

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

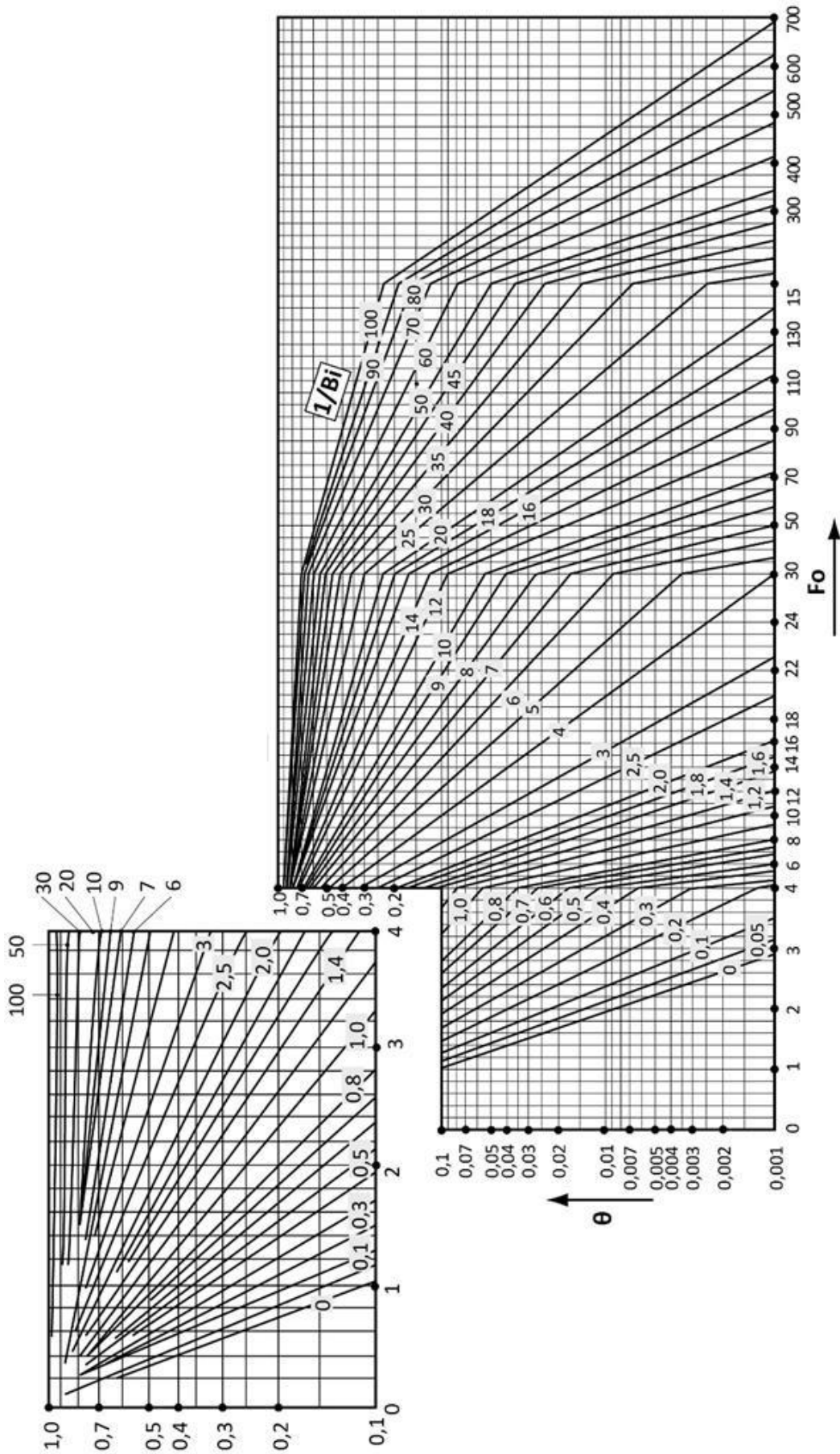
ОДСЕК ЗА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

