

## WSTĘP

Temperatura jest powszechnym stanem każdej materii, który stanowi pozytywny lub negatywny czynnik przy wszystkich niemal procesach technologicznych.

Czynnik pozytywny to warunek określonej wartości temperatury niezbędny dla optymalnego przebiegu procesu technologicznego.

Czynnik negatywny – to zmiany temperatury spowodowane przemianami energetycznymi działającymi w sposób szkodliwy na proces technologiczny. Z tych względów pomiar temperatury i jej kontrolowanie jest zadaniem, które spotykamy najczęściej. Zadanie to mimo swojej pospolitości należy do trudnych, ponieważ zależy od natury zjawiska, które nazywamy ciepłem. Bogactwo form przeniesienia energii cieplnej z jednego środowiska do drugiego (przewodzenie, konwekcja, promieniowanie) zmienność współczynników decydujących o intensywności przenoszenia oraz brak dobrych izolatorów ciepła ogromnie utrudnia dobry pomiar temperatury.

W zastosowaniach przemysłowych stosowane są cztery podstawowe metody pomiaru temperatury:

- pomiary wykorzystujące zmianę rezystancji czujnika
- pomiary wykorzystujące zjawisko termoelektryczne: termopary są źródłami sygnału pomiarowego
- pomiary wykorzystujące emisję podczerwieni: pirometry
- pomiary czujnikami, w których pomiar jest przetwarzany w sensorze na postać cyfrową, a zmierzona wartość jest przekazywana do urządzenia odczytowego w formie binarnej.

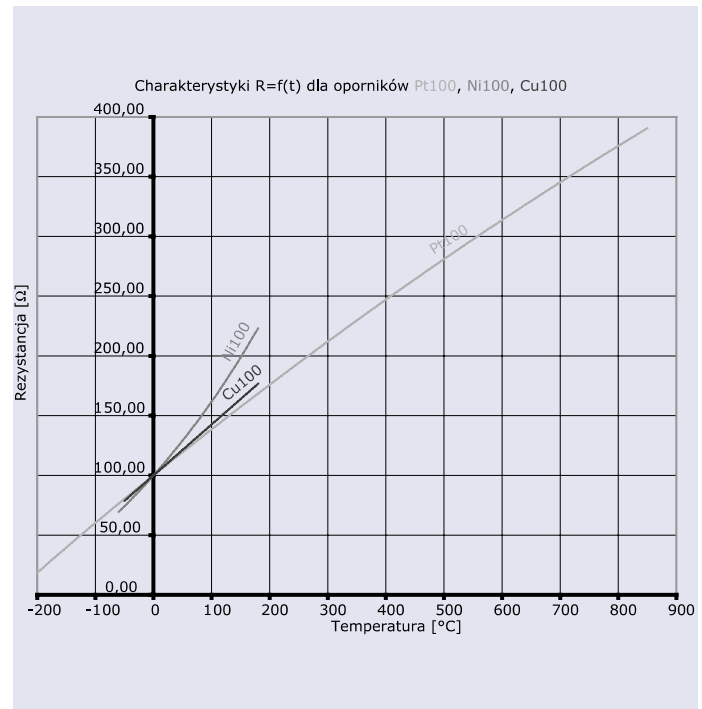
Każda z tych metod ma pewne zalety jak i wady, a tym samym ograniczony zakres zastosowań. W naszej publikacji zwrócimy szczególnie uwagę na pierwsze dwie metody pomiaru, ze względu na ich dominację w sektorze przemysłowym.

- Pomiary wykorzystujące zmianę rezystancji czujnika
- Pomiary wykorzystujące zjawisko termoelektryczne, termopary są źródłami sygnału pomiarowego

## REZYSTANCYJNE (OPOROWE) CZUJNIKI TEMPERATURY.

Zależność oporności metali i półprzewodników od temperatury wykorzystuje się do przetwarzania temperatury na sygnał elektryczny. Charakter przewodności elektrycznej decyduje o przebiegu funkcji  $R=f(t)$ .

Oporniki metalowe odznaczają się dużą stałością i w przybliżeniu – liniowością, natomiast półprzewodnikowe nazywane termistorami – dużą czułością, nieliniowością oraz gorszą stałością.



## REZYSTORY PLATYNOWE

Z uwagi na wysoką dokładność i stabilność są najpowszechniej stosowane w przemyśle. Wykonane są w technologii: tradycyjnej jako rezystory walcowe ceramiczne oraz cienkowarstwowe. Do jednoczesnego pomiaru i regulacji stosuje się rezystory podwójne dwuuzwojeniowe. Dopuszczalne wartości prądu pomiarowego wynoszą od 1mA (cienka warstwa) do 5 mA (rezystor ceramiczny) i odpowiednio zakres pracy: -70 do 500°C (cienka warstwa) i -200 do 850°C (rezystor ceramiczny). Podstawowym typem rezystora jest Pt100 posiadający rezystancję 100 Ω w temperaturze 0°C; produkowane są także rezystory Pt500, Pt1000. **PN-EN 60751 + A2:1997** podaje zależności między temperaturą a rezystancją, dla rezystorów platynowych określoną na podstawie poniższych wzorów:

- w zakresie: -200°C do 0°C

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100^\circ\text{C})t^3]$$

– w zakresie : 0°C do 850°C

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

Dla platyny stosowanej w przemysłowych termometrach rezystancyjnych w powyższych równaniach przyjęto stałe o wartościach:

$$A = 3,9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

Jednym z najważniejszych parametrów opisujących charakterystykę czujnika platynowego jest współczynnik nachylenia  $\alpha$  definiowany jako:

$$\alpha = (R_{100} - R_0) / (100 \times R_0) = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Wzory pomocne przy obliczeniach dopuszczalnych odchylek oporników platynowych w poszczególnych klasach:

A	$\Delta t = \pm (0,15 + 0,002  t ) ^\circ\text{C}$
B	$\Delta t = \pm (0,30 + 0,005  t ) ^\circ\text{C}$
1/3B	$\Delta t = \pm 1/3(0,3 + 0,005  t ) ^\circ\text{C}$

#### Dopuszczalne odchyłki dla Pt100.

Temperatura	Dopuszczalne odchyłki rezystancji $\Delta R$ dla Pt100 [ $\Omega$ ]			Dopuszczalne odchyłki temp $\Delta t$ dla Pt100 [ $^\circ\text{C}$ ]		
	kl. 1/3B	kl.A	kl.B	kl. 1/3B	kl.A	kl.B
-200	0,19	0,24	0,56	0,43	0,55	1,30
-100	0,11	0,14	0,32	0,27	0,35	0,80
0	0,04	0,06	0,12	0,10	0,15	0,30
100	0,10	0,13	0,30	0,27	0,35	0,80
200	0,16	0,20	0,48	0,43	0,55	1,30
300	0,21	0,27	0,64	0,60	0,75	1,80
400	0,26	0,33	0,79	0,77	0,95	2,30
500	0,31	0,38	0,93	0,93	1,15	2,80
600	0,35	0,43	1,06	1,10	1,35	3,30
650	0,38	0,46	1,13	1,20	1,45	3,60
700			1,17			3,80
750			1,23			4,10
800			1,28			4,30
850			1,34			4,60

#### REZYSTORY NIKLOWE I MIEDZIANE

W porównaniu z platynowymi są tańsze, lecz mniej dokładne i mniej stabilne. Niewielką zaletą jest ich wyższa czułość (patrz charakterystyka)

Rezystory niklowe produkowane są jako Ni100 i Ni1000. Rezystory miedziane wytwarzane są jako Cu100 i dedykowane głównie do pomiaru temperatury średniej.

