

Preglednica 4.1: Specifična rezalna sila  $k_c$  [ $N/mm^2$ ] - za struženje

Material obdelovanca	Trdnost [ $N/mm^2$ ] oz. trdota	Specifična sila rezanja $k_c$ [ $N/mm^2$ ] pri podajanju $f$ [mm]				
		0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
Nelegirano konstrukcijsko jeklo	< 500	3530	2550	1865	1335	960
	500 ... 600	3920	2845	2060	1490	1080
	600 ... 700	4120	2940	2160	1530	1130
	700 ... 850	4315	3090	2255	1610	1180
	850 ... 1000	4510	3240	2355	1690	1225
Legirana Mn, Cr-Ni, Cr-Mo jekla	700 ... 850	4610	3335	2400	1725	1420
	850 ... 1000	4905	3530	2550	1815	1430
	1000 ... 1400	5200	3730	2700	1960	1470
	1400 ... 1800	5590	4020	2940	2110	1520
Nerjaveče jeklo Mn trdo jeklo Orodno jeklo	600 ... 700	5100	3680	2650	1885	1305
	1650 ... 2000	6475	4710	3435	2470	1770
	1500 ... 1800	5590	4020	2940	2110	1570
Jeklena litina	300 ... 500	3140	2260	1670	1215	865
	500 ... 700	3530	2610	1865	1335	970
	700 ... 1000	2825	2805	2010	1470	1000
Siva litina	< 200 HB	1865	1335	980	705	510
	200 ... 250 HB	2845	2040	1470	1060	775
	250 ... 400 HB	3140	2255	1670	1180	834
Temprana litina Baker Med Bron		2355	1720	1225	903	628
		2060	1490	1080	785	550
		1570	1130	835	590	432
		3335	2400	1765	1255	912
Čisti aluminij		1030	745	540	393	275
Aluminijeve zlitine	80 ... 300	1130	825	590	422	305
	300 ... 420	1375	980	687	510	373
	420 ... 580	1670	1200	835	628	450
Trda guma Tekstolit, pertinaks		470	343	245	175	
		490	353	255	196	

Opomba:

Vrednosti v razpredelnici so povprečne vrednosti, odvisne tudi od kotov orodja, in jih je mogoče uporabljati samo za približno oceno.

Preglednica 4.2: Koeficienti in eksponenti za računanje specifične rezalne sile  $k_c$  in dopustnega podajanja pri struženju (po Kienzleju in Victorju)

Material obdelovanca DIN	Trdnost [N/mm <sup>2</sup> ] trdota	$k_{c1x1}$	$k_{c1x1}'$	z	$\xi$	Rezalna hitrost $v_c$ [mm/s]	Podajanje, debelina odr. f, h [mm]	Geometrija orodja $\alpha$ - $\gamma$ - $\lambda$ - $\epsilon$ - $\kappa$ -r
St 50.11	510	1900	2010	0.26	0.57	1670	h = 0.085÷0.8	5-6-(-4)-90-60-1
St 60.11	610	2070	2120	0.17	0.55			
St 70.11	707	2220	2320	0.30	0.59			
C 22	490	1770	-	0.17	0.55	-	-	-
Ck 45	657	2180	2220	0.14	0.54		h = 0.085÷0.8	5-6-(-4)-90-60-1
Ck 53 N	-	1245	1245	0.33	0.60	1670	f = 0.08÷0.335	8-10-0-85-90-0.5
Ck 60	755	2090	2150	0.18	0.55		h = 0.085÷0.8	5-6-(-4)-90-60-1
16 MnCr 5	755	2060	2130	0.26	0.57	-	-	
15 CrMo 5	580	2150	2270	0.17	0.55	1670	h = 0.085÷0.8	5-6-(-4)-90-60-1
18 CrNi 6	618	2220	2320	0.30	0.59			
34 CrMo 4	785	2200	2270	0.21	0.56			
42 CrMo 4	716	2450	2540	0.26	0.57			
50 CrV 4	590	2180	2260	0.26	0.57			
55 NiCrMoV 6 žarjen	920	1710	1770	0.24	0.57			
55 NiCrMoV 6 pobolj.	-	1880	1940	0.24	0.57			
X 6 CrNiMoNb 18 10	590	1245	1265	0.27	0.58	1330	f < 0.25	8-15-0-90-70-0.5
X 5 NiCrTi 26 15	960	1570	1600	0.29	0.58	670		
X 8 NiCoCrTi 55 20 20	1285	2350	2390	0.21	0.56	500		
NiCo 20 Cr 15 MoAlTi žarjen	-	1965	1990	0.29	0.58	500		
NiCo 20Cr 15 MoAlTi utrjen	1245	1915	1940	0.29	0.58	330		
ATS 115	1030	2330	2370	0.22	0.56	500		
Rg A	-	805	805	0.25	0.57	670-HSS	f = 0.06÷0.2	5-10-0-90-90-(-)
GGL	> 200 HB	940	-	0.21	0.56		-	-
GGL 18	122	735	-	0.13	-	250	f = 0.026÷0.66	3-13-0-(-)-3÷40-
GG 18	180 HB	970	970	0.20	0.56	1670	h = 0.085÷0.8	5-2-(-4)-60-90-1
GG 26	200 HB	1140		0.26	0.57			
Meehanite A	353	1245		0.26	0.57			
Meehanite E	216	1295		0.26	0.57			
Meehanite M	300 HB	1295		0.26	0.57			
GTW. GTS	> 390	1180	-	0.21	0.56	-	-	-
GS 45	295 ÷ 390	1570	-	0.17	0.55			
GS 52	490 ÷ 690	1765	-	0.16	0.54	-	-	-
Poliamid 6 - 6		157	160	0.15	0.54	6670	f = 0.05÷0.32	10-0-0-90-60-1
G-AlSi 10 Mg a	245	432	432	0.27	0.58	7500 do 15000	h = 0.1÷0.4	6-15-0-(-)-90-1
G-AlSi 6 Cu 4	167	452	452	0.27	0.58			
G-AlMg 5	157	442	442	0.16	0.54			
GK-MgAl 9 Zn 1	127	235	235	0.34	0.60			

Preglednica 4.3: Koeficienti in eksponenti za računanje rezalnih sil pri struženju (po Königu in Esselu)

Material DIN	Trdnost [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_{c1x1}$	1 - z	$k_{p1x1}$	1 - x	$k_{f1x1}$	1 - y	Toplotna obdelava
C 15	373	1481	0.718	333	0.0005	266	0.203	žarjeno
C 35	550	1516	0.735	321	0.199	259	0.465	normalizirano
	676	1515	0.714	385	0.278	276	0.518	poboljšano
St 50-2	559	1499	0.708	351	0.299	274	0.509	-
St 70-2	824	1595	0.678	228	-0.071	152	0.099	-
Ck 45	520	1445	0.751	340	0.228	248	0.495	žarjeno
	618	1574	0.743	343	0.325	263	0.524	normalizirano
	765	1584	0.746	364	0.273	282	0.570	poboljšano
Ck 60	775	1686	0.784	285	0.278	259	0.587	normalizirano
16 MnCr 5	500	1420	0.700	406	0.365	312	0.500	normalizirano
18 CrNi 8	578	1446	0.733	351	0.344	257	0.527	žarjeno
	618	1511	0.805	318	0.267	242	0.457	ferit-perlit strukt.
15 CrMo 5	500	1437	0.716	391	0.375	300	0.583	žarjeno
	726	1559	0.763	291	0.249	232	0.443	ferit-perlit strukt.
34 CrMo 4	628	1552	0.719	337	0.319	237	0.372	žarjeno
	1000	1632	0.797	276	0.341	172	0.479	poboljšano
42 CrMo 4	568	1563	0.744	374	0.330	271	0.524	žarjeno
	922	1656	0.793	279	0.310	234	0.463	poboljšano
50 CrV 4	667	1584	0.731	317	0.235	315	0.611	žarjeno
	1050	1698	0.781	295	0.277	195	0.440	poboljšano

Sprememba rezalne hitrosti vpliva tako na koeficiente kakor tudi na eksponente enačb  $z$ ,  $x$ ,  $y$ . Tega vpliva ni mogoče prikazati s preprostimi enačbami.

Obraba orodja povečuje vse tri komponente rezalne sile, in sicer se za vsakih 0.1 mm povečanja obrabne ploskve na prosti ploskvi noža povečajo:

- glavna sila  $F_c$  za 10 % ,
- odrivna sila  $F_p$  za 30 % ,
- podajalna sila  $F_f$  za 25 % .

Dobro je viden tudi vpliv toplotne obdelave na sile (Preglednica 4.3). Zanimivo je, da se glavna sila vedno poveča, če se zaradi toplotne obdelave poveča trdnost obdelovanca. Nasprotno pa se podajalna in odrivna sila pogosto celo zmanjšata.

