

Teplota

Požadavky na teploměry:

- citlivost
- přesnost
- dynamický rozsah
- dlouhodobá stálost (bez driftu)
- malá poruchovost a snadná obsluha

Dělení teploměrů:

A. Princip tepelné roztažnosti látek

B. Elektrické teploměry

A.1. Kapalinové skleněné teploměry

A.2. Deformační – bimetalické teploměry

A.3. Plynový teploměr

B.1. Odporové snímače

B.2. Termoelektrické snímače

B.3. Polovodičové snímače

B.4. Infrateploměry

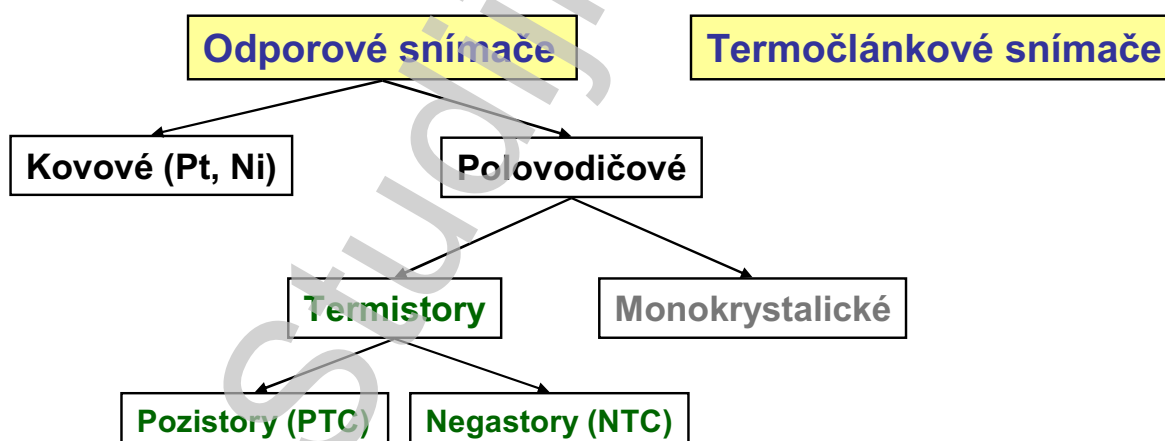
Table 6.10. Classification of temperature (T) and humidity sensors (H)

measuring device	measuring principle				application	
	therm.	electr.	optical	other	mean	turb.
psychrometer (T,H)	x	x			x	
mercury thermometer (T)	x				x	
resistance thermometer (T)		x			x	(x)
thermistor (T)		x			x	
thermocouple (T)		x			x	(x)
sonic thermometer (T)				x	x	x
hair hygrometer (H)				x	x	
capacity hygrometer (H)		x			x	
dew point hygrometer (H)		x		x	x	
infrared hygrometer (H)			x		(x)	x
ultraviolet hygrometer (H)			x			x

