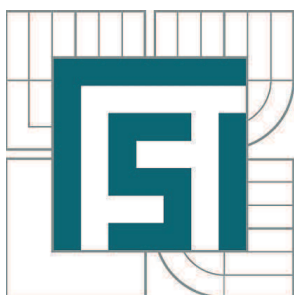


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

SROVNÁNÍ SENZORŮ PRO MĚŘENÍ TEPLoty

COMPARISON OF SENSORS FOR TEMPERATURE MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ROMAN CHALOUPKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. MARTIN BILÍK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Roman Chaloupka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Srovnání senzorů pro měření teploty

v anglickém jazyce:

Comparison of sensors for temperature measurement

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je koncipována jako rešerše v oblasti senzoriky.

Cíle bakalářské práce:

Teoretický rozbor zadané problematiky.

Rešerše možností měření teploty.

Porovnání jednotlivých variant z hlediska využitelnosti.

Ukázka praktického využití.

Seznam odborné literatury:

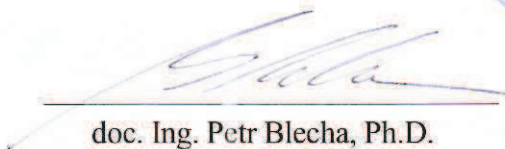
www stránky výrobců senzorů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. et Ing. Martin Bilík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

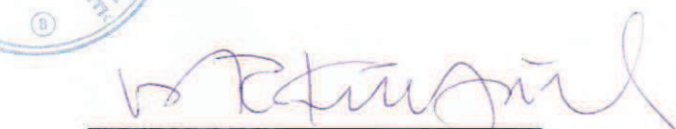
V Brně, dne 16.12.2012






doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.

Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 3
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ANOTACE

Tato práce se zabývá problematikou v oblasti tepelných senzorů. Začátek práce definuje základní pojmy. Následuje rozdělení, popsání provedení a principu dotykových senzorů s elektrickým výstupem. Okrajově zmíněny jsou i ostatní dotykové senzory. Dále je popsán princip pyrometrie a bezdotykových senzorů. Na závěr je praktická ukázka bezdotykového měření teploty.

Klíčová slova


Teplota, měření teploty, teplotní senzor

ANNOTATION

This work deals with temperature sensors. Basic terms are defined at the beginning of work. The following are distribution, description of construction and principle of touch sensors with electrical output. Other touch sensors are marginally described. Further is described principle of pyrometry and contactless sensors. In conclusion, work contains practical example of contactless temperature measurement.


Key words

Temperature, temperature measurement, temperature sensor

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 4
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHALOUPKA, R. *Srovnání senzorů pro měření teploty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. et Ing. Martin Bilík


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Srovnání senzorů pro měření teploty“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

22. května 2013

.....
Roman Chaloupka

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	





PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. et Ing. Martinu Bilíkovi za odborné vedení, poskytnutou pomoc a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

ANOTACE	3
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ	9
1.1 Teplota	9
1.2 Teplo	9
1.3 Teplotní stupnice.....	9
1.4 Senzor teploty	10
1.4.1 Rozdělení teplotních senzorů	10
2 DOTYKOVÉ TEPLOTNÍ SENZORY	10
2.1 Odporové kovové senzory	10
2.1.1 Platinové	11
2.1.2 Niklové	12
2.1.3 Měděné.....	13
2.1.4 Provedení odporových kovových senzorů	13
2.2 Odporové polovodičové senzory	14
2.2.1 Termistory.....	14
2.2.1.1 Negastory (NTC termistory).....	14
2.2.1.2 Pozistory (PTC termistory)	15
2.2.2 Monokrystalické Si senzory	16
2.3 Monolitické PN senzory	16
2.4 Termoelektrické senzory	17
2.4.1 Seebeckův jev	17
2.4.2 Typy termočlánků	17
2.4.3 Části měřícího řetězce	19
2.4.4 Konstrukční uspořádání termoelektrických snímačů.....	19
2.5 Speciální dotykové senzory teploty	21
2.5.1 Optické vláknové (optovláknové) senzory teploty	21
2.5.2 Akustické senzory teploty	21
2.5.3 Krystalové senzory teploty.....	21
2.5.4 Magnetické senzory teploty	21
2.5.5 Šumové senzory teploty	21
2.5.6 Teplotní senzory SAW	21
3 BEZDOTYKOVÉ SENZORY TEPLoty	22
3.1 Pyrometrie, zákony záření	22
3.2 Černé těleso, černý zářič	22
3.3 Emisivita.....	23

3.4	Detektory tepelného záření	23
3.4.1	Tepelné detektory infračerveného záření	23
3.4.1.1	Termoelektrické detektory	23
3.4.1.2	Bolometrické, mikrobolometrické detektory	24
3.4.1.3	Pyroelektrické detektory	25
3.4.2	Kvantové detektory infračerveného záření	25
3.4.2.1	Fotorezistor	25
3.4.2.2	Fotodioda	26
3.5	Pyrometry	26
3.5.1	Úhrnné pyrometry	27
3.5.2	Monochromatické pyrometry	27
3.5.3	Pásmové pyrometry	27
3.5.4	Poměrové pyrometry	27
3.5.5	Pyrometry s automatickou korekcí emisivity	28
3.5.6	Jasové pyrometry	28
3.5.7	Pyrometry s optickými vlnovody	28
3.6	Termografie	28
3.6.1	Termogram	28
3.6.2	Termokamera (termovize)	29
3.7	Nejistoty při bezdotykovém měření teploty	30
3.7.1	Neznalost správné hodnoty emisivity povrchu tělesa	30
3.7.2	Neznalost správné hodnoty propustnosti prostředí	30
3.7.3	Nepřesná korekce odraženého záření z okolního prostředí	30
3.7.4	Špatné zaměření měřeného objektu	31
4	SROVNÁNÍ SENZORŮ TEPLoty	31
4.1	Vlastnosti dotykových senzorů teploty	31
4.2	Použití dotykových senzorů teploty	33
4.3	Výhody, nevýhody a použití bezdotykového měření teploty	33
5	PRAKTICKÁ UKÁZKA	34
5.1	Popis měření	34
5.2	Měřicí technika	34
5.3	Ukázky z měření	35
	ZÁVĚR	37
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	38

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ÚVOD

Teplota je jednou z nejčastěji měřených veličin vůbec a patří mezi základní stavové veličiny a jednotky soustavy SI. Znalost teploty je důležitá ve všech oblastech lidské činnosti, měření teploty patří mezi základní diagnostické úkony. Měření teploty nás obklopuje na každém kroku, ať je to pro zjištění teploty v místnosti, ochranu zařízení proti přehřátí nebo pro změření teploty pacienta.

U snímačů teploty se odvozuje teplota z citlivosti na změnu fyzikální veličiny, teplota se tedy nedá měřit přímo, čili se jedná o měření nepřímé. Nejrozšířenější jsou snímače teploty s elektrickým výstupem (např. odporové, termoelektrické). Snímače s neelektrickým výstupem jsou však stále hojně rozšířeny (např. kapalinové dilatační).

Historicky první teploměr, takzvaný vzduchový termoskop, vynalezl Galileo Galilei roku 1606 a je založen na teplotní roztažnosti vzduchu. První kapalinový teploměr, s vodou jako teploměrnou látkou, vynalezl roku 1631 Jean Rey. Voda však nebyla vhodnou teploměrnou látkou. Roku 1641 tak toskánský velkovévoda Ferdinand II. sestrojil první lihový teploměr. Počátky senzorů teploty s elektrickým výstupem se datují do 19. století. Kolem roku 1800 objevil Sir William Herschel infračervené záření. Thomas J. Seebeck v roce 1821 objevil termoelektrický jev a v témže roce objevil Sir Humphrey Davy závislost elektrického odporu kovů na teplotě.

1 DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ

1.1 Teplota

„Teplota je stavová veličina určující stav termodynamické rovnováhy tj. stav, kdy v izolované soustavě těles od okolního prostředí neprobíhají žádné makroskopické změny a všechny fyzikální veličiny, jimiž je stav soustavy popsán, nezávisí na čase. Stav termodynamické rovnováhy bývá charakterizován termodynamickou teplotou, která musí být stejná pro všechny části izolované soustavy.“ [1, s.15]

1.2 Teplo

„Teplo je fyzikální veličinou popisující změnu termodynamického stavu systému, nikoli stav samotný. Teplo je míra změny vnitřní energie systému při styku s jiným systémem, aniž by přitom docházelo ke konání práce.“ [2] „Teplo je forma energie související s pohybem dané soustavy těles.“ [1, s.15]

1.3 Teplotní stupnice

- „Termodynamická (Kelvinova)
 - stupnice je určena dvěma pevnými body:
 - absolutní nula – ustává termický pohyb elementárních částic

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- *trojný bod vody – rovnovážný stav mezi skupenstvími*
- *základní jednotkou je Kelvin[K] – 273,16-tá část termodynamické teploty trojného bodu*
- *Mezinárodní teplotní stupnice ITS-90 (International Temperature Scale)*
 - *vznik v roce 1927 (Celsiova), postupně upravována (naposledy 1990)*
 - *definována 17 pevnými body (trojné body, body tání, tuhnutí)“ [3, s.2]*

1.4 Senzor teploty

Senzor teploty je vstupní člen měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Senzor teploty se také označuje pojmy snímač teploty (součást obsahující teplotní čidlo), teplotní čidlo (převádí teplotu na jinou fyzikální veličinu), detektor tepelného záření nebo teploměr (zařízení k měření teploty). [1]

1.4.1 Rozdělení teplotních senzorů

- *„podle fyzikálního principu*
 - *odporové*
 - *polovodičové s p-n přechodem*
 - *termoelektrické*
 - *optické*
 - *dilatační*
 - *krystalové, radiační, chemické, šumové, akustické, magnetické, kapacitní, aerodynamické, SAW*
- *podle styku s měřeným prostředím*
 - *dotykové*
 - *bezdotykové*
- *podle transformace signálu*
 - *aktivní*
 - *pasivní“ [4, s.4-5]*

2 DOTYKOVÉ TEPLTNÍ SENZORY

2.1 Odporové kovové senzory

Odporové kovové senzory teplot jsou postaveny na principu změny elektrického odporu v závislosti na teplotě. Atomy krystalové mřížky kovu s rostoucí teplotou zvyšují amplitudu svých kmitů a kladou tak větší odpor průchodu elektronů. Elektrický odpor je v závislosti na teplotě nelineární.