Razloga za to je predvsem v tvorbi nastavka na rezalnem robu, ki ga navadno preprečimo s poboljšanjem jekla.

Za približno oceno odrivne in podajalne sile jemljemo pogosto razmerje:

Preglednica 4.8: Specifična sila rezanja  $k_c$

Material obdelovanca	z	$k_{c1x1}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Specifična sila rezanja $k_c$ [N/mm <sup>2</sup> ] pri h [mm]																		
			0.05	0.063	0.08	0.1	0.125	0.16	0.2	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	
DIN																					
St 34, St 37, St 42	0.17	1780	2960	2850	2730	2630	2540	2430	2340	2250	2170	2080	2000	1930	1850	1780	1710	1640	1580	1520	
St 50	0.26	1990	4340	4080	3840	3620	3430	3210	3020	2850	2690	2530	2380	2250	2110	1990	1880	1760	1660	1570	
St 60	0.17	2110	3510	3380	3240	3120	3000	2880	2770	2670	2570	2470	2370	2280	2190	2110	2030	1950	1880	1810	
St 70	0.30	2260	5550	5180	4820	4510	4220	3920	3660	3430	3200	2980	2780	2600	2420	2260	2120	1960	1840	1720	
C 15	0.22	1820	3520	3350	3170	3020	2880	2720	2590	2470	2350	2230	2120	2020	1910	1820	1730	1640	1560	1490	
C 35	0.20	1860	3390	3230	3080	2950	2820	2680	2570	2450	2340	2230	2140	2040	1950	1860	1780	1690	1620	1550	
Ck 45	0.14	2220	3380	3270	3160	3070	2970	2870	2780	2700	2610	2520	2450	2370	2290	2220	2150	2080	2020	1950	
Ck 60	0.18	2130	3650	3500	3360	3220	3100	2960	2850	2730	2620	2510	2410	2320	2220	2130	2050	1960	1880	1810	
15 CrMo 5	0.17	2290	3810	3660	3520	3390	3260	3130	3010	2900	2790	2680	2580	2480	2380	2290	2210	2110	2040	1960	
16 MnCr 5	0.26	2100	4580	4310	4050	3820	3610	3380	3190	3010	2840	2660	2510	2370	2230	2100	1980	1860	1750	1660	
18 CrNi 6	0.30	2260	5550	5180	4820	4510	4220	3920	3660	3430	3200	2980	2780	2600	2420	2260	2120	1960	1840	1720	
20 MnCr 5	0.25	2140	4530	4270	4020	3810	3600	3380	3200	3030	2860	2690	2550	2400	2260	2140	2020	1900	1800	1700	
25 CrMo 4, 41Cr 4	0.25	2070	4380	4130	3890	3680	3480	3270	3100	2930	2760	2600	2460	2320	2190	2070	1960	1840	1740	1650	
30 CrNiMo 8	0.20	2600	4730	4520	4310	4120	3940	3750	3590	3430	3280	3120	2990	2850	2720	2600	2490	2370	2260	2170	
34 CrMo 4	0.21	2240	4200	4000	3810	3630	3470	3290	3140	3000	2860	2720	2590	2470	2350	2240	2140	2030	1940	1850	
37 MnV 7	0.26	1810	3940	3720	3490	3290	3110	2920	2750	2600	2440	2300	2170	2040	1920	1810	1710	1600	1510	1430	
37 MnSi 5	0.20	2260	4120	3930	3750	3580	3430	3260	3120	2980	2850	2720	2600	2480	2360	2260	2160	2060	1970	1880	
42 C Mo 4	0.26	2500	5450	5130	4820	4550	4290	4030	3800	3580	3380	3170	2990	2820	2650	2500	2360	2210	2090	1970	
50 CrV 4	0.26	2220	4840	4560	4280	4040	3810	3580	3370	3180	3000	2820	2660	2500	2350	2220	2100	1970	1850	1750	
55 NiCrMoV 6 N	0.24	1740	3570	3380	3190	3020	2870	2700	2560	2430	2300	2170	2050	1940	1840	1740	1650	1560	1470	1400	
55 NiCrMoV 6 pob.	0.24	1920	3940	3730	3520	3340	3160	2980	2830	2680	2530	2390	2270	2150	2030	1920	1820	1720	1630	1540	
Mn-, CrNi- jeklo	0.21	2350	4410	4200	3990	3810	3640	3450	3300	3140	3000	2850	2720	2590	2460	2350	2240	2130	2030	1940	
CrMo in legirano jeklo	0.19	2600	4590	4400	4200	4030	3860	3680	3530	3380	3240	3090	2970	2840	2710	2600	2490	2380	2280	2180	
Nerjaveče jeklo	0.18	2550	4370	4190	4020	3860	3710	3550	3410	3270	3140	3010	2890	2770	2650	2550	2450	2340	2250	2160	
Mn-irido jeklo	0.22	3300	6380	6060	5750	5480	5210	4940	4700	4480	4260	4040	3840	3650	3470	3300	3140	2980	2830	2700	
GGL 15	0.21	950	1780	1700	1610	1540	1470	1400	1330	1270	1210	1150	1100	1050	1000	950	910	860	820	780	
GGL 20	0.25	1020	2160	2040	1920	1810	1720	1610	1530	1440	1360	1280	1210	1150	1080	1020	960	910	860	810	
GGL 25	0.26	1610	2530	2380	2240	2110	1990	1870	1760	1660	1570	1470	1390	1310	1230	1160	1100	1030	970	910	
GS 45	0.17	1600	2660	2560	2460	2370	2280	2190	2100	2030	1950	1870	1800	1730	1660	1600	1540	1480	1420	1370	
GS 52	0.17	1780	2960	2850	2730	2630	2540	2430	2340	2250	2170	2080	2000	1930	1850	1780	1710	1640	1580	1520	
Trda litina	0.19	2060	3640	3480	3330	3190	3060	2920	2800	2680	2570	2450	2350	2250	2150	2060	1970	1880	1810	1730	

Preglednica 4.10: Smernice za izbiro rezalne hitrosti pri struženju

Material obdelovanca	Trdnost [N/mm <sup>2</sup> ] Trdota	Vrsta orodja	Hitrost v <sub>c60</sub> [mm/s] pri podajanju f [mm]					Multiplikatorji			
								za hitrosti		za orodja	
			0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	V <sub>c240</sub>	V <sub>c480</sub>	P 10	P 30
Nelegirana konstrukcijska jekla	< 500	HSS	1365	1015	750	565	415	0.70	0.59		
		P 20	4080	3500	2920	2500	2080	0.80	0.71	1.41	0.67
	500 ÷ 600	HSS	1080	800	585	450	330	0.71	0.60		
		P 20	3500	2915	2500	2080	1780	0.79	0.71	1.49	0.67
	600 ÷ 700	HSS	865	665	500	385	285	0.70	0.59		
		P 20	2915	2500	2080	1780	1500	0.79	0.71	1.67	0.67
	700 ÷ 850	HSS	685	515	400	300	215	0.72	0.61		
		P 20	2585	2085	1665	1335	1050	0.80	0.71	1.68	0.66
850 ÷ 1000	HSS	585	415	300	235	165	0.72	0.61			
	P 20	2165	1785	1400	1100	900	0.80	0.71	1.66	0.68	
Legirana Mn. Cr. Cr-Ni. Cr-Mo jekla	700 ÷ 850	HSS	685	485	350	250	165	0.72	0.61		
		P 20	2585	2085	1665	1335	1050	0.80	0.71	1.68	0.66
	850 ÷ 1000	HSS	535	400	285	200	140	0.70	0.61		
		P 20	1750	1500	1115	935	750	0.80	0.71	1.66	0.67
	1000 ÷ 1400	HSS	465	335	185	135	95	0.72	0.61		
		P 20	1215	950	750	635	500	0.79	0.71	1.66	0.66
1400 ÷ 1800	HSS	250	158	100			0.70	0.59			
	P 20	765	585	465	400	353	0.79	0.70	1.70	0.68	
Orodna jekla	1500 ÷ 1800	HSS	250	108	85			0.70	0.59		
		P 20	635	500	400	335	265	0.79	0.70	1.68	0.68
Nerjaveča jekla	600 ÷ 700	HSS		500	335	165					
		P 20	1100	900	700	585	450	0.80	0.71	1.68	0.68
Jeklena litina	300 ÷ 500	HSS	1165	850	635	465	350	0.70	0.60		
		P 20	1835	1585	1335	1115	950	0.79	0.71	1.68	0.68
	500 ÷ 700	HSS	765	565	435	315	235	0.70	0.58		
		P 20	1615	1250	1050	900	750	0.80	0.71	1.67	0.67
	> 700	HSS	450	350	250	200	150	0.71	0.60		
		P 20	1000	835	750	585	500	0.80	0.71	1.68	0.66
Siva litina	200 HB	K 20	3335	2835	2250	1915	1585	0.70	0.59		
	200 ÷ 250 HB	K 10	2500	2115	1765	1500	1250	0.70	0.59		
	250 ÷ 400 HB	K 10	1750	1500	1250	1000	835	0.71	0.60		
Temprana litina		K 20	2500	2135	1665	1500	1250	0.70	0.60		
Baker		HSS	1315	1065	750	565	415	0.83	0.74		
		K 20	18700	16700	14000	12500	11200	0.45	0.30		
Med	80 ÷ 120 HB	HSS	3100	2085	1400	950	600	0.75	0.63		
		K 20	22500	19800	16700	15000	1330	0.45	0.29		
Bron		HSS	1385	1050	885	700	600	0.76	0.64		
		K 20	10500	8335	7000	6000	5335	0.56	0.44		
Čisti aluminij		HSS	6585	5000	3250	2000	1250	0.57	0.43		
		K 20	39300	33300	28300	25300	21200	0.56	0.43		
Aluminijeve zlitine	80 ÷ 300	HSS	2215	1415	990	615		0.56	0.43		
		K 20	8835	7335	6335	5335	4665	0.56	0.42		
	300 ÷ 420	HSS	2100	1335	885	600		0.56	0.42		
		K 20	8335	7000	5835	5000	4335	0.56	0.42		
	450 ÷ 580	HSS	2000	1265	835	565		0.56	0.42		
	K 20	7835	6665	5665	4750	4165	0.56	0.42			

