu crtu na osnovni grafički simbol, sl. 4.32.A-d). Ako nije dozvoljeno odvajanje čestica u svrhu postizanja tražene površinske obrade, potrebno je dodati kružnicu na osnovni grafički simbol, sl.4.32.A-e). Takave simbole zovemo *prošireni simboli*.

Kada treba postaviti potpune zahtjeve za hrapavost površine, potrebno je dodati crtu na duži slobodni dio kraka grafičkog simbola za osnovni i prošireni simbol (sl. 4.33.)

Za upotrebu u pisanom tekstu – na primjer, izvještaji ili ugovori – tekstualne oznake za grafičke simbole na slici 4.33 su: a) – APA, b) – MRR i c) – NMR.



Slika 4.33 Potpun grafički simbol

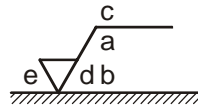


Slika 4.34. Grafički simbol za sve površine izratka (Zahtjev za hrapavost šest površina predstavljenih konturom izratka. Kontura na crtežu (lijevo) predstavlja šest površina prikazanih na 3D prikazu (desno) izratka **-ne predstavlja prednju i stražnu površinu!**)

Kada se ista hrapavost površine zahtjevana na svim površinama izratka predstavljenim, na crtežu, zatvorenom konturom izratka, potrebno je dodati kružnicu na potpuni grafički simbol kao što je prikazano na slici 4.34.

Zbog jednoznačnosti označavanja zahtjeva za hrapavosti površine, neophodno je, pored naznake stupnja hrapavosti površine i njegovog iznosa, navesti i dodatne zahtjeve (npr. dužina vrednovanja ili dužina uzorkovanja, proizvodni postupak, vrstu površinskih tragova i njihovu orijentaciju ili mogući dodatak za strojnu obradu). Može biti postavljeno i nekoliko različitih zahtjeva na hrapavosti površina u svrhu osiguranja funkcionalnosti površine.

Za ovu svrhu se upotrebljava *potpuni grafički simbol*. Oznake smještaja različitih zahtjeva na hrapavost površine u potpunom grafičkom simbolu prikazane su na slici 4.35.



Slika 4.35. Položaj oznaka (a do e) dopunskih zahtjeva

Zahtjevi na hrapavost površine trebaju biti smješteni na slijedeće položaje u potpunom grafičkom simbolu:

Položaj a: zahtjev za hrapavošću površine

Pokazuje stupanj i vrstu (R, W ili P) hrapavosti površine, granična brojčana vrijednost i dužina vrednovanja ili dužina uzorkovanja. Zbog izbjegavanja pogrešnog tumačenja, treba umetnuti između oznake i zahtjevane vrijednosti dvostruki razmak (slovno mjesto).

Općenito, u jednom nizu treba navesti referentnu dužinu vrednovanja ili dužinu uzorkovanja završenu kosom crtom (/), slijedi oznaka stupnja površinske hrapavosti i njena brojčana veličina.

PRIMJER 1 0,0025-0,8/Rz 6,8 (primjer s referentnom dužinom)

PRIMJER 2 -0,8/Rz 6,8 (primjer samo s dužinom uzorkovanja)

Prema ISO 1302 referentna dužina je dužina vala između dva definirana filtera (vidi također ISO 3274 i ISO 11562) a, za pogonsku metodu, dužina vala između dvije određene granice (vidi ISO 12085).

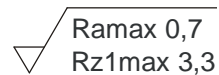
Položaj a i b: -dva ili više zahtjeva na hrapavost površine

Ove se oznake većinom primjenjuju za granice područja zahtjevane hrapavosti ili dvije vrste oznaka hrapavosti.

Prvi zahtjev na hrapavost površine stavlja se na uobičajenom položaju «a». Drugi zahtjev na hrapavost površine tada se stavlja na položaj "b". Ukoliko postoji

treći ili više zahtjeva koje treba naznačiti, grafički simbol se pomiče u vertikalnom smjeru, da se napravi prostor za više linija.