Table 6.11. Time constant of temperature and humidity measuring systems

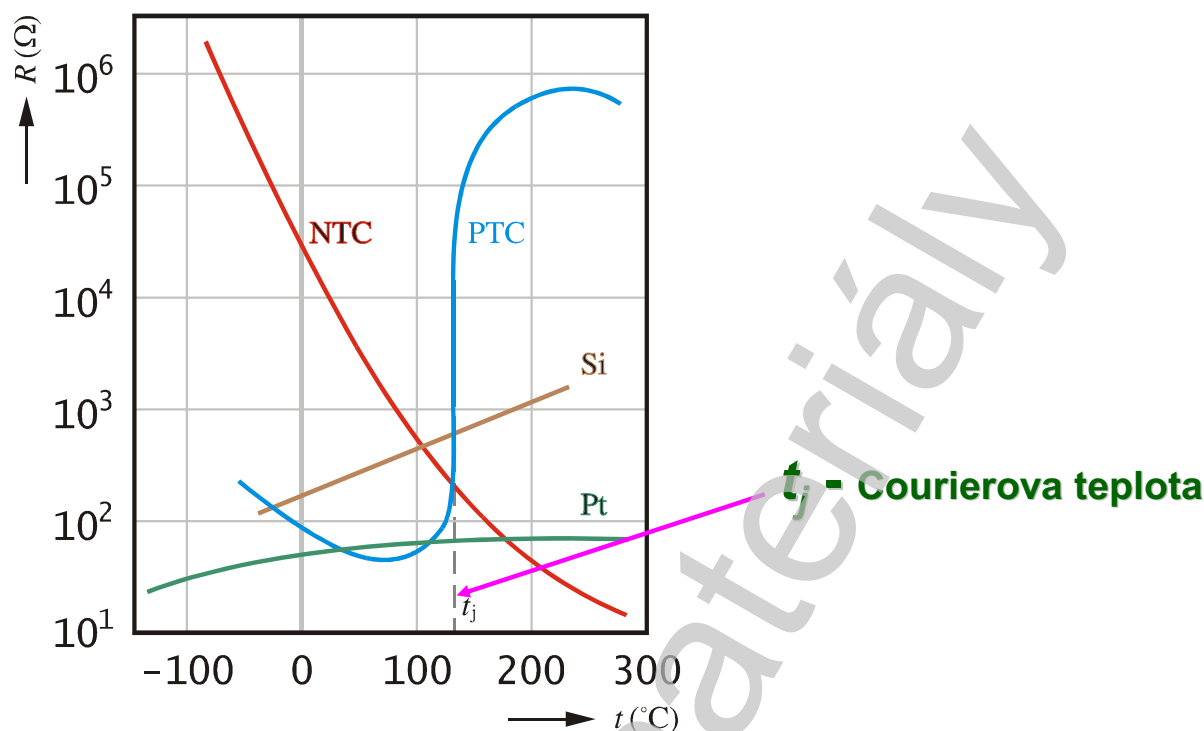
measuring device	time constant in s
sonic thermometer	< 0.01
optical humidity measuring system	< 0.01
thin resistance wires (< 20 μm)	< 0.01
thermocouples (< 20 μm)	< 0.01
thermistors	0.1–1
mercury and resistance thermometers (3–5 mm diameter)	10–30

Elektrické teploměry (snímače, senzory)



Teploměry → dotykové
→ bezdotykové

Charakteristiky vybraných odporových teploměrů



Z0075 Meteorologická měřicí technika (jaro 2010)

5

B1. Odporové teploměry (snímače)

vztah mezi změnou teploty kovu a změnou jeho elektrického odporu
„s teplotou odpor roste“

$$R_T = R_0 (1 + \alpha t)$$

R_0 – odpor při výchozí teplotě (0 °C)

t – teplota vzduchu (°C)

α – teplotní součinitel (koeficient) elektrického odporu

- pracovní rozsah 0 až 100 °C

$$R_T = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$$

α, β – teplotní součinitelé (koeficienty) elektrického odporu

- pracovní rozsah větší než 0 až 100 °C

Teplotní součinitel odporu α

- průměrný přírůstek el. odporu při změně teploty o 1 K

(1 °C) v rozsahu 0 °C až 100 °C

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \frac{\Delta R}{\Delta t} = \frac{1}{R_0} \frac{R_{100} - R_0}{100}$$

Z0075 Meteorologická měřicí technika (jaro 2010)

6

VLASTNÍ SNÍMAČ

- kovový vodič stejnorodého chemického složení a stálých fyzikálních vlastností (platina, nikl,...)
- jeho odpor je 100 ohmů při teplotě 0 °C (Pt100, Ni100)

Výhody

- dostatečná přesnost vs. lineární závislost

Nevýhody

- malá citlivost
- malý dynamický rozsah
- velký rozměr → zpoždění, expozice senzoru

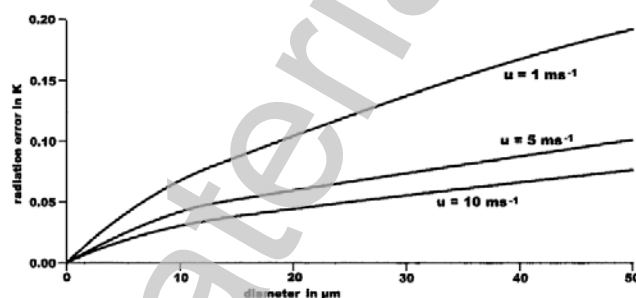
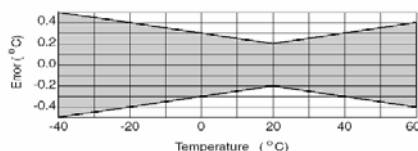