Opomba:

HSS - Hitrorezno jeklo ; P 10, P 20, P 30, K 10, K 20 - karbidne trdine po DIN 4990.

Preglednica 4.12: Največja dopustna podajanja pri struženju z orodji iz karbidnih trdin

Material obdelovanca	Trdnost [N/mm <sup>2</sup> ] oz. trdota HB	Vrsta orodja	Podajanje f [mm] pri nastavnem kotu $\kappa$				
			30	45	65	85	90
Nelegirano konstrukcijsko jeklo	< 500	P 30	5.85	3.96	3.91	2.40	1.71
	500 ÷ 600	P 30	5.13	3.48	2.55	2.10	1.50
	600 ÷ 700	P 30	4.74	3.21	2.34	1.95	1.38
	700 ÷ 850	P 30	4.26	2.94	2.13	1.60	1.14
	850 ÷ 1000	P 30	3.90	2.70	1.95	1.45	1.00
Legirana Mn, Cr-Ni Cr-Mo jekla	700 ÷ 850	P 30	4.26	2.94	2.13	1.60	1.14
	850 ÷ 1000	P 30	3.90	2.70	1.95	1.45	1.00
	1000 ÷ 1200	P 30	3.60	2.50	1.80	1.40	0.90
	1200 ÷ 1400	P 30	3.00	2.10	1.50	1.10	0.75
	1400 ÷ 1800	P 30	2.40	1.65	1.20	0.90	0.60
Nerjaveče jeklo	600 ÷ 700	P 30	4.40	3.00	2.20	1.80	1.10
Mn trdo jeklo	1650 ÷ 2000	P 30	2.40	1.80	1.20	0.90	0.60
Orodno jeklo	1500 ÷ 1800	P 30	2.70	2.00	1.40	1.10	0.90
Jeklina litina	300 ÷ 500	P 30	5.80	3.90	2.90	2.40	1.70
	500 ÷ 700	P 30	4.74	3.21	2.34	1.95	1.38
	700 ÷ 1000	P 30	4.26	2.94	2.13	1.60	1.14
Siva litina	< 160 HB	K 20	6.00	4.00	3.00	2.50	2.00
	160 ÷ 250 HB	K 20	4.50	3.00	2.20	1.90	1.50
	180 ÷ 200 HB	K 20	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00
	200 ÷ 225 HB	K 10	2.60	1.75	1.30	1.10	0.85
	225 ÷ 250 HB	K 10	2.20	1.50	1.10	0.90	0.75
Temprana litina	115 ÷ 280 HB	K 10	1.60	1.10	0.80	0.65	0.46
	180 ÷ 200 HB	P 30	3.30	3.00	2.60	1.80	1.24
Med		K 20	2.50	1.80	1.50	1.20	0.80
Bron	130 ÷ 200	K 20	1.80	1.40	1.00	0.90	0.80
Čisti aluminij		K 20	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00
Al zlitine	120 ÷ 240	K 20	8.00	5.40	4.00	3.20	2.30
	240 ÷ 420	K 20	6.00	4.00	3.00	2.50	1.70
	420 ÷ 580	K 20	4.00	2.60	2.00	1.60	1.00
Marmor, granit		K 20	1.00	0.70	0.50	0.40	0.30
Trda guma in umetne snovi (bakelit)		K 20	2.30	1.60	1.20	1.00	0.75

Velikost momenta glavne sile in podajalno silo pri vrtanju lahko izberemo tudi neposredno (Preglednica 5.6).

*Preglednica 5.3: Specifična rezalna sila pri vrtanju v polno s svedri, ki nimajo skrajšanega prečnega rezalnega roba*

Material obdelovanca	Specifični rezalni sili $k_c$ in $k_{fs}$ pri podajanju $f$ [mm]						
	$f$	0.10	0.16	0.25	0.40	0.63	1.00
Nelegirana jekla do 500 N/mm <sup>2</sup>  do 600 N/mm <sup>2</sup>	$k_c$	3090	2940	2750	2600	2310	2200
	$k_{fs}$	3480	3090	2940	2600	2310	19600
	$k_c$	3480	3280	3090	2940	2600	2450
	$k_{fs}$	3920	3480	3280	2940	2600	2200
Legirana jekla do 700 N/mm <sup>2</sup>  od 700 ÷ 900 N/mm <sup>2</sup>  od 900 ÷ 1000 N/mm <sup>2</sup>	$k_c$	3920	3680	3480	3280	2940	2750
	$k_{fs}$	4420	3920	3680	3300	2940	2450
	$k_c$	4660	4420	4170	3680	3480	3280
	$k_{fs}$	5200	4660	4170	3680	3280	2940
	$k_c$	5200	4900	4660	4420	3920	3680
	$k_{fs}$	5900	5200	4900	4420	3680	3280
Lahko obdelovalna nerjavna jekla	$k_c$	4660	4170	3920	3480	3280	2940
	$k_{fs}$	5200	4660	4170	3480	2940	2450
Siva litina do 180 HB  do 220 HB	$k_c$	2080	1960	1770	1670	1470	1370
	$k_{fs}$	2450	2200	1960	1670	1470	1230
	$k_c$	2320	2200	1960	1860	1670	1570
	$k_{fs}$	2750	2450	2200	1860	1670	1370
Čisti aluminij	$k_c$	830	735	696	620	590	520
	$k_{fs}$	1040	930	785	696	550	440
Aluminijeve zlitine	$k_c$	1370	1300	1160	1100	980	880
	$k_{fs}$	1770	1570	1370	1160	980	785
Magnezijeve zlitine	$k_c$	735	660	620	550	520	466
	$k_{fs}$	930	835	700	620	490	390
Cu in Cu zlitine, Al zlitine z 80 ÷ 100 HB  100 ÷ 160 HB  160 ÷ 210 HB	$k_c$	1770	1570	1470	1370	1230	1040
	$k_{fs}$	2200	1960	1670	1300	1100	930
	$k_c$	2100	1960	1770	1670	1470	1370
	$k_{fs}$	2450	2200	1960	1670	1470	1230
	$k_c$	2200	2080	1860	1770	1570	1470
	$k_{fs}$	2500	2310	2080	1770	1570	1300

Preglednica 5.4: Koefficient in eksponent Kienzlejeve enačbe za računanje glavne sile  $F_c$  pri vrtanju v polno

Material obdelovanca DIN	Trdnost [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_{c1x1}$	1 - z	Podatki o orodju
St 34	380	2290	0.77	$\varphi = 118^\circ, \omega = 30^\circ$
St 42	440	1730	0.75	
St 70	815	2380	0.84	
18 CrNi 8 N	590	2640	0.82	$\varphi = 120 \div 130^\circ, \omega = 30^\circ$
42 CrMo 4	1060	2670	0.86	
45 WCrV 7	696	2940	0.81	$\varphi = 118^\circ, \omega = 30^\circ$
46 MnSi	638	2340	0.85	
55 NiCr 13	810	3830	0.92	
55 NiCrMoV 6	715	3190	0.87	
65 Si 7	940	2150	0.68	
100 Cr 6	628	3060	0.77	$\varphi = 120 \div 130^\circ, \omega = 30^\circ$
100 Cr 6	695	2720	0.76	
105 WCr 6	730	2820	0.76	$\varphi = 118^\circ, \omega = 30^\circ$