Vlastnosti odporových kovových senzorů lze popsat následujícími parametry:

R_0 – elektrický odpor při 0°C, základní odpor

R_{100} – elektrický odpor při 100°C

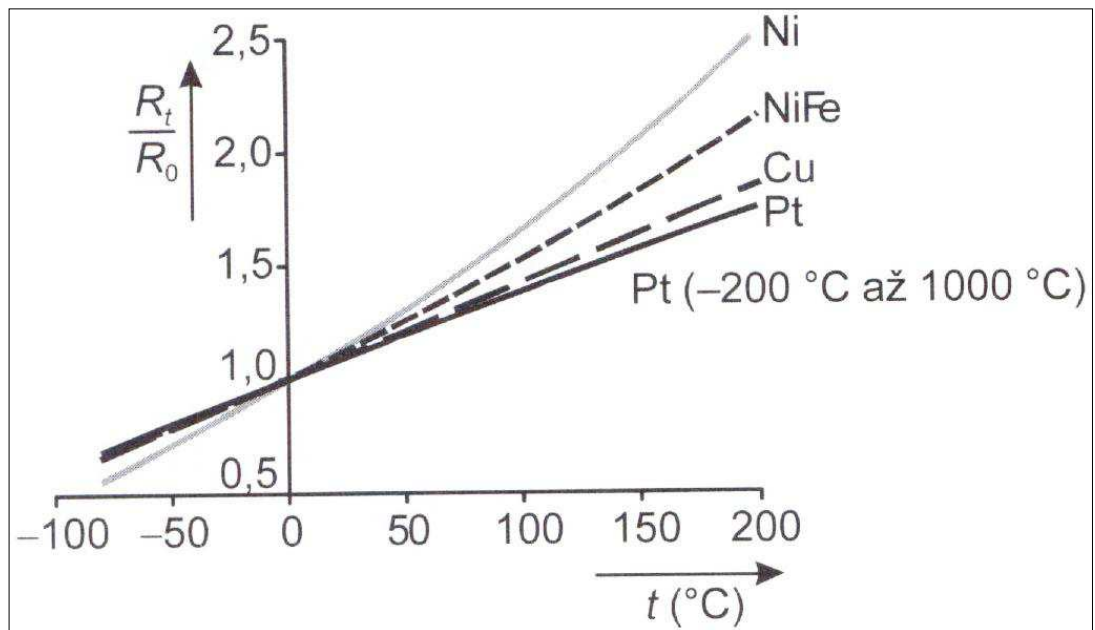
W_{100} – poměr odporů při 100°C a 0°C

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \quad (1)$$



Tab. 1 Základní parametry nejznámějších kovů [5]

Materiál čidla	Základní odpor R_0 [Ω]	Poměr odporů W_{100}	Měřicí rozsah [$^{\circ}\text{C}$]
Pt	100	1,3850	-200 až +850
Ni	100	1,6180	-60 až +180(+250)
Cu	100	1,4260	-200 až +200



Obr. 1 Teplotní závislost odporových kovových snímačů [1]

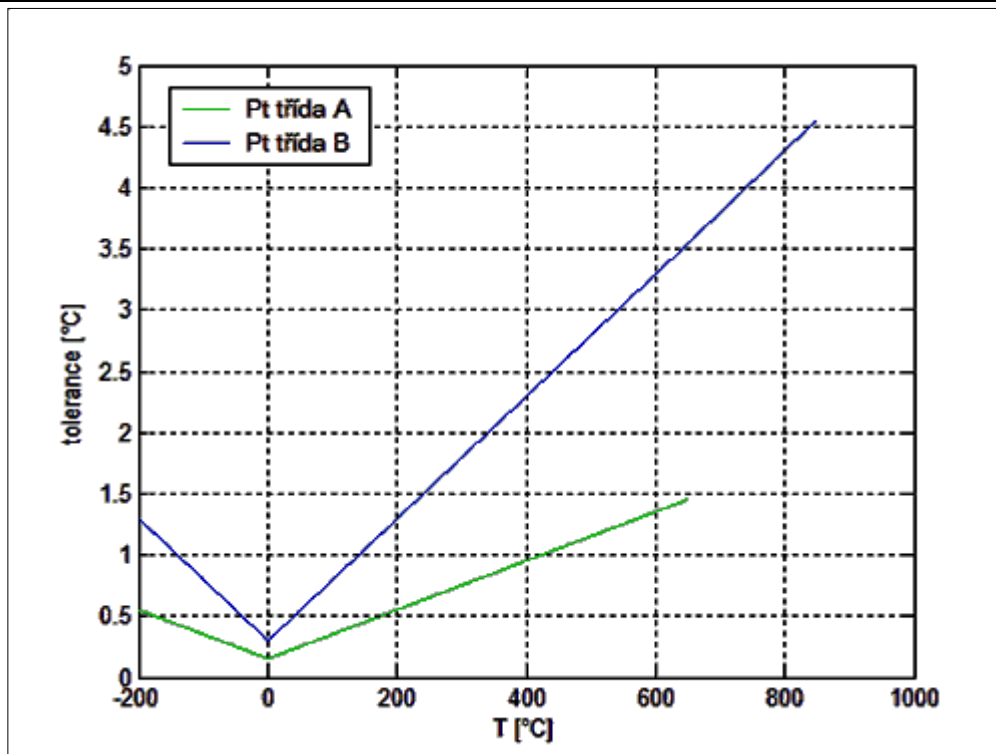
2.1.1 Platinové

Platinové senzory teploty jsou mezi odporovými kovovými senzory nejpoužívanější. Platina se vyznačuje chemickou netečností, časovou stálostí a vysokou teplotou tání ($1768,3^{\circ}\text{C}$). Pro metrologické účely je čistota platiny až 99,999%. [1]

Standardní hodnota odporu Pt senzoru je $100\ \Omega$ při 0°C , kromě této hodnoty se ale vyrábějí též Pt senzory 50, 200, 500, 1000 a 2000 Ω .

U senzorů teploty je důležitá jejich záměnnost, proto se tolerují. Podle norem se dělí do dvou tolerančních tříd. Podle IEC (International Electrotechnical Commission) [6]:

- „Třída A: Rozsah teplot: -200°C až 650°C , tolerance ($^{\circ}\text{C}$): $\pm(0,15+0,002\cdot|t|)$ “
- Třída B: Rozsah teplot: -200°C až 850°C , tolerance ($^{\circ}\text{C}$): $\pm(0,3+0,005\cdot|t|)$ “ [6]



Obr. 2 Tolerance Pt standardních měřicích odporů dle IEC [6]

2.1.2 Niklové

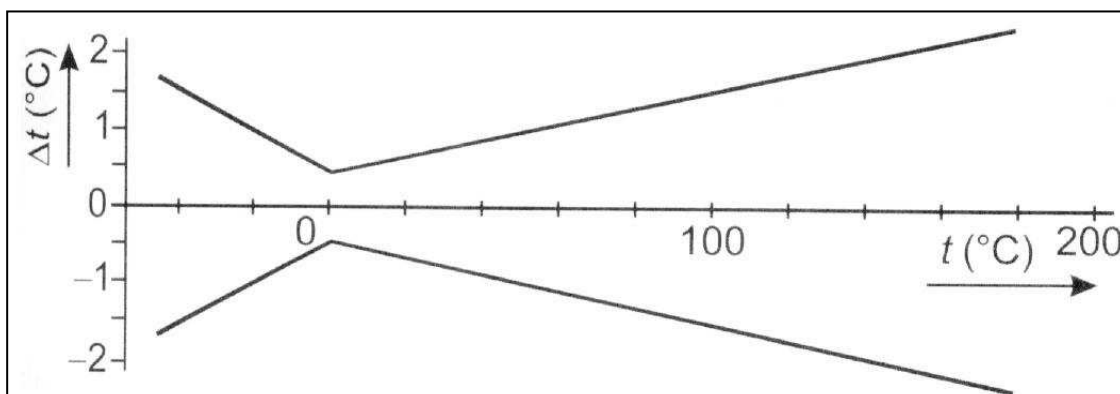
Výhodou niklových odporových senzorů je jejich vysoká citlivost, malé rozměry a rychlá časová odezva. V porovnání s platinovými jsou značně nelineární, mají menší dlouhodobou stálost a omezenější teplotní rozsah. Většinou se vyrábějí tenkovrstvou technologií (viz 2.1.4). [6]

Podobně jako platinová čidla se kromě základní hodnoty odporu $R_{100}=100\ \Omega$ vyrábějí snímače se základní hodnotou odporu 200, 500, 1000 a 2000 Ω .

„Dovolené tolerance odporu Ni čidla dle DIN 43760

$\Delta t = \pm(0,4 + 0,007 \cdot |t|)$ (°C) pro $> 0\ ^\circ\text{C}$

$\Delta t = \pm(0,4 + 0,028 \cdot |t|)$ (°C) pro $< 0\ ^\circ\text{C}$ “ [1, s.43]



Obr. 3 Tolerance Ni měřicího odporu [1]



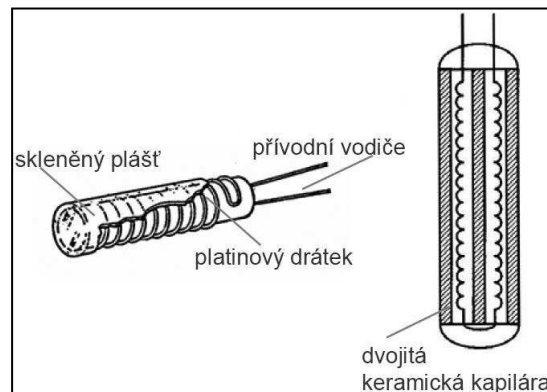
2.1.3 Měděné

Měděné senzory se vzhledem k snadné oxidaci a malé rezistivitě už moc nepoužívají. Existují ve formě vinutých čidel (viz 2.1.4) se jmenovitou hodnotou odporu 50Ω nebo 100Ω . Díky vlastnostem lze také přímo měřit teplotu měděného vinutí elektromotoru. [6]

2.1.4 Provedení odporových kovových senzorů

- Čidla vinutá – drátková technologie

Vinutá čidla mají odporové vinutí, např. platinový drátek (průměr od 0,007 mm do 0,05 mm), buď uloženo a zafixováno v kapilárách válcových keramických nosných tělísek, nebo je navinuto na vnějším povrchu keramických tělísek, kde je zafixováno keramickým smaltem, nebo skelnou pájkou. [5]



Obr. 4 Vinutá čidla [7]

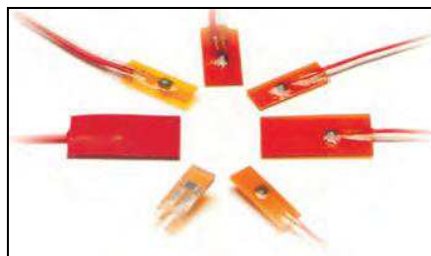
- Čidla vrstvá

Vrstvová čidla mají na nosné destičce (substrátu) z korundové keramiky nanesenou odporovou vrstvou (Pt, Ni...). K nanesení této vrstvy se používají dvě technologie tzv. tlustovrstvá a tenkovrstvá.

Tlustovrstvá technologie je starší a spočívá v nanášení kovové vrstvy ve formě pasty na korundový substrát sítotiskem, poté se tepelně stabilizuje. Laserem se nastaví požadovaná hodnota základního odporu a po rozřezání se na jednotlivá čidla připevní vývody.

Novější tenkovrstvá technologie spočívá v napařování, nebo napařování ve vakuu, platinové vrstvy na substrát.

Vrstvová čidla mají ve srovnání s čidly vinutými poměrně vysokou otřesuvzdornost a vzhledem k použité technologii relativně nízkou cenu. [5]



Obr. 5 Vrstvová čidla [8]

2.2 Odporové polovodičové senzory

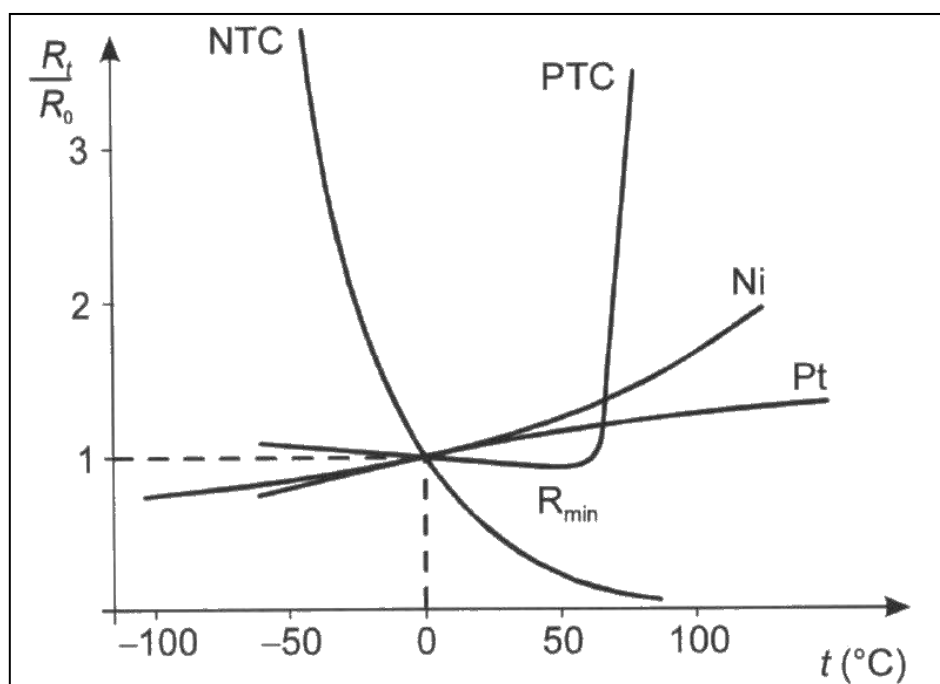
Polovodičové odporové senzory využívají, stejně jako kovové odporové senzory, závislost odporu na teplotě. U polovodičových sensorů je však změna odporu způsobena změnou koncentrace nosičů náboje, která je závislá na teplotě.

