

Merenje temperature

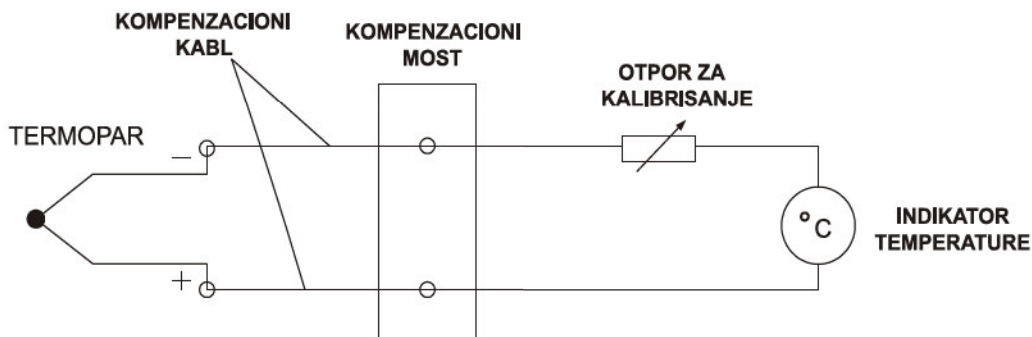
Najčešće primenjivana vrsta merila temperature u većini proizvodnih procesa, kako zbog veoma širokih opsega temperatura koje pokrivaju različiti tipovi, tako i zbog srazmerno niske cene, jesu merila temperature sa termoparovima.

Termopar čine dva provodnika od kojih je jedna pozitivna a druga negativna termoelektroda termopara. Termoelektrode su spojene na jednom svom kraju formirajući merni spoj termopara, a međusobno su podužno električno izolovane.

Termopar je merilo temperature koje radi na principu Zebekovog efekta. *Zebekov termoelektrični efekt* je fizička pojava nastajanja elektromotorne sile u električnom kolu dva provodnika od različitih metala ili legura, čiji se spojevi nalaze na različitim temperaturama. Jedan spoj se naziva *merni spoj termopara* i predstavlja spoj dve termoelektrode termopara koji je izložen temperaturi koja se meri. Drugi spoj je *referentni spoj termopara* i predstavlja spoj dve termoelektrode koji se stavlja na poznatu - referentnu temperaturu od 0°C sa kojom se poredi merena temperatura.

Kompletan merni krug sastoji se od termopara, kompenzacionog voda, eventualno kompenzacionog mosta, bakarnog voda sa otporom za kalibrisanje, indikatora temperature. Merni krug je prikazan na sledećoj slici.

MERNI KRUG



NAPOMENA: SVI ELEMENTI MERNOG KRUGA MORAJU BITI ISTOG TIPA.

Termoparovi koji se ugrađuju u industrijskim proizvodnim postrojenjima su tipičan primer rastavljive konstrukcione izvedbe. Kompenzacionim vodovima, često dužine i više desetina, pa i stotina metara, merni naponski signal termopara dovodi se do pretvaračke, odnosno pokazne (ili pisačke) naprave za očitavanje temperature. Pokazne naprave su obično specijalno podešeni mV-metri, analogni ili, u poslednje vreme najčešće digitalni, sa posebnim procesnim jedinicama za kompenzaciju temperature ambijenta i konverziju naponskog signala termopara u odgovarajuću temperaturu. Ukoliko su, pak produžne linije isuviše dugačke pa dolazi do slabljenja mernog signala, primenjuju se naponsko-strujni pretvarači (transmiteri) ugrađeni na izlaz iz priključne glave termopara, tako da se signal dalje vodi kao strujni, a pokazna naprava u tom slučaju predstavlja strujno-temperaturni konvertor. Najčešće, ove pokazne (ili pisačke) naprave imaju ugrađene i kontrolno-upravljačke izlazne jedinice za povratno upravljanje i regulaciju temperature.

Danas se u svetu proizvodi ogroman broj različitih *tipova termoparova* u zavisnosti od materijala koji se upotrebljavaju za termoelektrode. Međutim, zahvaljujući svojim karakteristikama osetljivosti, stabilnosti i reproduktivnosti, samo određni tipovi termoparova standardizovani su na međunarodnom nivou i oni su prikazani u sledećoj tabeli.

