

Czujniki Termoelektryczne



Czujniki termoelektryczne są to przyrządy reagujące na zmianę temperatury zmianą siły termodynamicznej wbudowanego w nie termoelementu.

Termoelement stanowią dwa przewodniki (termoelektrody) wykonane z różnych materiałów, połączone ze sobą na jednym końcu i tworzące część układu wykorzystującego zjawisko termoelektryczne do pomiaru temperatury (zjawisko Seebecka). Zjawisko termoelektryczne polega na wytworzeniu siły termoelektrycznej (s.e.m.) na skutek różnicy temperatur między dwiema spoinami: pomiarową (połączone końce termoelementu), na którą oddziałuje mierzona temperatura i odniesienia (niepołączone wolne końce termoelektrod), która znajduje się w znanej (najczęściej 0°C) temperaturze.

Temperatura spoiny odniesienia musi być znana i stała. W przypadku kiedy spoina odniesienia nie jest dostępna, zastępuje się ją termostatem lub drugim czujnikiem.

Istnieje wiele możliwych kombinacji w doborze odpowiednich metali na druty termoelementów. Najważniejsze i najlepiej dobrane zostały znormalizowane w PN-EN 60584-1.

Termoelement		Maks. temperatura	Maks. temp. stosowania	Żyłta dodatnia	Żyłta ujemna
Fe-CuNi	J	750°C	1200°C	czarny	biały
Cu-CuNi	T	350°C	400°C	brązowy	biały
NiCr-NiAl	K	1200°C	1370°C	zielony	biały
NiCr-CuNi	E	900°C	1000°C	fioletowy	biały
NiCrSi-NiSi	N	1200°C	1300°C	różowy	biały
Pt10Rh-Pt	S	1600°C	1540°C	pomarańcz.	biały
Pt13Rh-Pt	R	1600°C	1760°C	pomarańcz.	biały
Pt30Rh-Pt6Rh	B	1700°C	1820°C	szary	biały

Tabela 1. Termoelementy wg PN-EN 60584-1

Tabela 1 przedstawia listę tych termoelementów wraz z oznaczeniami barwnymi oraz zakresami temperatur, w których są stosowane.

Maksymalna temperatura określa granicę, dla której została określona tolerancja błędów, zaś maksymalna temperatura stosowania określa granicę temperatury przedstawionej w normie w postaci maksymalnych wartości napięcia.

Oznaczenia barwne termoelementów odnoszą się jednakowo do przewodów kompensacyjnych. Poniżej zostały umieszczone wskazówki pomocne w rozpoznawaniu typu drutu termoparowego. Wskazówki te są pomocne w przypadku gdy druty termoelementów nie zostały oznaczone barwą.

Fe-CuNi: dodatki drut jest magnetyczny
Cu-CuNi: dodatki drut jest ciemniejszy
NiCr-NiAl: ujemny drut jest magnetyczny
PtRh-Pt: ujemny drut jest miękki

Wskazówki te nie odnoszą się do przewodów kompensacyjnych.

Tolerancje

Dopuszczalne tolerancje błędów czujników termoelektrycznych zostały dokładnie opisane w normie PN-EN 60584-2. Norma ta rozróżnia trzy klasy dokładności: 1, 2, 3.

W Tabeli 2 zostały przedstawione wzory na obliczanie dopuszczalnych odchyłek.

Termoelement		Klasa tolerancji	
Fe-CuNi	J	Klasa 1	-40 do +750°C: $\pm 0.004 \times t $
		Klasa 2	-40 do +750°C: $\pm 0.0075 \times t $
Cu-CuNi	T	Klasa 1	-40 do +350°C: $\pm 0.004 \times t $
		Klasa 2	-40 do +350°C: $\pm 0.0075 \times t $
		Klasa 3	-200 do +40°C: $\pm 0.015 \times t $
NiCr-NiAl	K	Klasa 1	-40 do +1000°C: $\pm 0.004 \times t $
		Klasa 2	-40 do +1200°C: $\pm 0.0075 \times t $
NiCrSi-NiSi	N	Klasa 3	-200 do +40°C: $\pm 0.015 \times t $
NiCr-CuNi	E	Klasa 1	-40 do +800°C: $\pm 0.004 \times t $
		Klasa 2	-40 do +900°C: $\pm 0.0075 \times t $
		Klasa 3	-200 do +40°C: $\pm 0.015 \times t $
Pt10Rh-Pt	S	Klasa 1	-0 do +1600°C: $\pm [1 + (t - 1100) \times 0.003]$
Pt13Rh-Pt	R	Klasa 2	-40 do +1600°C: $\pm 0.0025 \times t $
Pt30Rh-Pt6Rh	B	Klasa 2	+600 do +1700°C: $\pm 0.0025 \times t $
		Klasa 3	+600 do +1700°C: $\pm 0.005 \times t $