2.2.1 Termistory

„Termistor je teplotně závislý odpor zhotovený z polovodičových feroelektrických keramických materiálů.“ [1, s.57]

Zásadní nevýhodou je značně nelineární charakteristika. V porovnání s platinovými senzory jsou méně stabilní. Výhody termistoru jsou malé rozměry, velká teplotní citlivost a jednoduchý převod odporu na elektrické napětí nebo proud.

Termistory se dělí v závislosti na materiálu na tzv. negastory neboli NTC termistory (Negative Temperature Coefficient) s velkým záporným součinitelem odporu, nebo s velkým kladným teplotním součinitelem odporu, tzv. pozistory neboli PTC termistory (Positive Temperature Coefficient). [1]

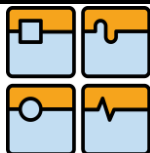


Obr. 6 Porovnání teplotních závislostí termistorů NTC a PTC s kovovými odporovými senzory (R_0 je odpor při 0°C) [1]

2.2.1.1 Negastory (NTC termistory)

Negastory jsou vyráběny práškovou technologií z oxidů kovů (Fe_2O_3 , TiO_2 , CuO , MnO , NiO , CoO , BaO aj.). Vylisované senzory (nejčastěji ve tvaru perličky) se zpevňují slinováním za vysoké teploty. [7]

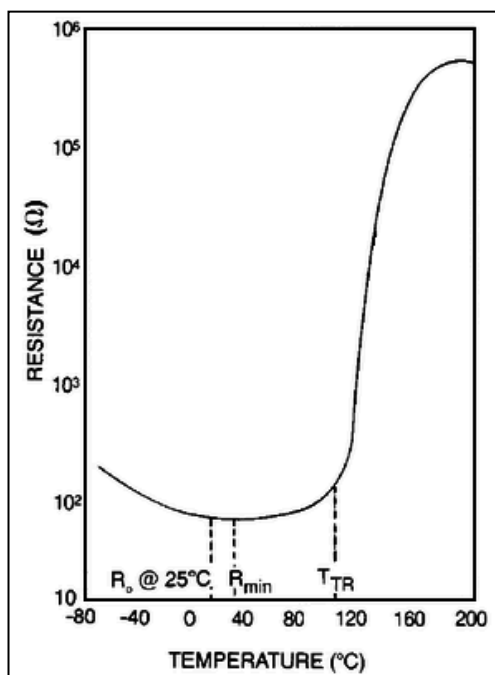
Negastory se vyrábí pro běžné teplotní rozsahy -50°C až 150°C nebo se vyrábí i speciální termistory pro nízké (od cca 4 K) a vysoké teploty (zhruba do 1000°C). [9]



Obr. 7 NTC termistor [10]

2.2.1.2 Pozistory (PTC termistory)

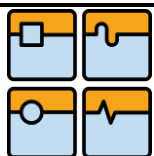
Odpor pozistorů nejprve mírně klesá a po překročení teploty přechodu strmě roste asi o tři řády a pak opět mírně klesá (s touto částí charakteristiky se však již nepracuje). V grafu je naznačeno několik důležitých údajů – odpor termistoru R_0 při teplotě 25 °C, minimální odpor R_{min} , teplota přechodu T_{TR} (teplota přechodu úzce souvisí s Curieovou teplotou). [9]



Obr. 8 Závislost odporu PTC termistorů na teplotě [9]

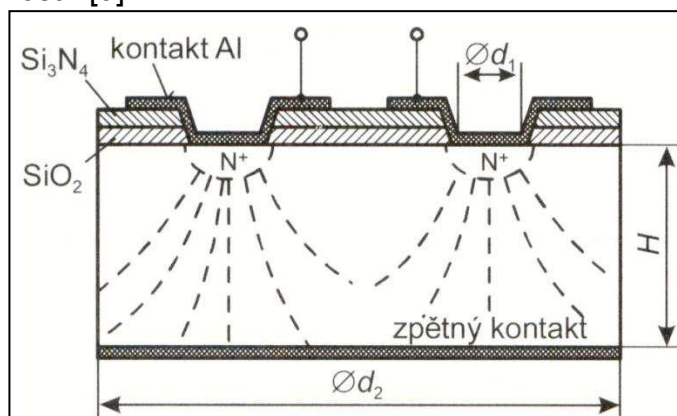
Pozistory se vyrábí z polykrytalické feroelektrické keramiky, např. z titaničitanu barnatého ($BaTiO_3$). Teplotu přechodu T_{TR} lze chemickým složením materiálu zvolit od 60 °C do 180 °C. [1]

Použití PTC termistorů plyne z tvaru jejich charakteristiky. Obvykle se používají jako dvoustavové senzory např. signalizace překročení mezní teploty, dvoupolohová regulace. [11]



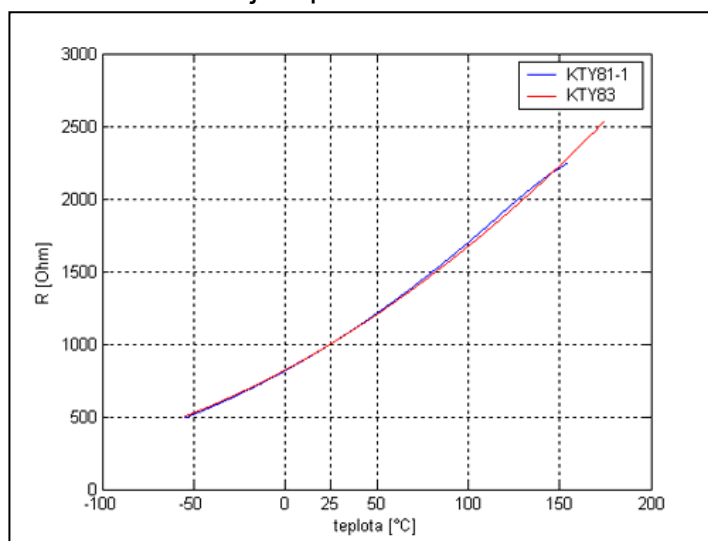
2.2.2 Monokrystalické Si senzory

Podobně jako je tomu u kovů, tak i u monokrystalických Si senzorů s teplotou narůstá rezistivita, princip vodivosti je však odlišný. Nárůst rezistivity je způsoben zmenšováním pohyblivosti nosičů náboje vlivem narůstající teploty. Pro výrobu křemíkových senzorů se používá nevlastního polovodiče typu N, tedy s dominantní elektronovou vodivostí. [9]



Obr. 9 Uspořádání monokrystalického Si senzoru [1]

Křemíkové senzory se obvykle používají pro rozsah teplot -50 až 150 °C. Mají kladný teplotní součinitel. Linearita je lepší než u termistorů.

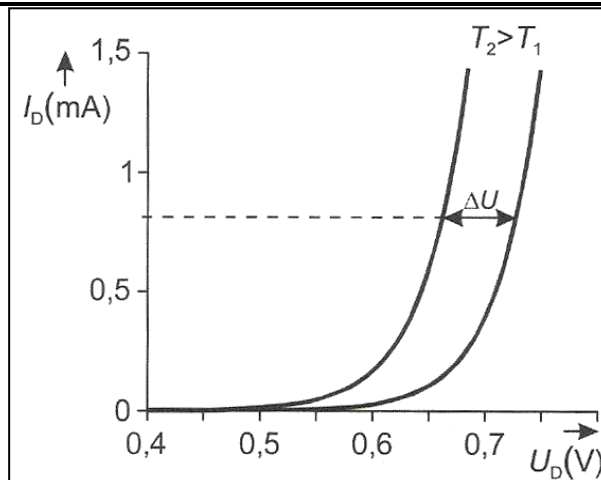


Obr. 10 Závislost odporu křemíkových monokrystalických senzorů KTY81- 1 a KTY83 na teplotě [9]

2.3 Monolitické PN senzory

„Monolitické senzory teploty jsou nejčastěji založeny na teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru. Tyto senzory mají teplotní rozsah od -55 do $+150$ °C a nejistotou měření z rozsahu $0,6\%$ až 2% .“ [1, s.79]

Monolitické PN senzory mohou být diodové (obvykle křemíkové), tranzistorové (obdobný princip jako u PN diody) nebo integrované (vlastní sensor teploty a elektronický obvod tvoří jediný monolitický prvek).



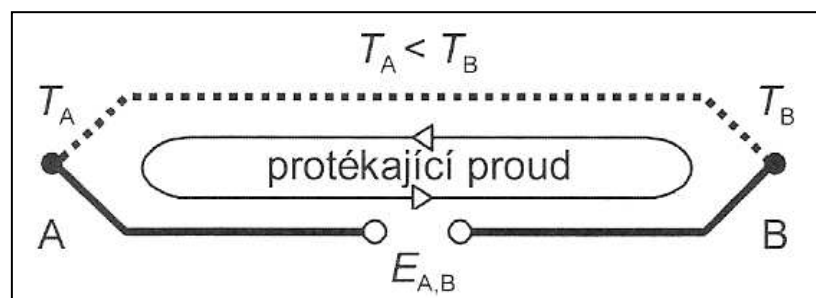
Obr. 11 Teplotní závislost charakteristiky přechodu PN diody [3]

2.4 Termoelektrické senzory

2.4.1 Seebeckův jev

Seebeckův jev je založen na převodu tepelné energie na elektrickou. Toho se využívá u termoelektrických článků. [1] „Seebeckův jev vzniká tím, že v teplejší části vodiče mají nositelé náboje větší energii (v polovodičích i větší prostorovou hustotu), a proto difundují ve větším množství do chladnějších míst než nositelé z chladnějších míst do teplejších.“ [1, s.89]

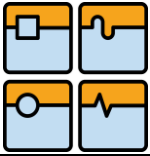
Jestliže v jednoduchém elektrickém obvodu (viz obr. 12), který tvoří dva vodiče z různých kovů, jsou spoje (A a B) umístěny v prostředí se dvěma různými teplotami T_A a T_B , začne obvodem proudit slabý elektrický proud. Když přerušíme v jednom místě obvod dle obrázku, tak vznikne malý rozdíl v elektrických potenciálech a tento rozdíl potenciálů se nazývá termoelektrické napětí E [mV]. [5]



Obr. 12 Termoelektrické napětí [1]

2.4.2 Typy termočlánků

Z hlediska měření je však potřebné, aby generované termoelektrické napětí bylo co největší a aby oba kovy byly co nejodolnější proti vlivům okolního prostředí, tak aby se jejich vlastnosti co nejméně měnily v průběhu času. Tomu vyhovuje jen několik dvojic materiálů a jejich složení je normováno.