TERMOELEMENTI

Međunarodno standardizovani i u našoj zemlji propisani tipovi termoparova:

Tip termopara	Oznaka tipa	Merni opseg termopara
Platina-13%rodijuma/platina	R	(-50 do 1600) °C
Platina-10%rodijuma/platina	S	(-50 do 1600) °C
Platina-30%rodijuma/platina-6%rodijuma	B	(0 do 1820) °C
Gvožđe/bakar-nikl	J	(-40 do 750) °C
Bakar/bakar-nikl	T	(-200 do 370) °C
Nikl-hrom/bakar-nikl	E	(-200 do 900) °C
Nikl-hrom/nikl-aluminijum	K	(-200 do 1200) °C
Nikl-hrom-silicijum/nikl-silicijum	N	(-200 do 1200) °C

S obzirom da boje za raspoznavanje termoparova nisu standardizovane na međunarodnom nivou, već je skoro svaka zemlja zadržala svoj sistem označavanja, za lakše i sigurno određivanje i prepoznavanje tipa termopara, u delu kataloga - "Reference" - dat je pregled „Internacionalne boje raspoznavanja za tehniku merenja temperature“.

Po svojim karakteristikama u pogledu tačnosti i stabilnosti i na visokim temperaturama posebno mesto zauzimaju termoparovi na bazi plemenitih metala, tj. termoparovi S, R i B tipa. Široku primenu u industriji ima daleko jevtiniji K tip termopara, ali samo u slučajevima gde zahtevi u pogledu visine greške nisu tako oštri.

Termoparovi su, u zavisnosti od grešaka merenja i mernog opsega, razvrstani u tri klase tačnosti u kojima greške merenja moraju biti u granicama dozvoljene greške, i to:

Tip termopara	Kl. tačnosti 1	Kl. tačnosti 2	Kl. tačnosti 3
Tip R, Tip S			
Opseg temperatura	0 °C do 1100 °C	0 °C do 600 °C	-
Dozvoljena greška	± 1 °C	± 1,5 °C	-
Opseg temperatura	1100 °C do 1600 °C	600 °C do 1600 °C	-
Dozvoljena greška	±[1+0,003 (t-1100)]	±0,0025 t	-
Tip B			
Opseg temperatura	-	-	600 °C do 800 °C
Dozvoljena greška	-	-	± 4 °C
Opseg temperatura	-	600 °C do 1700 °C	800 °C do 1700 °C
Dozvoljena greška	-	±0,0025 t	±0,005 t
Tip J			
Opseg temperatura	-40 °C do 375 °C	-40 °C do 333 °C	-
Dozvoljena greška	± 1,5 °C	± 2,5 °C	-
Opseg temperatura	375 °C do 750 °C	333 °C do 750 °C	-
Dozvoljena greška	±0,004 t	±0,0075 t	-
Tip T			
Opseg temperatura	-40 °C do 125 °C	-40 °C do 133 °C	-67 °C do 40 °C
Dozvoljena greška	± 0,5 °C	± 1 °C	± 1 °C
Opseg temperatura	125 °C do 350 °C	133 °C do 350 °C	-200 °C do -67 °C
Dozvoljena greška	±0,004 t	±0,0075 t	±0,015 t
Tip E			
Opseg temperatura	-40 °C do 375 °C	-40 °C do 333 °C	-167 °C do 40 °C
Dozvoljena greška	± 1,5 °C	± 2,5 °C	± 2,5 °C
Opseg temperatura	375 °C do 800 °C	333 °C do 900 °C	-200 °C do -167 °C
Dozvoljena greška	±0,004 t	±0,0075 t	±0,015 t
Tip K, Tip N			
Opseg temperatura	-40 °C do 375 °C	-40 °C do 333 °C	-167 °C do 40 °C
Dozvoljena greška	± 1,5 °C	± 2,5 °C	± 2,5 °C
Opseg temperatura	375 °C do 1000 °C	333 °C do 1200 °C	-200 °C do -167 °C
Dozvoljena greška	±0,004 t	±0,0075 t	±0,015 t

TERMOELEMENTI

Vrednosti termonapona, u zavisnosti od temperature, za različite tipove termoparova date su u narednim tabelama:

Termopar Fe-CuNi, Tip J, prema IEC 584-1 Vrednosti termonapona u mV

°C	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50	- 60	- 70	- 80	- 90
- 200	- 7,890	- 8,096								
- 100	- 4,632	- 5,036	- 5,426	- 5,801	- 6,159	- 6,499	- 6,821	- 7,122	- 7,402	- 7,659
0	0	- 0,501	- 0,995	- 1,481	- 1,960	- 2,431	- 2,892	- 3,344	- 3,785	- 4,215
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,507	1,019	1,536	2,058	2,585	3,115	3,649	4,186	4,725
100	5,268	5,812	6,359	6,907	7,457	8,008	8,560	9,113	9,667	10,222
200	10,777	11,332	11,887	12,442	12,998	13,553	14,108	14,663	15,217	15,771
300	16,325	16,879	17,432	17,984	18,537	19,089	19,640	20,192	20,743	21,295
400	21,846	22,397	22,949	23,501	24,054	24,607	25,161	25,716	26,272	26,829
500	27,388	27,949	28,511	29,075	29,642	30,210	30,762	31,356	31,933	32,513
600	33,096	33,683	34,273	34,867	35,464	36,066	36,671	37,280	37,893	38,510
700	39,130	39,754	40,382	41,013	41,647	42,283	42,922	43,563	44,207	44,852
800	45,498	46,144	46,790	47,434	48,076	48,716	49,354	49,989	50,621	51,249
900	51,875	52,496	53,115	53,729	54,341	54,948	55,553	56,155	56,753	57,349

Termopar NiCr-NiAl, Tip K, prema IEC 584-1 Vrednosti termonapona u mV

°C	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50	- 60	- 70	- 80	- 90
- 100	- 3,553	- 3,852	- 4,138	- 4,410	- 4,669	- 4,912	- 5,141	- 5,354	- 5,550	- 5,730
0	0	- 0,392	- 0,777	- 1,156	- 1,527	- 1,889	- 2,243	- 2,586	- 2,920	- 3,242
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,397	0,798	1,203	1,611	2,022	2,436	2,850	3,266	3,681
100	4,095	4,508	4,919	5,327	5,733	6,137	6,539	6,939	7,338	7,737
200	8,137	8,537	8,938	9,341	9,745	10,151	10,560	10,969	11,381	11,793
300	12,207	12,623	13,039	13,456	13,874	14,292	14,712	15,132	15,552	15,974
400	16,395	16,818	17,241	17,664	18,088	18,513	18,938	19,363	19,788	20,214
500	20,640	21,066	21,493	21,919	22,346	22,772	23,196	23,624	24,050	24,476
600	24,902	25,327	25,751	26,176	26,599	27,022	27,445	27,867	28,288	28,709
700	29,128	29,547	29,965	30,383	30,799	31,214	31,629	32,042	32,455	32,866
800	33,277	33,686	34,095	34,502	34,909	35,314	35,718	36,121	36,524	36,925
900	37,325	37,724	38,122	38,519	38,915	39,310	39,703	40,096	40,488	40,879
1000	41,269	41,657	42,045	42,432	42,817	43,202	43,585	43,968	44,349	44,729
1100	45,108	45,486	45,863	46,238	46,612	46,985	47,356	47,726	48,095	48,462
1200	48,828	49,192	49,555	49,916	50,276	50,633	50,990	51,344	51,697	52,049
1300	52,398	52,747	53,093	53,439	53,782	54,125	54,466	54,807		