Preglednica 5.5: Koefficienta  $K$  in  $C$

Material obdelovanca	K	C
Nelegirano konstrukcijsko jeklo	0.079	15
Legirana konstrukcijska jekla	0.094	18
Močno legirana konstrukcijska jekla	3.9	980
Ogljikovo orodno jeklo	0.085	16
Siva litina	0.098	26
Temprana litina	0.098	26



Slika 5.37: Rezalna hitrost je odvisna od premera svedra



Preglednica 5.8: Smernice za izbiro rezalne hitrosti  $v_c$  in podajanja  $f$  pri globokem vrtnanju

Orodje	Material obdelovanca			
	Jeklo do 700 [N/mm <sup>2</sup> ]		Jeklina litina do 700 [N/mm <sup>2</sup> ] $v_c$	
	$v_c$ [mm/s]	$f$ [mm]	[mm/s]	$f$ [mm]
Topovski sveder - HSS				
d < 8 mm	250	001 ÷ 0015		
d = 820 mm	415	0025 ÷ 003		
d = 2050 mm	335	003 ÷ 005		
Topovski sveder - KT	835 ÷ 1500	008 ÷ 015	500 ÷ 1000	008 ÷ 010
Ejektorski sveder - KT	1165 ÷ 1665	015 ÷ 030		
Kronski sveder - HSS	250	010 ÷ 020		
Kronska glava - HSS	250	005 ÷ 008		

Opomba:

Pri globokem vrtnanju morata biti rezalna hitrost in podajanje usklajena tako, da nastajajo kratki odrezki, ki jih hladilna tekočina z lahkoto odplavja.

Označbe materialov: HSS - hitrorezno jeklo, OJ - orodno jeklo, P 20, P 30, K 10, K 20 - KT - karbidne trdine

Preglednica 5.9: Smernice za izbiro rezalne hitrosti  $v_c$  in podajanja  $f$  pri vrtnanju

Material obdelovanca trdnost [N/mm <sup>2</sup> ] trdota [HB]	Material svedra	Rezalna hitrost [mm/s]	Podajanje $f$ [mm] pri premeru svedra $d$ [mm]						
			2	5	8	12	16	25	40
			Konstruktivno jeklo do 500 N/mm <sup>2</sup> 500 ÷ 700 N/mm <sup>2</sup> nad 700 N/mm <sup>2</sup>	HSS	465 ÷ 665	0.04	0.11	0.16	0.22
	P 20	835 ÷ 1250	0.03	0.06	0.10	0.12	0.15	0.18	0.22
	HSS	415 ÷ 585	0.03	0.10	0.14	0.18	0.22	0.28	0.40
	P 30	665 ÷ 1000	0.02	0.04	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18
	HSS	335 ÷ 500	0.02	0.07	0.12	0.16	0.20	0.25	0.32
	P 30	665 ÷ 1000	0.02	0.04	0.06	0.08	0.12	0.15	0.16
Legirano jeklo do 900 N/mm <sup>2</sup> 900 ÷ 1100 N/mm <sup>2</sup> 1100 ÷ 1400 N/mm <sup>2</sup> nad 1400 N/mm <sup>2</sup>	HSS	200 ÷ 415	0.015	0.06	0.10	0.14	0.18	0.22	0.28
	P 30	665 ÷ 915	0.01	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
	HSS	135 ÷ 250	0.01	0.04	0.08	0.12	0.14	0.18	0.23
	P 30	415 ÷ 585	0.01	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
	P 30	250 ÷ 415	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10
	P 30	165 ÷ 300	0.008	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.08
Nerjaveče jeklo	HSS	115 ÷ 250	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.22	0.28
	P 30	335 ÷ 500		0.03	0.05	0.08	0.10	0.12	0.15
Mn trdo jeklo	P 30	100 ÷ 135		0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.12
Siva in temprana litina do 200 HB nad 200 HB	HSS	335 ÷ 585	0.08	0.16	0.25	0.30	0.35	0.45	0.50
	K 20	1250 ÷ 1500	0.04	0.08	0.10	0.14	0.18	0.22	0.30
	HSS	250 ÷ 415	0.05	0.09	0.15	0.20	0.25	0.32	0.40
	K 10	835 ÷ 1250	0.02	0.04	0.06	0.08	0.12	0.16	0.20
Kokilna litina	K 10	100 ÷ 165		z roko			0.05	0.08	0.12

Jeklena litina do 450 N/mm <sup>2</sup> 450 ÷ 700 N/mm <sup>2</sup>	HSS	500 ÷ 585	0.05	0.12	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
	P 30	665 ÷ 1000	0.02	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20
	HSS	415 ÷ 585	0.05	0.10	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40
	P 30	415 ÷ 665	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15
Baker, bron, cink	HSS	665 ÷ 1165	0.04	0.10	0.16	0.22	0.25	0.30	0.40
	K 20	1335 ÷ 1665	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18
Med do 80 HB nad 80 HB	HSS	1000 ÷ 2000	0.07	0.16	0.25	0.32	0.40	0.48	0.60
	HSS	500 ÷ 1250	0.04	0.10	0.15	0.18	0.20	0.24	0.28
Al zlitine - mehke	OJ	665 ÷ 1335	0.07	0.14	0.20	0.26	0.30	0.36	0.40
	HSS	2000 ÷ 3335	0.06	0.16	0.22	0.32	0.40	0.50	0.62
	K 20	3335 ÷ 5000	0.08	0.16	0.20	0.25	0.28	0.36	0.45
Al zlitine - trde	HSS	1665 ÷ 2665	0.05	0.14	0.20	0.25	0.32	0.38	0.42
	K 20	2500 ÷ 4165	0.03	0.06	0.10	0.14	0.16	0.20	0.24
Mg zlitine	OJ	1335 ÷ 2000	0.07	0.14	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
	HSS	1665 ÷ 2000	0.07	0.18	0.28	0.35	0.42	0.55	0.68
	K 20	2085 ÷ 4165		0.06	0.08	0.12	0.16	0.22	0.26
Umetne snovi	HSS	500 ÷ 1335	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16	0.22	0.28
	K 20	2000 ÷ 3335	0.03	0.05	0.08	0.16	0.22	0.30	0.40
Marmor	K 10	415 ÷ 500	z roko		0.08	0.10	0.12	0.15	0.20
Granit	K 10	100 ÷ 165		z roko		0.03	0.06	0.10	0.15
Steklo	K 10	250 ÷ 500	z roko		0.05	0.06	0.08	0.10	0.12
Porcelan	K 10	165 ÷ 500	z roko		0.03	0.04	0.06	0.08	0.10

*Preglednica 5.10: Smernice za izbiro rezalne hitrosti  $v_c$  in podajanja  $f$  pri vodoravnem globokem vrtnanju po postopku BTA z orodji iz karbidnih trdin*

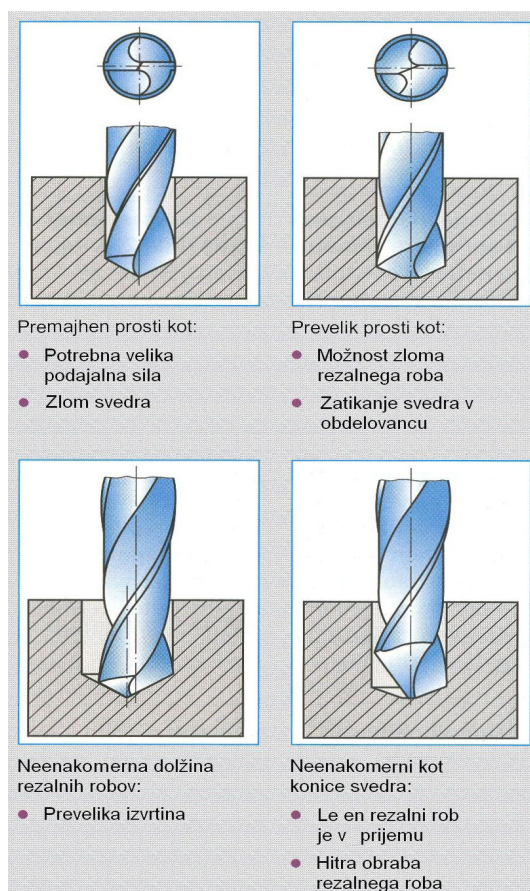
Material obdelovanca	Način dela	Rezalna hitrost [mm/s]	Podajanje $f$ [mm]							
			Premer svedra [mm]							
			do	10	16	20	32	50	80	160
			10	do	do	do	do	do	do	do
				16	20	32	50	80	160	250
			Globina vrtnanja [mm] do							
			500	800	1250	2000	3150	80d		
Nelegirano jeklo do 70 N/mm <sup>2</sup>	V		0.07	0.09	0.11	0.13	0.16	-	-	-
	VzJ	2080	-	-	-	-	-	0.16	0.20	0.26
	Š		-	-	-	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
Legirano jeklo 850 ÷ 110 N/mm <sup>2</sup>	V		0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	-	-	-
	VzJ	1340	-	-	-	-	-	0.15	0.19	0.24
	Š		-	-	-	0.15	0.19	0.22	0.25	0.30
Legirano jeklo nad 1100 N/mm <sup>2</sup> nerjaveče jeklo	V		0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	-	-	-
	VzJ	830	-	-	-	-	-	0.12	0.17	0.22
	Š		-	-	-	0.12	0.14	0.19	0.22	0.25