MRR Ramax 0.7; Rzmax 3.3



a) u tekstu

b) na crtežu

Slika 4.36. Navođenje parametra granica hrapavosti (maksimuma)

MRR U Ra 0,9; L Ra 0,3



a) u tekstu

b) na crtežu

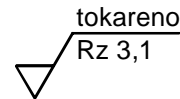
Slika 4.37. Dvostruka specifikacija parametra površine (gornjai i donja granica)

Položaj c: –postupak obrade

Naznačava postupak obrade, tretiranje površine, vrstu prevlake ili druge zahtjeve na proces obrade i sl. za dobivanje površine (obrađena, pocinčana, galvanizirana).

Postupak obrade na površini može biti naznačen kao tekst dodan potpunom simbolu kao što je prikazano na slikama 4.38. i 4.39.. Prevlaka na slici 4.39., kao primjer, naznačena je upotrebom simboličkog prikaza prema ISO 1456.

Tokareno Rz 3,1

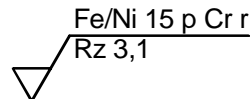


a) u tekstu

b) na crtežu

Slika 4.38. Označavanje postupka obrade i hrapavosti površine

NMR Fe/Ni 15 p Cr r; Rz 0,6



a) u tekstu

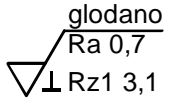
b) u crtežu

Slika 4.39. Označavanje prevlake i hrapavosti površine

Položaj d: - smjer obrade

Na ovom se mjestu stavlja simbol željenog prostiranja tragova, ako postoji, odnosno smjer prostiranja tragova npr. "=", "X", "M"

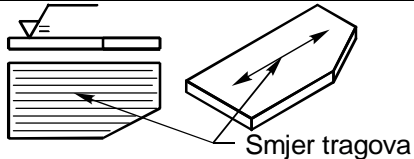
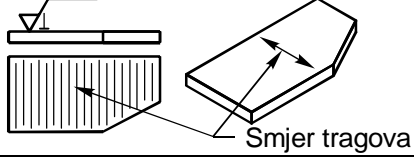
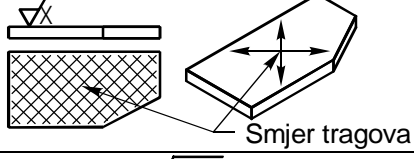
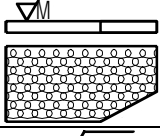
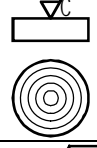
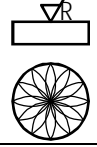
Površinski tragovi i smjer prostiranja tragova nastalih postupkom obrade (npr. tragovi alata) mogu biti naznačeni u potpunom simbolu upotrebom znakova naznačenih u tablici 4.65. a prikazanim primjerom na slici 4.40. Označavanje površinskih tragova definiranih znakovima nije primjeniva u tekstualnom prikazu.

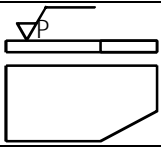
MMR glodano Ra 0,7; Rz1 3,1	
a) u tekstu	b) u crtežu

Slika 4.40. Smjer površinskih tragova naznačen okomito na ravninu crtanja

Znakovi u tablici 4.65. prikazuju tragove obrade i smjer tragova u odnosu na ravninu crtanja.

Tablica 4.65. Simboli za tragove obrade na površinama

Grafički znak	Opis i primjer
=	Paralelno na ravninu projekcije u kojoj je znak upotrebljen 
⊥	Okomito na ravninu projekcije u kojoj je znak 
X	Križno u dva pravca na relativnu ravninu projekcije u kojoj je znak 
M	Višesmjerno 
C	Približno kružno prema središtu površine na kojoj je znak 
R	Približno radijalno prema središtu površine na kojoj je znak 

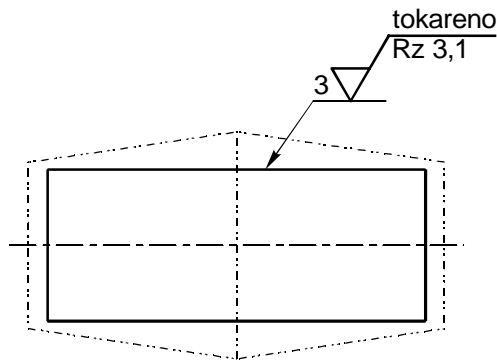
Grafički znak	Opis i primjer	
P	Tragovi su zasebni, neusmjereni ili nestršeći	
<i>Ukoliko je neophodno naznačiti uzorak koji nije jasno opisan ovim znakovima, to treba uraditi upotrebom prikladne bilješke na crtežu.</i>		

Položaj e: – dodatak za obradu

Označava zahtjev za dodatkom za strojnu obradu, ako postoji, a daje se kao brojčana vrijednost u milimetrima.