Tabela 2. Tolerancje wg PN-EN 60584-2

Linearyzacja

Napięcie wytwarzane w termoelementie nie jest liniowe w stosunku do temperatury i musi być linearyzowane poprzez urządzenia elektroniczne. Cyfrowe urządzenia posiadają wbudowaną linearyzację termoelementów wg obowiązujących tabel.

Charakterystyki termoelementów zostały dokładnie zdefiniowane w PN-EN 60584-1 w celu zapewnienia pełnej wymieniałości elementów. Oznacza to, że np. termoelement typu J (Fe-CuNi) można zamienić dowolnie innym termoelementem tego samego typu bez potrzeby rekaliibracji urządzenia wskazującego lub rejestrującego temperaturę.

Przewody kompensacyjne wg IEC

Oznaczenia barwne przewodów kompensacyjnych zostały określone w normie IEC 584. Według IEC 584-1 dodatnia żyła przewodu oznaczona jest tym samym kolorem co płaszcz kabla, a ujemna żyła kolorem białym.

Wyjątek stanowią termoelementy typu B (Pt30Rh-Pt6Rh), które nie mają określonego odpowiednika przewodu kompensacyjnego. W tym przypadku, do przedłużenia linii, można zastosować przewód miedziany Cu.

Dostępne przewody kompensacyjne wyprodukowane są zgodnie z normą DIN 43 714, która określa że wewnętrzne przewody powinny być skręcone dla zapewnienia ekranu elektromagnetycznego. Jako dodatkową formę ekranu stosuje się folię aluminiową lub oplot stalowy.

Rezystancja izolacji pomiędzy przewodami oraz płaszczem powinna być nie mniejsza niż $10^7 \Omega/m$ przy maksymalnej temperaturze stosowania. Więcej informacji na temat przewodów kompensacyjnych znajduje się w dziale „Przewody Kompensacyjne” tego katalogu.

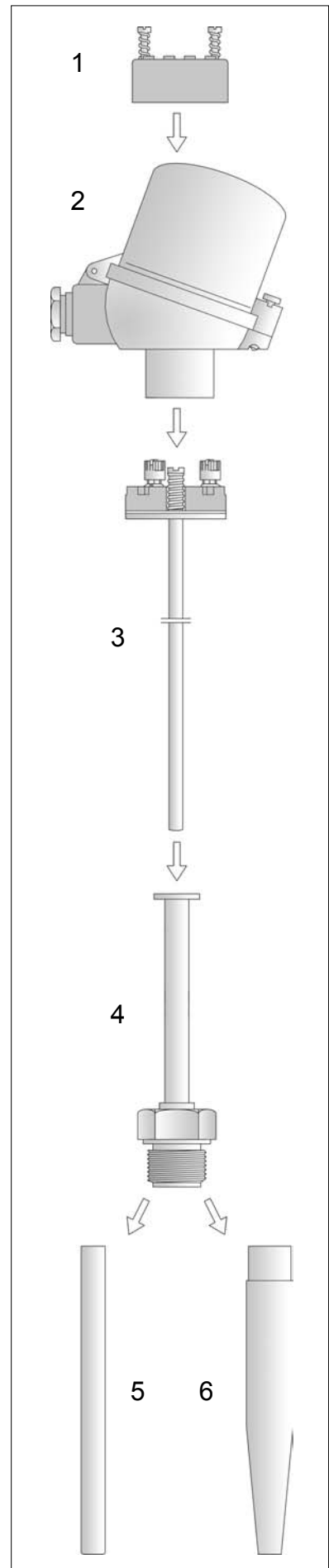
Czujniki termoelektryczne z głowicą przyłączeniową

Wykonania czujników z głowicami przyłączeniowymi stanowią konstrukcję modułową co oznacza, że składają się z elementów, które można dobierać w zależności od potrzeb.

