

Měření teploty v průmyslových aplikacích

Ing. L. Harwot, CSc.

Měření teploty patří mezi nejrozšířenější měření v průmyslových a laboratorních podmínkách. Výsledek měření teploty zařízení obsahuje jak samotnou hodnotu naměřené teploty, tak také informaci o technickém stavu zařízení a umožňuje stanovit možnou příčinu již probíhající nebo následné poruchy, která je způsobena zvýšeným oteplením části nebo celého zařízení. Včasné odhalení neočekávaného oteplení může, v mnoha případech, zabránit poškození nebo požáru zařízení. Např. při bezkontaktním měření teploty svorek elektrických propojení, jak je zobrazeno na obr. č.1., lze zjistit zvýšenou teplotou spoje nedokonalé propojení obvodů.



Obr. č. 1 Měření oteplení kontaktů bez vypnutí zdroje

1 Měření teploty – rozdělení podle snímačů teploty

Podle použitých snímačů teploty je možné rozdělit měření teploty do dvou základním skupin na

- měření kontaktní
- měření bezkontaktní.

Speciální technická měření vyžadují většinou kombinaci obou metod společně, protože každá metoda má určité výhody a nevýhody.

1. 1 Kontaktní měření teploty

Během kontaktního měření teploty dochází k přímému mechanickému kontaktu mezi měřeným objektem a teplotním snímačem

Výhody kontaktního měření teploty

- přímé měření teploty povrchu tělesa
- zanedbatelný vliv prostupnosti prostředí

Nevýhody kontaktního měření teploty

- ovlivnění povrchu tělesa teplotním snímačem
- omezená možnost snímání rychlých změn teploty
- měření teploty pouze stacionárních objektů
- nemožnost měření teploty objektů pod napětím

1. 2 Bezkontaktní měření teploty

Během bezkontaktního měření nedochází k přímému mechanickému kontaktu mezi měřeným objektem a teplotním snímačem

Výhody bezkontaktního měření teploty

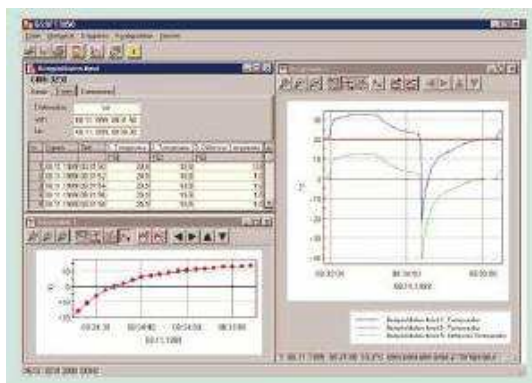
- minimální ovlivnění měřeného objektu teplotním snímačem
- měření rychlým změn teploty
- měření teploty nestacionárních objektů (tělesa v pohybu)
- měření jak lokální, tak celých povrchů

Nevýhody bezkontaktního měření

- nejistota měření teploty způsobená stanovením emisivity tělesa
- nejistota měření teploty způsobená prostupností prostředí (mezi snímačem teploty a povrchem tělesa)
- nejistota měření teploty způsobená odrazem z okolního prostředí
- měření teploty objektů pod napětím.

Měřicí přístroje měřící teplotu (teploměry) jsou většinou řešeny jako univerzální s možností připojení různých typů a provedení teplotních snímačů k jednomu nebo dvěma vstupním kanálům.

K měření z více měřicích míst jsou určeny měřicí ústředny, které jsou vybaveny měřicími kartami s možností snímání teploty z více míst současně. Naměřené hodnoty jsou následně zpracovány v reálném čase v počítači. Na obr. č. 2. je uveden záznam software z teploměru Greisinger GHM 3750. Software GSOF zaznamenává naměřené hodnoty jak v tabulce, tak graficky.