Termopar Pt(10%Rh)-Pt, Tip S, prema IEC 584-1 Vrednosti termonapona u mV

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,055	0,113	0,173	0,235	0,299	0,365	0,432	0,502	0,573
100	0,645	0,719	0,795	0,872	0,950	1,029	1,109	1,190	1,273	1,356
200	1,440	1,525	1,611	1,698	1,785	1,873	1,962	2,051	2,141	2,232
300	2,323	2,414	2,506	2,599	2,692	2,786	2,880	2,974	3,069	3,164
400	3,260	3,356	3,452	3,549	3,645	3,743	3,840	3,938	4,036	4,135
500	4,234	4,333	4,432	4,532	4,632	4,732	4,832	4,933	5,034	5,136
600	5,237	5,339	5,442	5,544	5,648	5,751	5,855	5,960	6,064	6,169
700	6,274	6,380	6,486	6,592	6,699	6,805	6,913	7,020	7,128	7,236
800	7,345	7,454	7,563	7,672	7,782	7,892	8,003	8,114	8,225	8,336
900	8,448	8,560	8,673	8,786	8,899	9,012	9,126	9,240	9,355	9,470
1000	9,585	9,700	9,816	9,932	10,048	10,165	10,282	10,400	10,517	10,635
1100	10,754	10,872	10,991	11,110	11,229	11,348	11,467	11,587	11,707	11,827
1200	11,947	12,067	12,188	12,308	12,429	12,550	12,671	12,792	12,913	13,034
1300	13,155	13,276	13,397	13,519	13,640	13,761	13,883	14,004	14,125	14,247
1400	14,368	14,489	14,610	14,731	14,852	14,973	15,094	15,215	15,336	15,456
1500	15,576	15,697	15,817	15,937	16,057	16,176	16,296	16,415	16,534	16,653
1600	16,771	16,890	17,008	17,125	17,243	17,360	17,477	17,594	17,711	17,826
1700	17,942	18,056	18,170	18,282	18,394	18,504	18,612			

TERMOELEMENTI

Vrednosti termonapona, u zavisnosti od temperature, za različite tipove termoparova date su u narednim tabelama:

Termopar Pt(13%Rh)-Pt, Tip R, prema IEC 584-1 Vrednosti termonapona u mV

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,054	0,111	0,171	0,232	0,296	0,363	0,431	0,501	0,573
100	0,647	0,723	0,800	0,879	0,959	1,041	1,124	1,208	1,294	1,380
200	1,468	1,557	1,647	1,738	1,830	1,923	2,017	2,111	2,207	2,303
300	2,400	2,498	2,596	2,695	2,795	2,896	2,997	3,099	3,201	3,304
400	3,407	3,551	3,616	3,721	3,826	3,933	4,039	4,146	4,254	4,362
500	4,471	4,580	4,689	4,799	4,910	5,021	5,132	5,244	5,356	5,469
600	5,582	5,696	5,810	5,925	6,040	6,155	6,272	6,388	6,505	6,623
700	6,741	6,860	6,979	7,098	7,218	7,339	7,460	7,582	7,703	7,826
800	7,949	8,072	8,196	8,320	8,445	8,570	8,696	8,822	8,949	9,076
900	9,203	9,331	9,460	9,589	9,718	9,848	9,978	10,109	10,240	10,371
1000	10,503	10,636	10,768	10,902	11,035	11,170	11,304	11,439	11,574	11,710
1100	11,846	11,983	12,119	12,257	12,394	12,532	12,669	12,808	12,946	13,085
1200	13,224	13,363	13,502	13,642	13,782	13,922	14,062	14,202	14,343	14,483
1300	14,624	14,785	14,906	15,047	15,188	15,329	15,470	15,611	15,752	15,893
1400	16,036	16,176	16,317	16,458	16,599	16,741	16,882	17,022	17,163	17,304
1500	17,445	17,585	17,726	17,866	18,006	18,146	18,286	18,425	18,564	18,703
1600	18,842	18,981	19,119	19,257	19,395	19,533	19,670	19,807	19,944	20,080
1700	20,215	20,350	20,483	20,616	20,748	20,878	21,006			

Termopar Pt(30%Rh)-Pt(6%Rh), Tip B, prema IEC 584-1 Vrednosti termonapona u mV

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	- 0,002	- 0,003	- 0,002	0	0,002	0,006	0,011	0,017	0,025
100	0,033	0,043	0,053	0,065	0,078	0,092	0,107	0,123	0,140	0,159
200	0,178	0,199	0,220	0,243	0,266	0,291	0,317	0,344	0,372	0,401
300	0,431	0,462	0,494	0,527	0,561	0,596	0,632	0,669	0,707	0,740
400	0,786	0,827	0,870	0,913	0,957	1,002	1,048	1,095	1,143	1,192
500	1,241	1,292	1,344	1,397	1,450	1,505	1,560	1,617	1,674	1,732
600	1,791	1,851	1,912	1,974	2,036	2,100	2,164	2,230	2,296	2,363
700	2,430	2,499	2,569	2,639	2,710	2,782	2,855	2,928	3,003	3,078
800	3,154	3,231	3,308	3,387	3,466	3,546	3,626	3,708	3,790	3,873
900	3,957	4,041	4,126	4,212	4,298	4,386	4,474	4,562	4,652	4,742
1000	4,833	4,924	5,016	5,109	5,202	5,297	5,391	5,487	5,583	5,680
1100	5,777	5,875	5,973	6,073	6,172	6,273	6,374	6,475	6,577	6,680
1200	6,783	6,887	6,991	7,096	7,202	7,308	7,414	7,521	7,628	7,736
1300	7,845	7,953	8,063	8,172	8,283	8,393	8,504	8,616	8,727	8,839
1400	8,952	9,065	9,178	9,291	9,405	9,519	9,634	9,748	9,863	9,979
1500	10,094	10,210	10,325	10,441	10,558	10,674	10,790	10,907	11,024	11,141
1600	11,257	11,374	11,491	11,608	11,725	11,842	11,959	12,076	12,193	12,310
1700	12,426	12,543	12,659	12,776	12,892	13,008	13,124	13,239	13,354	13,470
1800	13,585	13,699	13,814							