ТЕРМИЧКА ОБРАДА

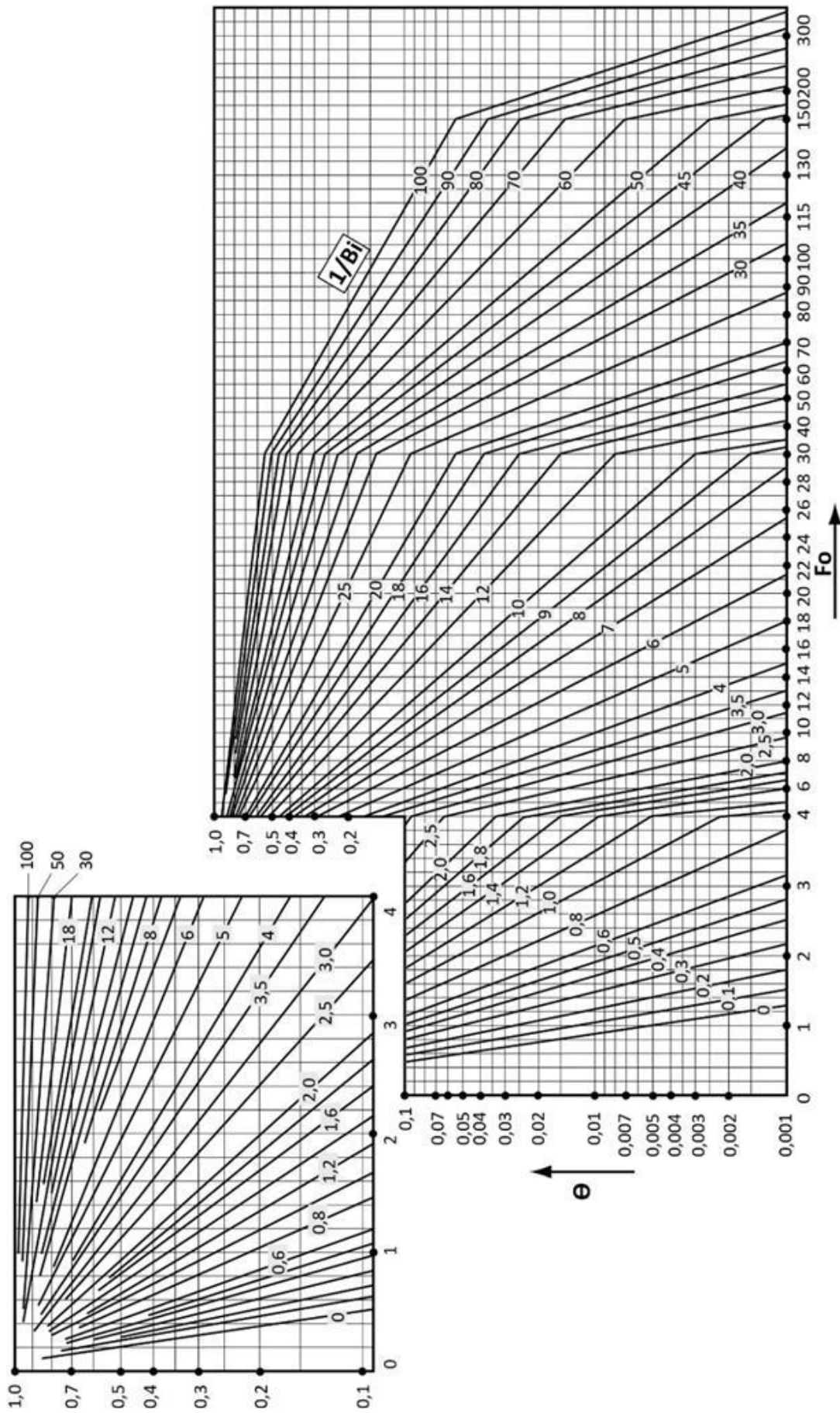
ДИЈАГРАМИ И ТАБЛИЦЕ

САДРЖАЈ

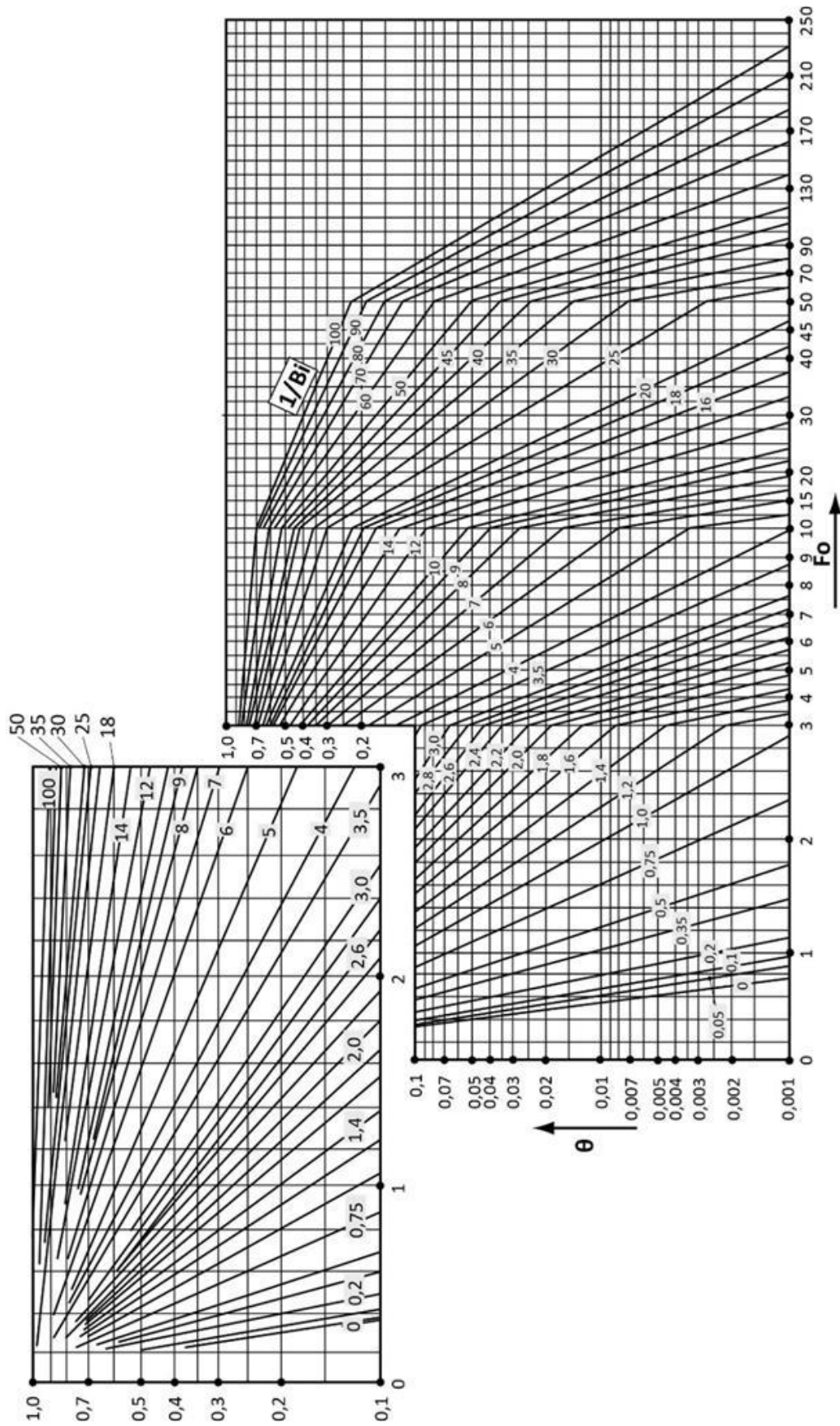
Дијаграм Ф.1: Дијаграм стања Fe - Fe ₃ C	3
Дијаграм П.Т.01: Температурна функција за центар неограничене плоче	4
Дијаграм П.Т.02: Температурна функција за центар бесконачног цилиндра	5
Дијаграм П.Т.03: Температурна функција за центар лопте	6
Дијаграм П.Т.04: Температурна функција за бесконачну плочу - дужински критеријум	7
Дијаграм П.Т.05: Температурна функција за бесконачан цилиндар - дужински критеријум	7
Дијаграм П.Т.06: Температурна функција за лопту - дужински критеријум	8
Основне формуле	8
Дијаграм П.Л.4: Однос пречника комада и прокаљивости за различите односе r/R	9
Дијаграм П.Л.4: Однос пречника комада и прокаљивости за различите односе r/R – наставак.....	10
Дијаграм К.1: Зависност тврдоће након каљења од садржаја угљеника.....	11
Дијаграм Н.1: Дубина нитрираног слоја зависно од температуре и времена држања.....	11
Дијаграм 3.1: Приближне вредности средњег коефицијента преноса топлоте са пећи на радни комад при загревању са 0 °C.....	11