Obr. č. 2 Programové vybavení teploměrů Greisinger

2 Teplotní snímače kontaktní

Teplotní snímače, měřící teplotu kontaktně lze rozdělit na

- elektrické snímače
- dilatační snímače
- snímače speciální

Mezi nejrozšířenější snímače elektrické odporové lze zařadit snímače odporové a termoelektrické. Speciální snímače mohou být odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem a krystalové.

2. 1 Elektrické odporové snímače teploty

Elektrické odporové (kovové) snímače teploty využívají k měření teploty závislost odporu kovu na teplotě. U provozních kovových snímačů teploty je možné, v rozsahu teplot od 0° C do 100° C, uvádět teplotní závislost vztahem

$$R(t) = R_0 (1 + a t) \quad [\text{Ohm}] \quad (1)$$

kde R_0 je odpor při teplotě 0° C
 $R(t)$ odpor snímače při teplotě t
 a teplotní součinitel odporu

Teplotní součinitel odporu je dán vztahem

$$a = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} \quad [\text{K}^{-1}] \quad (2)$$

kde R_0 je odpor snímače při teplotě 0° C
 R_{100} odpor snímače při teplotě 100° C

U vyšších rozsahů teplot je závislost odporu snímač na teplotě vyjádřena složitým nelineárním vztahem ve kterém se uplatňují také materiálové vlastnosti použitého kovu.

2. 1. 1 Platinové odporové teplotní snímače

Nejčastěji používané elektrické odporové snímače teploty jsou snímač platinové. Platina je chemicky netečná, vyznačuje se časovou stálostí a vysokou teplotou tání. Teplotní snímač je tvořen většinou platinovým drátkem o velmi malém průměru (0,03 mm), který je zataven do keramické nebo skleněné trubičky. Teplotní délková roztažnost platiny je odlišná od teplotní délkové roztažnosti keramiky nebo skla a proto při měření dochází k systematické nejistotě měření. Tato nejistota je má charakter hystereze a lze ji uložit do vnitřní paměti teploměrů a počítat s ní jako s nejistotou systematickou.

Nejpřesnější teplotní snímače platinové, určené k metrologickým měření, používají platinový snímač, jehož drátek (čistota platiny 99,999%) je uložen volně ve vzduchu nebo směsi netečných plynů.

Dle doporučení IEC jsou rozděleny platinové teploměry do dvou základních tříd

- třída A (rozsah teploty -200 až $+650^{\circ}\text{C}$)
- třída B (rozsah teploty -200 až $+650^{\circ}\text{C}$)

Velikost odporu teplotního platinového snímače při teplotě 0°C rozděluje platinové odporové snímače podle označení na

- Pt 100 (100 Ohm při 0°C)
- Pt 1000 (1000 Ohm při 0°C)

Ve speciálních případech jsou používány teploměry Pt 50, Pt 200, Pt 500 a Pt 2000.

Teplotní snímače odporové jsou vyráběny jako dvou nebo čtyř vodičové. U snímačů dvou vodičových je odpor přívodů připočítáván k vlastnímu odporu snímače, u teploměrů čtyř vodičových je odpor přívodů eliminován (podobně jako u Kelvinova čtyř vodičového připojení při měření velmi malých odporů).

Podle způsobu měření teploty tělesa jsou teplotní odporové snímače platinové rozděleny na

- snímače povrchové
- snímače zapichovací
- snímače ponorné
- snímače speciální

Podle přesnosti lze, odporové platinové snímače rozdělit na

- základní provedení
- provedení s přesností 1/3 DIN
- provedení s přesností 1/10 DIN

Vyšší třída přesnosti snímače (např. 1/10 DIN) je omezena teplotním rozsahem pro který je snímač určen. Např. snímač má teplotní rozsah od -200 do $+600^{\circ}\text{C}$, přesnost 1/10 DIN je zaručena výrobcem v teplotním rozsahu od 0 do $+50^{\circ}\text{C}$.