Wzory pomocne przy obliczeniach dopuszczalnych odchylek oporników niklowych w klasie B:

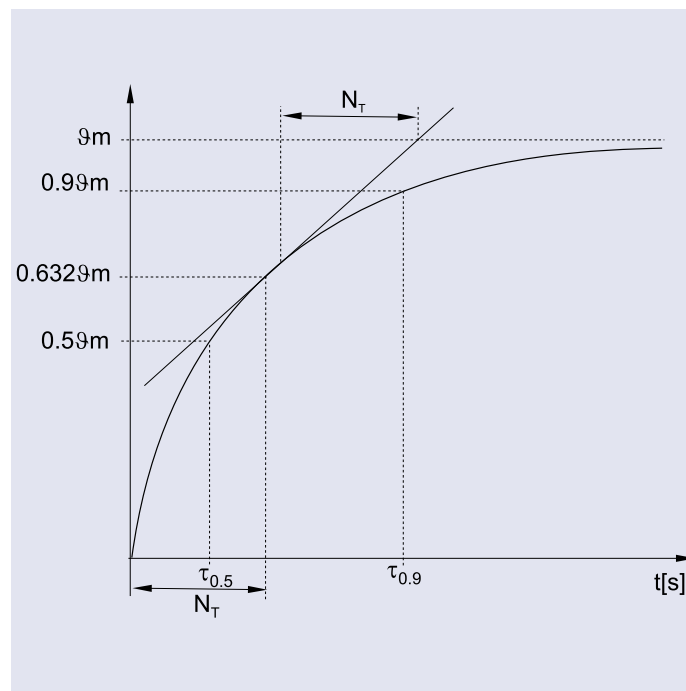
- 60 ° do 0 °C	$\Delta t = \pm (0,3 + 0,0165  t ) ^\circ\text{C}$
0 ° do 180 °C	$\Delta t = \pm (0,3 + 0,008  t ) ^\circ\text{C}$

#### WŁASNOŚCI DYNAMICZNE CZUJNIKÓW TERMOMETRYCZNYCH

W większości termometrów elektrycznych błędy dynamiczne pomiarów, są powodowane głównie bezwładnością czujników termometrycznych, która ma istotny wpływ na własności dynamiczne obiektów regulacji temperatury. Większość czujników może być w sposób uproszczony rozważana jako jednorodny walec o masie  $m$ , przewodności cieplnej  $\lambda$ , ciepłe właściwym  $c$ , powierzchni wymiany ciepła ze środowiskiem otaczającym  $F$  oraz współczynnikiem wymiany ciepła  $\alpha$ . Czujnik taki przy dostatecznie dużej wartości  $\lambda$  i dostatecznie małej średnicy walca, można traktować jako człon inercyjny I-rzędu o stałej czasowej

$$N_T = m c / F \alpha$$

Przy zanurzeniu czujnika w środowisko o temperaturze  $\vartheta_T$ , temperatura czujnika zmienia się według krzywej (rys. poniżej), z której można wyznaczyć stałą czasową  $N_T$



Odpowiedź czujnika termometrycznego na wymuszenie skokowe.

$\tau_{0,5}$  czas wartości połowicznej  
 $\tau_{0,9}$  czas dziewięciu dziesiątych

Względny dynamiczny błąd pomiaru wynosi

$$\Delta \vartheta = \vartheta_T - \vartheta_T (1 - e^{-t/N_T}) = - \exp(-t/N_T)$$

i zależy od czasu przebywania czujnika w badanym ośrodku.

Względny błąd pomiaru  $\Delta \vartheta$  w funkcji czasu  $t$  od chwili umieszczenia czujnika w badanym środowisku

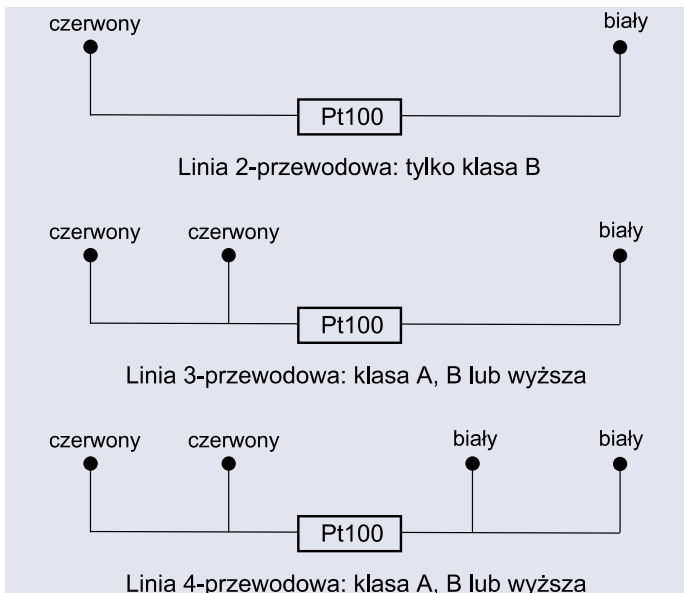
$t$	$0,693 N_T$	$N_T$	$4,6 N_T$	$6,9 N_T$	$9,2 N_T$
$\Delta \vartheta$	-1/2	-1/e	-1/100	-1/1000	-1/10000

Czasy odpowiedzi wyznaczane są w następujących warunkach (wg PN):

- **w powietrzu:**
  - prędkość przepływu: =  $3 \pm 0,3$  m/s
  - temperatura powietrza: =  $10 \pm 30$  °C
  - skok temperatury: =  $10 \pm 20$  °C
  - minimalna głębokość zanurzenia = (długość części czułej czujnika + 15 średnic)
- **w wodzie:**
  - prędkość przepływu: =  $0,4 \pm 0,05$  m/s
  - temperatura początkowa: =  $5 \pm 30$  °C
  - skok temperatury: =  $10$  °C
  - minimalna długość zanurzenia = (długość części czułej czujnika + 5 średnic)

## UKŁADY POMIAROWE

Czujniki rezystancyjne mogą być włączane do układów pomiarowych za pomocą linii 2-, 3- lub 4- przewodowej. Najczęściej stosowane jest podłączenie 2-przewodowe. Zaletą takiego podłączenia jest redukcja kosztów kabli, ale rezystancja przewodów i jej zmiana z temperaturą otoczenia powiększa błąd pomiaru. Zastosowanie linii 3- przewodowej ogranicza znacznie ten błąd, a linia 4- przewodowa eliminuje go całkowicie.



## CZUJNIKI TERMOELEKTRYCZNE

Dwa przewody z różnych metali zespawane na jednym końcu tworzą termoelement. Jeżeli spoina pomiarowa ma inną temperaturę niż wolne końce, w termoelemencie powstaje siła termoelektryczna. Jeżeli temperatura wolnych końców jest stała i znana, to wartość powstającej siły termoelektrycznej jest miarą temperatury spoiny pomiarowej. Zależność siły termoelektrycznej od temperatury spoiny pomiarowej, przy temperaturze wolnych końców stałej i równej 0°C, jest znormalizowana dla najczęściej stosowanych termoelementów.