Дијаграм П.Т.01: Температурна функција за центар неограничене плоче



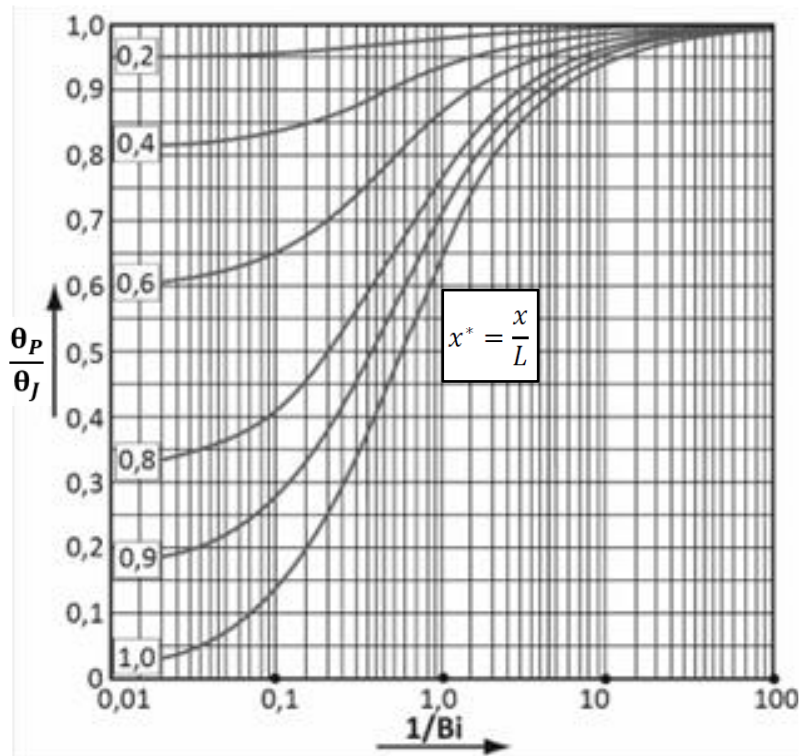
Дијаграм П.Т.02: Температурна функција за центар бесконачног цилиндра



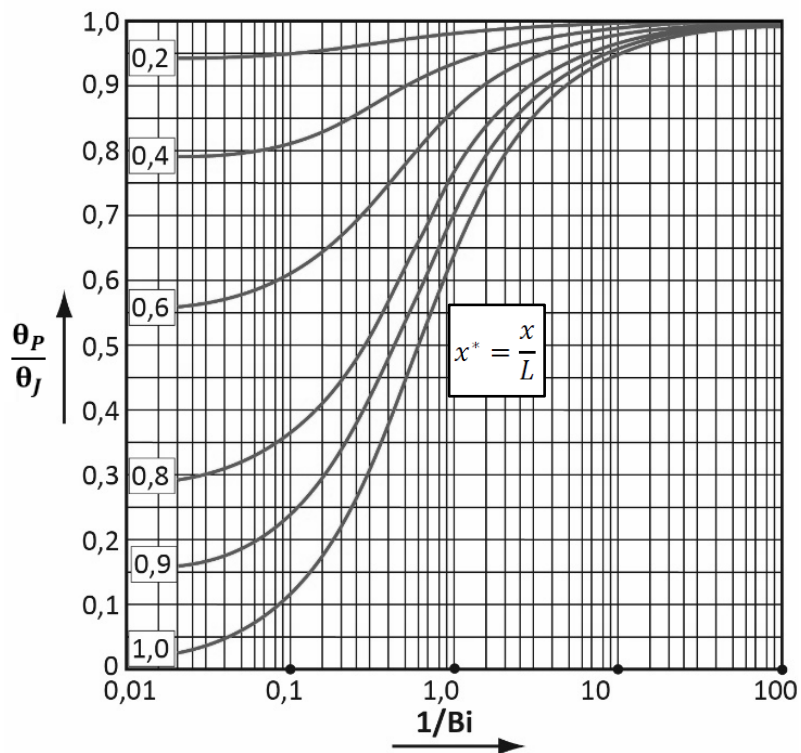
Slika 64: Temperaturni kriterijum za centar sfere.

128

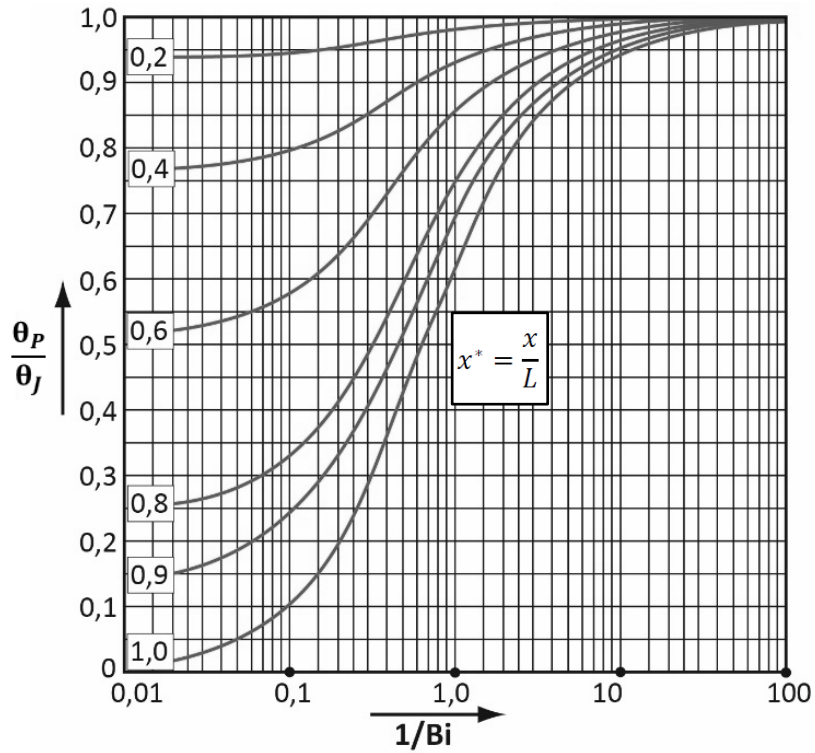
Дијаграм П.Т.03: Температурна функција за центар лопте



Дијаграм П.Т.04: Температурна функција за бесконачну плочу - дужински критеријум



Дијаграм П.Т.05: Температурна функција за бесконачан цилиндар - дужински критеријум



Дијаграм П.Т.06: Температурна функција за лопту - дужински критеријум

Формуле:

$$\phi = \frac{t - t_{ok}}{t_o - t_{ok}}$$

$$Bi = \frac{\alpha X}{\lambda}$$

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{X^2}$$

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

$$\frac{x}{X}$$

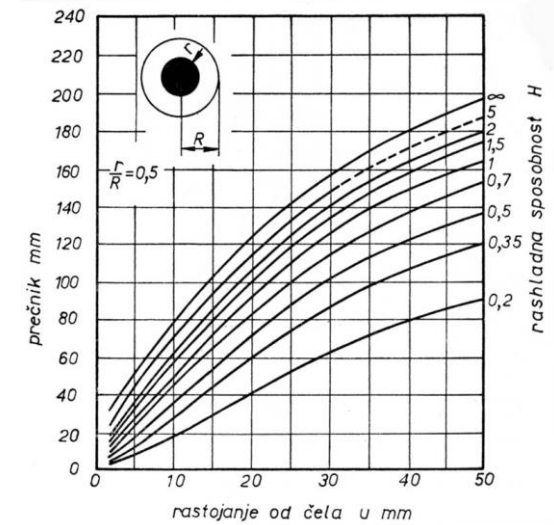
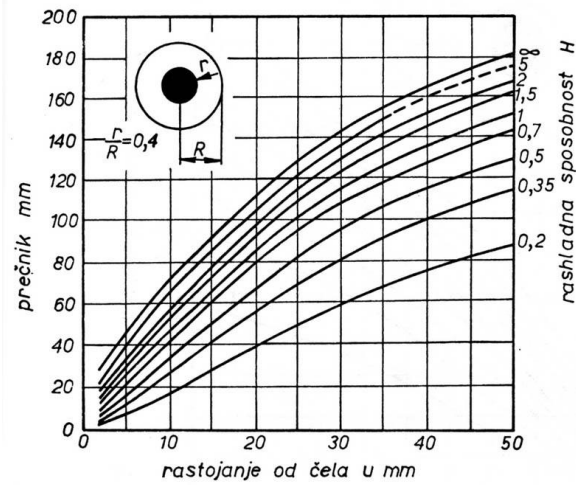
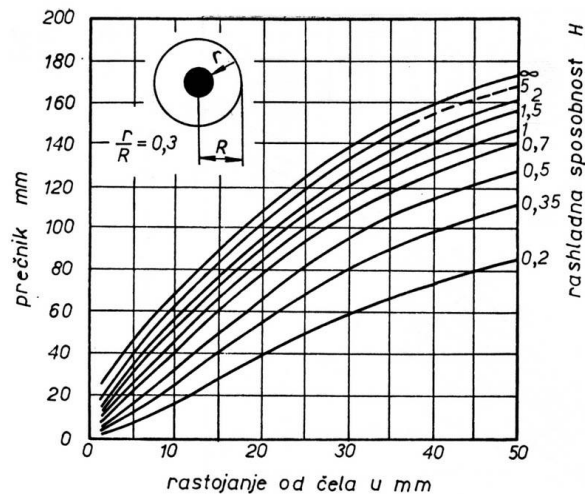
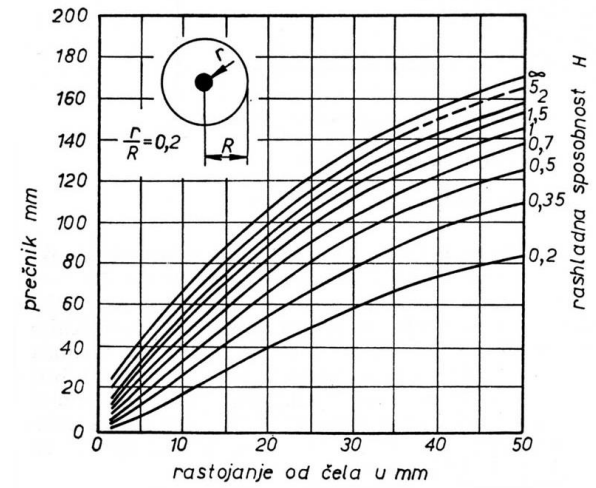
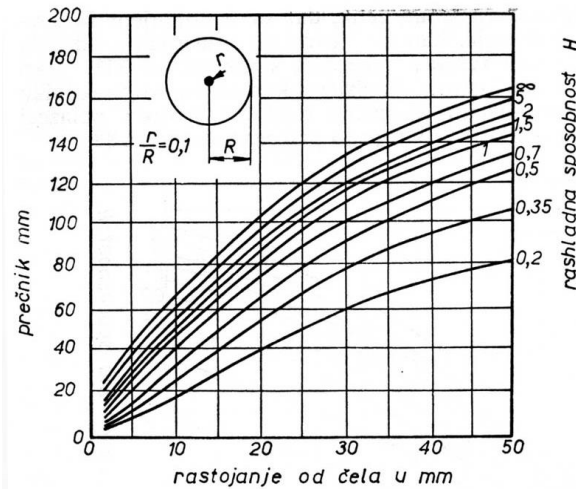
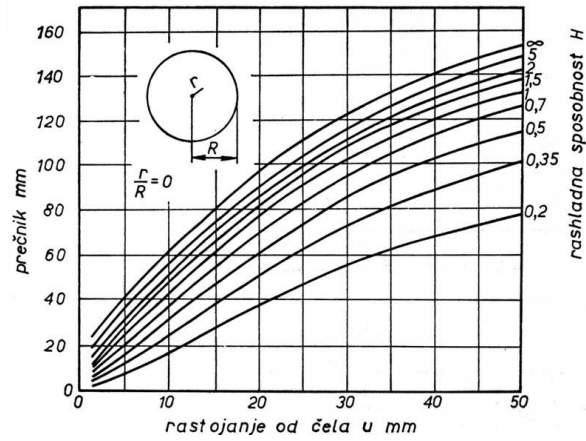
$$\%C = (0.00083 \cdot \sigma_D + 0.1667)^2$$