2. 1. 1. 1 Teplotní odporové snímače platinové

Výrobe teplotních platinových snímačů společnost Greisinger (Německo) rozděluje snímače podle přesnosti provedení ve vztahu k teplotnímu rozsahu na

1/10 DIN	0 až +100° C
1/3 DIN	-50 až 0° C a +100 až +300° C
1/2 DIN	ostatní teplotní rozsah snímače

Teplotní snímače Pt 100 jsou vyráběny v teplotním rozsahu -50 až + 600° C, dle normy DIN třídy B s přesností standardní nebo až 1/10 DIN.

Snímače Pt 1000 jsou dodávány v teplotním rozsahu -70 až +200° C.

Snímače jsou v provedení pro měření povrchové teploty, teploty v roztocích (ponorné) nebo zapichovací (teplota měkkých látek, zmrazeného zboží).

Podle připojení k teploměru jsou teplotní snímače vyráběny jako, tři nebo čtyř vodičové.

Teplotním snímače jsou zakončeny rukojetí z umělé hmoty a s teploměrem jsou propojeny propojovacím kabelem.

Rukojeť teplotního snímače je vyráběna, podle teplotní odolnosti

- z umělé hmoty v teplotním rozsahu (-50 až +200° C)
- teflonová v teplotním rozsahu (-200 až +260° C)

Kabel spojující snímač s teploměrem může být

- silikonový – teplotní rozsah (-50 až +200° C)
- teflonový – teplotní rozsah (-200 až +250C)
- PVC – teplotní rozsah (-20 až +70° C)
- se skelnou izolací – teplotní rozsah (-50 až +400° C).



Obr. č. 3 Platinové odporové snímače

2. 1. 2 Niklové odporové teplotní snímače

Výhodou niklových odporových teplotních snímačů je v porovnání s platinovými teploměry rychlejší teplotní odezva, vyšší citlivost a malé rozměry. Nevýhodou je omezený teplotní rozsah a nelinearita.

2. 1. 3 Polovodičové odporové snímač teploty

Polovodičové odporové teploměry využívají k měření teploty opět teplotní závislost odporu na teplotě.

Polovodičové odporové snímače lze rozdělit na

- termistory
- monokrystalické snímače

2. 1. 3. 1 Termistory

Termistory, které jsou podle struktury amorfní a polykrystalické, lze rozdělit na

- negastory
- pozistory

Negastory mají záporný teplotní koeficient, jsou vyráběny práškovou technologií. Standardní teplotní rozsahy jsou od -50 do $+150^{\circ}\text{C}$, speciální provedení umožňuje měření jak velmi nízkých, tak vysokých teplot do $+1000^{\circ}\text{C}$.

Pozistory s kladným teplotním koeficientem se vyrábějí z polykrystalické feroelektrické keramiky ve standardním teplotním rozsahu od $+60$ do $+190^{\circ}\text{C}$.

2. 1. 3. 2 Monokrystalické snímače

Polovodičové monokrystalické snímače se vyrábějí z křemíku germania. Standardní teplotní rozsah je od -50 do $+150^{\circ}\text{C}$.

Odporové niklové, měděné a polovodičové teplotní snímače jsou používány zpravidla ve speciálních případech měření (automatická měření hodnot, měření oteplení vinutí, apod.).

2. 1. 4 Termoelektrické snímače teploty

Termoelektrické teplotní snímače (termočlánky) využívají při měření teploty Seebeckova jevu (1821), podle kterého elektromotorické napětí teplejšího místa, vzniklé kontaktním rozdílem potenciálů a tepelným spádem je větší než elektromotorické napětí chladnějšího místa. Podle II. Kirchhoffova zákona protéká uzavřeným obvodem tvořeným termočlánkem s rozdílnými teplotami konců elektrický proud.

Termoelektrický teplotní snímač je tvořen spojením dvou vodičů různých materiálů. Termoelektrické snímače jsou normalizovány a jsou označovány, dle IEC velkými písmeny (E, J, K, T, N, C, R, S, B).