Dodatak za strojnu obradu u principu se naznačava u slučajevima kada je više faza obrade prikazano na jednom crtežu. Dodatak za strojnu obradu je potreban npr. u crtežu sirovca i otkivka s konačnim izradkom prikazanim u sirovom komadu. Ova oznaka nije primjenjiva u tekstualnom prikazu.

Kada je zadan dodatak za strojnu obradu, može se dogoditi da je on i jedini na potpunom simbolu. Češći je slučaj da se istovremeno daje i podatak za hrapavost poslije konačne strojne obrade (sliku 4.41).

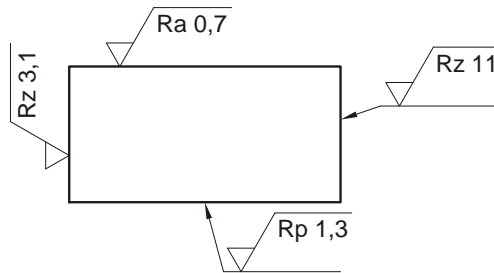


Slika 4.41. Primjer označavanja zahtjeva hrapavosti površine za konačni izradak a prikazan na crtežu sirovca (uključuje 3 mm dodatka za strojnu obradu)

4.10.4. Primjena oznaka hrapavosti na crtežima i drugoj tehničkoj dokumentaciji

Zahtjeve za stanjem površine treba postaviti samo jednom za određenu površinu, na jednoj projekciji, ako je moguće, na istu projekciju gdje su kotirane i tolerirane veličina ili položaj, i to što bliže njima da se što bolje uoče.

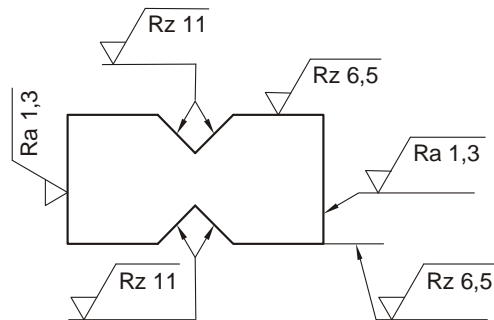
Opće je pravilo da grafički simbol, zajedno s dopunskim informacijama treba orijentirati tako da je čitak s donje te s desne strane crteža, kao i kod kotiranja a sve prema prema ISO129-1 (slika 4.42.).



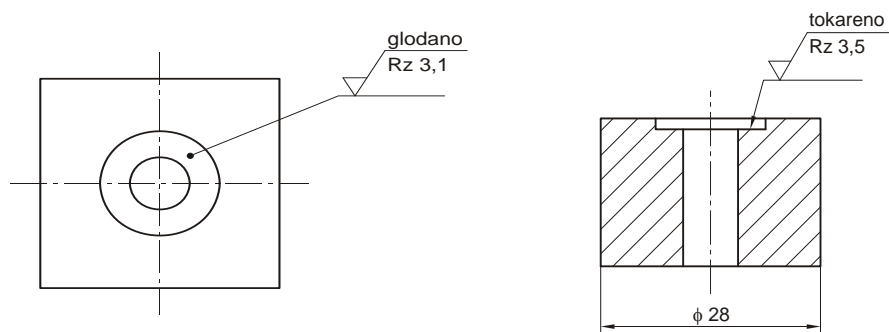
Slika 4.42 Smjer čitanja (grafičkih simbola) stanja površine

Zahtjev za stanjem površine (grafički simbol) može dirati površinu ili biti spojen na nju preko referentno/pokazne crte koja na površini završava strijelicom ili nekim drugim znakom.