$$Hp = \frac{\sigma_D - 200}{10}$$

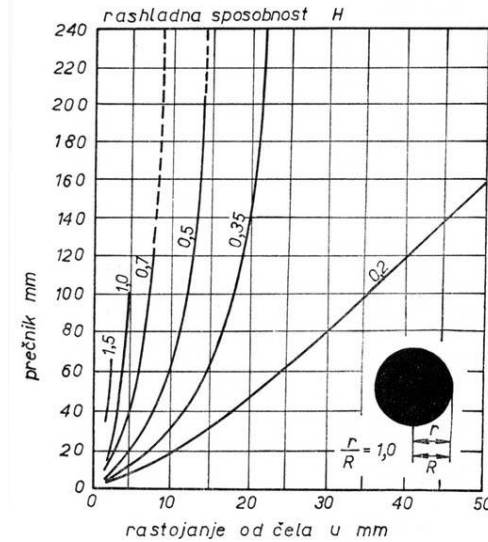
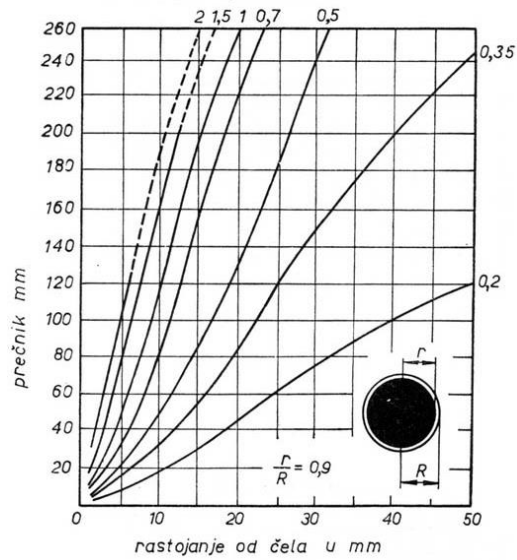
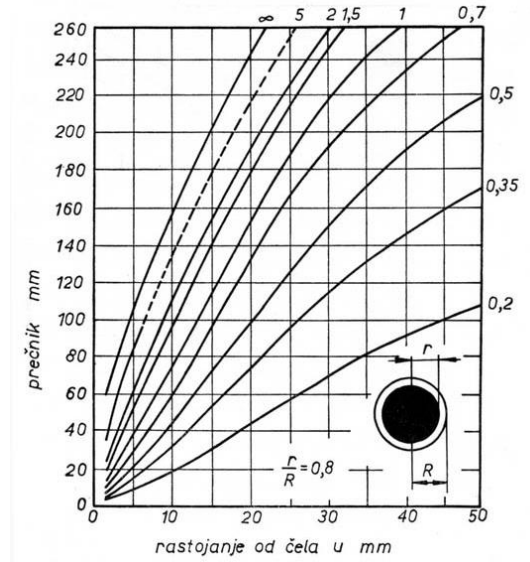
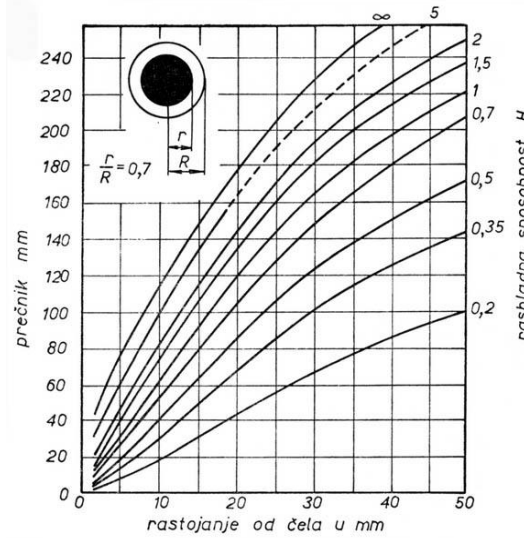
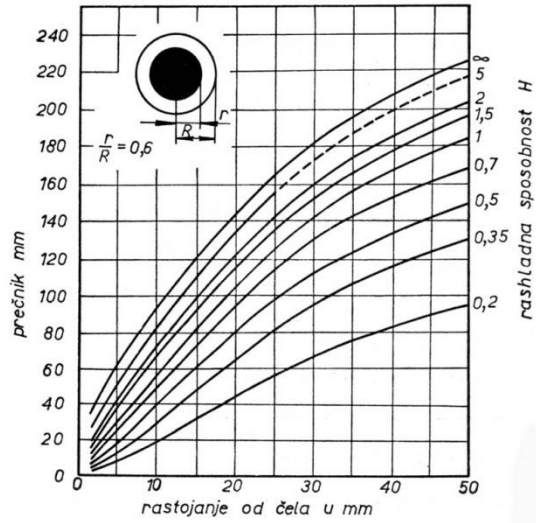
$$Hk = 35 + 0.5Hp$$

$$Hk = 95\sqrt{C} - 0.00276J_{50}^2 \cdot \sqrt{C} + 20Cr + 38Mo + 14Mn + 5.5Ni + 6.1Si + 39V + 96P - 0.81K - 12.28\sqrt{J_{50}} + 0.898J_{50} - 13$$

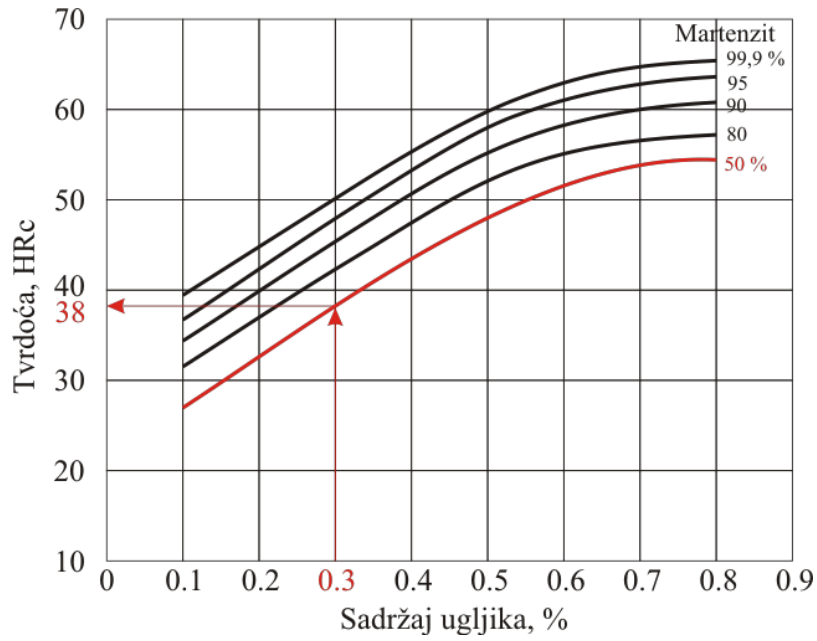
$$\frac{C_A - C_P}{\beta} = \frac{C_P - 0.35}{DC}$$



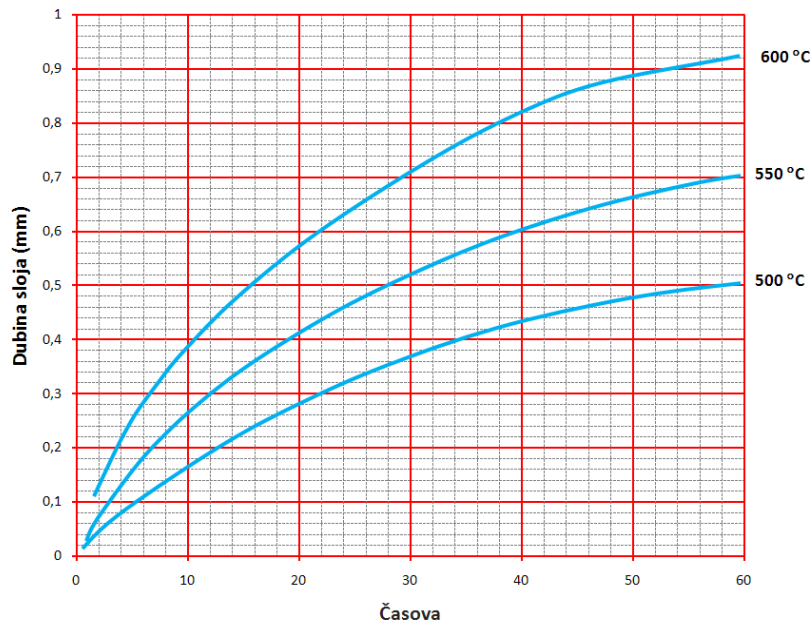
Дијаграм П.Л.4: Однос пречника комада и прокаљивости за различите односе r/R