Siva litina	V		0.07	0.10	0.12	0.15	0.19	-	-	-
	VzJ	830	-	-	-	-	-	0.19	0.24	0.30
	Š		-	-	-	0.15	0.19	0.25	0.30	0.35
Bron	V		0.09	0.12	0.15	0.19	0.22	-	-	-
	VzJ	2670	-	-	-	-	-	0.22	0.26	0.36
	Š		-	-	-	0.15	0.19	0.25	0.30	0.35
Aluminij	V		0.09	0.12	0.15	0.19	0.22	-	-	-
	VzJ	4170	-	-	-	-	-	0.22	0.26	0.36
	Š		-	-	-	0.15	0.19	0.25	0.30	0.35

Opomba: V - vrtanje v polno, VzJ - globoko vrtanje z jedrom, Š - širjenje izvrtine

## 5.11 VZROKI ZA SLABE IZVRTINE

Pri vrtanju izvrtin lahko nastopijo težave pri doseganju kakovosti izvrtine. Pogosto vzroki nastopajo po prvem brušenju svedra. Takrat pride do spremembe geometrije rezila. Posledice so lahko zlom orodja, prevelika izvrtina ali drugo (Slika 5.38). **Vzdrževanje svedrov** je zahteven postopek. Potrebno je najprej obvladati oblike svedrov in nato določiti postopek brušenja (Slika 5.39).



Slika 5.38: Posledice spremembe geometrije rezila

Preglednica 6.1: Približne vrednosti za specifično rezalno silo  $k_{c,SR}$  pri frezanju

Material obdelovanca	Trdnost [N/mm <sup>2</sup> ]	Specifična sila $k_{c,SR}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Jeklo - mehko	400	980 ÷ 1470
- srednje trdo	500 ÷ 600	1470 ÷ 1960
- trdo	600 ÷ 800	1770 ÷ 2350
Siva litina - mehka	220	590 ÷ 1180
- trda	220	880 ÷ 1570
Bron	250	590 ÷ 980

Preglednica 6.2: Specifična rezalna sila  $k_{c,SR}$  pri frezanju jekla in sive litine v odvisnosti od maksimalne debeline odrezka  $h_{max}$ .

Maksimalna debelina odrezka $h_{max}$ [mm]	Specifična rezalna sila $k_{c,SR}$ [N/mm <sup>2</sup> ]					
	Jeklo			Siva litina		
	mehko	srednje	trdo	mehka	srednja	trda
0.02	3100 ÷ 4120	5150 ÷ 6230	7260 ÷ 8440	2060	3000	4120
0.03	2800 ÷ 3730	4860 ÷ 5590	6570 ÷ 7460	1810	2590	3600
0.04	2600 ÷ 3500	4660 ÷ 5250	6080 ÷ 6970	1620	2300	3190
0.05	2510 ÷ 3340	4170 ÷ 5000	5840 ÷ 6670	1520	2160	3040
0.06	2350 ÷ 3140	3920 ÷ 4710	5490 ÷ 6280	1370	2010	2800
0.07	2300 ÷ 3090	3830 ÷ 4610	5400 ÷ 6130	1320	1910	2650
0.08	2210 ÷ 2990	3680 ÷ 4410	5200 ÷ 5940	1280	1810	2550
0.09	2160 ÷ 2840	3580 ÷ 4220	5000 ÷ 5740	1230	1770	2500
0.10	2110 ÷ 2800	3480 ÷ 4220	4910 ÷ 5590	1180	1720	2400

**Pri dolgih frezalnih trnih** sme biti največja, še dopustna upogibna deformacija približno 200  $\mu\text{m}$ . Iz tega podatka bi bilo mogoče izračunati pri znanih dimenzijah frezalnega trna največjo, še dopustno silo  $F_a$  in iz nje tudi največjo glavno silo  $F_c$ . Težava pri tem izračunu je v tem, da nimamo dobrih podatkov za računanje odrivne sile  $F_{cn}$ . Po izkušnjah je dovoljeno standardne dolge frezalne trne obremeniti z glavno silo  $F_{csr}$  (Preglednica 6.3).

Preglednica 6.3: Dovoljena obremenitev dolgih frezalnih trnov pri vodoravnem frezanju

Premer trna	13	16	22	27	32	40	60
Dovoljena glavna sila $F_{csr}$ [N]	1000	2000	3500	5500	8500	14000	22000

Preglednica 6.4: Koeficient  $k_{c1x1sr}$  in eksponent  $z$

Material obdelovanca DIN	Trdnost [N/mm <sup>2</sup> ] Trdota HRC, HB	$k_{c1x1sr}$	$z$
St 50.11	510	1950	0.26
St 60.11	610	2070	0.17
C 35	570	1915	0.20
C 35 N	570	1620	0.17
Ck 35	-	1355	0.34
Ck 45	655	2180	0.14
Ck 45 N	650	1960	0.20
C 60	720	1470	0.16
Ck 60	755	2090	0.18
37 MnSi 5	710	1960	0.12
34 Cr 4	680 ÷ 785	1755	0.35
X 220 Cr 12	-	1755	0.37
16 MnCr 5	520	1570	0.19
34 CrMo 4	590	2195	0.21
42 CrMo 4	715	2450	0.26
50 CrV 4	590	2180	0.26
18 CrNi 6	620	2220	0.30
30 CrNiMo 8	750	2255	0.19
GG 22	-	1010	0.25
GG 26	200 HB	1140	0.26
GG 30	-	1110	0.30
Meehanite A	350	1245	0.26
	45 HRC	2020	0.19
	54 HRC	2385	0.19
Med DFB	-	420	0.38
RGA	-	805	0.25

Pri določanju komponent rezalne sile lahko upoštevamo, da veljata zanje naslednji enačbi:

$$F_a = \sqrt{F_c^2 + F_{cn}^2} = \sqrt{F_f^2 + F_{fn}^2} \quad , \quad (6.43)$$

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_{cn}^2 + F_p^2} = \sqrt{F_f^2 + F_{fn}^2 + F_p^2} \quad . \quad (6.44)$$

Če merimo sile pri frezanju, je samo merjenje sil  $F_f$ ,  $F_{fn}$ ,  $F_p$  v koordinatnem sistemu obdelovanca preprosto. Težave pa so pri merjenju sil  $F_c$  in  $F_{cn}$  v koordinatnem sistemu frezala, ker se orodje med delom vrti. Razmeroma preprosto lahko merimo moment glavne sile  $M_c$ , to nam omogoča, da iz njega izračunamo silo  $F_c$ , nato pa po zgoraj navedeni enačbi tudi silo  $F_a$ . Pri tem sicer napravimo manjšo napako, saj prijemališče sile  $F_c$  ni na premeru  $d$ , ampak na premeru  $d$  minus debelina odrezka  $h$ . Napaka je nepomembna, saj je debelina odrezka majhna v primerjavi s premerom frezala  $d$ . Vsekakor je debelino odrezka v preračunu dobro upoštevati, ker se med delom frezala spreminja [18,20,24].

Po enačbah, ki so bile zgoraj navedene, je možno neposredno izračunati le glavno silo  $F_c$  in njen moment  $M_c$ . Za računanje drugih komponent rezalne sile te enačbe ne zadoščajo. Natančnejših enačb še ne poznamo, zato te komponente le približno ocenimo. Za takšno oceno potrebujemo izkustvene podatke (*Preglednica 6.5*).

*Preglednica 6.5: Podatki za približno oceno rezalnih sil pri frezanju*

Način frezanja	Podajalna sila $F_f$	Navpična sila $F_{fn}$ Prečna sila $F_p$	Odrivna sila $F_{cn}$
Obodno frezanje:			
- protismerno	$(1.0 \div 1.2) \cdot F_c$	$(0.2 \div 0.3) \cdot F_c$	$(0.35 \div 0.4) \cdot F_c$
- istosmerno	$(0.8 \div 0.9) \cdot F_c$	$(0.75 \div 0.8) \cdot F_c$	$(0.35 \div 0.4) \cdot F_c$
Čelno frezanje:			
- simetrično	$(0.3 \div 0.4) \cdot F_c$	$(0.85 \div 0.95) \cdot F_c$	$(0.5 \div 0.55) \cdot F_c$
- protismerno	$(0.5 \div 0.6) \cdot F_c$	$(0.45 \div 0.7) \cdot F_c$	$(0.5 \div 0.55) \cdot F_c$
- istosmerno	$(0.3 \div 0.5) \cdot F_c$	$(0.9 \div 1.0) \cdot F_c$	$(0.5 \div 0.55) \cdot F_c$

## 6.4 IZBIRA DELOVNIH POGOJEV PRI FREZANJU

Pri izbiri rezalne hitrosti za frezanje bi morali upoštevati, da je ustrezna hitrost odvisna od materialov orodja in obdelovanca, načina dela (vrsta frezala, grobo ali fino frezanje), globine frezanja, velikosti podajanja in hladilnega sredstva.