Temperature Sensor

1000 Ω PRT, IEC 751 1/3 Class B

Temperature Measurement Range: -40°C to +60°C

Temperature Accuracy:



Radiation error of thin platinum wires for $K_1 = 800 \text{ W m}^{-2}$ and $a = 0.5$ (Foken 1979)

Závislost elektrického odporu čidla (Pt100) na jeho teplotě

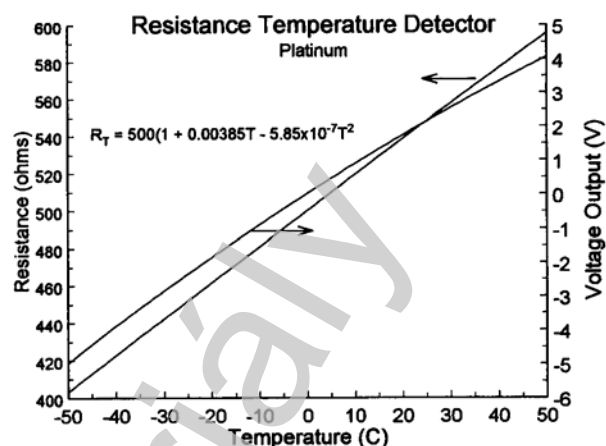
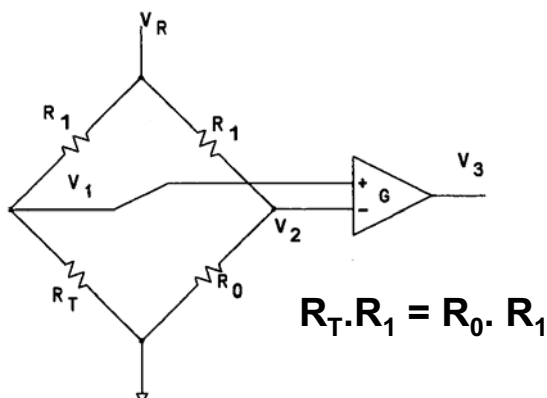
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ELEKTRICKÝ ODPOR ČIDLA (v ohmech)										
-40	84,27	84,67	85,06	85,46	85,85	86,25	86,64	87,04	87,43	87,83
-30	88,22	88,62	89,01	89,40	89,80	90,19	90,59	90,98	91,37	91,77
-20	92,16	92,55	92,95	93,34	93,73	94,12	94,52	94,91	95,30	95,69
-10	96,09	96,48	96,87	97,26	97,65	98,04	98,44	98,83	99,22	99,61
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,28
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	113,99	114,38	114,78	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,85	118,24	118,62	119,01
50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86
60	123,24	123,62	124,01	124,39	124,77	125,16	125,54	125,92	126,31	126,69
70	127,07	127,45	127,84	128,22	128,60	128,98	129,37	129,75	130,13	130,51
80	130,89	131,27	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,56	133,94	134,32
90	134,70	135,08	135,46	135,84	136,22	136,60	136,98	137,36	137,74	138,12

Maximal differences for 100 Ω platinum resistance thermometers (DIN-EN 1996)

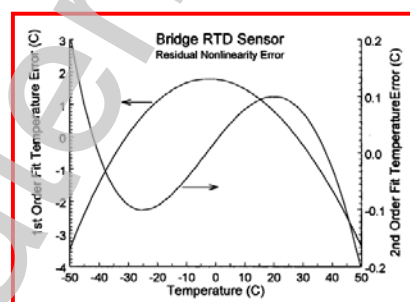
temperature °C	maximal difference			
	class A		class B	
	K	Ω	K	Ω
-100	± 0.35	± 0.14	± 0.8	± 0.32
0	± 0.15	± 0.06	± 0.3	± 0.12
100	± 0.35	± 0.13	± 0.8	± 0.30

Linearizace výstupu odporového snímače

- můstkové zapojení odporů = Withsonův můstek
- měřicí čtvrt-můstek nebo úplný můstek