W praktyce nie ma możliwości utrzymywać temperatury zimnych końców na stałym poziomie 0°C, konieczne jest więc kompensowanie jej wahań. Większość podstawowych obecnie przyrządów współpracujących z czujnikami termoelektrycznymi posiada obwody kompensujące.

W przypadku, gdy temperatura spoin odniesienia  $t_0$  jest różna od 0°C siłę termoelektryczną termoelementu oblicza się według wzoru  $E_t = E - E_{t_0}$  w którym:

$E_t$  – siła termoelektryczna dla  $t_0 \neq 0^\circ\text{C}$

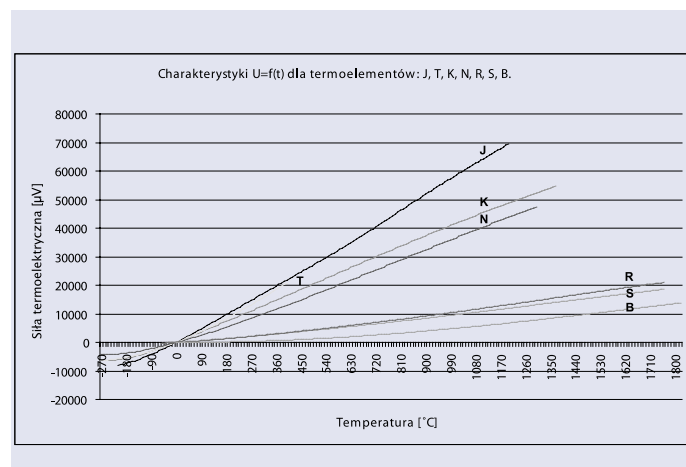
$E$  – siła termoelektryczna dla  $0^\circ\text{C} < t_0 \leq 50^\circ\text{C}$   
wg PN - EN 60854-1

$E_{t_0}$  – siła termoelektryczna spoiny odniesienia dla temperatury  $t_0$   
wg PN - EN 60854-1

Szczególne wymaganie techniczne oraz specjalne zastosowania np. medyczne, doprowadziły do opracowania termoelementów płaszczowych o niewielkich wymiarach, wysokiej rezystancji izolacji i dużej odporności na agresywne środowisko. Jednolity przewód termoelementu płaszczowego składa się z:

- dwóch przewodów (termoelektrod)
- warstwy izolacji – silnie sprasowanego proszku mineralnego (przeważnie tlenek magnezu)
- płaszczki metalowej zapewniającej osłonę mechaniczną chemicznej spoiny pomiarowej i termoelektrody.

Na jednym końcu termoelektrody są zespawane tworząc spoinę pomiarową (gorący koniec termoelementu). Zespawany jest również płaszcz termopary, aby odizolować spoinę pomiarową od wpływów zewnętrznych. Drugi koniec termoelementu jest podłączony do przewodu przedłużającego lub kompensacyjnego, bezpośrednio lub poprzez złącze wtyczka - gniazdo. Dzięki bardzo silnemu sprasowaniu warstwy izolacji i odpowiedniej strukturze metalurgicznej, zarówno termoelektrody jak i płaszczka, termoelementy są bardzo giętkie i mogą być wyginane z minimalnym promieniem krzywizny trzy razy większym od ich średnicy zewnętrznej. Przy zachowaniu pewnych środków ostrożności, promień zgięcia może być jeszcze mniejszy. Małe średnice zewnętrzne termoelementów umożliwiają pomiar temperatury nawet w miejscach dotąd niedostępnych.



## BŁĘDY POMIARU TERMOELEMENTAMI

### Błędy niejednorodności termoelementów.

Niejednorodność termoelementów może być spowodowana przez skład chemiczny lub zmianę w strukturze krystalicznej. Wewnątrz drutów termoelektrod pojawia się niepożądana SEM, która zawsze ma negatywny wpływ na dokładność pomiaru (jeśli termoelement umieszczony jest w obszarze z gradientem temperatury). Błąd zależy wtedy tak od niejednorodności, jak i od gradientu temperatury. Zmiany w strukturze drutów termoelektrod mogą powstać w czasie ich zwijania, składania lub rozciągania. Mają one charakter odwracalny. Powrót do pierwotnej struktury następuje w wyniku podgrzania termoelementu do temperatury 800°C. W celu wykrycia niejednorodności można przeprowadzić następujący eksperyment:

Spoina pomiarowa jest utrzymywana w stałej temperaturze i podłączona do miernika. Źródło ciepła jest przemieszczane wzdłuż termoelementu. Wskazania miernika nie powinny się znacząco zmieniać.

#### Błędy wynikające z niewłaściwego miejsca pomiaru.

Zasadniczo, spoina pomiarowa, która stanowi czujnik termoelementu, powinna być umieszczona w gorącej części obiektu, którego temperaturę mierzymy. Jeśli to nie jest spełnione, temperatura nie jest mierzona poprawnie. Dodatkowo, zakłócenia w polu temperatury mogą mieć ujemny wpływ na pomiar. Przewodność cieplna materiałów konstrukcyjnych takich, jak izolator, druty termoelektrod i płaszcz powoduje, że zachodzi przez nie wymiana ciepła. Jeżeli płaszcz jest w wyższej temperaturze niż spoina pomiarowa, następuje przepływ ciepła w kierunku spoiny. Tą samą drogą ciepło może odpływać od spoiny. Oba przypadki zakłócają pomiar temperatury. Poprawę można osiągnąć poprzez odpowiednią konstrukcję i zamocowanie termoelementu. Należy zapewnić tak dobrą, jak to jest możliwe, wymianę ciepła pomiędzy mierzonym obiektem a spoiną pomiarową.

#### Błędy wynikające z dryftu.

Defekty termoelementów nie wynikają wyłącznie z mechanicznych uszkodzeń czy złamań, ale także stąd, że SEM nie mieści się już w granicach tolerancji. To zjawisko, znane jako dryft, zachodzi bez żadnych zewnętrznych zmian w temperaturze i może stopniowo zmienić siłę termoelektryczną. Jedną z przyczyn dryftu, jest zanieczyszczenie drutów termoelektrod zachodzące pod wpływem temperatury.

Przykład: w termoelementach typu K przyczyną dryftu jest fakt, że w wysokich temperaturach chrom w drucie (+) utlenia się łatwiej, niż nikiel. Następuje redukcja chromu i SEM zmniejsza się. Błąd ten pojawia się często także wtedy, gdy termopara jest używana w atmosferze beztlenowej. Brak tlenu przeszkadza w utlenianiu i uformowaniu się naturalnej osłony. Pojawiający się nalot niszczy druty termoelektrod. Pomiar temperatury termoelementu typu K w atmosferze bogatej w siarkę powoduje jej oddziaływanie z drutem niklowym. Powoduje to kruchość materiału. Inną przyczyną dryftu jest zbyt gwałtowne schłodzenie termoelementu od temperatury przekraczającej 700°C. Starzenie termoelementów jest skutkiem jeszcze innych procesów, nie mających nic wspólnego z wyżej opisanymi. W tym miejscu zjawiska te nie są szczegółowo opisane, a jedynie wzmiankowane. Jako ogólną zasadę należy przyjąć, że termoelementy używane w obszarach o wysokich temperaturach, są czasowo testowane pod kątem utrzymania SEM w granicach tolerancji.