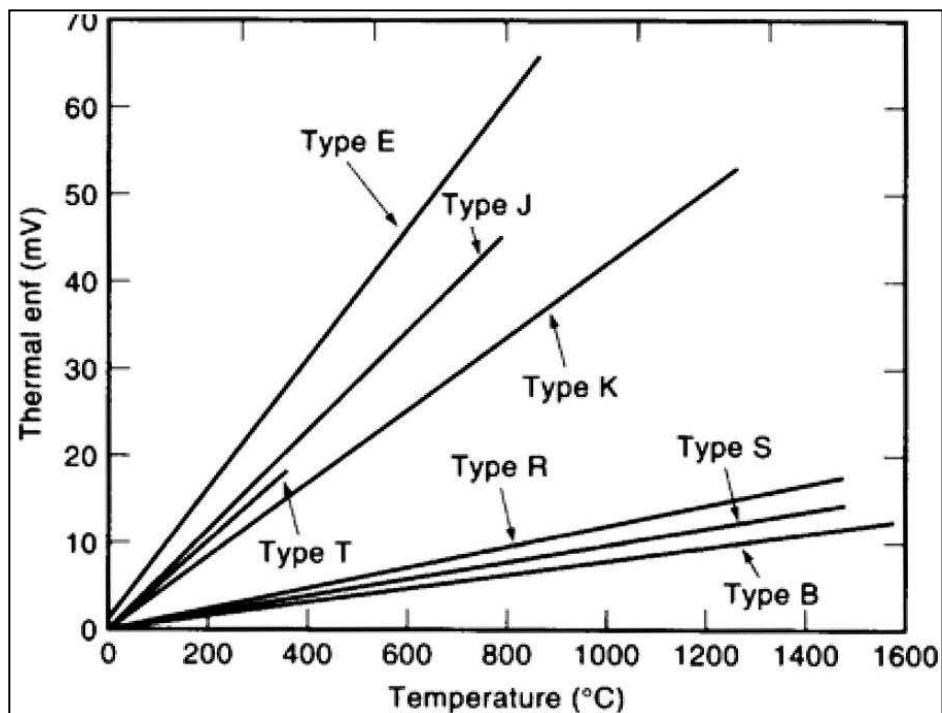


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tab. 2 Typy termočlánků dle IEC 584-1 (ČSN EN 60584-1)

Označení termočlánku	Složení	Měřicí rozsah [°C]
T	Cu-CuNi	-200 až 350
J	Fe-CuNi	-200 až 750
E	NiCr-CuNi	-100 až 900
K	NiCr-NiAl	-200 až 1200
N	NiCrSi-NiSiMg	-200 až 1200
S	PtRh10-Pt	0 až 1600
R	PtRh13-Pt	0 až 1600
B	PtRh30-PtRh6	300 až 1700

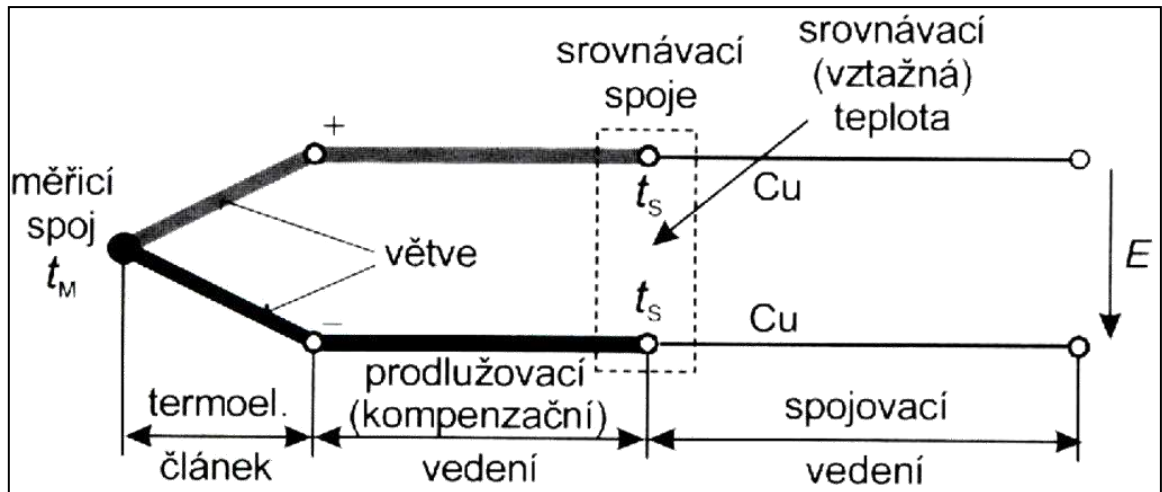
Nejčastěji se používají typy termočlánky J a K, které jsou z obecných kovů a z drahých kovů S a B, tím je pokryt rozsah teplot cca -200 až +1700 °C, avšak se speciálními termočlánky lze rozsah rozšířit až do cca +2300 °C, např. termočlánky na bázi wolframu a rhenia (WRh5-WRh20, W-WRh26, WRh5-WRh26, WRh3-WRh25). [5]



Obr. 13 Charakteristiky vybraných typů termočlánků [7]



2.4.3 Části měřicího řetězce



Obr. 14 Terminologie měřicího řetězce termoelektrického článku [1]

- Srovnávací spoje, teplota
Pro správnou funkci snímače je nutné, aby teplota srovnávacího spoje byla konstantní, nebo aby vliv termoelektrického napětí tohoto spoje byl kompenzován. [11]
- Prodlužovací vedení
Je vedení ze stejných obecných kovů jako větve termoelektrického článku. Obvykle ve formě kabelu. [1]
- Kompenzační vedení
Je vedení z jiných kovů, než jsou větve termoelektrického článku ze vzácných kovů, ale kompenzační vedení musí mít stejný termoelektrický koeficient jako větve termoelektrického článku. Obvykle ve formě kabelu. [1]
- Spojovací vedení
Používá se v případech, kdy je nutno přenést signál termočlánku na větší vzdálenost. Většinou ve formě kabelu z mědi.

2.4.4 Konstrukční uspořádání termoelektrických snímačů

- Drátové termoelektrické články
Drátový termoelektrický článek je tvořen dvěma kovovými větvemi, uloženými v izolačních trubičkách. Ty slouží k elektrické izolaci obou větví a k ochraně větví proti vlivům vnějšího prostředí. Izolační trubičky mohou být podle rozsahu provozních teplot vyrobeny z plastu, skla, keramiky atd. Obvykle se používají keramické trubičky (dvoukapiláry, čtyřkapiláry). Průměr termoelektrických vodičů je od 0,5 mm do 3,5 mm. [5]
Konstrukční uspořádání se člení na snímače do jímky, bez jímky, tyčové, speciální sondy. [1]

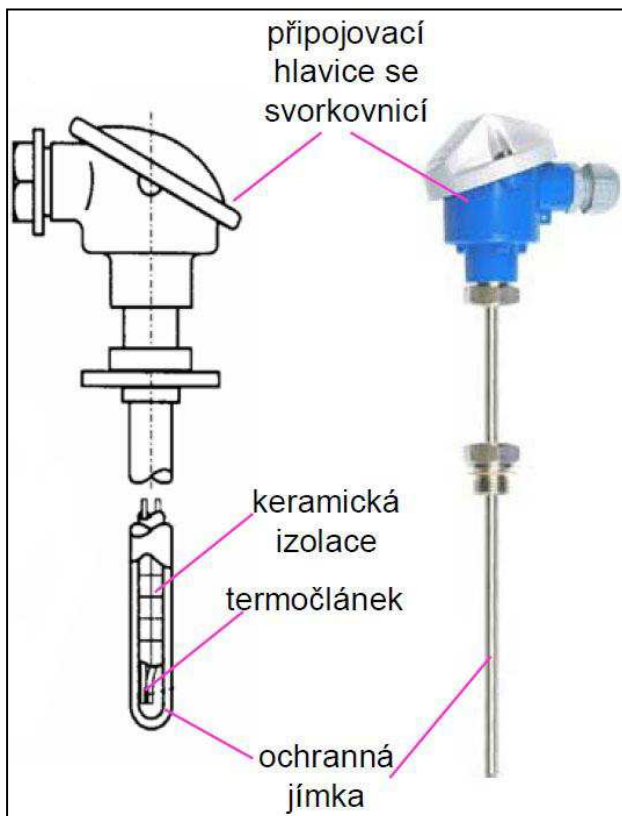


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

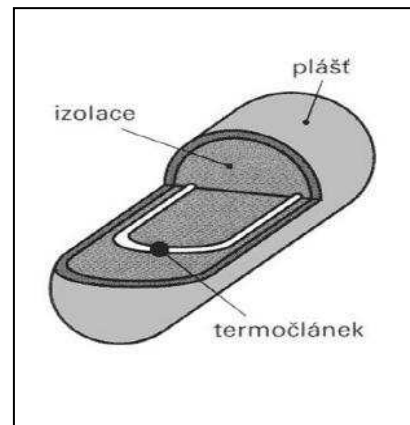
- Plášťové termoelektrické články

Plášťové termoelektrické články mají větve (vodiče) uloženy v kovovém plášti ve tvaru trubky se ztuhnutou minerální izolací z oxidu MgO , nebo Al_2O_3 . Vnější průměr této trubky se pohybuje v rozsahu cca 0,25 až 12 mm. Plášťový článek obsahuje obvykle dva, čtyři, nebo šest termočlánekových větví, existují tedy jednoduché, dvojité a trojitě plášťové termočlánky.

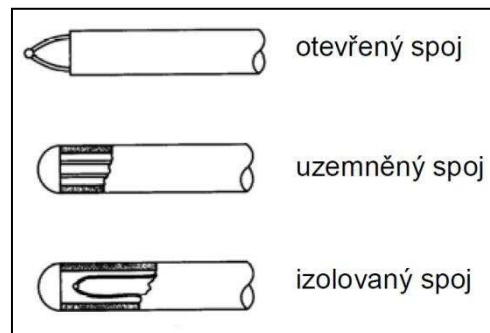
Provedení se dělí na izolované, uzemněné a otevřené. Izolované provedení chrání spoj proti vlivům prostředí, má ale delší dobu odezvy než uzemněné nebo otevřené prostředí. Otevřené provedení je ale nepoužitelné do agresivního prostředí. [5]





Obr. 15 Termoelektrický snímač s ochranou jímkou [7]



Obr. 16 Plášťový termočlánek [12]



Obr. 17 Provedení termočláneků [11]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

2.5 Speciální dotykové senzory teploty

2.5.1 Optické vláknové (optovláknové) senzory teploty

Využívají se zde nežádoucí vlivy okolního prostředí na parametry optických kabelů. Princip je založen na modulaci optického signálu teplotou.