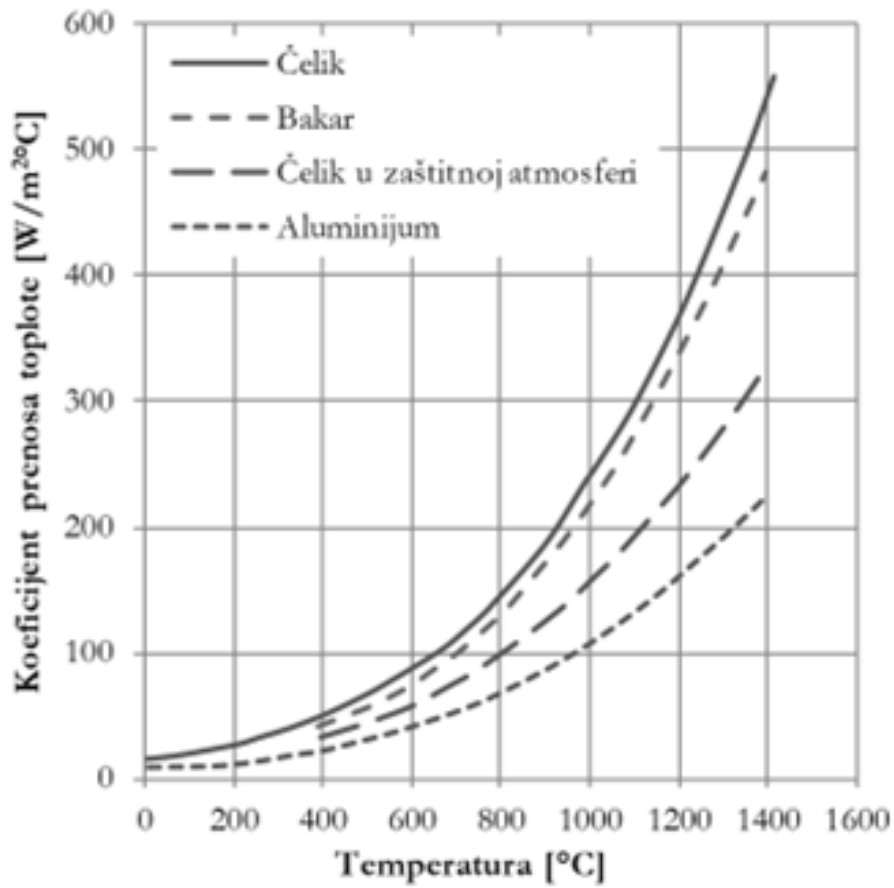
Дијаграм П.Л.4: Однос пречника комада и прокаљивости за различите односе r/R - наставкак



Дијаграм К.1: Зависност тврдоће након каљења од садржаја угљеника



Дијаграм Н.1: Дубина нитрираног слоја зависно од температуре и времена држања



Дијаграм 3.1: Приближне вредности средњег коефицијента преноса топлоте са пећи на радни комад при загревању са 0 °C

1.1 Čelici za poboljšavanje – hemijski sastav, termičke osobine i parametri termičke obrade

Tabela 1 (Табела П.Ч.1) Hemijski sastav pojedinih ugljeničnih čelika

Oznaka Kvalitetni čelici	Hemijski sastav									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Cr+Mo+Ni,
C22 *	0,17 – 0,24	0,40	0,40 – 0,70	0,045	≤ 0,045	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,63	< 0,40
C25 **	0,22 – 0,29	0,10 – 0,40	0,40 – 0,70	0,045	≤ 0,045	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,30	< 0,63
C35	0,32 – 0,39	0,10 – 0,40	0,50 – 0,80	0,045	≤ 0,045	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,30	< 0,63
C45	0,42 – 0,50	0,10 – 0,40	0,50 – 0,80	0,045	≤ 0,045	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,30	< 0,63
C60	0,57 – 0,65	0,10 – 0,40	0,60 – 0,90	0,045	≤ 0,045	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,30	< 0,63
Specijalni čelici										
C22E ***	0,17 – 0,24	0,40	0,40 – 0,70	0,030	≤ 0,035	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,63	< 0,40
C25E	0,22 – 0,29	0,10 – 0,40	0,40 – 0,70	0,025	≤ 0,035	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,30	< 0,63
C35E	0,32 – 0,39	0,10 – 0,40	0,50 – 0,80	0,025	≤ 0,035	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,30	< 0,63
C45E	0,42 – 0,50	0,10 – 0,40	0,50 – 0,80	0,025	≤ 0,035	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,30	< 0,63
C60E	0,57 – 0,65	0,10 – 0,40	0,60 – 0,90	0,025	≤ 0,035	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,30	< 0,63

Svi čelici su u skladu sa standardom SRPS EN ISO 683–1:2018, a osim toga čelici označeni sa * su EN 10083–1:1991 + A1:1996, i sa ** su EN 10250–2:1999 a sa *** su EN 10083–2:2006

Tabela 2 (Табела П.Т.1) Toplotna provodljivost pojedinih ugljeničnih čelika

Oznaka	Gustina (kg/m ³)	Toplotna provodljivost na temperaturi (W/mK)										
	20	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
C22	7842	55,05	50,7	48,09	44,69	40,81	36,86	33,06	29,50	24	25,64	29,91
C25	7800	51,00		49,00		43,00		36,00		26,00		
C35	7870	48,82	47,90	46,37	43,21	39,5	35,72	32,08	28,61	23,63	25,36	26,68
C45	7820,9	48,03	47,21	45,82	42,74	39,1	35,35	31,73	28,33	23,52	25,25	26,61
C60	7813,9	47,2	46,49	45,24	42,23	38,6	34,95	31,38	28,02	23,39	25,15	26,53
C22E	7850	50										
C25E	7850	51,2										
C35E	7860	49										
C45E	7840	48		49		47						
C60E	7850	46										

Tabela 3 (Табела П.Т.1) Specifična toplota pojedinih ugljeničnih čelika

Oznaka	Specifična toplota na temperaturi (J/kg°C)										
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
C22	471	485,50	498,7	518,60	542,9	569,70	598,7	629,60	693,50	691,00	688,6
C25	470	470,00		483,00		571,00					
C35	474,03	487,31	500,48	520,52	544,87	571,80	600,91	631,91	695,52	693,02	690,53
C45	474,62	487,94	501,20	521,29	13,16	572,70	601,83	632,89	696,29	693,79	691,3
C60	475,46	488,95	502,26	522,41	546,88	574,0	603,16	634,30	697,37	694,86	692,37
C22E	470										
C25E	486										
C35E	470										
C45E	470										
C60E	460										

Tabela 4 (Табела П.Ч.2) Temperature žarenja, normalizacije, kaljenja i otpuštanja pojedinih ugljeničnih čelika

Oznaka	Temperatura					
	Mekog žarenja	Normalizacije	Kaljenja u vodi	Kaljenja u ulju	Otpuštanja	Kaljivost
<i>Kvalitetni čelici</i>						
C22	680 – 710	880 – 920	820 – 870		550 – 660	45
C25		880 – 920	860 – 900		550 – 660	
C35	650 – 700	880 – 910	805 – 845	805 – 845	550 – 660	58
C45	680 – 710	840 – 880	820 – 860	840 – 870	550 – 660	62
C60	680 – 710	820 – 860	800 – 840	800 – 840	550 – 660	62,5
<i>Specijalni čelici</i>						
C22E	650 – 700	880 – 920	860 – 900		550 – 660	45
C25E	650 – 700	880 – 920	860 – 900		550 – 660	
C35E	650 – 700	860 – 900	840 – 880	840 – 880	550 – 660	58
C45E	650 – 700	840 – 880	820 – 860	820 – 860	550 – 660	56
C60E	650 – 700	820 – 850	800 – 830	810 – 840	540 – 680	62,5