#### Błędy wynikające z niewłaściwego przewodu kompensacyjnego.

Przewód kompensacyjny jest potrzebny w celu przedłużenia termoelementu do urządzenia /stanowiska/ pomiarowego. Jego dołączenie może być przyczyną powstania błędów w pomiarach. Aby tego uniknąć należy pamiętać, że błędy SEM spowodowane są często zmianą polaryzacji kabli przy łączeniu, zastosowaniem niewłaściwego przewodu kompensacyjnego,

zbyt wysoką temperaturą otoczenia oraz niewłaściwym uziemieniem ekranowania przewodów termoelektrycznych, jeśli przechodzą one przez pole magnetyczne. Jeśli stwierdza się występowanie błędów pomiarowych, zalecane jest najpierw sprawdzenie przewodu kompensacyjnego.

#### Tolerancje termoelementów wg PN - EN 60584-2

Typ termoelementu	Klasa 1		Klasa 2	
	Zakres stosowania °C	Tolerancja °C	Zakres stosowania °C	Tolerancja °C
Cu - CuNi (T)	-40...+125 +125...+350	± 0,5 ± 0,004  t	-40...+133 +133...+350	± 1 ± 0,0075 t
NiCr - CuNi (E)	-40...+375 +375...+800	± 1,5 ± 0,004  t	-40...+333 +333...+900	± 2,5 ± 0,0075 t
Fe - CuNi (J)	-40...+375 +375...+750	± 1,5 ± 0,004  t	-40...+333 +333...+750	± 2,5 ± 0,0075 t
NiCr - Ni (K)	-40...+375 +375...+1000	± 1,5 ± 0,004  t	-40...+333 +333...+1200	± 2,5 ± 0,0075 t
NiCrSi - NiSi (N)	-40...+375 +375...+1000	± 1,5 ± 0,004  t	-40...+333 +333...+1200	± 2,5 ± 0,0075 t
PtRh 13 - Pt (R) PtRh 10 - Pt (S)	0...+1100 +1100 ...+1600	± 1 ± (1+0,003 ( t -1100))	0...+600 +600...+1600	± 1,5 ± 0,0025 t
PtRh30 - PtRh6 (B)			+600...+1700	± 0,0025 t

#### PODŁĄCZENIE CZUJNIKÓW TERMoeLEKTRYCZNYCH

Przewody kompensacyjne wykonane są z tego samego materiału, co przynależny im termoelement i mogą być stosowane w zakresie do 200°C. Przewody kompensacyjne z materiałów zastępczych składają się ze stopów, które mają identyczną charakterystykę z przynależnym termoelementem. W zakresie temperatur dopuszczalnych dla przewodów kompensacyjnych (patrz DIN 43 722), mają te same właściwości termoelektryczne jak przynależna im termopara. Materiały zastępcze są stosowane do termopar typu K i N oraz do termopar z metali szlachetnych typu R, S i B, ponieważ w tych przypadkach termopary składają się z materiałów bardzo drogich. Druty do przewodów pomiarowych i kompensacyjnych są znormalizowane w DIN 43 713. Napięcia termoelektryczne w dopuszczalnym zakresie temperatur odpowiadają napięciom termoelektrycznym dla termopar według DIN IEC 584 część 1. Odchylenia graniczne dla przewodów pomiarowych i kompensacyjnych są ustalone w DIN 43 722. Są dwie klasy dokładności. Wyższa klasa dokładności (1) jest możliwa tylko dla przewodów pomiarowych – są to przewody z materiałów oryginalnych. Klasa (2) obowiązuje zarówno dla przewodów pomiarowych jak i dla kompensacyjnych. Przewody pomiarowe i kompensacyjne odpowiadają pod względem oznaczeń barwnych normie DIN 43 722. Przewody pomiarowe w klasie dokładności 1 mogą być dostarczane na żądanie. Dla termopar typu B mogą być stosowane przewody kompensacyjne miedziane w zakresie temperatur do 100°C. Dlatego w DIN 43 722 dla tych przewodów kompensacyjnych nie przewidziano żadnych odchyień granicznych. Jeśli przewody kompensacyjne dla typu B muszą być stosowane w wyższych temperaturach, konieczne jest stosowanie specjalnego przewodu kompensacyjnego. Te przewody mogą być dostarczane na żądanie.

## MATERIAŁY OSŁON

### Materiały odporne na korozję

Ze względu na zawartość chromu stale można podzielić trzy grupy:

- stale wysoko chromowe,
- stale chromowo-niklowe,
- stale chromowo-niklowo-manganowe.

**Oznaczenie stali odpornych na korozję** (wg. PN-71/H-86020). Stale odporne na korozję oznaczają się literami określającymi składniki stopowe i liczbami za każdą literą, podającymi w procentach średnie stężenie tych dodatków w stali. Stężenie węgla określa się liczbami całkowitymi, oznaczającymi przybliżoną, średnią zawartość tego pierwiastka. Gdy stężenie jest mniejsze od 0,07%C, na początku znaku stali podaje się znak 0, gdy zaś mniejsze od 0,03%C podaje się znak 00. Pierwiastki są znakowane następująco: H - chrom, N - nikiel, Nb - niob, M - molibden, G - mangan, Cu - miedź, T - tytan, J - aluminium. Obecnie obowiązują równolegle dwie normy PN-71-H-86020 i PN-EN 10088-1 opisująca skład chemiczny i niektóre własności fizyczne stali.

**Stale wysoko chromowe** są odporne głównie na korozję chemiczną w tym na utlenianie w atmosferze powietrza, wody naturalnej, pary wodnej, na działanie zimnych roztworów alkalicznych rozcieńczonych kwasów i soli z wyjątkiem chlorków, siarczanów i jodków oraz na działanie ropy naftowej i jej par, paliw, olejów, alkoholi, a także środków spożywczych.

**Stale chromowo-niklowe** są odporne głównie na korozję elektrochemiczną w środowisku kwasów nieorganicznych i organicznych, związków azotu, roztworów soli i agresywnych środków spożywczych. Zawierają one od 18 do 25% Cr i od 8 do 20% Ni. Mają strukturę austenityczną. Najczęściej stosowana jest stal typu 18/8 zawierająca 18%Cr i 8%Ni względnie jej modyfikacje jak 0H18N9, 1H18N9, 2H18N9. Stal ta jest wybitnie odporna na korozję, nie działa na nią kwas azotowy, stężony kwas siarkowy, fosforowy i inne. W celu zwiększenia odporności na kwas siarkowy i octowy, stosuje się dodatki molibdenu w ilości od 1,5% do 2,5% np. H18N10MT, H17N13M2T. Wadą tych stali jest niestety skłonność do korozji międzykrystalicznej, która występuje przy ich nagrzaniu do temp. od 450°C do 750°C.

**Stale chromowo-niklowo-manganowe** tak jak stale chromowo-niklowe, są odporne głównie na korozję elektrochemiczną w środowisku kwasów nieorganicznych i organicznych, związków azotu, roztworów soli i agresywnych środków spożywczych. Są to stale, w których w celach oszczędnościowych częściowo zastąpiono nikiel manganem względnie azotem np. 1H17N4G9. Mają one też strukturę austenityczną, jednak ich odporność na korozję jest nieco gorsza niż stali chromowo-niklowych. W środowiskach, takich jak roztwory kwasu mlekowego, octowego i innych występujących w sokach owocowych wykazują dobrą odporność. Są one szeroko stosowane w przemyśle mleczarskim.