Czujniki te zbudowane są z wkładu pomiarowego, elementu dystansowego, rury ochronnej i głowicy przyłączeniowej.

Legenda do rysunku:

- 1) – Przetwornik pomiarowy
- 2) – Głowica przyłączeniowa
- 3) – Wkład pomiarowy
- 4) – Element dystansowy
- 5) – Rura ochronna
- 6) – Osłona ciśnieniowa



Rys. 2. Schemat modułowy czujników głowicowych

Termoelement	Płaszcz	Żyła dodatnia	Żyła ujemna
Cu-CuNi	T	brązowy	biały
Fe-CuNi	J	czarny	biały
NiCr-NiAl	K	zielony	biały
NiCrSi-NiSi	N	różowy	biały
NiCr-CuNi	E	fioletowy	biały
Pt10Rh-Pt	S	pomarańcz	biały
Pt13Rh-Pt	R	pomarańcz	biały

Tabela 3. Oznaczenia barwne przewodów kompensacyjnych wg IEC 584

Wkład pomiarowy wykonany jest z przewodu płaszczowego o średnicy od 3 mm do 8 mm.

Wyjątkiem są wkłady do czujników do pomiaru wysokich temperatur (platyno-rodowe), które wykonane są z rurek ceramicznych wewnątrz których znajdują się druty termoparowe.

Wkład pomiarowy stanowi element wymienny kompletnego czujnika, co umożliwia znaczne zredukowanie kosztów modernizacji aparatury pomiarowej na obiekcie.

Sprężynujące mocowanie kostki ceramicznej zapewnia idealny docisk wkładu pomiarowego do dna zewnętrznej rury ochronnej, krótki czas reakcji, kompensację w przypadku różnic wymiarów oraz zmniejszenie drgań własnych przez obustronne ustalenie w rurze ochronnej.

Wykonania przewodowych czujników termoelektrycznych

Czujniki przewodowe używane są do pomiaru temperatury części maszyn, elementów konstrukcyjnych w przemyśle maszynowym, obrabiarkowym, w energetyce oraz w procesach przetwórstwa tworzyw sztucznych i gumy.

Oprócz nieograniczonej ilości specjalnych wykonania przewodowych czujników termoelektrycznych, istnieją standardowe wersje, które są przedstawione w tym katalogu.

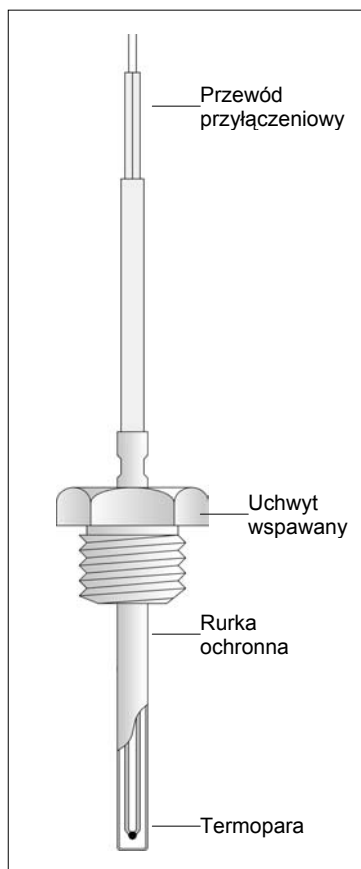
Przewodowy czujnik termoelektryczny stanowią: drut termoparowy połączony na końcach, rurka ochronna oraz przewód kompensacyjny. Wewnętrzna przestrzeń pomiędzy termoparą a ścianką rurki ochronnej wypełniona jest specjalną masą silikonową, która zapewnia bardzo dobry transfer ciepła, wysoką odporność na wibracje oraz dużą rezystancję izolacji. Maksymalna temperatura pracy krótkiego czujnika ograniczana jest poprzez rodzaj materiału izolacji przewodu kompensacyjnego.