- linearizace závislosti mezi teplotou a odporem
- převod odporu na napětí
- zesílení signálu (zvětšení citlivosti snímače)



Vliv odporu přívodních vodičů

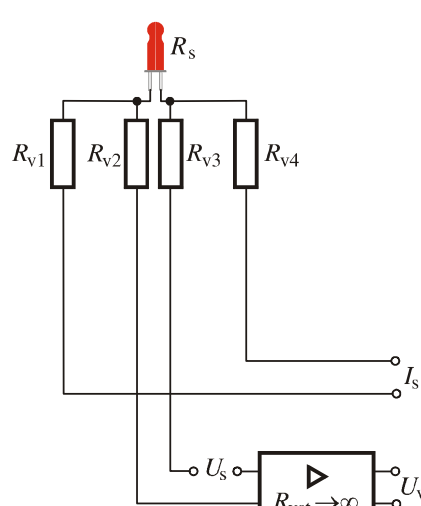
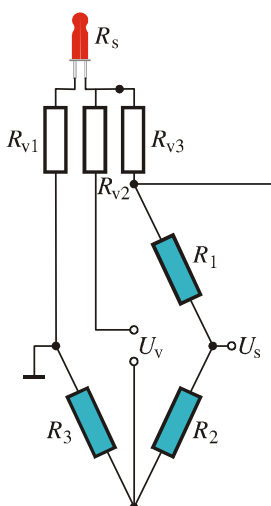
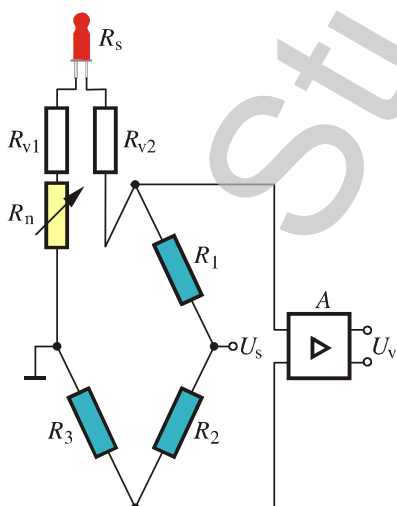
Způsob zapojení 1) dvojvodičové

2) třívodičové

3) čtyřvodičové (Thomsonovo zapojení)

4) třívodičové v aktivním můstku

Platinový odporový snímač Pt-100 = standardně doporučeno třívodičové zapojení



Termistory

- teplotní součinitel α vyšší než u kovů větší citlivost
- většinou **záporný** součinitel $\alpha \rightarrow$ **negastory**

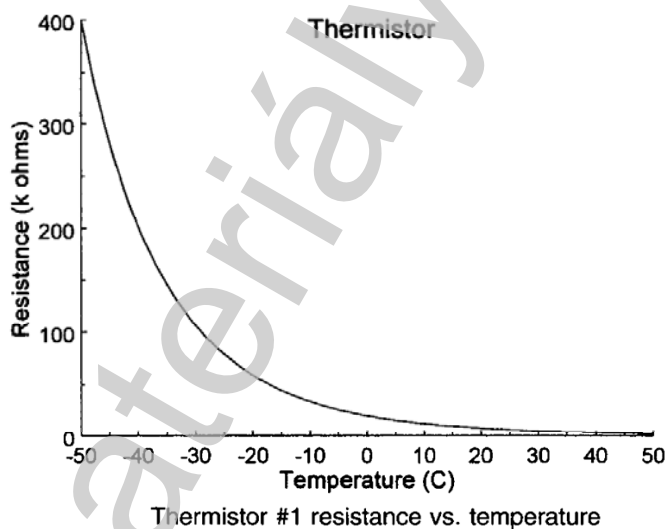
Negastory (**NTC** = Negative Temperature Coefficient) mají v praxi větší využití než pozistory. Jejich teplotní závislost je vyjádřena exponenciální funkcí:

$$R = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

R je odpor termistoru při teplotě T (K)

R_0 je odpor termistoru při teplotě T_0 (K)

B je **materiálová konstanta** závislá na teplotě T ,
složení a zpracování materiálu snímače