Kao općenito pravilo, grafički simbol, ili pokazna crta koja završava strijelicom (ili nekim drugim odgovarajućim završetkom), treba pokazivati na površinu materijala izratka s vanjske strane, bilo da je to kontura (koja predstavlja površinu) ili njen produžetak (vidi slike 4.43 i 4.44.).



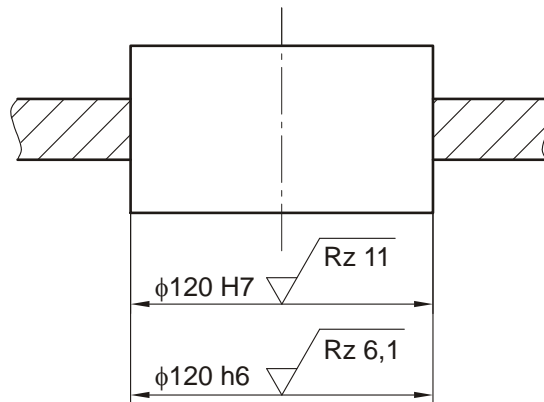
Slika 4.43. – Zahtjevi za stanjem površine na konturi koja predstavlja površinu



a) b)

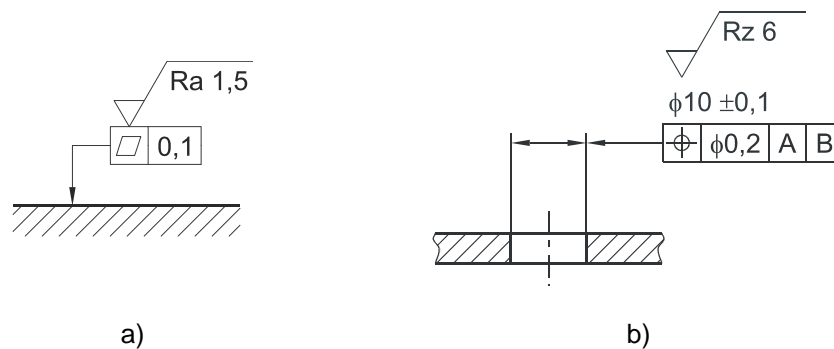
Slika 4.44. Alternativna upotreba referentne i pokazne crte

Ako ne postoji mogućnost zabune, zahtjev za stanjem površine može se postaviti zajedno s istaknutim mjerama, kao na donjoj slici.



Slika 4.45. Zahtjev za stanjem površine uz kotni broj

Zahtjev za stanjem površine može se postaviti i na vrh tolerancijskog okvira za geometrijske tolerancije (prema ISO 1101), kao što je prikazano na slici 4.46, a) ili iznad same oznake b).



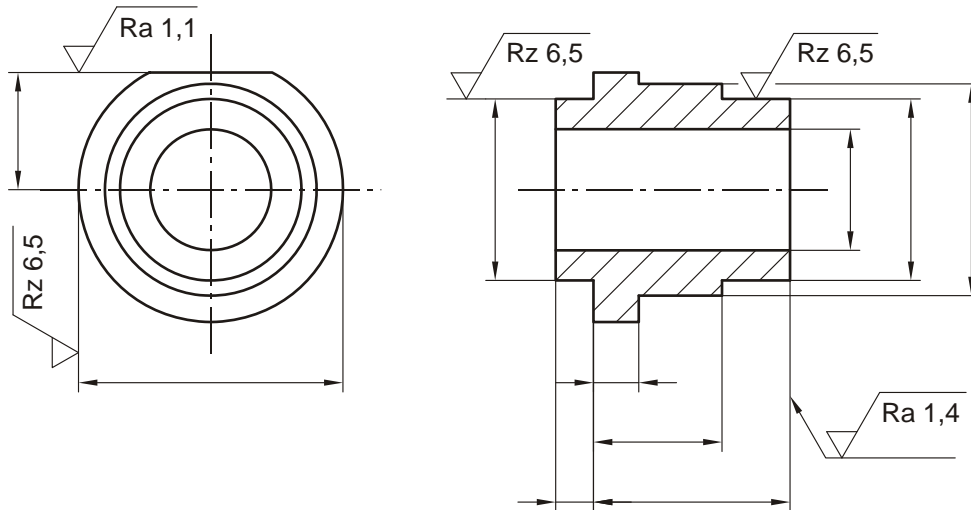
a)

b)