Na samem začetku bi bilo treba ugotoviti, kolikšna je želena obstojnost orodja (optimalno ali časovno optimalna). Žal pa kriteriji za dovoljeno obrabo še niso izdelani v tolikšni meri, da bi bili splošno uporabni v praksi.

Zato tudi obstojnosti orodij še vedno ne posvečamo potrebne pozornosti. V praksi običajno izbiramo **rezalno hitrost  $v_c$  največkrat kar po podatkih, ki so zbrani v preglednicah.**

S temi podatki dosegamo obstojnost med 60 in 240 minutami. Pri preglednicah pa pogosto pogrešamo navedbo o pričakovani obstojnosti (*Preglednica 6.6*).

Podatke izbiramo za hitro oceno primerne rezalne hitrosti pri frezanju z različnimi orodji iz hitroreznega jeklala (*Preglednica 6.6*) in posebej za delo z orodji iz karbidne trdine (*Preglednica 6.7*). Skrbneje pripravljene podatke tudi izbiramo (*Preglednica 6.8*) in veljajo za frezanje z orodji iz kakovostnega hitroreznega jekla pri različnih podajanjih na en zob  $f_z$ , pri različnih globinah oziroma širinah in premerih frezala.

Preglednica 6.6: Smernice za izbiro rezalne hitrosti  $v_c$  pri frezanju z orodji iz hitroreznega jekla

Material obdelovanca	Rezalna hitrost $v_c$ [mm/s] za frezala							
	Valjsta, čelna valjasta	Steblasta	Kolutna	Krožne žage	Podstružena profilna	Kotalna (m=3)	Za navoje	Frezalne glave
Jeklo do 500 N/mm <sup>2</sup>	365 ÷ 585	365 ÷ 665	415 ÷ 750	750 ÷ 1080	400 ÷ 465	500 ÷ 665	585 ÷ 915	415 ÷ 665
500 ÷ 700 N/mm <sup>2</sup>	335 ÷ 500	335 ÷ 585	335 ÷ 665	665 ÷ 1000	335 ÷ 400	415 ÷ 535	500 ÷ 835	335 ÷ 585
700 ÷ 850 N/mm <sup>2</sup>	250 ÷ 335	250 ÷ 500	300 ÷ 500	500 ÷ 835	300 ÷ 365	335 ÷ 465	415 ÷ 750	300 ÷ 415
850 ÷ 1100 N/mm <sup>2</sup>	135 ÷ 265	165 ÷ 335	200 ÷ 415	265 ÷ 500	200 ÷ 250	300 ÷ 365	335 ÷ 500	200 ÷ 335
nad 1100 N/mm <sup>2</sup>	100 ÷ 200	135 ÷ 235	165 ÷ 300	235 ÷ 365	135 ÷ 200	250 ÷ 335	135 ÷ 200	165 ÷ 265
Jeklina l. 450 N/mm <sup>2</sup>	250 ÷ 415	415 ÷ 500	250 ÷ 415	500 ÷ 665	235 ÷ 300	265 ÷ 415	415 ÷ 835	300 ÷ 415
Siva litina do 200 HB	250 ÷ 500	300 ÷ 500	335 ÷ 585	335 ÷ 665	265 ÷ 365	265 ÷ 415	250 ÷ 665	250 ÷ 535
nad 200 HB	165 ÷ 285	200 ÷ 285	200 ÷ 335	250 ÷ 415				200 ÷ 335
Temprana litina	250 ÷ 500	300 ÷ 500	335 ÷ 585	500 ÷ 665			415 ÷ 835	250 ÷ 500
Baker	500 ÷ 1000	500 ÷ 100	500 ÷ 1330	1670 ÷ 3330			500 ÷ 1670	500 ÷ 1250
Bron	500 ÷ 1000	415 ÷ 665	585 ÷ 1330	1330 ÷ 2500	335 ÷ 665	415 ÷ 665	665 ÷ 2000	665 ÷ 1000
Med	585 ÷ 1330	500 ÷ 1000	665 ÷ 1670	1670 ÷ 3330			665 ÷ 3330	835 ÷ 1170
Al in Al zlitine	500 ÷ 8350	3350 ÷ 5830	6670 ÷ 8350	4170 ÷ 6670	2000 ÷ 2670	1670 ÷ 3000	3000 ÷ 5000	6670 ÷ 8350
Al zlitine - poboljšane	3350 ÷ 5000	2500 ÷ 5000	4170 ÷ 5830	3350 ÷ 6670	1000 ÷ 2000		2330 ÷ 3350	4170 ÷ 5830
Mg zlitine	6670 ÷ 8350	3350 ÷ 5830	6670 ÷ 8350	6670 ÷ 1170	2000 ÷ 2670	1670 ÷ 3000	2670 ÷ 5000	6670 ÷ 8350
Tekstolit						335 ÷ 585		

Podatki so izračunani za **pot obstojnosti**  $L_c = 15000 \text{ mm}$  (v smeri podajanja  $f$ ) in za protismerno frezanje. Smemo jih uporabljati tudi za istosmerno frezanje, pri katerem je dovoljeno celo zvišati rezalne hitrosti za približno 50 %.

Če delamo s hitrostmi (Preglednica 6.8), je pri valjastih - čelnih in steblastih frezalih dovoljena širina frezanja  $b$ , ki je približno enaka premeru frezala  $d$ . Globina frezanja pri steblastih frezalih sme biti enaka premeru frezala, pri kolutnih frezalih pa širini frezala.

Precej skrbno so prirejene tudi smernice za izbiro rezalne hitrosti (Preglednica 6.10), ki velja za frezanje nekaterih vrst jekel in sive litine s frezalnimi glavami z rezili iz karbidnih trdin. Rezalne hitrosti v tej preglednici so izračunane za obstojnost  $T = 360 \text{ min}$ .

Pri delu s priporočenimi vrednostmi lahko po preteku tega časa **pričakujemo obrabo na prosti ploskvi  $VB = 0.6 \text{ mm}$** , če obdelujemo jeklo, in  $VB = 0.8 \text{ mm}$ , če obdelujemo sivo litino.

Dovoljena je obdelava valjanih, kovanih in litih delov v grobem stanju. Pri že obdelanih površinah smemo povečati rezalne hitrosti za 20 %.

Orodja naj imajo naslednjo geometrijo:  $\alpha = 12 \text{ do } 14^\circ$ ,  $\gamma_R = 6^\circ$ ,  $\gamma_A = 0 \text{ do } -6^\circ$ ,  $\gamma_f = -10^\circ$ ,  $\kappa = 60^\circ$ .

Širina faznega roba na cepilni ploskvi naj bo  $b_f = 0.5 \text{ mm}$ .

Preglednica 6.7: Smernice za izbiro rezalne hitrosti  $v_c$  pri frezanju z orodji iz karbidnih trdin