Standardně jsou určeny termočlánky k měření teplot do 900° C, speciální provedení termočlánků umožňuje měření teplot až do 1600° C.

Označení vybraných typů termočlánků je následující

E	NiCr - CuNi
N	NiCrSi - NiSi
J	FE - CuNi
R	PtRh13 - Pt
T	Cu - NiCu
S	PtRh10 - Pt
K	NiCr - NiAl

K běžným měřením jsou používány nejčastěji termočlánky s označením K (NiCr - NiAl), které měří teplotu v rozsahu od -65 do +900° C.

2. 1. 4. 1 Teplotní snímače termočlánekové

Termočlánekové snímače teploty společnosti Greisinger jsou vyráběny jak v provedení základním tak speciálním.

Základní provedení snímače obsahuje termočlánek zakončený standardním konektorem NST1200, který umožňuje připojení k teploměru. Termočlánekové dráty mají většinou průměr 0,2 mm a podle teplotního rozsahu jsou opatřeny skelnou nebo teflonovou izolací.



Obr. č. 4 Termočlánek základního provedení

Speciální provedení teplotního snímače sestává ze snímače, rukojeti a propojovacího kabelu zakončeného opět konektorem NST1200.

Snímače mohou být určeny k měření teploty na povrchu objektu, v kapalině, ve vzduchu, nebo v měkkých látkách.

Vybrané termočláňkové snímače typu K

Termočláňkové snímače typu K lze rozdělit, podle místa měření teploty na

- povrchové
- ponorné
- prostorové, apod.

Povrchové snímače měří teplotu v rozsahu -65 až $+900^{\circ}\text{C}$.

Typickými představiteli jsou

- teplotní snímač GOF 500 (zakončení ploškou o průměru 30mm, odezva 3s, teplotní rozsah -65 až $+500^{\circ}\text{C}$)
- teplotní snímač GOF 130 (zakončení pružinkou, odezva 2s, teplotní rozsah -65 až $+900^{\circ}\text{C}$)
- teplotní snímač GOF 200HO (zakončení drátovým křížem, kolmo k rukojeti, odezva 2s, teplotní rozsah -65 až $+400^{\circ}\text{C}$)
- teplotní snímač GMF 250 (zakončení magnetickým držákem, odpružená měřicí sonda, odezva 5s, teplotní rozsah -65 až $+200^{\circ}\text{C}$)



Obr. č. 5 Termočláňek průmyslový zabudovaný v jímce u oceli

Ponorné termočláňkové snímače měří teplotu rozsahu -65 až $+1150^{\circ}\text{C}$.

Typickými představiteli jsou

- teplotní snímač GTF 900 (zakončení ocelovou jímkou o průměru 3mm, odezva 5s, teplotní rozsah -65 až $+1000^{\circ}\text{C}$)
- teplotní snímač GTF 1200 (zakončení ocelovou jímkou o průměru 3mm, odezva 5s, teplotní rozsah -65 až $+1150^{\circ}\text{C}$)

Prostorový snímač GTL 130 měří teplotu vzduchu a plynů, které procházejí ocelovou jímkou o průměru 8mm v teplotním rozsahu -65 až $+600^{\circ}\text{C}$. Odezva na změnu teploty snímače je 1,5 s.

Termočláňkové snímače typu S

Speciální teplotní snímače typu S (PtRh10 – Pt) měří teplotu až do 1600°C . Termočláňkové drátky jsou u těchto snímačů umístěny v keramické jímce, která může být pevně zabudovaná např. ve vypalovací peci. Snímače tohoto provedení je nutno pomalu zahřívat a chladit, nesmějí být vystaveny mechanickému namáhání.

Termočláňkové snímače typu N

Teplotní snímače typu N (NiCrSi – Ni Si) měří trvale teplotu až do 1300°C . Plášť snímače tvoří nerezová ocel s vysokou odolností proti oxidaci při vysokých teplotách. Plášť snímačů je rovněž chráněn proti působení chloru a amoniaku.