### Materiały żaroodporne

Od stali i stopów pracujących w wysokiej temperaturze w zakresie powyżej 600°C, wymaga się dużej żaroodporności i żarowytrzymałości. Żaroodporność to odporność stopu na działanie czynników chemicznych, głównie powietrza oraz spalin i ich agresywnych składników w temperaturze wyższej niż 600°C. Żarowytrzymałość to odporność stopu na odkształcenia, z czym wiąże się zdolność do wytrzymywania obciążeń mechanicznych w temperaturze powyżej 600°C. Podstawowym pierwiastkiem zwiększającym żaroodporność stali jest chrom. Żarowytrzymałość podwyższają pierwiastki stopowe zwiększające energię wiązania atomów w sieci roztworu stałego, a więc podwyższające temperaturę topnienia i rekrytalizacji, do których należą: Mo, W, V, Co, a także Ti, Cr i Si. Skład chemiczny i podstawowe własności stali żaroodpornych i żarowytrzymałych podaje norma PN-72/H-86022. Stale żaroodporne i żarowytrzymałe oznaczają się podobnie jak stale odporne na korozję z pominięciem stężenia węgla.

### Właściwości stali

Max. temp.	Norma/Materiał	Właściwości
800°C	DIN 1.4306 X2Cr-Ni 18.09 AISI 304L PN 00H18N10	– dobra odporność na: • kwasy organiczne w umiarkowanych temperaturach • roztwory soli np. siarczanów, siarczków i siarczynów • roztwory alkaliczne przy umiarkowanej temperaturze – dobra spawalność, nie wymagana obróbka cieplna po spawaniu
800°C	DIN 1.4404 X2CrNiM 18-10 AISI 316L	– jak wyżej – wyższa odporność na korozję w kwasach nie utleniających, jak octowy, winny, fosforowy, siarkowy i inne – podwyższona odporność na korozję wżerową – dobra spawalność, nie wymagana obróbka cieplna po spawaniu
800°C	DIN 1.4541 X6CrNiTi 18-10 AISI 321 PN 1H18N9T PN H18N10T	– dobra odporność na korozję międzykrystaliczną – także po spawaniu dobra odporność na produkty oleju ciężkiego, pary, gazy spalinowe – dobra odporność na utlenianie do 900°C – dobra odporność na dwutlenek węgla do 50°C – dobra spawalność, nie wymagana obróbka cieplna po spawaniu
800°C	DIN 1.4749 X6CrNiMoTi17122 AISI 316Ti PN 17N13M2T	– podwyższona odporność na korozję wobec niektórych kwasów – odporność na korozję wżerową, solankę i agresywne ciecze przemysłowe – dobra odporność na utlenianie do 900°C – dobra spawalność, nie wymagana obróbka cieplna po spawaniu
1150°C	DIN 1.4571 X18CrNi28 AISI 446	– wyjątkowa odporność na atmosferę redukującą zawierającą siarkę – bardzo dobra odporność na utlenianie i powietrze – dobra odporność na korozję wobec popiołów po spalaniu, ciekłą miedź, ołów i cynę – dobra spawalność metodą łukową i TIG, nie wymagana obróbka cieplna po spawaniu
1150°C	DIN 1.4841 X15CrNiSi2520 AISI 314 PN H25N20S2	– znakomita odporność na korozję w wysokich temperaturach – wystarczająca odporność w atmosferze zawierającej węgiel i siarkę w powietrzu na utlenianie do 1000°C praca ciągła (do 1150°C praca przerywana)

1200°C	DIN 1.4762 PN H24JS	- bardzo duża odporność w kontakcie z siarką - dobra odporność w kontakcie z chlorem - bardzo duża odporność na korozję
1100°C	DIN 1.4876	- bardzo duża odporność cieplna (żaroodporność) - duża wytrzymałość mechaniczna w wysokiej temperaturze - odporność na nawęglanie i azotowanie - dobra spawalność metodą łukową i TIG, nie wymagana obróbka cieplna po spawaniu
1100°C	DIN 2.4816 NiCr15Fe Inconel 600	- dobra ogólna odporność na korozję - odporność na korozję naprężeniową - bardzo dobra odporność na utlenianie - nie zalecana do atmosfery zawierającej CO <sub>2</sub> , siarkę powyżej 550°C i sód powyżej 750°C - temperatura pracy w powietrzu 1100°C
1100°C	DIN 2.4951 Nimonic 75	- bardzo duża odporność cieplna oraz na utlenianie i nawęglanie - bardzo duża odporność na gorące media gazowe - odporność na zmęczenia termiczne i udary cieplne - dobra ciągliwość nawet przy długim stosowaniu - dobra spawalność wszystkimi metodami
1200°C	HAYNES HR 160	- max. temp. pracy ciągłej 1200°C - bardzo dobra odporność w kontakcie z siarką - bardzo duża odporność na korozję - odporność w kontakcie z chlorem
1700°C	Pt10Rh	- wysoka odporność do 1300°C w warunkach utleniających - odporność do 1200°C, w obecności tlenu, siarki i krzemu - szczególna odporność na kolageny, kwasy octowe, roztwory NaCl i HCl itd. - kruchliwość po dyfuzji krzemu - powyżej 1000°C możliwa eutektyka siarkowa - wrażliwość na fosfor
1300°C	Kantal AF™	- dobra żaroodporność - dobra odporność w kontakcie z siarką - mała odporność na gazy azotowe
1700°C	Kantal Super™	- bardzo dobra żaroodporność - dobra odporność na korozję - dobra przewodność cieplna - odporność na ścieranie - mała odporność na gazy azotowe
1400°C	C 610 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 60%)	- gazoszczelność - średnia odporność na szok termiczny - dobra ogniotrwałość - mała odporność na obciążenia mechaniczne
1400°C	C 799 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 99,7%)	- gazoszczelność - bardzo dobra ogniotrwałość - odporność na kwasy i gorącą parę - mała odporność na obciążenia mechaniczne - mała odporność na szok termiczny
2200°C	Molibden, Niob, Tantal, Ren, Wolfram	- bardzo wysoka odporność w próżni, środowisku neutralnym i redukującym