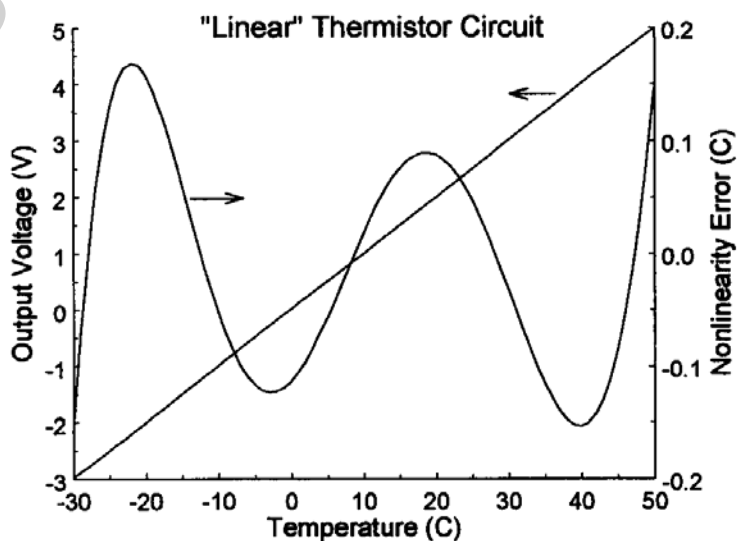


Termistory

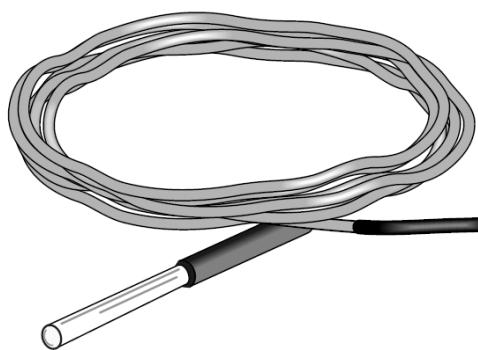
- použití: **termistorová perla**
nejčastěji v **radiosondách**



Výhody, nevýhody



Termistory



Sensor: BetaTherm 100K6A Thermistor

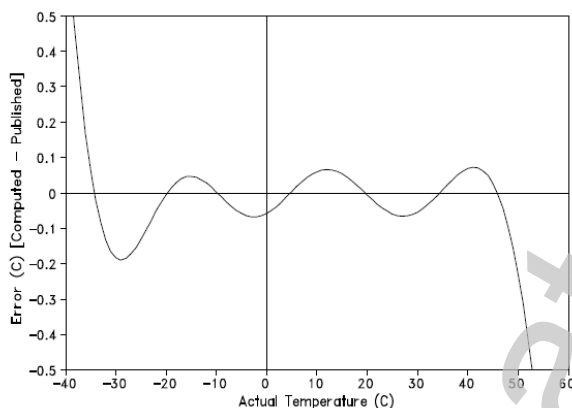
Temperature
Measurement Range: -35° to $+50^{\circ}\text{C}$

Thermistor Inter-
changeability Error: Typically $<\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ over 0°C to 60°C ; ± 0.4 @ -35°C

Temperature
Survival Range: -50°C to $+100^{\circ}\text{C}$

Polynomial
Linearization Error: $<\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ over -35°C to $+50^{\circ}\text{C}$