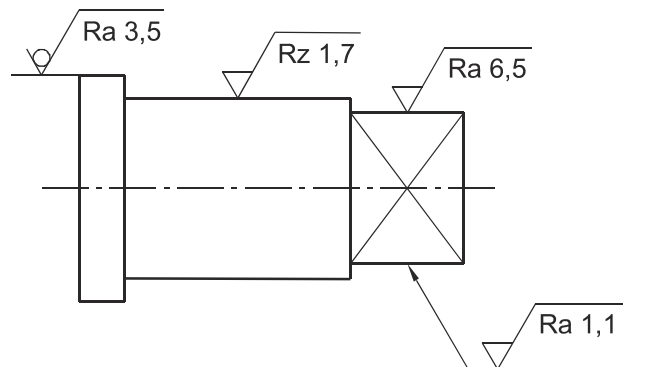
Slika 4.46. Zahtjev za stanjem površine vezan uz tolerancije polžaja i oblika

Zahtjev za stanjem površine može se izravno postaviti i na pomoćne mjerne crte ili biti vezan na njih preko referentne ili pokazne crte sa strijelicom kao završetkom (slika 4.47)

Cilindrične, konične kao i prizmatične površine definiraju se oznakom hrapavosti jednoznačno tako da se znakom označi kontura ili izvodnica (vidi sliku 4.48.). U manjem broju slučajeva, kada se radi o prizmatičnim površinama, svaku površinu treba odvojeno naznačiti ako je zahtjev za stanjem površine različit za svaku od njih .

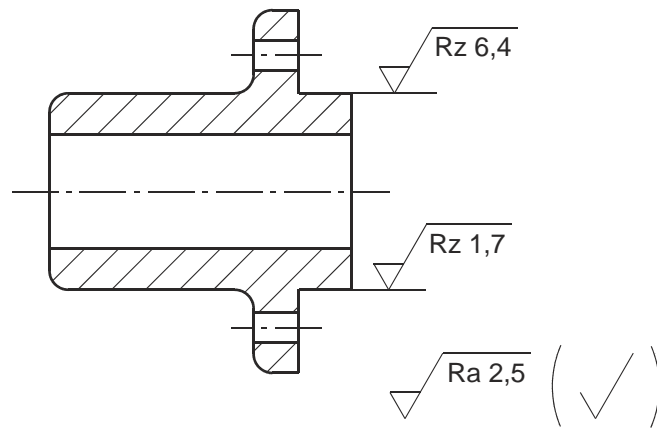


Slika 4.47. Upotreba pomoćnih mjernih crta za isticanje zahtjeva hrapavosti cilindričnih tijela

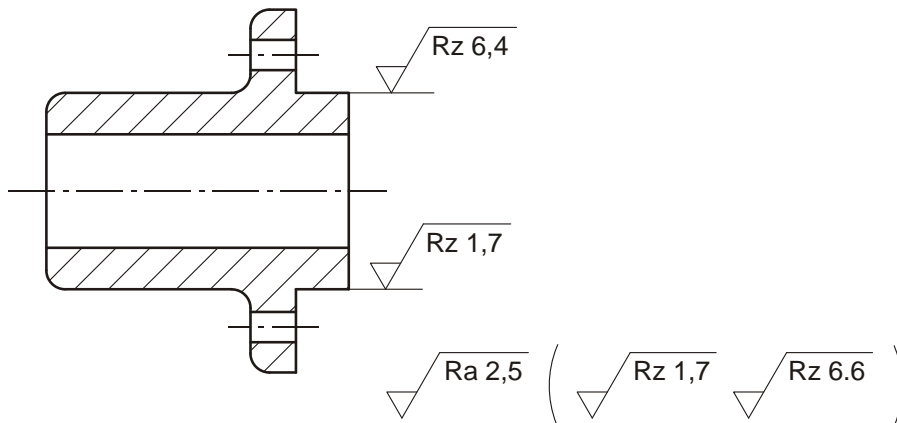


Slika 4.48. Zahtjev za stanjem površine za cilindrične i prizmatične površine

Ako je zahtijevano stanje površine isto na većini površina izratka, tada se to zahtijevano stanje površine pojednostavljeno definira skupnim znakom koji se smješta obično u gornji desni kut radioničkog crteža. Pri tom se na prvom mjestu ističe znak obrade kojim je obrađena većina ploha, a koji nije istaknut na projekciji crteža, te u zagradu ostale obrade. Postoje dva osnovna načina ovakvog prikaza kao što se to vidi na slikama 4.49 i 4.50.