Termopar Cu-CuNi, Tip T, prema IEC 584-1 Vrednosti termonapona u mV

°C	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50	- 60	- 70	- 80	- 90
- 100	- 3,37	- 3,65	- 3,92	- 4,17	- 4,41	- 4,64	- 4,86	- 5,06	- 5,26	- 5,43
0	0	- 0,38	- 0,75	- 1,12	- 1,47	- 1,81	- 2,15	- 2,47	- 2,78	- 3,08
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,39	0,78	1,19	1,61	2,03	2,46	2,90	3,35	3,81
100	4,27	4,74	5,22	5,71	6,20	6,70	7,20	7,71	8,23	8,75
200	9,28	9,82	10,36	10,90	11,45	12,01	12,57	13,13	13,70	14,28
300	14,86	15,44	16,03	16,62	17,21	17,81	18,42	19,027	19,63	20,25
400	20,86									

TERMOELEMENTI
Termopar NiCr-CuNi, Tip E, prema IEC 584-1 Vrednosti termonapona u mV

^o C	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50	- 60	- 70	- 80	- 90
- 200	- 8,82	- 9,06	- 9,27	- 9,45	- 9,60	- 9,71	- 9,79	- 9,83		
- 100	- 5,23	- 5,68	- 6,10	- 6,51	- 6,90	- 7,27	- 7,63	- 7,96	- 8,27	- 8,56
0	0	- 0,58	- 1,15	- 1,70	- 2,25	- 2,78	- 3,30	- 3,81	- 4,30	- 4,77
^o C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,59	1,19	1,80	2,41	3,04	3,68	4,32	4,98	5,64
100	6,31	6,99	7,68	8,37	9,07	9,78	10,50	11,22	11,94	12,68
200	13,41	14,16	14,90	15,66	16,41	17,17	17,94	18,71	19,48	20,25
300	21,03	21,81	22,59	23,38	24,17	24,96	25,75	26,54	27,34	28,14
400	28,94	29,74	30,54	31,35	32,15	32,96	33,76	34,57	35,38	36,19
500	36,99	37,80	38,61	39,42	40,23	41,04	41,85	42,66	43,47	44,27
600	45,08	45,89	46,69	47,50	48,30	49,10	49,91	50,71	51,51	52,31
700	53,11	53,90	54,70	55,49	56,29	57,08	57,87	58,66	59,45	60,23
800	61,02	61,80	62,58	63,36	64,14	64,92	65,70	66,47	67,24	68,01
900	68,78	69,54	70,31	71,07	71,83	72,59	73,35	74,10	74,85	75,60
1000	76,35									