2. 1. 5 Dilatační snímače teploty

Dilatační teplotní snímače využívají k měření teploty závislost změny objemu látky na teplotě. Změna teploty je indikována změnou délky, objemu nebo tlaku.

Nejrozšířenější dilatační teploměry jsou teploměry

- skleněné
- dvojkovové.

Skleněné teploměry používají ve skleněné kapiláře zobrazující teplotu rtuť nebo pentan. Rtuť je používána v teplotním rozsahu od -30 do $+650^{\circ}\text{C}$, u teploměrů měřících nízké teploty je používán pentan (-200 až $+20^{\circ}\text{C}$).

Dvojkovové teploměry (bimetal – pevné spojení dvou kovů s rozdílným teplotním koeficientem) se používají k měření teplot do $+400^{\circ}\text{C}$. Většinou jsou řešeny jako zpětná regulační smyčka zařízení (kontrola teploty s následným mechanickým odpojením od zdroje napájení zařízení).

2. 1. 6 Speciální snímače teploty

Mezi speciální, laboratorní snímače teploty lze zahrnout

- akustické teplotní snímače (změna teploty v závislosti na změně rychlosti zvuku)
- šumové teplotní snímače (změna pohybu elektronů v závislosti na teplotě)

- kapacitní snímače teploty (teplotní závislost dielektrika kondenzátoru na teplotě)
- uhlíkové teplotní snímače (závislost odporu na teplotě – měření velmi nízkých teplot)
- magnetické teplotní snímače (závislost paramagnetických látek na teplotě)
- barevné (změny barvy na teplotě)

2. 1. 7 Teploměry

Základní teploměry společnosti umožňují připojení výše uvedených teplotních snímačů a zobrazení měřené teploty na LC displeji.

Speciální teploměry zobrazují, kromě reálně měřené teploty, také maximální a minimální teploty naměřené v souboru měření, vypočítávají relativní teplotu, umožňují připojení teploměru do regulačního obvodu, popřípadě zaznamenávají naměřené hodnoty do vnitřní paměti teploměru.

Minimální chybu soustavy teplotního snímače a teploměru zaručují vybrané teplotní snímače. Parametry snímače jsou, u vybrané soustavy, uloženy v paměti teploměru, kde jsou, podle požadavků kladených na měření korigovány. K dispozici je u těchto teplotních soustav kalibrační protokol s několika vybranými teplotními body.

2. 1. 7. 1 Vybrané typy základních teploměrů

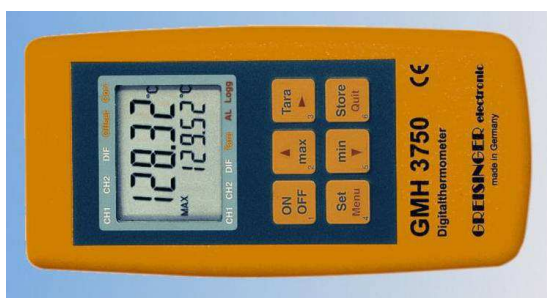
- teploměr GMT 1150 (termočlánek K, rozlišení 1°C , 3 ½ LCD, teplotní rozsah -50 až $+1150^{\circ}\text{C}$)
- teploměr GMH 1170 (termočlánek K, rozlišení $0,1^{\circ}\text{C}$, displej 3 ½ LCD, teplotní rozsah -50 až $+1150^{\circ}\text{C}$)