Material	$t_{max}^{\circ}C$
PVC	80
Silikon	180
Teflon PTFE	260
Włókno szklane	350

Podstawowe właściwości techniczne dla większości czujników:

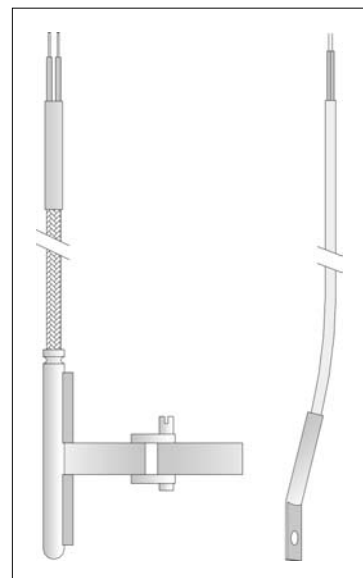
- średnica: 4-12 mm
- materiał rurki ochronnej: stal nierdzewna, kwasoodporna, mosiądz lub inny

- uchwyt: zaciskowy, gwintowany zaciskowy lub spawany.



Rys. 3. Budowa czujnika rezystancyjnego przewodowego

Czujniki termoelektryczne do pomiaru temperatury powierzchni płaskich i owalnych charakteryzują się łatwością instalacji oraz małą masą. Czujniki do powierzchni owalnych składają się z opaski zaciskowej, której średnicę można dowolnie regulować i dopasowywać do średnicy, np. rurociągu.

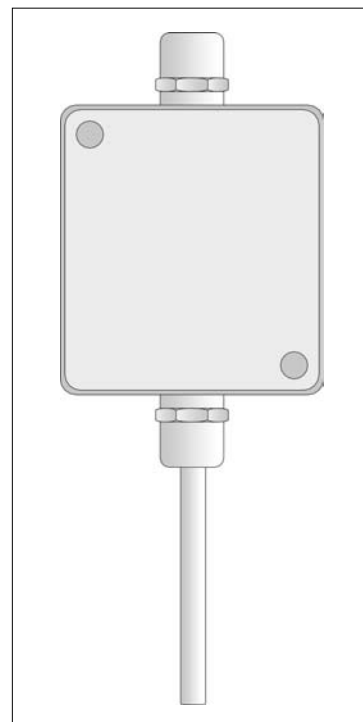


Rys. 4. Czujniki termoelektryczne do pomiaru temperatury powierzchni

Czujniki termoelektryczne do pomiaru temperatury otoczenia zbudowane są z estetycznej, plastikowej obudowy o stopniu ochrony IP 65 oraz końcówki pomiarowej (rurki ochronnej), w której znajduje się rezystor platynowy.

Istnieje możliwość montażu przetwornika pomiarowego wewnątrz obudowy plastikowej. Podłączenie przewodu przyłączeniowego odbywa się poprzez dławik PG9.

Temperatura pracy czujników wynosi od $-30^{\circ}C$ do $+85^{\circ}C$.



Rys. 5. Czujnik termoelektryczny do pomiaru temperatury otoczenia

TERMOELEMENTY Z METALI SZLACHETNYCH

Pomiary wysokich temperatur od 0°C do 1800°C mogą realizować termoelementy wykonane ze stopów szlachetnych (platyny).

Poniżej uwagi dotyczące użytkowania termoelementów ze stopów materiałów szlachetnych.

Okresowe kontrole

Powyżej 1200°C termoelementy z metali szlachetnych wykazują znakomitą odporność na utlenianie i korozję. Najbardziej popularne są termoelementy oparte na platynie, na przykład Pt10Rh-Pt (typ S) oraz Pt30Rh-Pt6Rh (typ B).

Jednakże nawet termopary typu PtRh nie mogą zapewnić niezawodnego pomiaru temperatury, szczególnie w długich okresach czasu i bez starannej kontroli, mogą wystąpić poważne błędy w odczytach lub nawet przedwczesne zniszczenie.

Źródła zanieczyszczeń

Za zmianę napięcia termoelektrycznego podczas użytkowania odpowiedzialne są trzy główne przyczyny:

- zmiana składu chemicznego w dwóch końcówkach ze względu na dyfuzję na gorącej spoinie
- zmiana składu jednej lub obu końcówek ze względu na selektywne parowanie jednego z elementów stopowych
- zmiana składu jednej lub obu końcówek ze względu na absorpcję zanieczyszczeń z otoczenia.

W związku z tym ceramika ochronna oraz atmosfera pieca są najprawdopodobniej głównymi źródłami zanieczyszczeń mających wpływ na zmianę składu chemicznego termoelementu.