Time Constant
In Air: Between 30 and 60 seconds in a wind speed of 5 m s^{-1}



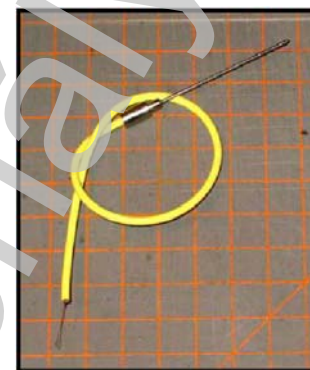
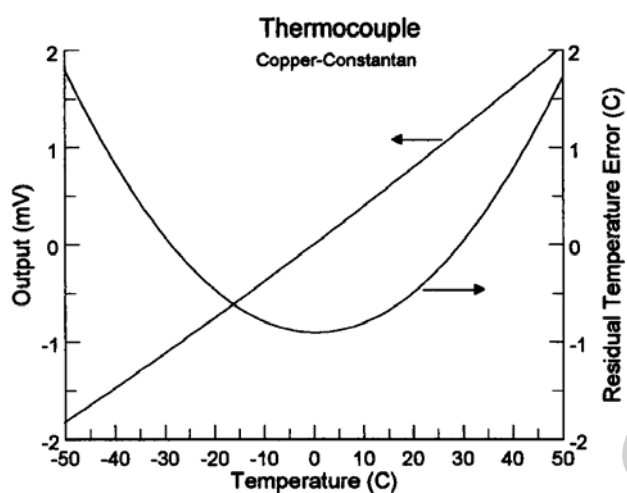
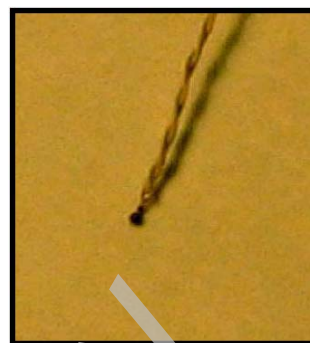
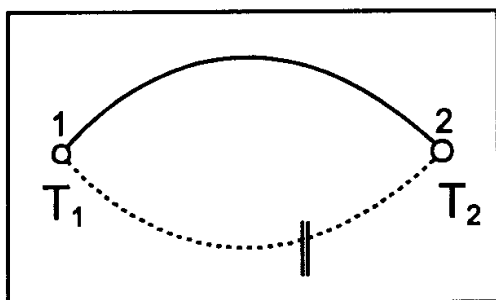
B2. Termoelektrické snímače (termočlánky)

termoelektrický jev – elektromotorická síla
Seebeckův jev x Peltierův jev

termoelektrická řada Cu-Co, Fe-Co, Ni-Fe,... (typ T, J, K,...)

miniaturní, velmi přesné, velký dynamický rozsah
malé výstupní napětí

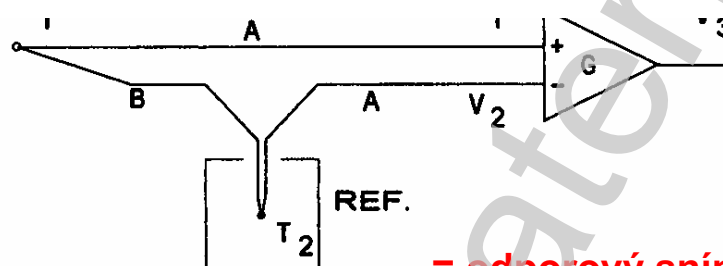
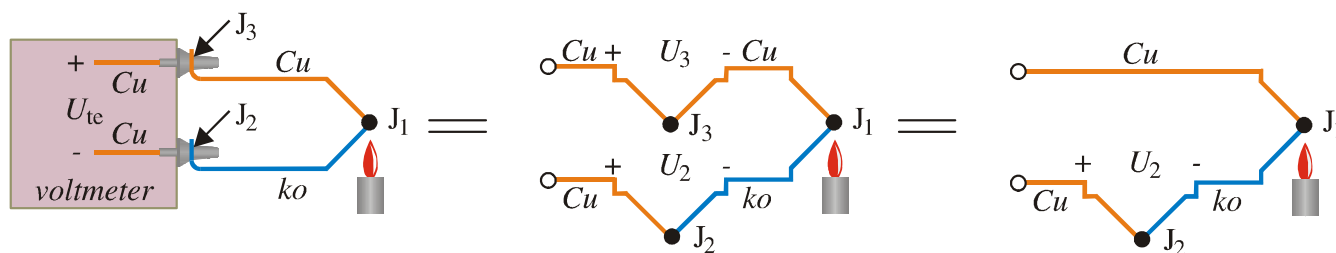
Označení termočlánku dle IEC 584	Původní označení	Měřicí rozsah [$^{\circ}\text{C}$]
T	Cu-CuNi, Cu-ko	- 200 až 350
J	Fe-CuNi	- 200 až 750
E	NiCr-CuNi, ch-ko	- 100 až 900
K	Ni-Cr-Ni, ch-a	- 200 až 1200
N	NiCrSi-NiSi	- 200 až 1200
S	PtRh10-Pt	0 až 1600
R	PtRh13-Pt	0 až 1600
B	PtRh30-PtRh6	300 až 1700