Obr. č. 6 Digitální teploměr GMH 1170

2. 1. 7. 2 Vybrané typy speciálních teploměrů

- GMH 3210 (termočláanky J, K, N, S, T, rozlišení $0,1^{\circ}\text{C}$, displej 2 x 4 LCD, teplotní rozsah dle připojeného termočláanky, RS 232, USB rozhraní)
- GMH 3230 (dva vstupní kanály, termočláanky J, K, N, S, T, rozlišení $0,1^{\circ}\text{C}$, displej 2 x 4 LCD, teplotní rozsah dle připojeného termočláanky, funkce TARA/DIF, RS 232, USB rozhraní)
- GMH 3250 (GMH 3230 + vnitřní paměť, silový výstup k ovládání zařízení regulační smyčky)
- GMH 3710 (Pt100 4 vodičové připojení, rozlišení $0,01^{\circ}\text{C}$, displej 2 x 5 LCD, teplotní rozsah dle připojeného termočláanky, linearizace, funkce MAX, MIN, Hold, korekce nulového bodu a strmosti, RS 232, USB rozhraní)
- GMH 3750 (GMH 3710 + vnitřní paměť, silový výstup k ovládání zařízení regulační smyčky)



Obr. č. 7 Digitální teploměr GMH 3750

2. 1. 7. 3 Vybrané sestavy speciálních teploměrů s vyšší přesností

- teploměr GMH 3750 a teplotní snímač GTF 401 (teplotní rozsahu od -20 do $+70^{\circ}\text{C}$, přesností $0,07^{\circ}\text{C}$)
- teploměr GMH 3750 a teplotní snímač GTF 401 (teplotní rozsahu od 0 do $+250^{\circ}\text{C}$, přesností $0,3^{\circ}\text{C}$)
- teploměr GMH 3750 a teplotní snímač GTF 4601 (teplotní rozsahu od 0 do $+500^{\circ}\text{C}$, přesností $0,5^{\circ}\text{C}$)

3 Teplotní snímače bezkontaktní

Bezkontaktní měření povrchové teploty objektů je založeno na elektromagnetickém záření mezi měřeným objektem a snímačem záření. Záření probíhá v rozsahu vlnových délek od 0,4 do 25 μm , což odpovídá měření teplot od -40 do $+10\,000^\circ\text{C}$.

Mezi základní parametry snímačů lze zařadit

- integrální citlivost (je dána podílem elektrického napětí na výstupu snímače a zářivého toku dopadajícího na citlivou plochu snímače)
- spektrální citlivost (je dána podílem integrální citlivosti a vlnové délky)
- relativní spektrální citlivost (je dána podílem spektrální citlivosti k spektrální citlivosti vlnové délky)

Bezkontaktní měření teploty je ovlivněno také parametry prostředí, kterým se šíří elektromagnetické záření jakož i povrchem měřeného objektu.

Význačnými parametry prostředí jsou

- pohltivost **a**
- propustnost **b**
- odrazivost **c**
- emisivita **e**

Základní vztahy pro zákony bezkontaktního měření (Plancův, Wienův, Stefan-Boltzmanův, Lambertův a Kirchhoffův zákon) jsou platné pro černé těleso.

Pro těleso reálné lze psát vztah

$$M = e M_0$$

kde	e	je emisivita
	M_0	černé těleso
	M	reálné těleso

Základní teploměry určené k bezkontaktnímu měření (pyrometry) mají nastaven činitel emisivity na 0,95. U přístrojů pokročilých je možné emisivitu nastavit podle povrchu měřeného objektu (zejména u lesklých povrchů je nutno věnovat nastavení činitele emisivity zvýšenou pozornost a emisivitu snížit).

Pohltivost, propustnost, odrazivost a emisivita jsou funkcemi vlnové délky a teploty.