## OZNACZENIE MATERIAŁÓW WG RÓŻNYCH NORM

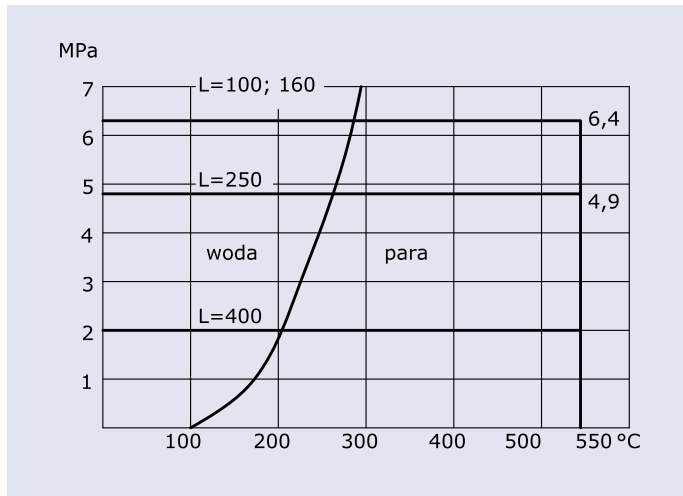
W. Nr	DIN	PN	AISI	SS	BS
1.4005	X12CrS13		416	2380	416S21
1.4006	X10CM3	1H13	410	2302	410S21
1.4016	X6Cr17	H17	430	2320	430S15
1.4021	X20Cr13	2H13	420	2303	420S37
1.4028	X30Cr13	3H13	420	2304	420S45
1.4034	X46Cr13			(2304)	(420S45)
1.4057	X20CrNi172	H17N2	431	2321	431S29
1.4104	X12CrMoS17		430 F	2383	(441S29)
1.4105	X4CrMoS18		430 F		
1.4112	X90CrMoV18		440 B		
1.4113	X6CrMo171		434		434S17
1.4122	X35CrMo17	3H17M			
1.4125	X105CrMo17	H18	440 C		
1.4301	X5CrNi1810	0H18N9	304	2332	304S16
1.4303	X5CrNi18112		305/308		305S17
1.4305	X10CrNiS189		303	2346	303S31
1.4306	X2CrNi1911	00H18N10	304 L	2352	304S11
1.4310	X12CrNi177	1H18N9	301	2331	301S22
1.4313	X5CrNi134		E 415	2384	425C11
1.4401	X5CrNiMo17122	0H17N12M2T	316	2347	316S31
1.4404	X2CrNiMo18143	00H17N14M2	316 L	2348	316S11
1.4435	X2CrNiMo13143	G0H17N14M2	316 L	2353	316S11
1.4436	X5CrNiMo17133	0H17N12M2T	316	2343	316S31
1.4460	X4CrNiMoN2752		329	2324	
1.4462	X2CrNiMoN2253		329A/F51	2377	
1.4539	X1NiCrMoCuN25	0H22N24M4Cu		2562	
1.4541	X6CrNiTi1810	0H18N19T	321	2337	321S31
1.4541		1H18N9T			
1.4550	X6CrNiNb1810	0H18N12Nb	347	2338	347S31
1.4567	X3CrNiCu189		304 K		
1.4571	X6CrNiMoTi17122	H17N13M2T	316 Ti	2350	
1.4571		H18N19MT			
1.4680	X6CrNiMoNb17122		316 CB		
1.4713	X10CrAl17				
1.4742	X10CrAl18	H18JS			
1.4762	X10CrAl24	H24JS	(446)	(2322)	
1.4828	X15CrNiSi2012	H2CN12S2	309		309S24
1.4841	X15CrNiSi2520	H25N20	314		314S25

W.Nr – skrócony numer materiału wg DIN  
DIN – Deutsche Industrie Normen  
PN – Polskie Normy  
AISI – American Iron and Steel Institute  
SS – Swedish Standard  
BS – British Standard

Powyższą tabelę należy traktować jako przybliżenie oznaczeń. Wymienność materiałów wg podanych norm względem siebie musi być sprawdzana za każdym razem.

## OBCIĄŻALNOŚĆ TYPOWYCH OSŁON

### OSŁONA TYPU GB1 I GN1



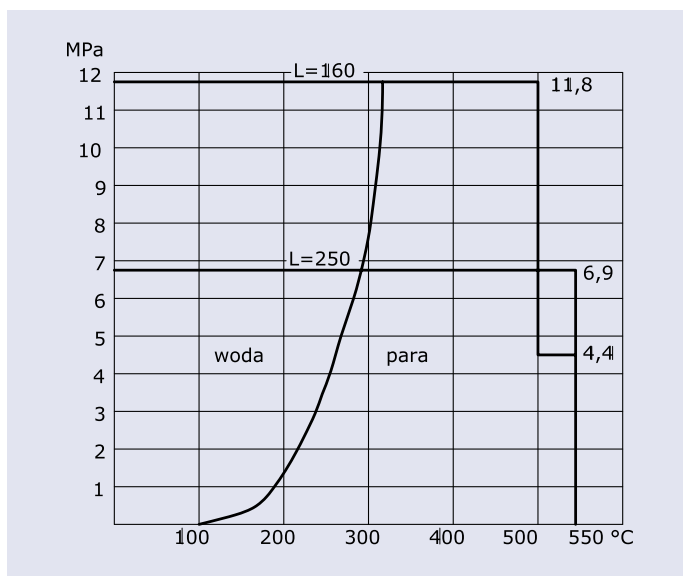
Średnica osłon czujnika:  $\varnothing 6, \varnothing 8, \varnothing 9, \varnothing 10$ mm

Dopuszczalna prędkość przepływu:

- para - 25m/s,
- woda - 3m/s

Dopuszczalny moment dokręcenia łącznika - 49Nm

### OSŁONA TYPU G1 I T1



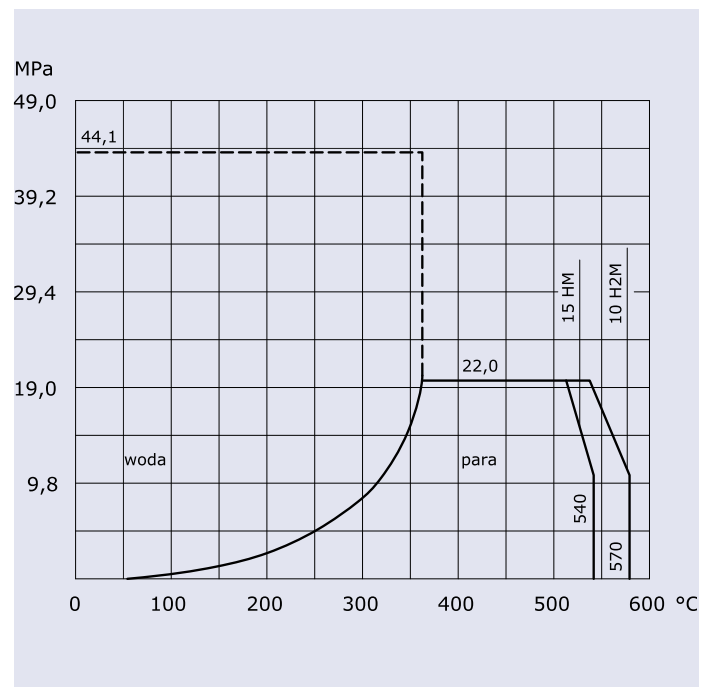
Średnica osłon czujnika:  $\varnothing 11, \varnothing 12, \varnothing 15$ mm

Dopuszczalna prędkość przepływu:

- para - 40m/s,
- woda - 5m/s

Dopuszczalny moment dokręcenia łącznika - 98Nm

### OSŁONA TYPU SW2



Dopuszczalna prędkość przepływu:

- para - 60m/s,
- woda - 5m/s

# ZALEŻNOŚĆ REZYSTANCJI R[Ω] OD TEMPERATURY T[°C] DLA POSZCZEGÓLNYCH REZY- STORÓW.

TABELA NR 1

PN - EN 60751+A2:1997

PN - 83/M-53852

PN - 83/M-53852

Pt100							
T[°C]	R[Ω]	T[°C]	R[Ω]	T[°C]	R[Ω]	T[°C]	R[Ω]
		-180	27,10	-120	52,11	-60	76,33
		-175	29,22	-115	54,15	-55	78,32
		-170	31,34	-110	56,19	-50	80,31
		-165	33,44	-105	58,23	-45	82,29
		-160	35,54	-100	60,26	-40	84,27
		-155	37,64	-95	62,28	-35	86,25
		-150	39,72	-90	64,30	-30	88,22
		-145	41,80	-85	66,31	-25	90,19
-200	18,52	-140	43,88	-80	68,33	-20	92,16
-195	20,68	-135	45,94	-75	70,33	-15	94,12
-190	22,83	-130	48,00	-70	72,33	-10	96,09
-185	24,97	-125	50,06	-65	74,33	-5	98,04