Referenční tabulky termočláunku typu „J“

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
TERMOELEKTRICKÉ NAPĚTÍ V MILIVOLTECH										
-40	-1,960	-2,008	-2,055	-2,102	-2,150	-2,197	-2,244	-2,291	-2,338	-2,384
-30	-1,481	-1,530	-1,578	-1,626	-1,674	-1,722	-1,770	-1,818	-1,865	-1,913
-20	-0,995	-1,044	-1,093	-1,141	-1,190	-1,239	-1,288	-1,336	-1,385	-1,433
-10	-0,501	-0,550	-0,600	-0,650	-0,699	-0,748	-0,798	-0,847	-0,896	-0,945
0	0,000	-0,050	-0,101	-0,151	-0,201	-0,251	-0,301	-0,351	-0,401	-0,451
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TERMOELEKTRICKÉ NAPĚTÍ V MILIVOLTECH										
0	0,000	0,050	0,101	0,151	0,202	0,253	0,303	0,354	0,405	0,456
10	0,507	0,558	0,609	0,660	0,711	0,762	0,813	0,865	0,916	0,967
20	1,019	1,070	1,122	1,174	1,225	1,277	1,329	1,381	1,432	1,484
30	1,536	1,588	1,640	1,693	1,745	1,797	1,849	1,901	1,954	2,006
40	2,058	2,111	2,163	2,216	2,268	2,321	2,374	2,426	2,479	2,532
50	2,585	2,638	2,691	2,743	2,796	2,849	2,902	2,956	3,009	3,062
60	3,115	3,168	3,221	3,275	3,328	3,381	3,435	3,488	3,542	3,595
70	3,649	3,702	3,756	3,809	3,863	3,917	3,971	4,024	4,078	4,132
80	4,186	4,239	4,293	4,347	4,401	4,455	4,509	4,563	4,617	4,671
90	4,725	4,780	4,834	4,888	4,942	4,996	5,050	5,105	5,159	5,213
100	5,268	5,322	5,376	5,431	5,485	5,540	5,594	5,649	5,703	5,758
110	5,812	5,867	5,921	5,976	6,031	6,085	6,140	6,195	6,249	6,304
120	6,359	6,414	6,468	6,523	6,578	6,633	6,688	6,742	6,797	6,852
130	6,907	6,962	7,017	7,072	7,127	7,182	7,237	7,292	7,347	7,402
140	7,457	7,512	7,567	7,622	7,677	7,732	7,787	7,843	7,898	7,953

Zapojení termočlánků



= odporový snímač Pt100

Příklad použití termočlánekových teploměrů



B3. Polovodičové snímače

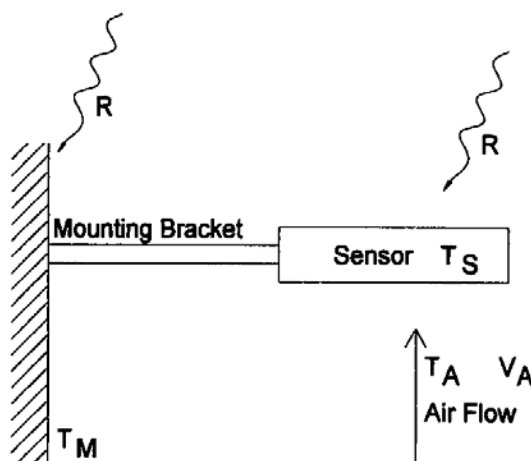
diody, tranzistory, integrované obvody

vždy je využíváno teplotní závislosti napětí na přechodu polovodiče

malý dynamický rozsah

$$U_b = k \cdot T \text{ [V; K]}$$

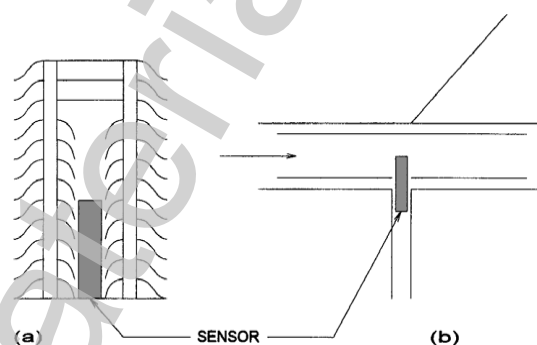
Simple model of heat transfer by conduction, convection, and radiation