Zmiana napięcia termoelektrycznego ze względu na dyfuzję wzajemną

Napięcie termoelektryczne (s.e.m.) między spoiną pomiarową a spoiną odniesienia zależy od składu chemicznego drutów termoparowych. Ponieważ termoelementy z metali szlachetnych są ogólnie stosowane w zakresie temperatur, gdzie reakcje w fazie stałej oraz procesy dyfuzji zachodzą na szeroką skalę, stałość składu drutów termoparowych nie można uważać za daną. Jednym z powodów tej niestabilności jest dyfuzja wzajemna na spoinie pomiarowej. Dyfuzję wzajemną poprzez fazę gazową w dużym stopniu zapobiega się poprzez stosowanie dodatkowych izolatorów lub osłony wewnętrznej w postaci szkła kwarcowego.

Rury ochronne

Termoelementy muszą być chronione przed takimi czynnikami jak: ciśnienie, przepływ, korozja i innymi zagrożeniami mechanicznymi oraz chemicznymi. W tym celu stosuje się rury ochronne, dzięki którym zwiększa się żywotność kompletnego czujnika. Szeroka gama dostępnych wykonania z różnych materiałów została ujednolicona. W zależności od zastosowań czujnika TERMOAPARATURA WROCŁAW oferuje szeroki asortyment rur ochronnych spełniających wymagania określonych aplikacji.

Rury ochronne z materiałów Kanthal AF™ oraz Kanthal Super™ stosowane są do temperatur 1350°C lub 1700°C, na przykład przy atmosferach korodujących powierzchnię.

Ceramyczne rury ochronne wykorzystywane są wyłącznie do pomiaru wysokich temperatur. W Tabeli 4 zostały przedstawione właściwości i zastosowania standardowych materiałów osłon ceramicznych typu C610 oraz C799.

W przypadku, gdy przedstawione materiały osłon nie spełniają wymagań aplikacji prosimy o kontakt w celu zaproponowania innych materiałów rur ochronnych.

Druty termoparowe

Średnica drutu termoparowego termoelementu zależy od wykonania czujnika i może być to: 0,35 mm lub 0,5 mm.

Standardową średnicą druta termoelementu z metalu szlachetnego przyjmuje się 0,5 mm, co zapewnia dłuższą pracę czujnika.

Inne średnice drutów dostępne są na życzenie klienta.

Material	Max. temperatura	Zalety	Wady	Aplikacje
OSŁONY METALOWE				
Kanthal AF™	1350°C	Dobra żaroodporność, dobra odporność w kontakcie z siarką.	Mała odporność na gazy azotowe.	Piece przemysłowe, przemysł petrochemiczny, komory paleniskowe, piece kąpielowe z cynkiem.
Kanthal Super™	1700°C	Bardzo dobra żaroodporność, dobra odp. na korozję, dobra przewodność cieplna, odporna na ścieranie.	Mała odporność na gazy azotowe.	Przemysł obróbki ceramiki i szkła, komory paleniskowe, gazyfikacja ciśnieniowa węgla.
OSŁONY CERAMICZNE				
C 610 Zawartość Al ₂ O ₃ : 60%	1400°C	Gazoszczelna, średnia odp. na szok temperaturowy, dobra ogniotrwałość.	Mała odporność na obciążenia mechaniczne, niska zawartość Al ₂ O ₃	Piece gazoszczelne, piece dyfuzyjne.
C 799 Zawartość Al ₂ O ₃ : 99.7%	1800°C	Gazoszczelna, bardzo dobra ogniotrwałość, odporne na kwasy, gorącą parę, wysoka giętkość.	Mała odporność na obciążenia mechaniczne, mała odporność na szok temperaturowy.	Piece gazoszczelne do 1700°C (zbiorniki z ciekłym szkłem), przemysł chemiczny, prod. cementu

Tabela 4. Właściwości wybranych materiałów osłon metalowych i ceramicznych.