Optovláknové senzory jsou bezpečné pro použití v nebezpečných prostorách a navíc je konkrétně vymezena jejich oblast působení a vedení signálu prostřednictvím optického kabelu. V tomto směru existuje několik využívaných principů založených buď na změně odrazu světla s teplotou na konci optického vlákna, nebo změně vlastností šíření světla určitým úsekem samotného optického kabelu. [15]

2.5.2 Akustické senzory teploty

Pro měření teploty lze využít teplotní závislosti rychlosti šíření zvuku v plynném (rezonanční metoda se zpětnovazebním oscilátorem) nebo pevném prostředí (pulsní metoda). Používají se jak pro velmi nízké (od 2 K do 20 K) tak i pro vysoké teploty. [1]

2.5.3 Krystalové senzory teploty

Jsou založeny na teplotní závislosti rezonančního kmitočtu křemenného výbrusu. Mají dobrou linearitu a malou cenu. [1]

2.5.4 Magnetické senzory teploty

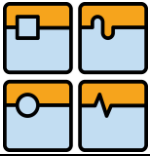
„Magnetický teploměr je založen na teplotní závislosti magnetické susceptibility (vodivosti) paramagnetických solí (např. dusičnan hořečnatý, síran amonný manganatý aj.)“ [1, s.131]. Jsou vhodné pro měření velmi nízkých teplot od 10 mK do 20 K až 80 K. [1]

2.5.5 Šumové senzory teploty

„Na vývodech každého rezistoru je v důsledku teplotně závislého volného pohybu elektronů ve vodivostním pásmu měřitelné elektrické napětí.“ [1, s.130] Výhodou šumového teploměru je, že lze použít v místech s vysokou teplotou, ionizačním zářením, vysoce agresivní atmosférou a tokem neutronů. Zásadní nevýhodou je velmi malé výstupní elektrické napětí. Použitelné od 3 K do 1100 K. [1]

2.5.6 Teplotní senzory SAW

Jsou založeny na teplotní závislosti rychlosti šíření povrchové akustické vlny (SAW – Surface Acoustic Wave) v určitém, většinou piezoelektrickém, materiálu (LiNbO_3). Pro teploty od -50 do 150 °C. [4]



3 BEZDOTYKOVÉ SENZORY TEPLoty

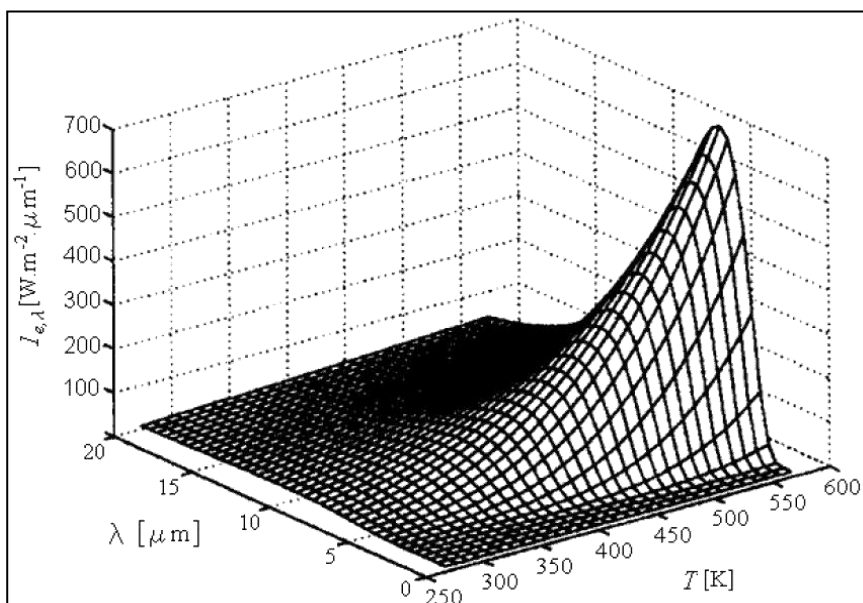
3.1 Pyrometrie, zákony záření

Bezdotykové měření teploty se také někdy označuje jako pyrometrie. Podle Planckova zákona těleso o teplotě vyšší než absolutní nula vyzařuje elektromagnetické záření, které odpovídá jeho teplotě. Pyrometrie využívá jen část elektromagnetického spektra a to v rozmezí vlnových délek 0,4 μm až 25 μm .

Stefan-Boltzmannův je základní zákon pro pyrometrii. [16] Říká, že „*hustota zářivého toku E [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] generovaná z jednotky plochy zdroje je na všech vlnových délkách úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty tělesa. Pro výpočet přenosu tepla zářením je však třeba znát jak se tato energie rozdělí vzhledem k prostorovému úhlu. Proto se zavádí tzv. intenzita vyzařování I [$\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$]. Intenzita vyzařování vyjadřuje část hustoty zářivého toku E , vyzářenou jednotkovým prostorovým úhlem ve směru kolmém k povrchu zářiče, tzn. maximum sálavého toku leží vždy ve směru normály k ploše zdroje (Lambertův zákon).*“ [16, s.1]

„*Wienův posunovací zákon vyjadřuje posun maxima hustoty zářivého toku s rostoucí teplotou tělesa do pásma kratších vlnových délek.*“ [16, s.1]

Uvedené zákony jsou odvozeny pro černé těleso.



Obr. 18 Znárodnění Planckova vyzařovacího zákona v energetickém tvaru [16]

3.2 Černé těleso, černý zářič

Černé těleso je takové těleso, které pohlcuje veškeré dopadající elektromagnetické záření, bez ohledu na vlnovou délku nebo úhel pod kterým je těleso ozářeno. Černý zářič vyzařuje na všech vlnových délkách maximální energii zářivého toku při dané teplotě. [16]



Černé těleso se obvykle simuluje tzv. dutinovým zářičem s reflexním, difuzním nebo difuzně reflexním povrchem, podle černého zářiče se kalibrují všechny typy pyrometrů. [1]



Obr. 19 Provedení a princip černého zářiče [11]

3.3 Emisivita

Emisivita ε [-] je poměr vyzařování tepelného zářiče k vyzařování černého tělesa při téže teplotě. Emisivita tak číselně vyjadřuje zhoršení vyzařovacích vlastností zdroje ve srovnání s černým tělesem a závisí na vlnové délce vyzařování a teplotě tělesa. Emisivita může nabývat hodnot od 0 do 1. [16]

Tab. 3 Emisivita pro vybrané povrchy [17]

Charakteristika povrchu	Emisivita
černé těleso	1,00
černý matový lak	0,99
voda	0,95
cihly	0,85
zoxidovaný ocelový plech	0,75
zoxidovaný hliník	0,55
lesklý ocelový plech	0,25

3.4 Detektory tepelného záření

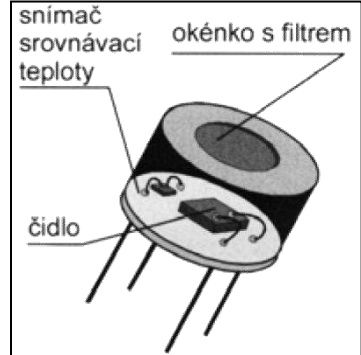
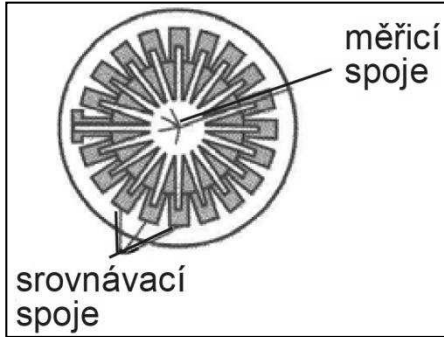
3.4.1 Tepelné detektory infračerveného záření

Princip tepelných detektorů spočívá v pohlcování elektromagnetického záření citlivou částí detektoru, která se otepluje a tato změna teploty se nepřímo vyhodnocuje prostřednictvím snímačů teploty. [1]

3.4.1.1 Termoelektrické detektory

Termoelektrický článek se zahřívá pohlcováním infračerveného záření. Spojením termočlánků se vytvoří termoelektrický radiační blok, čím více termočlánků v termobloku použijeme, tím více se zvýší citlivost, ale také se zvýší časová odezva.

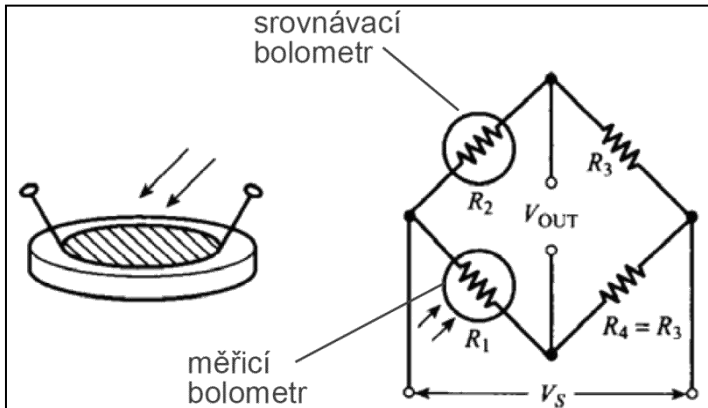
Termočlánky se vyrábějí buď jako tenké kovové pásky tl. cca 0,03 mm tenkovrstvou technologií, nebo Si technologií. [1, 4]



Obr. 20 Termoelektrický detektor [11] Obr. 21 Uspořádání čidla v pouzdru [1]

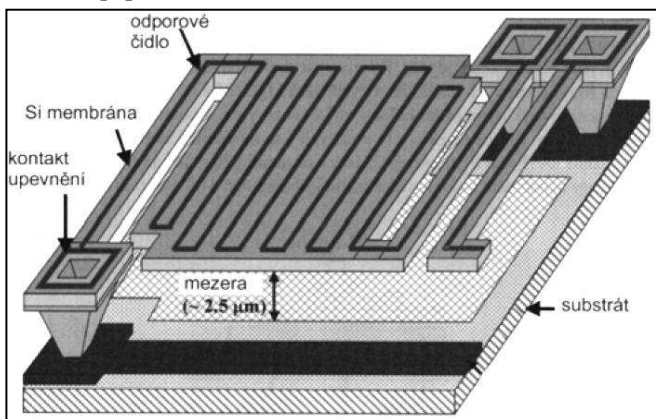
3.4.1.2 Bolometrické, mikrobolometrické detektory

Bolometrické detektory pohlcují záření teplotně závislým odporovým čidlem, tj. oteplení způsobené pohlceným zářením vyvolá změnu teploty čidla a tím i změnu jeho elektrického odporu. Dříve se používaly Pt odporové články, v současnosti se používají polovodičové materiály. [1, 4]



Obr. 22 Provedení bolometru [11]

Mikrobolometrické senzory lze uspořádat jako řádkové nebo plošné detektory. Plošné detektory v maticovém uspořádání FPA (Focal Plane Array) se používají v termovizních kamerách. [1]



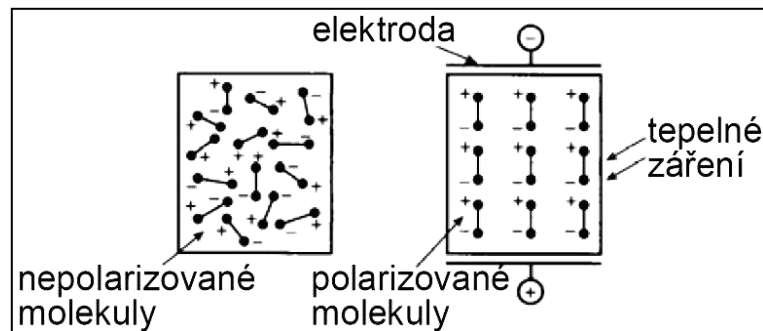
Obr. 23 Mikrobolometr [1]



3.4.1.3 Pyroelektrické detektory

Pyroelektrické detektory jsou založeny na pyroelektrickém jevu, tj. spontánní polarizace pyroelektrika při změně teploty. [11]

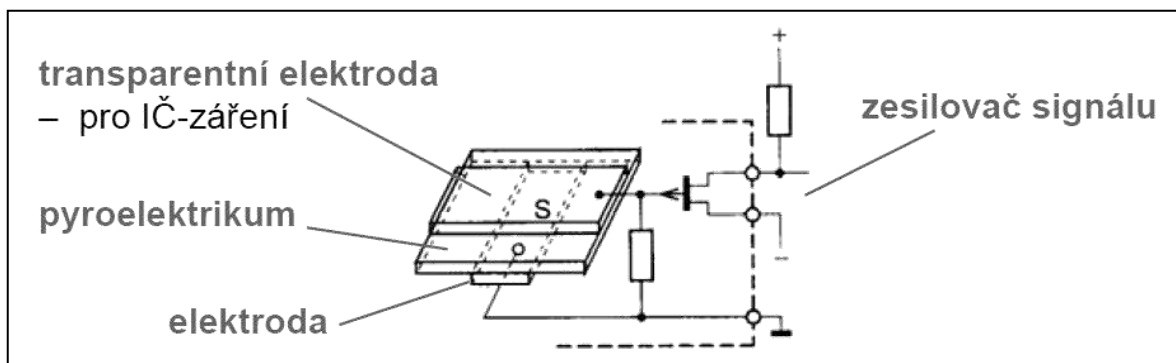
Pyroelektrika: PZT - keramické látky na bázi titaničitanu a zirkoničitanu olovnatého, TGS – triglycin-sulfát, PVDF – polyvinylfluorid. [1]