Radiační stínítka pro senzory

- chrání před tepelnými účinky slunečního záření
- musí umožňovat dobrou ventilaci

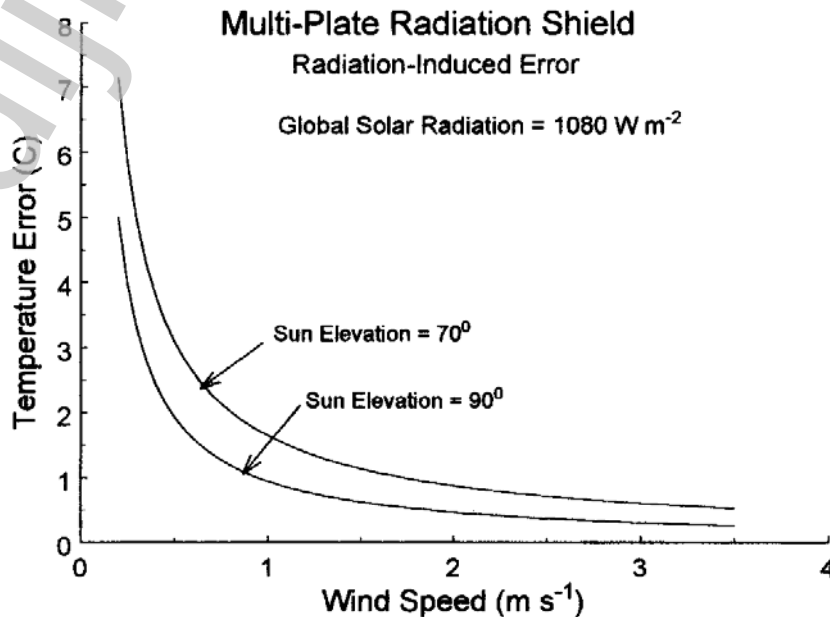
A. Přirozená ventilace



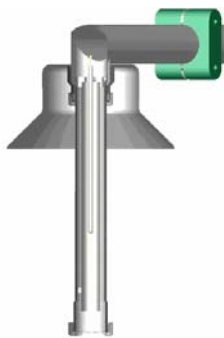
Multi-Plate Radiation Shield

Radiation-Induced Error

Global Solar Radiation = 1080 W m^{-2}



B. Umělá ventilace



Bezdotykové teploměry

- měření bezdotykovými teploměry je založeno na vyhodnocování **tepelného elektromagnetického záření** těles
- každé těleso, jehož teplota je vyšší než 0 K vyzařuje tepelné elektromagnetické záření
- vysílané tepelné záření je složeno z různých vlnových délek
- pro bezdotykové měření teplot se využívá záření **od 0,4 μm do 25 μm vlnové délky**
- uvedený rozsah záření pokrývá **měření teploty od - 40 °C do 10 000 °C**
- tento rozsah záření spadá částečně do viditelného spektra (0,4 až 0,78) μm a dále do infračerveného spektra
- bezdotykové teploměry se označují jako **pyrometry** nebo **IF-teploměry**

Infrateploměry - příklady



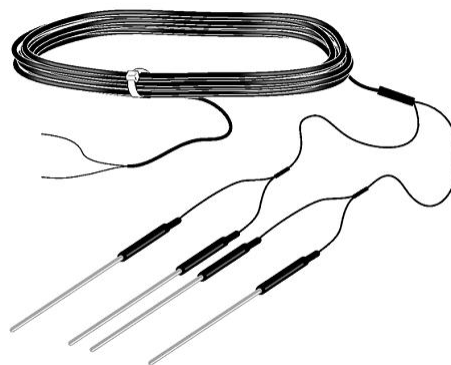
Teplota půdy – druhy teploměrů

3B. odporové půdní teploměry

- čidlo chráněné pouzdrem
- umístění teploměru ve vodorovné poloze
- náročnější instalace, přesnější, velká životnost



Model 107B (c) 2001 Campbell Scientific (Canada) Corp.



Model TCAV-L © 2003 Campbell Scientific, Inc.