Material obdelovanca	Vrsta orodja	Rezalna hitrost $v_c$ [mm/s] za			
		Frezala		Frezalne glave	
		groba obdelava	fina obdelava	groba obdelava	fina obdelava
Jeklo do 600 N/mm <sup>2</sup>	P 30, P 40	665 ÷ 1670	1330 ÷ 3330	1170 ÷ 1830	2000 ÷ 3000
600 ÷ 700 N/mm <sup>2</sup>	P 20, P 30	500 ÷ 1330	1000 ÷ 3000	1000 ÷ 1670	1670 ÷ 2500
700 ÷ 850 N/mm <sup>2</sup>	P 20, P 30	500 ÷ 1170	1000 ÷ 2000	665 ÷ 1330	1330 ÷ 2080
850 ÷ 1100 N/mm <sup>2</sup>	P 20, P 30	500 ÷ 1000	835 ÷ 1670	415 ÷ 1000	665 ÷ 1670
nad 1100 N/mm <sup>2</sup>	P 20	415 ÷ 835	665 ÷ 1330	335 ÷ 500	500 ÷ 1000
Jeklana lit. 450 N/mm <sup>2</sup>	P 20, P 30	500 ÷ 1330	1000 ÷ 2330	1000 ÷ 1330	1170 ÷ 2000
500 ÷ 700 N/mm <sup>2</sup>	P 20, P 30	415 ÷ 1000	835 ÷ 1670	665 ÷ 1000	1000 ÷ 1500
nad 700 N/mm <sup>2</sup>	P 20	335 ÷ 835	665 ÷ 1170	415 ÷ 835	665 ÷ 1170
Siva litina do 200 HB	K 10, K 20	835 ÷ 1330	1330 ÷ 2670	835 ÷ 1000	1000 ÷ 1670
nad 200 HB	K 10	500 ÷ 1000	665 ÷ 1170	500 ÷ 835	835 ÷ 1330
Temprana litina	M 10, M 20	835 ÷ 1330	1330 ÷ 2670	1000 ÷ 1330	1250 ÷ 1670
Trda litina	M 10, M 20	335 ÷ 835	665 ÷ 1500		
Baker	K 10, K 20	1670 ÷ 3330	3330 ÷ 5000	1330 ÷ 2000	2000 ÷ 3330
Bron	K 10, K 20	1170 ÷ 2500	2080 ÷ 5000	835 ÷ 1330	1000 ÷ 1670
Med	K 10, K 20	1170 ÷ 3330	2500 ÷ 6670	1000 ÷ 1670	1330 ÷ 2500
Al in Al zlitine	K 10, K 20	1330 ÷ 8330	2500 ÷ 16700	4170 ÷ 16700	6670 ÷ 25000
Mg zlitine	K 10	3330 ÷ 8330	5000 ÷ 25000	10000 ÷ 16700	16700 ÷ 25000
Tekstolit	K 10	1000 ÷ 1500	1000 ÷ 3330	1330 ÷ 2170	2083 ÷ 3330

**Opomba:**

Podatki za frezalne glave veljajo do globine rezanja  $a_p = 3 \div 5 \text{ mm}$  in širine obdelovanca  $b = 0.8 \cdot d$  ( $d$  - premer frezalne glave). Višje vrednosti za rezalne hitrosti veljajo za trša orodja.



Preglednica 6.8: Smernice za izbiro rezalne hitrosti  $v_{L15000}$  [mm/s] in podajanja na en zob  $f_z$  pri frezanju z orodji iz hitroreznega jekla

Material obdelovanca	Valjasto frezalo				Čelno - valjasto frezalo				Kolutno frezalo			
	pod.	Globina frezanja $a_p$			pod.	Globina frezanja $a_p$			pod.	Globina frezanja $a_p$		
	$f_z$	1	4	8	$f_z$	1	4	8	$f_z$	10	15	20
		$v_c$				$v_c$				$v_c$		
St 50-2, C 35	0.10	600	480	430	0.10	570	480	450	0.06	380	330	320
	0.20	470	370	330	0.20	430	370	350	0.12	300	250	230
St 60-2, C 45	0.10	520	420	370	0.09	480	420	380	0.05	330	300	280
	0.20	400	320	280	0.18	370	320	300	0.10	270	230	220
St 70-2, C 60	0.08	480	370	330	0.07	430	370	350	0.05	300	270	250
	0.16	370	280	250	0.14	330	320	270	0.10	230	200	180
18 CrNi 8	0.07	520	400	370	0.06	480	420	380	0.05	330	300	280
	0.14	400	320	280	0.12	370	320	300	0.10	270	230	220
16 MnCr 5	0.10	600	480	430	0.09	570	480	450	0.06	380	330	320
	0.20	470	370	330	0.18	430	370	350	0.12	300	250	230
20 MnCr 5	0.09	600	480	430	0.08	570	480	450	0.06	380	330	320
	0.18	470	370	330	0.16	430	370	350	0.12	300	250	230
25 CrMo 4	0.06	520	420	370	0.05	480	420	380	0.05	330	300	280
	0.12	400	320	280	0.10	370	320	300	0.10	270	230	220
42 CrMo 4	0.06	480	370	330	0.05	430	370	350	0.05	300	270	250
	0.12	370	280	250	0.10	330	280	270	0.10	230	200	180
Jeklina litina do 450 N/mm <sup>2</sup>	0.10	480	370	330	0.08	480	420	380	0.06	330	300	280
	0.20	370	280	250	0.16	370	320	300	0.12	270	230	220
Jeklina litina do 520 N/mm <sup>2</sup>	0.08	480	370	330	0.06	480	420	380	0.04	330	300	280
	0.16	370	280	250	0.12	370	320	300	0.08	270	230	220
GG 22 ( siva litina )	0.10	480	370	330	0.09	480	420	380	0.08	330	300	280
	0.20	370	280	250	0.18	370	320	300	0.14	270	230	220
GG 26 ( siva litina )	0.07	430	350	300	0.06	380	330	300	0.06	270	230	220
	0.14	330	270	230	0.12	300	250	230	0.12	200	180	170
Temprana litina	0.10	520	420	370	0.09	520	450	420	0.06	370	320	300
	0.20	400	320	280	0.18	400	350	320	0.12	280	250	230
Baker	0.12	1300	1030	920	0.11	1200	1030	970	0.07	830	730	680
	0.25	1000	800	700	0.22	920	780	730	0.12	630	570	530
Med	0.11	1300	1030	920	0.10	1300	1120	1030	0.06	920	800	750
	0.22	1000	800	700	0.20	1000	870	800	0.12	700	620	580
Bron	0.09	1200	950	830	0.08	1200	1030	970	0.05	830	730	680
	0.18	920	730	630	0.16	920	780	730	0.10	630	570	530
Aluminij	0.09	8670	7000	6000	0.09	8670	7500	7000	0.06	6000	5250	4920
	0.18	6670	5330	4670	0.18	6670	5670	5330	0.12	4670	4080	3750
Al zlitine do 250 N/mm <sup>2</sup>	0.06	6500	5170	4500	0.06	6500	5580	5170	0.05	4500	4000	3670
	0.12	5000	4000	3500	0.12	5000	4330	4000	0.10	3500	3080	2830
Al zlitine do 420 N/mm <sup>2</sup>	0.03	5420	4330	3830	0.03	5420	4670	4330	0.03	3830	3330	3170
	0.06	4170	3330	2920	0.06	4170	3580	3330	0.06	3000	2500	2330
Al litine - lite	0.07	4750	3830	3330	0.07	4750	4080	3830	0.05	3330	3000	2750
	0.14	3670	2920	2580	0.14	3670	3170	2920	0.10	2670	2330	2170
Mg zlitine	0.07	9670	7830	6830	0.07	9670	8330	7670	0.05	6830	6000	5670
	0.14	7500	6000	5250	0.14	7500	6500	6000	0.10	5250	4670	4330

Preglednica 6.9: Nadaljevanje za steblasto frezalo in profilno frezalo

Material obdelovanca	Steblasto frezalo				Profilno frezalo			
	Premer frezala d				pod.	Globina frezanja $a_p$		
	20		20			1	4	8
	$f_z$	$v_c$	$f_z$	$v_c$	$f_z$	$v_c$		
St 50-2, C 35	0.02	500	0.05	380	0.02	500	400	350
	0.05	420	0.08	320	0.04	380	300	270
St 60-2, C 45	0.02	430	0.04	330	0.02	430	350	300
	0.04	370	0.06	280	0.04	330	270	230
St 70-2, C 60	0.01	400	0.03	300	0.01	380	300	270
	0.03	330	0.05	250	0.03	300	230	200
18 CrNi 8	0.02	430	0.04	330	0.02	430	350	300
	0.04	370	0.06	280	0.04	330	270	230
16 MnCr 5	0.02	500	0.05	380	0.02	500	400	350
	0.05	420	0.08	320	0.04	380	300	270
20 MnCr 5	0.02	500	0.05	380	0.02	500	400	350
	0.05	420	0.08	320	0.04	380	300	270
25 CrMo 4	0.01	430	0.03	330	0.01	430	350	300
	0.03	370	0.05	280	0.03	330	270	230
42 CrMo 4	0.01	400	0.03	300	0.01	380	300	270
	0.03	330	0.05	250	0.03	300	230	200
Jeklena litina do 450 N/mm <sup>2</sup>	0.03	430	0.06	330	0.03	380	300	230
	0.06	370	0.09	280	0.06	300	230	200
Jeklena litina do 520 N/mm <sup>2</sup>	0.02	430	0.05	330	0.02	380	300	230
	0.05	370	0.08	280	0.04	300	230	200
GG 22 (siva litina)	0.03	430	0.06	330	0.02	380	300	230
	0.06	370	0.09	280	0.05	300	230	200
GG 26 (siva litina)	0.02	350	0.04	270	0.01	350	280	230
	0.04	300	0.06	220	0.03	270	220	180
Temprana litina	0.03	480	0.06	370	0.02	430	350	300
	0.06	400	0.09	300	0.04	330	270	230
Baker	0.02	1100	0.05	830	0.02	1080	870	750
	0.05	920	0.08	680	0.05	830	670	580
Med	0.02	1200	0.05	920	0.02	1080	870	750
	0.05	1000	0.08	750	0.04	830	670	580
Bron	0.02	1100	0.04	830	0.01	970	780	680
	0.04	920	0.06	680	0.03	750	600	520
Aluminij	0.02	8000	0.05	6000	0.02	7170	5670	5000
	0.05	6670	0.08	5000	0.04	5500	4420	3830
Al zlitine do 250 N/mm <sup>2</sup>	0.01	6000	0.03	4500	0.03	5420	4330	3830
	0.03	5000	0.05	3670	0.05	4170	3330	2920
Al zlitine do 420 N/mm <sup>2</sup>	0.01	5000	0.02	3830	0.01	4330	3500	3000
	0.02	4170	0.03	3170	0.02	3330	2670	2330
Al litine - lite	0.01	4330	0.03	3330	0.01	3830	3000	2670
	0.03	3670	0.05	2750	0.03	3000	2330	2000
Mg zlitine	0.02	9000	0.04	6830	0.01	8330	6670	5830
	0.04	7500	0.06	5580	0.03	6170	5000	4330