Ni100	
T[°C]	R[Ω]
-60	69,51
-55	71,83
-50	74,20
-45	76,61
-40	79,06
-35	81,55
-30	81,55
-25	81,55
-20	81,55
-15	81,55
-10	81,55
-5	81,55

Cu100	
T[°C]	R[Ω]
-60	
-55	
-50	78,70
-45	80,83
-40	82,96
-35	85,09
-30	87,22
-25	89,35
-20	91,48
-15	93,61
-10	95,74
-5	97,87

T[°C]	R[Ω]	T[°C]	R[Ω]	T[°C]	R[Ω]	T[°C]	R[Ω]	T[°C]	R[Ω]
0	100,00	200	175,86	400	247,09	600	313,71	800	375,70
5	101,95	205	177,69	405	248,81	605	315,31	805	377,19
10	103,90	210	179,53	410	250,53	610	316,92	810	378,68
15	105,85	215	181,36	415	252,25	615	318,52	815	380,17
20	107,79	220	183,19	420	253,96	620	320,12	820	381,65
25	109,73	225	185,01	425	255,67	625	321,71	825	383,13
30	111,67	230	186,84	430	257,38	630	323,30	830	384,60
35	113,61	235	188,66	435	259,08	635	324,89	835	386,08
40	115,54	240	190,47	440	260,78	640	326,48	840	387,55
45	117,47	245	192,29	445	262,48	645	328,06	845	389,02
50	119,40	250	194,10	450	264,18	650	329,64	850	390,48
55	121,32	255	195,91	455	265,87	655	331,22		
60	123,24	260	197,71	460	267,56	660	332,79		
65	125,16	265	199,51	465	269,25	665	334,36		
70	127,08	270	201,31	470	270,93	670	335,93		
75	128,99	275	203,11	475	272,61	675	337,50		
80	130,90	280	204,90	480	274,29	680	339,06		
85	132,80	285	206,70	485	275,97	685	340,62		
90	134,71	290	208,48	490	277,64	690	342,18		
95	136,61	295	210,27	495	279,31	695	343,73		
100	138,51	300	212,05	500	280,98	700	345,28		
105	140,40	305	213,83	505	282,64	705	346,83		
110	142,29	310	215,61	510	284,30	710	348,38		
115	144,18	315	217,38	515	285,96	715	349,92		
120	146,07	320	219,15	520	287,62	720	351,46		
125	147,95	325	220,92	525	289,27	725	353,00		
130	149,83	330	222,68	530	290,92	730	354,53		
135	151,71	335	224,45	535	292,56	735	356,06		
140	153,58	340	226,21	540	294,21	740	357,59		
145	155,46	345	227,96	545	295,85	745	359,12		
150	157,33	350	229,72	550	297,49	750	360,64		
155	159,19	355	231,47	555	299,12	755	362,16		
160	161,05	360	233,21	560	300,75	760	363,67		
165	162,91	365	234,96	565	302,38	765	365,19		
170	164,77	370	236,70	570	304,01	770	366,70		
175	166,63	375	238,44	575	305,63	775	368,21		
180	168,48	380	240,18	580	307,25	780	369,71		
185	170,33	385	241,91	585	308,87	785	371,21		
190	172,17	390	243,64	590	310,49	790	372,71		
195	174,02	395	245,37	595	312,10	795	374,21		

T[°C]	R[Ω]
0	100,00
5	102,77
10	105,56
15	108,39
20	111,25
25	114,14
30	117,07
35	120,02
40	123,01
45	126,03
50	129,09
55	132,18
60	135,30
65	138,47
70	141,67
75	144,91
80	148,19
85	151,50
90	154,86
95	158,27
100	161,71
105	165,20
110	168,74
115	172,32
120	175,94
125	179,62
130	183,34
135	187,11
140	190,93
145	194,79
150	198,71
155	202,67
160	206,70
165	210,80
170	214,90
175	219,00
180	223,10

T[°C]	R[Ω]
0	100,00
5	102,13
10	104,26
15	106,39
20	108,52
25	110,65
30	112,78
35	114,91
40	117,04
45	119,17
50	121,30
55	123,43
60	125,56
65	127,69
70	129,82
75	131,95
80	134,08
85	136,21
90	138,34
95	140,47
100	142,60
105	144,73
110	146,86
115	148,99
120	151,12
125	153,25
130	155,38
135	157,51
140	159,64
145	161,77
150	163,90
155	166,03
160	168,16
165	170,29
170	172,42
175	174,55
180	176,68

Pt500 = 5xPt100  
Pt1000 = 10xPt100

## ZALEŻNOŚĆ SIŁY TERMOELEKTRYCZNEJ $E_{[\mu V]}$ OD TEMPERATURY $T[^\circ C]$ DLA WYBRANYCH TERMOPAR WG PN - EN 60584-1

TABELA NR 2

T[°C]	J	K	T	N	S	R	B
-270		-6458	-6258	-4345			
-260		-6441	-6232	-4336			
-250		-6404	-6180	-4313			
-240		-6344	-6105	-4277			
-230		-6262	-6007	-4226			
-220		-6158	-5888	-4162			
-210	-8095	-6035	-5753	-4083			
-200	-7890	-5891	-5603	-3990			
-190	-7659	-5730	-5439	-3884			
-180	-7403	-5550	-5261	-3766			
-170	-7123	-5354	-5070	-3634			
-160	-6821	-5141	-4865	-3491			
-150	-6500	-4913	-4648	-3336			
-140	-6159	-4669	-4419	-3171			

T[°C]	J	K	T	N	S	R	B
-130	-5801	-4411	-4177	-2994			
-120	-5426	-4138	-3923	-2808			
-110	-5037	-3852	-3657	-2612			
-100	-4633	-3554	-3379	-2407			
-90	-4215	-3243	-3089	-2193			
-80	-3786	-2920	-2788	-1972			
-70	-3344	-2587	-2476	-1744			
-60	-2893	-2243	-2153	-1509			
-50	-2431	-1889	-1819	-1269	-236	-226	
-40	-1961	-1527	-1475	-1023	-194	-188	
-30	-1482	-1156	-1121	-772	-150	-145	
-20	-995	-778	-757	-518	-103	-100	
-10	-501	-392	-383	-260	-53	-51	