Slika 4.49. Pojednostavljeni prikaz – Većina površina s istim zahtijevanim stanjem površine

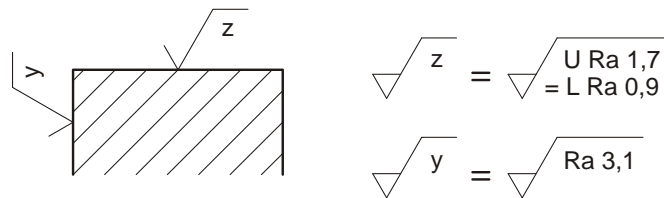


Slika 4.50. Pojednostavljeni prikaz – Većina površina s istim zahtijevanim stanjem površine

Zahtjevi za stanjem površine koji odstupaju od općenitog zahtjeva za stanjem površine trebaju biti postavljeni izravno na crtežu u istoj projekciji kao i specificirana površina o kojoj je riječ.

Da bi se izbjeglo brojno ponavljanje istih oznaka hrapavosti, ili tamo gdje je prostor ograničen, ili ako se traži isto stanje površine na većem broju površina izratka, može se primijeniti pojednostavljeno označavanje i to na slijedeći način:

Pojednostavljena oznaka postavlja se na potrebnoj površini, a njeno značenje je objašnjeno pored same projekcije, sastavnice ili u prostoru predviđenom za opće napomene (vidi sliku dolje).



Slika 4.51. Oznaka hrapavosti u slučaju skućenog prostora za crtanje

Svi osnovni grafički simboli prikazani na slici 4.32 mogu se također koristiti za oznaku zahtjevanog stanja površine, a njihovo potpuno značenje se daje na crtežu kako je to prikazano na slikama 4.52 do 4.54. uključujući i prethodno opisane slučajeve.

$$\sqrt{\quad} = \sqrt{\text{Ra } 3,1}$$

Slika 4.52. – Pojednostavljeni prikaz zahtjeva za stanjem površine – Nedefinirani proizvodni proces

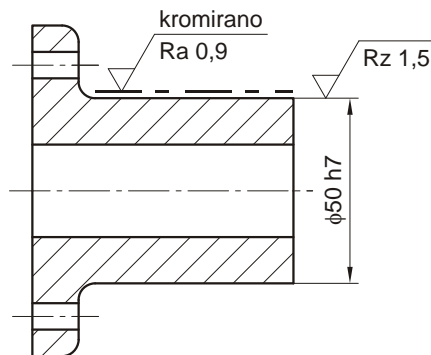
$$\sqrt{\triangle} = \sqrt{\text{Ra } 3,1}$$

Slika 4.53. – Pojednostavljeni prikaz zahtjeva za stanjem površine – Potrebno odvajanje materijala

$$\sqrt{\circ} = \sqrt{\text{Ra } 3,1}$$

Slika 4.54. – Pojednostavljeni prikaz zahtjeva za stanjem površine – Nije dozvoljeno odvajanje materijala

Ako je u pitanju više proizvodnih postupaka, potrebno je definirati stanje površine prije i poslije pojedinog postupka obrade, što treba objasniti u napomeni, kao što prikazuje slika 4.55.



Slika 4.55. Postavljanje zahtjeva za stanjem površine, prije i poslije obrade (u ovom slučaju presvlaka)

4.10.5. Odnos tolerancije i hrapavosti

Postizanje određene tolerancije povezano je s hrapavošću tehničkih površina koje se toleriraju.