*Preglednica 6.10: Smernice za izbiro rezalne hitrosti  $v_{c360}$  pri delu s frezalnimi glavami z rezili iz karbidnih trdin*

Material obdelovanca	Material rezil	Rezalna hitrost $v_{c360}$ [mm/s] za podajanje $f_z$ [mm]						
		0.1		0.16		0.25		0.4
		a < 4	a > 4	a < 4	a > 4	a < 4	a > 4	
St 50-2	P 10	3750	3330	3330	2920			
C 35	P 20	3000	2670	2670	2330	2080	1870	
	P 30			1870	1670	1500	1330	
St 60-2	P 10	3330	2920	2920	2580			
C 45	P 20	2670	2330	2330	2080	1870	1670	
	P 30			1670	1500	1330	1170	
St 70-2	P 10	2580	2330	2330	2080			
C 60	P 20	2080	1870	1870	1670	1500	1330	
	P 30			1330	1170	1050	930	
20 MnCr 5	P 10	2080	1870	1870	1670			
	P 20	1670	1500	1500	1330	1180	1050	
	P 30			1050	930	830	750	
GG 18	K 10			1500	1500	1330	1330	1180
GG 22	K 10			1050	1050	930	930	750

Velikost podajanja pri frezanju izbiramo glede na vrsto dela, material obdelovanca in orodja, želeno kakovost površine in glede na število zob frezala.

Čim večje je število zob  $z$ , večje je podajanje  $f$  pri enem vrtljaju frezala in temu ustrezna je tudi večja podajalna hitrost  $v_f$ .

Pri predpisovanju podajanja moramo najprej ugotoviti, koliko zob (rezil)  $z$  bo imelo orodje. Števila zob so deloma predpisana s standardi, vendar se pri orodjih različnih proizvajalcev nekoliko razlikujejo.

Informativne vrednosti števila zob  $z$ , ki pa seveda niso obvezna, so zbrane iz prakse (*Preglednica 6.11*).

Za žilave in trde materiale obdelovanca je primerno izbrati orodja, ki imajo število zob večje za okrog 50 % od vrednosti (*Preglednica 6.12*). Za lahke kovine pa so boljša orodja s številom zob, manjšim za 20 %.

Preglednica 6.11: Smernice za izbiro števila zob pri frezalih

Vrsta orodja	Premer frezala [mm] in pripadajoče število zob										
	10	40	50	60	75	90	110	130	150	200	300
Valjasto frezalo		6	6	6	6	8	8	10	10		
Valjasto - čelno		8	8	8	10	12	12	14	16		
Kolutno			8	8	10	12	12	14	16	18	
Podstruženo profilno		8	10	10	10	12	14	16	18		
Steblasto	4	6									
Frezalna glava							8	10	10	12	16

Posebnost skoraj vseh frezalnih strojev je za razliko od stružnic in vrtalnih strojev v tem, da sta glavni in podajalni pogon kinematično neodvisna drug od drugega.

Če spremenimo število vrtljajev glavnega vretena  $n$  in s tem tudi frezala, se podajalna hitrost  $v_f$  ne spremeni. Delavec zato pri nastavljanju stroja ne izbira podajanja  $f$  pri enem vrtljaju stroja, ampak podajalno hitrost  $v_f$ .

V navodilih za delo mora zato dobiti podatek o velikosti podajalne hitrosti. V literaturi najdemo za izbiro podajanja pri frezanju različne preglednice.

Praviloma najprej ugotovimo število zob, ki ga bo imelo frezalo. Potem izberemo podajanje na en zob  $f_z$ , ker je od tega podatka odvisna debelina odrezka in obremenitev rezila (Preglednica 6.12).

Po opisani izbiri podajanja na en zob  $f_z$  lahko izračunamo podajanje  $f$  na en vrtljaj frezala po enačbi:

$$f = f_z \cdot z \quad . \quad (6.45)$$

**Podajalno hitrost  $v_f$** , ki jo potrebujemo za nastavitev stroja, izračunamo po enačbi:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (6.46)$$

$f$  - podajanje na en vrtljaj frezala [mm]

$f_z$  - podajanje na en zob frezala [mm]

$v_f$  - podajalna hitrost [mm/s]

$n$  - število vrtljajev frezala oziroma glavnega vretena [ $s^{-1}$ ].

Priporočila za izbiro primerne globine frezanja  $a_p$  so zelo skopa. Za obodno frezanje jemljemo navadno:

$$a_{\max} = 4 \text{ do } 6 \text{ mm} .$$

Pri steblatih frezalih naj globina frezanja ne presega premera frezala  $d$ , pri kolutnih pa širine frezala  $b$ .

Pri čelnem frezanju lahko najdemo primerno globino frezanja, vendar najprej izberemo razmerje  $a_p : f_z$ . Primerne vrednosti za to razmerje lahko najdemo v preglednici.

Če smo že izbrali podajanje na en zob  $f_z$ , je mogoče iz izbranega razmerja  $a_p : f_z$  izračunati globino frezanja  $a_p$ .

*Preglednica 6.12: Smernice za izbiro podajanja na en zob  $f_z$  pri delu s frezali iz karbidnih trdin*

Material obdelovanca	Podajanje na en zob $f_z$ [mm] za frezala				
	Valjasta, čelna - valjasta	Kolutna	Steblasta	Podbrušena profilna	Frezalne glave
Jeklo do 500 N/mm <sup>2</sup>	0.20	0.08	0.05	0.04	0.02 ÷ 0.15
500 ÷ 700 N/mm <sup>2</sup>	0.18	0.07	0.04	0.04	0.02 ÷ 0.15
700 ÷ 1000 N/mm <sup>2</sup>	0.15	0.06	0.03	0.02	0.02 ÷ 0.10
1000 ÷ 1250 N/mm <sup>2</sup>	0.10	0.05	0.02	0.01	0.02 ÷ 0.06
Jeklina lit. 450 N/mm <sup>2</sup>	0.10	0.07	0.05	0.04	0.02 ÷ 0.15
nad 450 N/mm <sup>2</sup>	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02 ÷ 0.10
Siva litina do 200 HB	0.25	0.08	0.06	0.05	0.10 ÷ 0.20
nad 200 HB	0.20	0.06	0.05	0.04	0.05 ÷ 0.10
Temprana litina	0.25	0.07	0.06	0.05	0.05 ÷ 0.15
Baker, Bron	0.15	0.05	0.05	0.04	0.10 ÷ 0.15
Med	0.20	0.07	0.05	0.04	0.10 ÷ 0.15
Al in Mg zlitine	0.10	0.07	0.04	0.03	0.10 ÷ 0.15

**Opomba:**

Podatki veljajo za obdelavo jekla s karbidno trdino P 10, jeklene litine s P 30, drugih materialov pa s K 20. Če uporabljamo bolj žilave karbidne trdine od naštetih, lahko izbiramo tudi nekaj večja podajanja, vendar moramo upoštevati, da so vrednosti v preglednici že razmeroma visoke.

Za izbiro premera frezala  $d$  pri obodnem frezanju ni nobenih posebnih priporočil. Pri velikem premeru se vsekakor povečuje čas, ki je potreben za frezanje, saj je potrebna velika vstopna pot, preden ob dotiku začne frezalo delati s polno globino. Pri premajhnem premeru  $d$  nastopijo težave zaradi premajhne togosti frezala. Pri čelnem frezanju naj bo premer frezala ali frezalne glave:

$$d = 1.33 \cdot b \text{ - pri obdelavi sive litine in lahkih kovin}$$

$$d = 0.15 \cdot b \text{ - pri obdelavi jekla in jeklene litine}$$