T[°C]	J	K	T	N	S	R	B
0	0	0	0	0	0	0	0
10	507	397	391	261	55	54	-2
20	1019	798	790	525	113	111	-3
30	1537	1203	1196	793	173	171	-2
40	2059	1612	1612	1065	235	232	0
50	2585	2023	2036	1340	299	296	2
60	3116	2436	2468	1619	365	363	6
70	3650	2851	2909	1902	433	431	11
80	4187	3267	3358	2189	502	501	17
90	4726	3682	3814	2480	573	573	25
100	5269	4096	4279	2774	646	647	33
110	5814	4509	4750	3072	720	723	43
120	6360	4920	5228	3374	795	800	53
130	6909	5328	5714	3680	872	879	65
140	7459	5735	6206	3989	950	959	78
150	8010	6138	6704	4302	1029	1041	92
160	8562	6540	7209	4618	1110	1124	107
170	9115	6941	7720	4937	1191	1208	123
180	9669	7340	8237	5259	1273	1294	141
190	10224	7739	8759	5585	1357	1381	159
200	10779	8138	9288	5913	1441	1469	178
210	11334	8539	9822	6245	1526	1558	199
220	11889	8940	10362	6579	1612	1648	220
230	12445	9343	10907	6916	1698	1739	243
240	13000	9747	11458	7255	1786	1831	267
250	13555	10153	12013	7597	1874	1923	291
260	14110	10561	12574	7941	1962	2017	317
270	14665	10971	13139	8288	2052	2112	344
280	15219	11382	13709	8637	2141	2207	372
290	15773	11795	14283	8988	2232	2304	401
300	16327	12209	14862	9341	2323	2401	431
310	16881	12624	15445	9696	2415	2498	462
320	17434	13040	16032	10054	2507	2597	494
330	17986	13457	16624	10413	2599	2696	527
340	18538	13874	17219	10774	2692	2796	561
350	19090	14293	17819	11136	2786	2896	596
360	19642	14713	18422	11501	2880	2997	632
370	20194	15133	19030	11867	2974	3099	669
380	20745	15554	19641	12234	3069	3201	707
390	21297	15975	20255	12603	3164	3304	746

T[°C]	J	K	T	N	S	R	B
400	21848	16397	20872	12974	3259	3408	787
410	22400	16820		13346	3355	3512	828
420	22952	17243		13719	3451	3616	870
430	23504	17667		14094	3548	3721	913
440	24057	18091		14469	3645	3827	957
450	24610	18516		14846	3742	3933	1002
460	25164	2E+05		15225	3840	4040	1048
470	25720	19366		15604	3938	4147	1095
480	26276	19792		15984	4036	4255	1143
490	26834	20218		16366	4134	4363	1192
500	27393	20644		16748	4233	4471	1242
510	27953	21071		17131	4332	4580	1293
520	28516	21497		17515	4432	4690	1344
530	29080	21924		17900	4532	4800	1397
540	29647	22350		18286	4632	4910	1451
550	30216	22776		18672	4732	5021	1505
560	30788	23203		19059	4833	5133	1561
570	31362	23629		19447	4934	5245	1617
580	31939	24055		19835	5035	5357	1675
590	32519	24480		20224	5137	5470	1733
600	33102	24905		20613	5239	5583	1792
610	33689	25330		21003	5341	5697	1852
620	34279	25755		21393	5443	5812	1913
630	34873	26179		21784	5546	5926	1975
640	35470	26602		22175	5649	6041	2037
650	36071	27025		22566	5753	6157	2101
660	36675	27447		22958	5857	6273	2165
670	37284	27869		23350	5961	6390	2230
680	37896	28289		23742	6065	6507	2296
690	38512	28710		24134	6170	6625	2363
700	39132	29129		24527	6275	6743	2431
710	39755	29548		24919	6381	6861	2499
720	40382	29965		25312	6486	6980	2569
730	41012	30382		25705	6593	7100	2639
740	41645	30798		26098	6699	7220	2710
750	42281	31213		26491	6806	7340	2782
760	42919	31628		26883	6913	7461	2854
770	43559	32041		27276	7020	7583	2928
780	44203	32453		27669	7128	7705	3002
790	44848	32865		28062	7236	7827	3078

**TABELA NR 2 – CD.**

T[°C]	J	K	T	N	S	R	B	T[°C]	J	K	T	N	S	R	B
800	45494	33275		28455	7345	7950	3154	1320		53106			13402	14911	8066
810	46141	33685		28847	7454	8073	3230	1330		53451			13523	15052	8176
820	46786	34093		29239	7563	8197	3308	1340		53795			13644	15193	8286
830	47431	34501		29632	7673	8321	3386	1350		54138			13766	15334	8397
840	48074	34908		30024	7783	8446	3466	1360		54479			13887	15475	8508
850	48715	35313		30416	7893	8571	3546	1370		54819			14009	15616	8620
860	49353	35718		30807	8003	8697	3626	1380					14130	15758	8731
870	49989	36121		31199	8114	8823	3708	1390					14251	15899	8844
880	50622	36524		31590	8226	8950	3790	1400					14373	16040	8956
890	51251	36925		31981	8337	9077	3873	1410					14494	16181	9069
900	51877	37326		32371	8449	9205	3957	1420					14615	16323	9182
910	52500	37725		32761	8562	9333	4041	1430					14736	16464	9296
920	53119	38124		33151	8674	9461	4127	1440					14857	16605	9410
930	53735	38522		33541	8787	9590	4213	1450					14978	16746	9524
940	54347	38918		33930	8900	9720	4299	1460					15099	16887	9639
950	54956	39314		34319	9014	9850	4387	1470					15220	17028	9753
960	55561	39708		34707	9128	9980	4475	1480					15341	17169	9868
970	56164	40101		35095	9242	10111	4564	1490					15461	17310	9984
980	56763	40494		35482	9357	10242	4653	1500					15582	17451	10099
990	57360	40885		35869	9472	10374	4743	1510					15702	17591	10215
1000	57953	41276		36256	9587	10506	4834	1520					15822	17732	10331
1010	58545	41665		36641	9703	10638	4926	1530					15942	17872	10447
1020	59134	42053		37027	9819	10771	5018	1540					16062	18012	10563
1030	59721	42440		37411	9935	10905	5111	1550					16182	18152	10679
1040	60307	42826		37795	10051	11039	5205	1560					16301	18292	10796
1050	60890	43211		38179	10168	11173	5299	1570					16420	18431	10913
1060	61473	43595		38562	10285	11307	5394	1580					16539	18571	11029
1070	62054	43978		38944	10403	11442	5489	1590					16658	18710	11146
1080	62634	44359		39326	10520	11578	5585	1600					16777	18849	11263
1090	63214	44740		39706	10638	11714	5682	1610					16895	18988	11380
1100	63792	45119		40087	10757	11850	5780	1620					17013	19126	11497
1110	64370	45497		40466	10875	11986	5878	1630					17131	19264	11614
1120	64948	45873		40845	10994	12123	5976	1640					17249	19402	11731
1130	65525	46249		41223	11113	12260	6075	1650					17366	19540	11848
1140	66102	46623		41600	11232	12397	6175	1660					17483	19677	11965
1150	66679	46995		41976	11351	12535	6276	1670					17600	19814	12082
1160	67255	47367		42352	11471	12673	6377	1680					17717	19951	12199
1170	67831	47737		42727	11590	12812	6478	1690					17832	20087	12316
1180	68406	48105		43101	11710	12950	6580	1700					17947	20222	12433
1190	68980	48473		43474	11827	13089	6683	1710					18061	20356	12549
1200	69553	48828		43846	11951	13228	6786	1720					18174	20488	12666
1210		49202		44218	12071	13367	6890	1730					18285	20620	12782
1220		49565		44588	12191	13507	6995	1740					18395	20749	12898
1230		49926		44958	12312	13646	7100	1750					18503	20877	13014
1240		50286		45326	12433	13786	7205	1760					18609	21003	13130
1250		50644		45694	12554	13926	7311	1770							13246
1260		51000		46060	12675	14066	7417	1780							13361
1270		51355		46425	12796	14207	7524	1790							13476
1280		51708		46789	12917	14347	7632	1800							13591
1290		52060		47152	13038	14488	7740	1810							13706
1300		52410		47513	13159	14629	7848	1820							13820
1310		52759			13280	14770	7957								