Obr. 24 Princip pyroelektrického senzoru [11]

Náboj na elektrodách se vybíjí přes rezistor. Při měření je nutný časově proměnný zářivý tok. Docílí se toho tak, že záření dopadající na detektor je nutné opětovně začlenit a odclonit. [1]

U pyroelektrických materiálů se, při otřesu a deformaci, kromě pyroelektrického jevu vyskytuje také parazitní piezoelektrický jev. Z tohoto důvodu se vyrábějí detektory kompenzované druhým opačně pólovaným detektorem, který je odstíněn před tepelným zářením. [1, 11]



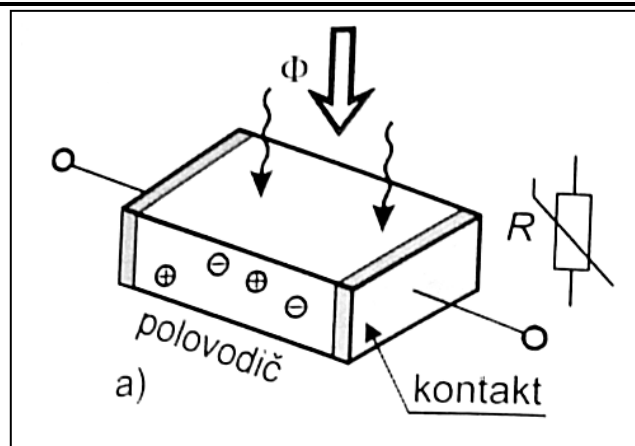
Obr. 25 Pyroelektrický čip s předzesilovačem

3.4.2 Kvantové detektory infračerveného záření

Kvantové detektory jsou založeny na interakci dopadajících fotonů s detektorem, dochází ke generaci páru elektron-díra. Tento fyzikální jev nastává při teplotě vyšší než je absolutní nula, a při splnění podmínky, že energie fotonů je větší než energie širší zakázaného pásu polovodiče. [1]

3.4.2.1 Fotorezistor

Pracuje na principu změny pohyblivosti nosičů náboje při dopadu fotonů na polovodičovou vrstvu, neboli vodivost je funkcí fotonového toku. Detektor vyžaduje elektrické pole vytvořené připojením vnějšího napětí. Fotorezistory se vyrábí na bázi CdS, PbS, InSb, PbSe. [11]

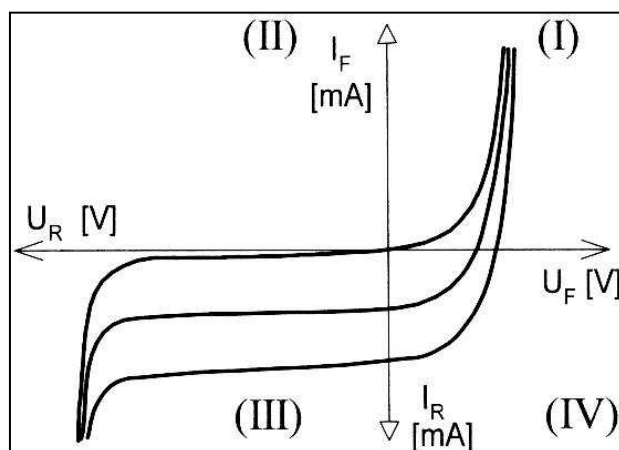


Obr. 26 Fotorezistor [1]

3.4.2.2 Fotodioda

Fotodioda se od obyčejné polovodičové diody liší tím, že do oblasti PN přechodu může pronikat záření. Bez ozáření přechodu má voltampérová charakteristika stejný průběh, jako charakteristika běžné diody.

Fotodiody mohou pracovat ve dvou základních módech. V tzv. odporovém (fotovodivostním) režimu (III. kvadrant), kde se chová se jako rezistor citlivý na světlo a v tzv. hradlovém (fotovoltaickém) režimu (IV. kvadrant), zde se dioda chová jako zdroj elektrické energie. [2]



Obr. 27 Voltampérová charakteristika fotodiody [2]

3.5 Pyrometry

Bezdotykové teploměry označujeme jako pyrometry (IČ-teploměry), které využíváme pro měření teploty na omezené ploše.



3.5.1 Úhrnné pyrometry

Úhrnné pyrometry (širokopásmové) jsou nejjednodušší a nejlevnější z pyrometrů. Měří teplotu podle Stefan-Boltzmannova zákona, tj. tepelné záření vyhodnocují teoreticky v celém spektru vlnových délek (od $\lambda=0$ do $\lambda=\infty$), tomuto požadavku měření vyhovují pouze tepelné detektory. V praxi dochází ke spektrálnímu omezení vlivem optiky (0,4 až 2,5 až do 20 μm). Optika se skládá ze soustavy čoček, které jsou vyrobeny z materiálů se širokým spektrem prostupnosti. [1, 17]

3.5.2 Monochromatické pyrometry

Monochromatický pyrometr je spektrálně selektivní pyrometr a měří podle Planckova resp. Wienova zákona, tj. teoreticky měří pouze diskrétní hodnotu vlnové délky. Ve skutečnosti se měří vždy v úzkém vlnovém pásmu, protože nelze vyrobit zcela monochromatický pyrometr. Docílíme toho optikou, citlivostí detektoru, ale hlavně spektrální propustností interferenčních filtrů. K detekci záření se používají kvantové detektory. [1]

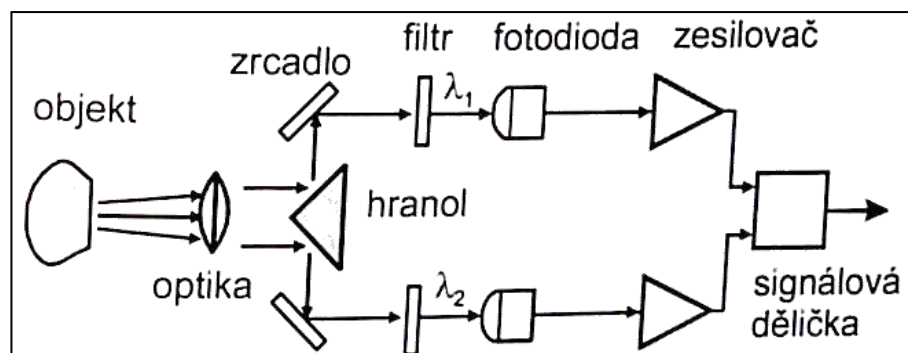
3.5.3 Pásmové pyrometry

Pásmové pyrometry jsou obdobně jako monochromatické spektrálně selektivní pyrometry, ale na rozdíl od monochromatických měří teplotu prostřednictvím záření v úzkém pásmu vlnových délek. Šíře pásma lze nastavit od 10nm až do jednotek mikrometrů. [16]

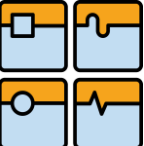
Pro detekci záření se používají kvantové i tepelné senzory. Pokud je pásmo vlnových délek široké více než 50% celého pásma, lze pro výpočty použít Stefan-Boltzmannův zákon. [1]

3.5.4 Poměrové pyrometry

„Poměrové pyrometry (dvoubarvé) vyhodnocují povrchovou teplotu objektu na základě poměru dvou intenzit vyzařování při dvou různých vlnových délkách.“ [1, s.183] Z Planckova zákona lze dokázat, že poměr dvou intenzit vyzařování je zcela jednoznačný a pro každou teplotu jiný. Pyrometry jsou tedy kalibrovány na teplotu černého tělesa pro dvě různé vlnové délky a díky tomuto principu je měření nezávislé na hodnotě emisivity snímaného povrchu. Jedná se však o poměrně složité přístroje, které se využívají jen pro speciální účely. [1, 16]



Obr. 28 Princip poměrového pyrometru [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 28
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3.5.5 Pyrometry s automatickou korekcí emisivity

Pyrometry s automatickou korekcí emisivity měří teplotu subjektu, bez nutnosti znát jeho emisivitu. Princip spočívá ve střídavém měření intenzity vyzařování měřeného subjektu a měření intenzity vyzařování subjektu ozářeného laserem s přesně definovanou intenzitou vyzařování. Měření se provádí monochromatickým pyrometrem s vestavěným laserem. [1, 16]

3.5.6 Jasové pyrometry

Jasové pyrometry využívají k měření teploty úzké spektrální pásmo v oblasti viditelného záření. Nejčastěji se používá záření o vlnové délce $\lambda=0,65 \mu\text{m}$, což odpovídá červenému světlu. Přístroj pracuje kompenzační metodou, při níž se porovnává záře měřeného objektu se září porovnávacího zdroje (wolframové vlákno). Porovnání se provádí pomocí lidského oka nebo elektronicky. [11]

3.5.7 Pyrometry s optickými vlnovody

U bezdotykového měření teplot jsou optické vlnovody využívány pro přenos zářivého toku z místa na místo. Optický vlnovod je zařízení k vedení elektromagnetických vln o vysokých frekvencích. Dochází zde však ke ztrátám, které způsobují pokles zářivého toku. Využívá se tam, kde není měřený objekt viditelný z místa pyrometru, protože pyrometr nelze umístit v blízkosti měřené plochy z důvodu malého prostoru, agresivního prostředí atd. [1]

3.6 Termografie

Infračervená termografie je obor, který se zabývá snímáním a analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa, za použití bezdotykového měření. [17]

3.6.1 Termogram

Termogram označovaný taky jako termovizní snímek nebo infračervený snímek je obraz pořízený termokamerou. Neviditelné infračervené záření se vizualizuje za použití viditelných palet barev, které přiřazují barvy různému množství tepelného toku. Termogram lze zobrazit v odlišných barevných paletách a tím zdůraznit různá místa.