Tabela 5 (Табела П.Ч.3) Hemijski sastav pojedinih manganskih čelika

Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Cr+Mo+Ni
28Mn6	0,25 – 0,32	0,10 – 0,40	1,30 – 1,65	0,025	≤ 0,035	< 0,40	< 0,10	< 0,40	< 0,30	< 0,63
40Mn4	0,36 – 0,44	0,25 – 0,50	0,80 – 1,10	≤ 0,035	≤ 0,035	–	–	–	–	–
37MnSi5 *	0,33 – 0,41	1,10 – 1,40	1,10 – 1,40	≤ 0,035	≤ 0,035	–	–	–	–	–
42MnV7 *	0,39 – 0,45	0,15 – 0,35	1,60 – 1,90	≤ 0,035	≤ 0,035	–	–	–	–	V 0,07–0,12

Svi čelici su u skladu sa standardom SRPS EN ISO 683–1:2018, a osim –ga čelici označeni sa * su DIN

Tabela 6 (Табела П.Т.1) Toplotna provodljivost pojedinih manganskih čelika

Oznaka	Gustina (kg/m ³)	Toplotna provodljivost na temperaturi (W/mK)										
	20	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
28Mn6	7830	48	48,9	47,5	44,7	41,6	38,6	35,5	24,1	25,9	27,8	29,8
40Mn4	7850	50										
37MnSi5	7850	38,17	40,88	41,01	39,28	36,8	34,16	31,43	28,76	23,34	26,16	28,01
42MnV7	7850	40,80	42,36	42,57	40,72	38,20	35,37	32,53	29,76	23,47	26,14	27,85

Tabela 7 (Табела П.Т.1) Specifična toplota pojedinih manganskih čelika

Oznaka	Specifična toplota na temperaturi (J/kg °C)										
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
28Mn6	461	496	533	568	611	677	778	527	532	536	540
40Mn4	460										
37MnSi5	476,21	489,48	503,25	523,46	548,00	575,2	604,43	635,65	698,33	695,82	693,32
42MnV7	475,04	488,72	501,81	521,92	546,37	573,40	602,59	633,70	696,92	694,41	691,92

Tabela 8 (Табела П.Ч.4) Temperature žarenja, normalizacije kaljenja i otpuštanja pojedinih manganskih čelika

Oznaka	Temperatura termičke obrade						Kaljivost (HRC)
	Mekog žarenja	Normalizacije	Kaljenja u vodi	Kaljenja u ulju	Otpuštanja		
28Mn6	650 – 700	850 – 890	830 – 870	830 – 870	640 – 680	54	
40Mn4	650 – 700	850 – 880	820 – 850	830 – 860	480 – 650	59	
37MnSi5	680 – 720	860 – 890	820 – 850	830 – 860	480 – 650	57	
42MnV7	640 – 780	860 – 890	840 – 870	850 – 880	480 – 650	57	

Tabela 9 (Табела П.Ч.5) Hemijski sastav pojedinih hromnih čelika

Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
34Cr4	0,30 – 0,37	0,10 – 0,40	0,60 – 0,90	0,025	≤ 0,035	0,90 – 1,20	–	–	0,40
41Cr4	0,38 – 0,45	0,10 – 0,40	0,60 – 0,90	0,025	≤ 0,035	0,90 – 1,20	–	–	0,40

Tabela 10 (Табела П.Т.1) Toplotna provodljivost pojedinih hromnih čelika

Oznaka	Gustina (kg/m ³)	Toplotna provodljivost na temperaturi (W/mK)										
	20	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
34Cr4	7814	41,78	43,24	43,12	41,22	38,6	35,79	32,91	30,11	23,53	26,15	27,81
41Cr4	7811,4	40,75	42,60	42,55	40,69	38,1	35,35	32,51	29,74	23,48	26,14	27,85

Tabela 11 (Табела П.Т.1) Specifična toplota pojedinih hromnih čelika

Oznaka	Specifična toplota na temperaturi (J/kg °C)										
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
34Cr4	474,77	488,67	501,33	521,43	545,84	572,9	601,99	633,06	696,43	693,92	691,43
41Cr4	475,09	488,14	501,83	521,96	546,40	573,5	602,62	633,73	696,94	694,44	691,94

Tabela 12 (Табела П.Ч.6) Temperature žarenja, normalizacije, kaljenja i otpuštanja pojedinih hromnih čelika

Oznaka	Temperatura termičke obrade					
	Mekog žarenja	Normalizacije	Kaljenja u vodi	Kaljenja u ulju	Otpuštanja	Kaljivost (HRC)
34Cr4	680 – 720	850 – 890	830 – 870	830 – 870	540 – 680	57
41Cr4	680 – 720	840 – 880	820 – 850	830 – 860	540 – 680	61

Tabela 13 (Табела П.Ч.7) Hemijski sastav pojedinih hrom-molibden čelika

Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
25CrMo4 25	0,22 – 0,29	0,10 – 0,40	0,60 – 0,90	0,025	≤ 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	–	0,40
34CrMo4	0,30 – 0,37	0,10 – 0,40	0,60 – 0,90	0,025	≤ 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	–	0,40
42CrMo4	0,38 – 0,45	0,10 – 0,40	0,60 – 0,90	0,025	≤ 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	–	0,40
50CrMo4	0,46 – 0,54	0,10 – 0,40	0,50 – 0,80	0,025	≤ 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	–	0,40

Svi čelici su u skladu sa standardom SRPS EN ISO 683-1:2018, a osim –ga čelici označeni sa * su EN 10083-1:1991

Tabela 14 (Табела П.Т.1) Toplotna provodljivost pojedinih hrom-molibden čelika

Oznaka	Gustina (kg/m ³)	Toplotna provodljivost na temp. (W/mK)										
	20	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
25CrMo4 25	7825,6	42,47	43,66	43,49	41,56	48,9	36,07	33,17	30,34	23,57	26,16	27,79
34CrMo4	7822,2	41,36	42,98	42,89	41,01	38,4	35,61	32,75	29,96	23,50	26,15	27,82
42CrMo4	7818,7	40,38	42,36	42,36	40,50	38,0	35,18	32,36	29,61	24,44	26,14	29,21
50CrMo4	7840	46										