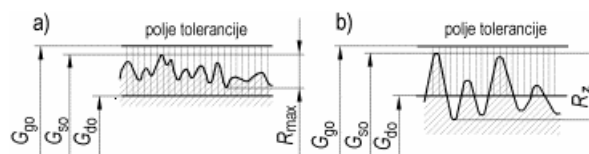
Tablica 4.65. Odnos stupnja tolerancije (IT) i parametra hrapavosti R_a u ovisnosti o dimenzijama izratka

Stupanj tolerancije	... 3mm	3 ... 18	18 ... 80	80 ... 250	250 ...
IT5	0,1	0,2	0,4	0,4	0,8
IT6	0,2	0,4	0,4	0,8	0,8
IT7	0,4	0,4	0,8	1,6	1,6
IT8	0,4	0,8	1,6	1,6	3,2
IT9	0,8	0,8	1,6	3,2	6,3
IT10	1,6	1,6	3,2	6,3	6,3
IT11	1,6	3,2	6,3	6,3	12,5
IT12	3,2	3,2	6,3	12,5	12,5
IT13	6,3	6,3	12,5	12,5	12,5
IT14	12,5	12,5	12,5	12,5	25

U tablici 4.66. dana je veza između kvaliteta tolerancija dužinskih izmjera i odgovarajućih najgrubljih površinskih obrada. Navedene hrapavosti mogu se koristiti uvijek kada drugi uvjeti ne zahtijevaju finiju kvalitetu obrade. Ako funkcija površine elementa ne zahtijeva manju hrapavost od one navedene u tablici 4.66., može se općenito i grubo uzeti da je potrebno ispuniti uvjet da je $R_z \leq 0,5 \cdot T$.

Na taj se način postiže da nakon spajanja dosjednih dijelova i djelomične plastične deformacije neravnina hrapavosti stvarne izmjere bude unutar tolerancijskog polja.

Između tolerancijskog polja, duljinske izmjere i veličine hrapavosti treba postojati usklađenost. Na slici 4.56. prikazan je povoljan (slika 4.56.a) i nepovoljan (slika 4.56.b) odnos visine tolerancijskog polja i neravnina. Prema literaturnim podacima hrapavost može biti manja ili u nekim slučajevima najviše jednaka kvaliteti tolerancije duljinske izmjere.



Slika 4.56. Tolerancije i hrapavosti površina

(a - povoljan i b - nepovoljan odnos hrapavosti i tolerancijskog polja)

Tablica 4.66. Uobičajena područja primjene veličina hrapavosti

Srednje aritmetičko odstupanje profila R_a , μm	Primjena
0,025 0,05 0,1	Kontrolna mjerila, najstrožiji zahtjevi
0,2 0,4 0,8	Brtvene i vrlo precizne klizne površine
1,6 3,2 6,3	Klizne površine i prisni dosjedi
12,5 25	Prisni dosjedi
50	Nefunkcijske površine

U tablici 4.67. dan je pregled najčešćih postupaka ručne i strojne obrade sa podacima o veličini hrapavosti koja se uobičajeno može s njima postići.

Tablica 4.67. Orientacione vrijednosti parametra R_a površinske hrapavosti koji se mogu postići sa određenom vrstom ručne i strojne obrade

Postupak obrade	Stupanj površinske hrapavosti															
	$R_a, \mu\text{m}$															
	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200	400	800
Ručna obrada																
- grubo turpijanje																
- fino turpijanje																
Lijevanje																
- u pijesak																
- u kokilu																
- tlačno lijevanje																
Kovanje																
- toplo, slobodno																
- toplo u ukovnju																
- hladno u ukovnju																
Valjanje																
- toplo																
- hladno																

Postupak obrade	Stupanj površinske hrapavosti															
	$R_a, \mu\text{m}$															
	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200	400	800
Pjeskarenje																
Sačmarenje																
Plinsko rezanje																
Tokarenje																
- grubo																
- fino																
Blanjanje																
- grubo																
- fino																
Glodanje																
- grubo																
- fino																
Bušenje svrdlom																
Razvrtavanje																
Brušenje																
- grubo																
- fino																
Poliranje																
- mehaničko																
- električno																
Honanje, lepanje																
Superfiniš																
Obrada navoja																
- rezanje																
- brušenje, valjanje																
Obrada zubaca																
- blanjanje																
- glodanje																
- brušenje																