Termopar NiCrSi-NiSi, Tip N, prema IEC 584-1 Vrednosti termonapona u mV

^o C	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50	- 60	- 70	- 80	- 90
- 200	- 3,99	- 4,08	- 4,16	- 4,22	- 4,27					
- 100	- 2,40	- 2,61	- 2,80	- 2,99	- 3,17	- 3,33	- 3,49	- 3,63	- 3,76	- 3,88
0	0	- 0,26	- 0,51	- 0,77	- 1,02	- 1,26	- 1,50	- 1,74	- 1,97	- 2,19
^o C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,26	0,52	0,79	1,06	1,33	1,61	1,90	2,18	2,47
100	2,77	3,07	3,37	3,67	3,98	4,30	4,61	4,93	5,25	5,58
200	5,91	6,24	6,57	6,91	7,25	7,59	7,94	8,28	8,63	8,98
300	9,34	9,69	10,05	10,41	10,77	11,13	11,50	11,86	12,23	12,60
400	12,97	13,34	13,71	14,09	14,46	14,84	15,22	15,60	15,98	16,36
500	16,74	17,12	17,51	17,89	18,28	18,66	19,05	19,44	19,83	20,22
600	20,60	20,99	21,39	21,78	22,17	22,56	22,95	23,34	23,74	24,13
700	24,52	24,91	25,31	25,70	26,09	26,49	26,88	27,27	27,67	28,06
800	28,45	28,84	29,24	29,63	30,02	30,41	30,80	31,19	31,58	31,98
900	32,37	32,75	33,14	33,53	33,92	34,31	34,70	35,08	35,47	35,86
1000	36,24	36,63	37,01	37,40	37,78	38,16	38,55	38,93	39,31	39,69
1100	40,07	40,45	40,83	41,21	41,59	41,96	42,34	42,71	43,09	43,46
1200	43,83	44,20	44,57	44,94	45,31	45,68	46,04	46,41	46,77	47,14
1300	47,50									

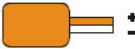
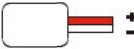

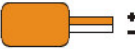

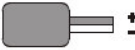
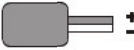
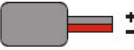
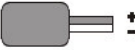


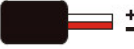


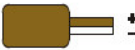
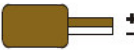
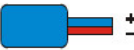
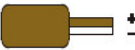
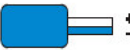
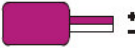
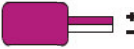
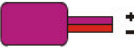
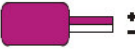
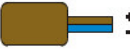
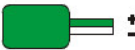
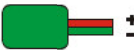
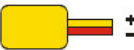
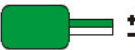

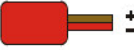
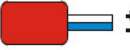
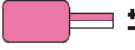
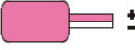



Termopar Fe-CuNi, Tip L, prema DIN 43710 Vrednosti termonapona u mV

^o C	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50	- 60	- 70	- 80	- 90
- 100	- 4,75	- 5,15	- 5,53	- 5,90	- 6,26	- 6,60	- 6,93	- 7,25	- 7,56	- 7,86
0	0	- 0,51	- 1,02	- 1,53	- 2,03	- 2,51	- 2,98	- 3,44	- 3,89	- 4,33
^o C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,52	1,05	1,58	2,11	2,65	3,19	3,73	4,27	4,82
100	5,37	5,92	6,47	7,03	7,59	8,15	8,71	9,27	9,83	10,39
200	10,95	11,51	12,07	12,63	13,19	13,75	14,31	14,88	15,44	16,00
300	16,56	17,12	17,68	18,24	18,80	19,36	19,92	20,48	21,04	21,60
400	22,16	22,72	23,29	23,85	24,41	24,97	25,53	26,09	26,65	27,21
500	27,85	28,41	28,97	29,53	30,09	30,65	31,21	31,77	32,33	32,89
600	33,67	34,23	34,79	35,35	35,91	36,47	37,03	37,59	38,15	38,71
700	39,72	40,28	40,84	41,40	41,96	42,52	43,08	43,64	44,20	44,76
800	46,22	46,78	47,34	47,90	48,46	49,02	49,58	50,14	50,70	51,26

Internacionalne Boje Raspoznavanja za tehniku merenja temperature
 International Colour Codes applied to temperature measuring engineering

Tip termopara
 thermocouple type



R	⊕ Platina - 13% Rodium ⊖ Platina					
S	⊕ Platina - 10% Rodium ⊖ Platina					
B	⊕ Platina - 30% Rodium ⊖ Platina - 6% Rodium					
J	⊕ Gvožđe ⊖ Bakar - Nikl					
T	⊕ Bakar ⊖ Bakar - Nikl					
E	⊕ Nikl - Hrom ⊖ Bakar - Nikl					
K	⊕ Nikl - Hrom ⊖ Nikl					
						
N	⊕ Nikl - Hrom - Silicijum ⊖ Nikl - Silicijum					
U	⊕ Bakar ⊖ Bakar - Nikl					
L	⊕ Gvožđe ⊖ Bakar - Nikl	