Siła termoelektryczna w funkcji temperatury – skala ITS-90 (μV)

Typ S: Pt10Rh-Pt

$^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
-0	0	-53	-103	-150	-194	-236				
0	0	55	113	173	235	299	365	433	502	573
100	646	720	795	872	950	1029	1110	1191	1273	1357
200	1441	1526	1612	1698	1786	1874	1962	2052	2141	2232
300	2323	2415	2507	2599	2692	2786	2880	2974	3069	3164
400	3259	3355	3451	3548	3645	3742	3840	3938	4036	4134
500	4233	4332	4432	4532	4632	4732	4833	4934	5035	5137
600	5239	5341	5443	5546	5649	5753	5857	5961	6065	6170
700	6275	6381	6486	6593	6699	6806	6913	7020	7128	7236
800	7345	7454	7563	7673	7783	7893	8003	8114	8226	8337
900	8449	8562	8674	8787	8900	9014	9128	9242	9357	9472
1000	9587	9703	9819	9935	10051	10168	10285	10403	10520	10638
1100	10757	10875	10994	11113	11232	11351	11471	11590	11710	11830
1200	11951	12071	12191	12312	12433	12554	12675	12796	12917	13038
1300	13159	13280	13402	13523	13644	13766	13887	14009	14130	14251
1400	14373	14494	14615	14736	14857	14978	15099	15220	15341	15461
1500	15582	15702	15822	15942	16062	16182	16301	16420	16539	16658
1600	16777	16895	17013	17131	17249	17366	17483	17600	17717	17832
1700	17947	18061	18174	18285	18395	18503	18609			

Typ R: Pt13Rh-Pt

$^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
-0	0	-51	-100	-145	-188	-226				
0	0	54	111	171	231	296	363	431	501	573
100	647	723	800	879	959	1041	1124	1208	1294	1381
200	1469	1558	1648	1739	1831	1923	2017	2112	2207	2304
300	2401	2498	2597	2696	2792	2896	2997	3099	3201	3304
400	3408	3512	3616	3721	3827	3933	4040	4147	4255	4363
500	4471	4508	4690	4800	4910	5021	5133	5245	5357	5470
600	5583	5697	5812	5926	6041	6157	6273	6390	6507	6625
700	6743	6861	6980	7100	7220	7340	7461	7583	7705	7827
800	7950	8073	8197	8321	8446	8571	8697	8823	8950	9077
900	9205	9333	9461	9590	9720	9850	9980	10111	10242	10374
1000	10506	10638	10771	10905	11039	11173	11307	11442	11578	11714
1100	11850	11986	12123	12260	12397	12535	12673	12812	12950	13089
1200	13228	13367	13507	13646	13786	13926	14066	14207	11347	14488
1300	14629	14770	14911	15052	15193	15334	15475	15616	15758	15899
1400	16040	16181	16323	16464	16605	16746	16887	17028	17169	17310
1500	17451	17519	17732	17872	18012	18152	18292	18431	18571	18710
1600	18849	18988	19126	19264	19402	19540	19677	19814	19951	20087
1700	20222	20356	20488	20620	20749	20877	21003			

Siła termoelektryczna w funkcji temperatury – skala ITS-90 (μV)

Typ B: Pt30Rh-Pt6Rh

$^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	-2	-3	-2	0	2	6	11	17	25
100	33	43	53	65	78	92	107	123	141	159
200	178	199	220	243	267	291	317	344	372	401
300	431	462	494	527	561	596	632	669	707	746
400	787	828	870	913	957	1002	1048	1095	1043	1092
500	1242	1293	1344	1397	1451	1505	1561	1617	1675	1733
600	1792	1852	1913	1975	2037	2101	2165	2230	2296	2363
700	2431	2499	2569	2639	2710	2782	2854	2928	3002	3078
800	3154	3230	3308	3386	3466	3546	3626	3708	3790	3873
900	3957	4041	4127	4213	4299	4387	4475	4504	4653	4743
1000	4834	4926	5018	5111	5205	5299	5394	5489	5585	5682
1100	5780	5878	5976	6075	6175	6276	6377	5478	6580	6683
1200	6786	6890	6995	7100	4205	7311	7417	7524	7632	7740
1300	7848	7957	8068	8176	8286	8397	8508	8620	8731	8844
1400	8956	9069	9182	9296	9410	9524	9639	9753	9868	9984
1500	10099	10215	10331	10447	10563	10679	10796	10913	11029	11146
1600	11263	11380	11497	11614	11731	11848	11965	12082	12199	12316
1700	12433	12549	12666	12782	12898	13014	13130	13246	13361	13476
1800	13591	13706	13820							