Termogramy mohou být dvojího typu. Neradiometrické termogramy, které pouze zobrazují teplotní rozložení a radiometrické, které zaznamenávají množství snímaného zářivého toku a umožňují tak vypočítat teplotu na povrchu tělesa. V plně radiometrickém termogramu lze upravovat parametry snímku i po jeho uložení. Těmito parametry mohou být emisivita, vzdálenost od měřeného objektu, údaje o okolní atmosféře, odražená teplota, atd. [2]

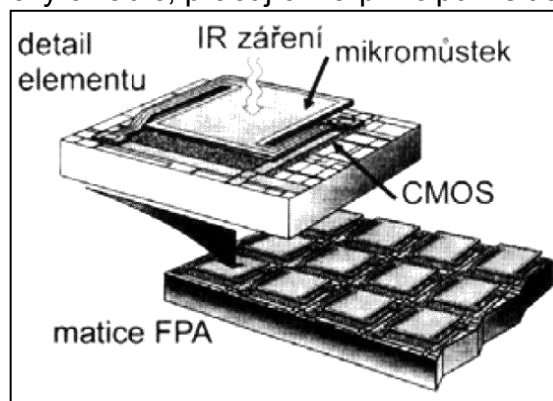


3.6.2 Termokamera (termovize)

Termovize je základním měřicím zařízením pro infračervenou diagnostiku. Na základě znalosti rozložení teplotního pole lze určit správné funkce zařízení, spojené s vývinem nebo absorpcí tepla. Termovizní systémy lze rozdělit na původní systémy, které pracují s rozkladem obrazu a na současné systémy využívající maticové (mozaikové) detektory, které pracují bez rozkladu obrazu. [1, 17]

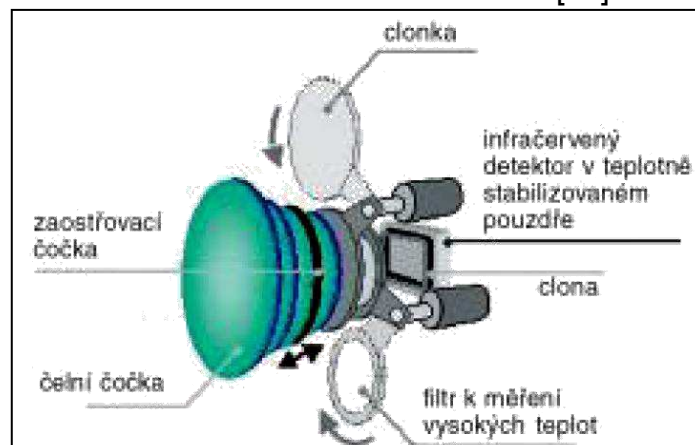
Opticko-mechanický rozklad obrazu se provádí postupným zaměřováním na všechny body měřeného objektu. Snímání jednotlivých bodů je řízenou optickou osou. Dráha rozkladu se realizuje pohyblivými optickými částmi kamery (otočné hranoly nebo zrcadla). [1]

Maticový detektor je základním prvkem termokamery se systémem bez rozkladu obrazu, je tvořen FPA (Focal Plane Array) maticí infračervených senzorů. Pro termovizní kamery se nyní používají mikrobolometry, které nevyžadují chlazení, a kvantové detektory (fotodiody a fotorezistory), které se většinou provozují chlazené. K tomu se využívá Stirlingův chladič (miniaturní heliový kompresorový agregát) a termoelektrický chladič, pracující na principu Peltierova jevu. [1, 17]





Obr. 29 Matice mikrobolometrů [1]

Matice detektorů mohou obsahovat od nejlevnějších 80x80 elementů, přes 160x120, 320x240 až 640x480 obrazových bodů. U špičkových laboratorních termokamer až 1024x1024 bodů. Dalším důležitým parametrem je teplotní citlivost, která u dobrých termokamer může dosahovat až 50 mK. [17]



Obr. 30 Schéma termokamery s nechlazeným maticovým detektorem [17]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

V termovizní technice se používají dvě hlavní pásma vlnových délek a to krátkovlnné (2 μm až 5 μm) a dlouhovlnné (7,5 μm až 13 μm). Krátkovlnné systémy se uplatňují při měření vysokých teplot. Ve většině aplikací, při kterých se zjišťuje rozložení teploty na povrchu objektů, se používají kamery s dlouhovlnnými systémy. [1, 17]

Termovizi lze použít i k detekování defektů uvnitř materiálu, existují dvě metody:

Pulzní termografie je založena na ozařování objektu tepelnými pulzy a následném snímání termovizní kamerou. Po dopadu tepelného pulzu se teplo šíří teplenou difuzí materiálem. Pokud je v materiálu defekt s rozdílnou tepelnou vodivostí, promítne se defekt v určitém časovém okamžiku na termogramu. [1]

Lock-in termografie používá modulaci tepelného toku. „*Tepelná vlna proniká po dopadu na povrch tělesa dovnitř a odráží se v místě změny prostředí zpět k povrchu. Na povrchu dochází k interferencím s primárním vlněním.*“ [1, s.189] Termogram je číselně zpracován Fourierovou rychlou transformací, takže lze určit amplitudu a fázový posun. [1]

3.7 Nejistoty při bezdotykovém měření teploty

3.7.1 Neznalost správné hodnoty emisivity povrchu tělesa

K nejčastějším chybám při bezdotykovém měření patří nejistota měření způsobená chybným určením emisivity povrchu tělesa. Emisivita je funkcí teploty, vlnové délky a řady vlastností povrchu měřeného objektu. Pro nastavení emisivity můžeme použít celou řadu metod. Např.:

- Vyhledání emisivity v tabulkách vlastností materiálů
- Ohřátím měřeného vzorku na známou teplotu
- Použitím speciálního nátěru části měřeného objektu
- Do objektu vyvrtáme improvizované černé těleso [1, 16]

3.7.2 Neznalost správné hodnoty propustnosti prostředí

Při dálkovém snímání objektu je významná zejména prostupnost prostředí. Zářivý tok může být při průchodu atmosférou zeslaben, je to jednak způsobeno přímou absorpcí a jednak rozptylem infračerveného záření na molekulách plynu, aerosolech, kapičkách vody, částicích kouře atd. [16]

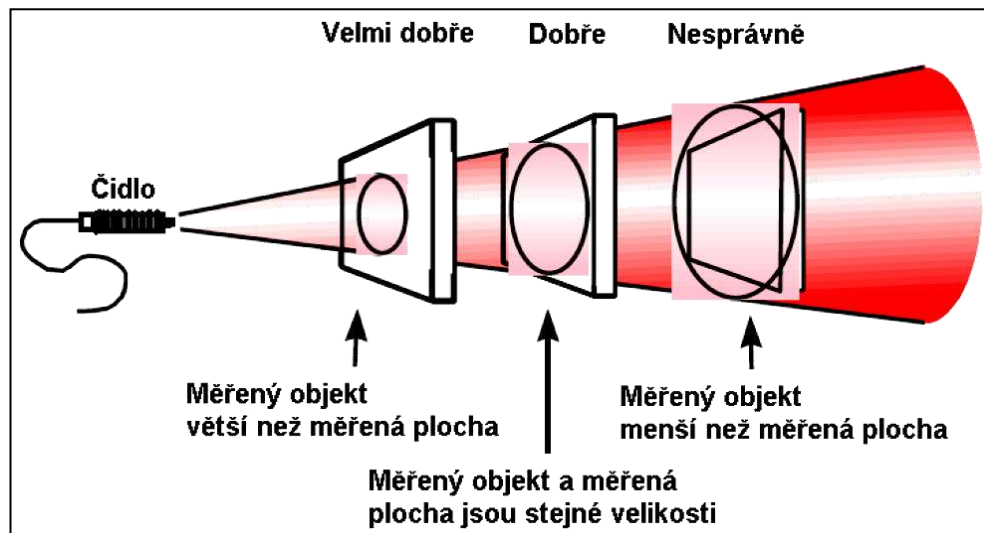
3.7.3 Nepřesná korekce odraženého záření z okolního prostředí

Teplota vnějšího prostředí ovlivňuje velikost a kolísání detekovaného záření. V závislosti na povrchových vlastnostech objektu (absorpce a reflexe), ovlivňují vnější zdroje infračerveného záření buď jeho skutečnou povrchovou teplotu (absorpce), nebo jeho zdánlivou povrchovou teplotu (reflexe). Proudění vzduchu může také významně ovlivňovat ztrátu tepla z povrchu tělesa. [16]



3.7.4 Špatné zaměření měřeného objektu

Pyrometry nebo termovizní kamery mají závislost minimální snímané plochy (většinou kruhové) na vzdálenosti od objektivu. Aby nebyla naměřená hodnota ovlivněna i zářením pozadí (okolních ploch), měřený objekt musí úplně vyplňovat měřenou plochu. [1, 16]



Obr. 31 Znárodnění zaměření velikosti snímané plochy [16]

4 SROVNÁNÍ SENZORŮ TEPLoty

4.1 Vlastnosti dotykových senzorů teploty

- Platinové odporové senzory

Teplotní rozsah: -200 až +850 °C

Výhody:

- chemická netečnost
- časová stálost
- vysoká teplota tání
- vysoká přesnost
- vysoká úroveň signálu
- velmi dobrá linearita

Nevýhody:

- zahřívání procházejícím proudem
- horší dynamické vlastnosti
- vyšší cena

- Niklové odporové senzory

Teplotní rozsah: -60 až +180 °C

Výhody:

- vysoká přesnost
- dobrá časová odezva
- malé rozměry
- vysoká úroveň signálu

Nevýhody:

- zahřívání procházejícím proudem
- omezenější teplotní rozsah
- horší linearita než u platinových
- menší dlouhodobá stálost



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

• Měděné odporové senzory

Teplotní rozsah: -50 až +150 °C

Výhody:

- možnost měření přímo na vinutí stroje

Nevýhody:

- snadno oxiduje

- malá rezistivita

• Negastory (NTC termistory)

Teplotní rozsah: běžné -50 až +150 °C; speciální 4 K až 1000 °C

Výhody:

- vysoká citlivost

- rychlá časová odezva

- malé rozměry

Nevýhody:

- značně nelineární

- křehký

- zahřívání procházejícím proudem

- omezený teplotní rozsah

- menší stálost

• Pozistory (PTC termistory)

Teplotní rozsah: dle teploty přechodu +60 až +180 °C

Výhody:

- vysoká citlivost

- rychlá časová odezva

- malé rozměry

- dvupolohové měření

Nevýhody:

- zahřívání procházejícím proudem

- omezený teplotní rozsah

- menší stálost

- nehodí se k běžnému měření

• Monokrystalické Si senzory

Teplotní rozsah: -50 až +150 °C

Výhody:

- dlouhodobá stabilita

- přijatelná cena

- oproti termistorům lineární

Nevýhody:

- omezený teplotní rozsah

• Monolitické PN senzory

Teplotní rozsah: -55 až +150 °C

Výhody:

- jednoduchost

- téměř lineární

Nevýhody:

- omezený teplotní rozsah

- nižší přesnost

• Termoelektrické senzory

Teplotní rozsah: v závislosti na typu -200 až +2300 °C

Výhody:

- napěťově aktivní senzor

- jednoduchý

- levný

- široký teplotní rozsah

- rychlá časová odezva

- odolný

Nevýhody:





- nelineární

- nízká citlivost

- nízká úroveň signálu

- potřeba kompenzace srovnávacího spoje

- menší dlouhodobá stálost

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

4.2 Použití dotykových senzorů teploty

- Termoelektrické senzory

Nejpoužívanější senzory teploty. Díky jejich jednoduchosti a nízké ceně, se lze s nimi setkat prakticky kdekoliv. Určité typy snášejí i velmi vysoké teploty. Jsou vhodné například pro elektrárny, petrochemii, metalurgii, pece, letecké motory, potravinářský průmysl, výměníky tepla, laboratoře, atd.

- Odporové kovové senzory

Další velmi rozšířené senzory teploty, jsou přesnější než termočlánky a typické oblasti použití jsou například teplotní sondy, medicínská technika, přístrojová technika, klimatizační technika, jemná mechanika. Pro velmi přesné měření teploty se používají miniaturní teplotní čidla.

- Odporové polovodičové senzory

Tyto senzory mají omezenější rozsah teploty. Nejpoužívanější z nich jsou negastory a používají se pro kontrolu teploty elektrických přístrojů, monitorování teploty kapalin a plynů, v termostatech nebo jako teplotní kompenzace.

Pozistory se používají například pro signalizaci překročení mezní teploty nebo pro dvoupohovou regulaci. Monokrystalické Si senzory najdou využití například v automobilovém průmyslu, pro kontrolu teploty oleje nebo v klimatizační technice.

- Monolitické PN senzory

Tyto senzory mohou dosahovat velmi malých rozměrů, používají se proto v miniaturních aplikacích nebo jsou přímo integrované v čipech, atd.

- Speciální senzory

Tyto senzory se používají pro speciální aplikace, jako je například měření velmi nízkých teplot, měření v agresivním prostředí nebo pro laboratorní použití.