Tabela 15 (Табела П.Т.1) Specifična toplota pojedinih hrom-molibden čelika

Oznaka	Specifična toplota (J/kg °C)										
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
25CrMo4 25	474,13	487,36	501,01	521,09	545,48	572,5	601,58	632,63	696,09	693,5	691,10
34CrMo4	474,82	488,25	501,53	521,64	546,06	573,1	602,24	633,33	696,63	694,14	691,64
42CrMo4	475,19	488,62	502,02	522,15	546,61	573,7	602,86	633,98	697,13	694,62	692,13
50CrMo4	490										

Tabela 16 (Табела П.Ч.8) Temperature žarenja, normalizacije, kaljenja i otpuštanja pojedinih hrom-molibden čelika

Oznaka	Mekog žarenja	Normalizacije	Temperatura termičke obrade			Otpuštanja	Kaljivost (HRC)
			Kaljivanja u vodi	Kaljivanja u ulju			
25CrMo4 25	680 – 720	840 – 900	840 – 870	850 – 880	540 – 680	52	
34CrMo4	680 – 720	850 – 890	830 – 890	830 – 890	540 – 680	52	
42CrMo4	680 – 720	840 – 880	820 – 850	830 – 860	540 – 680	61	
50 CrMo4	680 – 720	840 – 860	820 – 850	830 – 860	205 °C: 53 HRC, 315 °C: 51 HRC, 425 °C: 46 HRC, 540 °C : 39 HRC 650 °C: 31 HRC	65	

Tabela 17 (Табела П.Ч.9) Hemijski sastav pojedinih hrom-nikl-molibden čelika

Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
36CrNiMo4	0,32 – 0,40	0,10 – 0,40	0,50 – 0,80	0,025	≤ 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	0,90 – 1,20	0,40
34CrNiMo6	0,30 – 0,38	0,10 – 0,40	0,50 – 0,80	0,025	≤ 0,035	1,30 – 1,70	0,15 – 0,30	1,30 – 1,70	0,40
30CrNiMo8	0,26 – 0,34	0,10 – 0,40	0,50 – 0,80	0,025	≤ 0,035	1,80 – 2,20	0,30 – 0,50	1,80 – 2,20	0,40

Tabela 18 (Табела П.Т.1) Toplotna provodljivost pojedinih hrom-nikl-molibden čelika

Oznaka	Gustina (kg/m ³)		Toplotna provodljivost na temp. (W/mK)									
	20	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
36CrNiMo4	7840	50										
34CrNiMo6	7826,7	34,10	34,94	36,34	36,40	35,80	34,80	33,60	32,28	26,05	27,25	28,09
30CrNiMo8	7820	41,84	37,6									

Tabela 19 (Табела П.Т.1) Specifična toplota pojedinih hrom-nikl-molibden čelika

Oznaka	Specifična toplota (J/kg °C)										
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
36CrNiMo4	480										
34CrNiMo6	476,91	490,43	504,26	524,54	549,15	576,4	605,73	637,03	699,26	696,75	694,25
30CrNiMo8	502										

Tabela 20 Temperature žarenja, normalizacije, kaljenja i otpuštanja pojedinih hrom-nikl-molibden čelika

Oznaka	Mekog žarenja	Normalizacije	Temperatura termičke obrade			Otpuštanja	Kaljivost (HRC)
			Kaljivanja u vodi	Kaljivanja u ulju			
36CrNiMo4	650 – 700	850 – 880	820 – 860	820 – 860	540 – 680	59	
34CrNiMo6	650 – 680	850 – 880	–	830 – 860	540 – 660	58	
30CrNiMo8	650 – 700	850 – 880	–	830 – 880	540 – 680	56	

Tabela 21 Hemijski sastav pojedinih čelika za poboljšanje i nerđajućih čelika

Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
100Cr6	0,93 – 1,05	0,015 – 0,35	0,25 – 0,45	≤ 0,025	≤ 0,015	1,35 – 1,60	≤ 0,10	Al ≤ 0,050	≤ 0,30
X6Cr13	≤ 0,08	≤ 1	≤ 1	≤ 0,040	≤ 0,015	12 – 14	–	–	–
X20Cr13	≤ 0,16 – 0,25	≤ 1	≤ 1,50	≤ 0,040	≤ 0,015	12 – 14	–	–	–

Tabela 22 Toplotna provodljivost pojedinih čelika za poboljšanje i nerđajućih čelika

Oznaka	Gustina (kg/m ³)		Toplotna provodljivost na temp. (W/mK)									
	20	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
100Cr6	7791,8	35,62	39,05	39,36	37,76	35,4	32,87	30,25	27,69	23,28	26,26	28,25
X6Cr13	7720	30										
X20Cr13	7691,8	25,09	25,29	25,54	25,79	26,05	26,30	26,56	26,82	27,09	27,35	27,63

Tabela 23 Specifična toplota pojedinih čelika za poboljšanje i nerđajućih čelika

Oznaka	Specifična toplota (J/kg °C)										
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
100Cr6	477,63	491,46	505,12	525,46	550,14	577,40	606,85	638,22	700,02	697,50	695,00
X6Cr13	460										
X20Cr13	435,97	482,18	504,37	524,43	544,47	564,93	585,99	607,73	630,21	653,47	677,56

Tabela 24 Temperature žarenja, normalizacije, kaljenja i otpuštanja pojedinih čelika za poboljšanje i nerđajućih čelika

Oznaka	Temperatura termičke obrade						Kaljivost (HRC)
	Mekog žarenja	Normalizacije	Kaljenja u vodi		Kaljenja u ulju	Otpuštanja	
100Cr6	760 – 800	870 – 900	–	–	830 – 870	150 – 180	64
X6Cr13	800 – 840		–	–	950 – 1000	650 – 700	
X20Cr13	730 – 810		–	–	950 – 1050	650 – 750	

Tabela 25 Gustina, toplotna provodljivost i specifična toplota livenih gvožđa

Oznaka	Gustina (kg/m ³)		Toplotna (W/m ² K)	provodljivost	Specifična toplota (J/Kg°C)
	Na niskim temperaturama	Na povišenim temperaturama			
SL	6800	7600	41,87–56,52		502 – 586
NL	7200	7300	32,9 – 37,68		
TL	7200	7300	58,62 – 50,24		502 – 544

Tabela 26 Uporedne oznake čelika po EN (ili DIN) normama i JUS normama

EN (DIN)	JUS
C22	Č.1330
C25	Č.1331.2
C35	Č.1430
C45	Č.1530
C60	Č.1730
C22E	Č.1331
C25E	-
C35E	Č.1431
C45E	Č.1531
C60E	Č.1731
28Mn6	Č.3131
40Mn4	Č.3130
37MnSi5	Č.3230
42MnV7	Č.3830
34Cr4	Č.4130
41Cr4	Č.4131
25CrMo4 25	Č.4730
34CrMo4	Č.4731
42CrMo4	Č.4732
50 CrMo4	Č.4733
36CrNiMo4	Č.5430
34CrNiMo6	Č.5431
30CrNiMo8	Č.5432
100Cr6	Č.4146
X6Cr13	Č.4170
X20Cr13	Č.4172