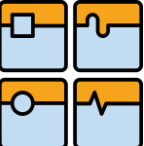
4.3 Výhody, nevýhody a použití bezdotykového měření teploty

Výhody:

- Naprosto zanedbatelný vliv měřicí techniky na měřený objekt
- Možnost měření velmi vysokých teplot
- Nedochozí k mechanickému opotřebení měřeného objektu
- Měření rychlých změn teploty
- Možnost měření pohybujících se objektů
- Možnost snímání teplotních polí (termovize)

Nevýhody:

- Problematické určování emisivity měřeného objektu
- Chyby způsobené prostupností prostředí a odraženým zářením
- Složitost měřicí techniky
- Vysoká cena měřicí techniky

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 34
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Použití:

- **Pyrometry**
Úhrnné pyrometry se používají pro dlouhodobé měření teploty, například teploty v pecích.
Monochromatické a pásmové pyrometry využíváme k měření, kde se náhodně vyskytuje plyn nebo pára, například ve válcovnách a slévárnách.
Pyrometry s automatickou korekcí emisivity a poměrové pyrometry se používají k měření teploty objektu s neznámou hodnotou emisivity.
Pyrometry s optickými vlnovody se používají k měření teploty v agresivním nebo neprostupném prostředí.
- **Termovize**
Snímání teplotních polí se využívá ke kontrole úniků tepla ve stavebnictví a energetice, dále v slévárenství, strojírenství, teplárenství, zdravotnictví, v bezpečnostních systémech nebo pro armádní účely.

5 PRAKTICKÁ UKÁZKA

Praktická ukázka, průzkum elektrických rozvodných a mechanických zařízení, byla převzata z www.red-current.com.

5.1 Popis měření

Ke kontrole elektrických rozvodných a mechanických zařízení byla použita metoda termovize. Snímání bylo provedeno termokamerou FLIR T420.

Kontrola byla provedena vyškoleným pracovníkem, jehož úkolem bylo lokalizovat problémová zařízení. Pokud byly zjištěny abnormality, jsou prezentovány barevné termogramy a digitální fotografie a je uvedena pravděpodobná příčina poruchy. [18]

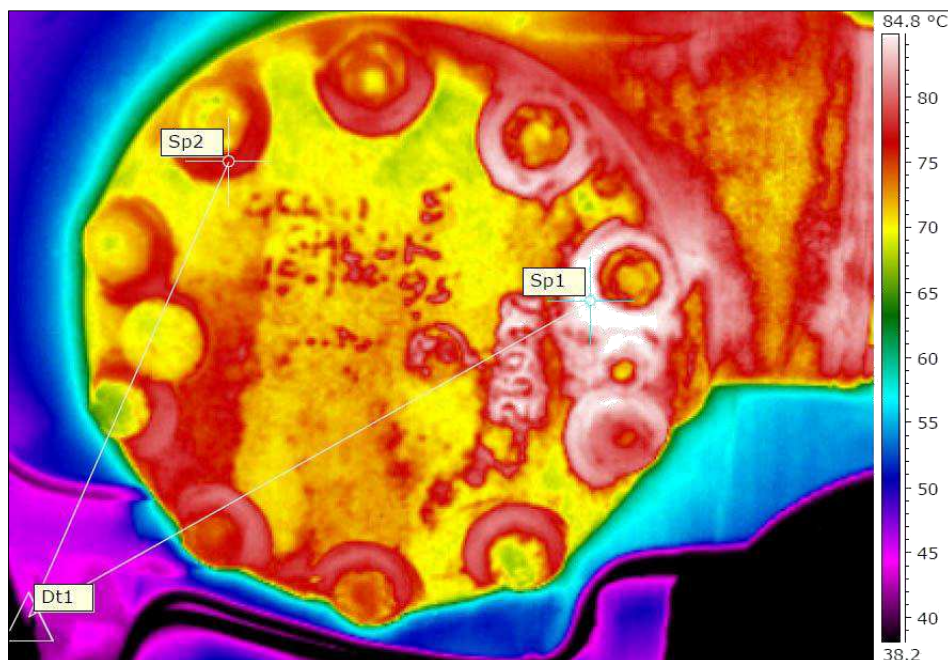
5.2 Měřící technika

FLIR T420

- senzor: nechlazená FPA mikrobolometrické matice
- rozlišení: 320 x 240 pixelů
- rozsah spektra: 7,5 až 13 μm
- zorný úhel: 25°x19°
- teplotní rozsah: -20 až +650 °C
- citlivost: 0,045 °C při 30 °C
- přesnost: ± 2 °C
- rozlišení digitální kamery: 2048 x 1536 pixelů
- display: dotykový, 3,5", LCD s rozlišením 320 x 240 pixelů
- formát obrázků: JPEG, radiometrický formát
- cena: cca 300 000 Kč [19]

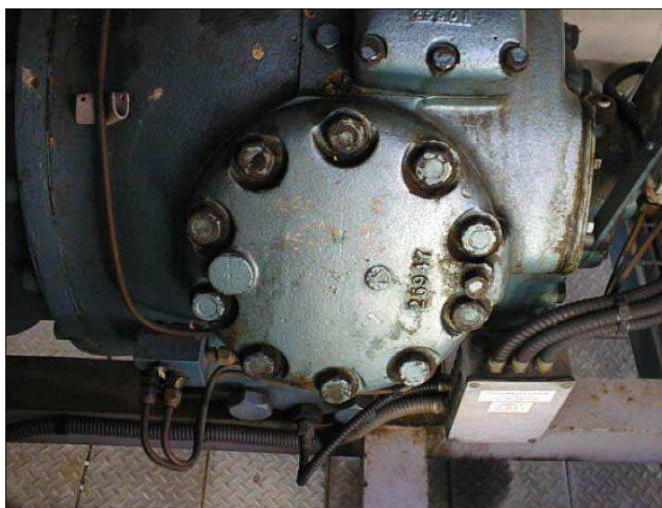


5.3 Ukázky z měření



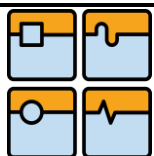
Obr. 32 Kompresor – termografický snímek [18]

Okolní teplota: 21 °C	Bod 1 (Sp1): 86,3 °C
Odražená teplota: 21 °C	Bod 2 (Sp2): 76,9 °C
Emisivita: 0,95	Rozdíl Sp1; Sp2: 9,5 °C



Obr. 33 Kompresor [18]

Komentář: Pravděpodobně uvolněné šrouby nebo zdeformovaná hlava. Doporučení zkontrolovat utažení šroubů, případně vyměnit těsnění pod hlavou. [18]



Obr. 34 Ložisko – termografický snímek [18]

Okolní teplota: 20 °C	Bod 1 (Sp1): 57,0 °C
Odražená teplota: 20 °C	Bod 2 (Sp2): 39,1 °C
Emisivita: 0,95	Rozdíl Sp1; Sp2: 18 °C



Obr. 35 Ložisko [18]

Komentář: Ložisko na jedné straně je o 18 °C teplejší než ložisko na druhé straně. To je pravděpodobně způsobeno nedostatečným/přílišným mazáním nebo házením ložiska. [18]



ZÁVĚR

V práci jsou uvedeny a popsány nejpoužívanější dotykové senzory teploty s elektrickým výstupem. Další speciální senzory teploty jsou zmíněny jen okrajově, také problematika bezdotykového měření teploty popsána stručněji.

Rešeršní část popisuje nejen principy a zásady dotykového a bezdotykového měření teploty, ale také několik typů nejpoužívanějších dotykových senzorů, přičemž každý typ senzoru má několik možností provedení a konstrukčního uspořádání. V práci je také zmíněno šest typů speciálních dotykových senzorů. V části práce o bezdotykovém měření teploty jsou popsány základní typy snímačů infračerveného záření a jejich aplikace v sedmi různých pyrometrech. Popsán je také princip snímání teplotních polí neboli termografie.



V samotném srovnání jednotlivých typů dotykových senzorů teploty z hlediska vlastností a použitelnosti bylo čerpáno z katalogů a internetových stránek od výrobců teplotních senzorů jako NXP semiconductors, Siemens, Telemeter electronic, Omega a českých velkododavatelů jako JSP, Qtest nebo TME. Pro srovnání bezdotykové měřicí techniky byly použity zdroje od firem jako FLIR a FLUKE. Existuje samozřejmě nespočet dalších výrobců.

Ze srovnání vyplývá, že nejpoužívanější dotykové senzory teploty jsou termoelektrické senzory, dále pak kovové odporové senzory a NTC termistory, zvláště kvůli jejich jednoduchosti, mnoha variacím a nízké ceně. Mezi bezdotykovou měřicí technikou jsou nejpoužívanější termokamery, dále úhrnné a pásmové pyrometry.

Na závěr práce je ukázka bezdotykového měření teploty metodou termovize, kde jsou kontrolovány strojní součásti. Je zde demonstrováno, jak je měření teploty důležité a to nejen ve strojírenství.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KREIDL, M. *Měření teploty – senzory a měřící obvody*, 1. vyd. Praha: BEN, 2005, s. 240 ISBN 80–7300–145–4
- [2] *Wikipedie* [on-line]. [cit. 2013-02-11]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki.htm>
- [3] *Snímače teploty* [on-line]. [cit. 2013-02-11]. Dostupný z WWW: <http://skriptum.wz.cz/autom/teplota.htm>
- [4] *5. Teplotní senzory* [on-line]. [cit. 2009-02-13]. Dostupný z WWW: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/05aTeplotn%A1%20senzory.pdf>
- [5] *Odporové snímače teploty* [on-line]. [cit. 2013-02-13]. Dostupný z WWW: http://www.jsp.cz/files/uvod_C.pdf
- [6] *Měření teploty-kovové odporové senzory teploty* [on-line]. [cit. 2013-02-13]. Dostupný z WWW: <http://hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/ART1095-Mereni-teploty---kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [7] *Měření teploty* [on-line]. [cit. 2013-02-13]. Dostupný z WWW: http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt_fpbt/prednasky/2-MRT_2010-Teplota.pdf
- [8] *Odporová teplotní čidla* [on-line]. [cit. 2013-02-13]. Dostupný z WWW: http://www.telemeter.info/documents/odporov%C3%A1_teplozn%C3%AD_cidla.pdf
- [9] *Měření teploty-polovodičové odporové senzory teploty* [on-line]. [cit. 2013-02-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>
- [10] *TME - katalog* [on-line]. [cit. 2013-02-16]. Dostupný z WWW: http://www.tme.eu/cz/katalog/ochranne-termistory-ntc_112324
- [11] *Elektrické teploměry* [on-line]. [cit. 2013-02-16]. Dostupný z WWW: http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/MT_INaRP/MT-INFaRP07_Teplota.pdf
- [12] *Převodníky neelektrických veličin* [on-line]. [cit. 2013-02-20]. Dostupný z WWW: <http://ari.wikidot.com/prevodniky-neelektricky-ch-velicin>
- [13] *Snímače teploty* [on-line]. [cit. 2013-02-20]. Dostupný z WWW: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Snimace%20teploty.pdf>
- [14] *Snímače teploty* [on-line]. [cit. 2013-02-20]. Dostupný z WWW: <http://www.edumat.cz/texty/teplota.pdf>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [15] *Optovláknové snímače teploty pro náročná měření* [on-line]. [cit. 2013-02-20]. Dostupný z WWW: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006032701>
- [16] *Bezdotykové měření teploty* [on-line]. [cit. 2013-03-03]. Dostupný z WWW: <http://utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/104.pdf>
- [17] *Bezdotykové měření teploty* [on-line]. [cit. 2013-03-03]. Dostupný z WWW: http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt_fpbt/laboratore/BMT-priprava_lab_v4.pdf - BMT-priprava_lab_v4
- [18] *Thermographic Survey Report for Company Ltd.* [on-line]. [cit. 2013-04-16]. Dostupný z WWW: <http://www.red-current.com/images/stories/PDFS/example-electrical-mechanical-thermal-imaging-report.pdf>
- [19] *FLIR T400 - Series specifications* [on-line]. [cit. 2013-04-18]. Dostupný z WWW: <http://www.flir.com/cs/emea/en/view/?id=55894>