Pro výše uvedené význačné parametry prostředí platí vzájemné vztahy

$$a + b + c = 1 \quad (3)$$

$$e + b + c = 1 \quad (4)$$

Budeme-li uvažovat závislost veličin na vlnové délce λ můžeme psát vztahy ve tvaru

$$a_{\lambda} + b_{\lambda} + c_{\lambda} = 1 \quad (5)$$

$$e_{\lambda} + b_{\lambda} + c_{\lambda} = 1 \quad (6)$$

Podle velikosti reálně měřené plochy lze rozdělit bezkontaktní měření teploty na

- měření bodové (snímání bodové teploty)
- měření plošné (snímání teplotního pole)

Teploměry měřící teplotu povrchu tělesa bezkontaktně - bodově (pyrometry) lze rozdělit, podle zpracování spektra vlnových délek na

- přístroje vyhodnocující celé spektrum vlnových délek
- přístroje vyhodnocující vybrané pásmo vlnových délek
- poměrové přístroje dvoupásmové
- poměrové přístroje vícepásmové
- pyrometry nezávislé (teoreticky) na emisivitě

Cílem výše uvedených metod měření a vyhodnocení je umožnit měření teploty, které by bylo nezávislé na emisivitě, která je stěžejním parametrem ovlivňujícím měření.

Systémy měřící teplotu bezkontaktně - plošně (termovize) lze rozdělit, podle měřicí metody a zpracování měřená na

- systémy bez rozkladu obrazu
- systémy s rozkladem obrazu

Měřicí systémy bez rozkladu obrazu pracují do vlnových délek $1 \mu\text{m}$.

Měřicí systémy s rozkladem obrazu používají rozklad obrazu elektronický nebo opticko-mechanický. Termovizní kamery v současné době používají pouze elektronický rozklad obrazu.

3. 1 Bezkontaktní - bodové měření povrchové teploty

U přístrojů měřících teplotu povrchu tělesa bodově (pyrometry) je používán k označení měřené plochy laserový zaměřovač jednobodový nebo vícebodový.

Jednobodový zaměřovač používají přístroje základního provedení. Laserovým paprskem je označen střed měřené plochy přičemž celá plocha, z níž je snímána povrchová teplota, je určena poměrem D / S (D je vzdálenost mezi pyrometrem a měřenou plochou a S je plocha, jejíž teplota je měřena). Čím je větší vzdálenost mezi pyrometrem a měřeným povrchem, tím je měřena povrchová teplota z větší plochy.

U základních pyrometrů udává výrobce poměr $D / S = 8 / 1$, u přístrojů vyšší třídy je udáván poměr $D / S = 20 / 1$, popřípadě $75 / 1$ nebo $180 / 1$.

Mikroprocesorové řízení přístrojů umožňuje měření a zpracování matematických funkcí (MIN, MAX, Hold), jakož i uložení naměřených hodnot do paměti přístroje.



Obr. č. 10 Pyrometr GIM 1840 ST25XB

Pyrometr **GIM 530 MS** s rychlou odezvou (0,3s) měří teplotu od -32 do 530°C s rozlišením $0,1^{\circ}\text{C}$. Přístroj měří v oblasti vlnových délek 8 až $14\text{ }\mu\text{m}$, má nastavitelný koeficient emisivity od 0,100 do 1,000. Laserový zaměřovač přístroje s výkonem 1 mW, podsvětlený LC displej, mikroprocesorové řízení a optická soustava s poměrem $D / S = 20 / 1$ zařazují přístroj do vyšší třídy pyrometrů.

Pyrometr, s nastavitelným poměrem D / S , **GIM 3590** měří teplotu povrchu od -35 do $+900^{\circ}\text{C}$, s rozlišením $0,1^{\circ}\text{C}$ má nastavitelnou emisivitu v rozsahu 0,100 až 1,00. Speciální optický systém přístroje s rozlišením D / S umožňuje měření v poměru jak základním ($1200\text{mm} / 16\text{mm}$) tak speciálním ($62\text{mm} / 1\text{mm}$).

Displej přístroje s analogovou stupnicí, externí připojení termočlánku typu „K“, funkce MAX, MIN, Hold, DIF, AVG, alarm, vnitřní paměť a komunikační rozhraní USB rozšiřují možnosti použití jak v laboratorních, tak průmyslových měřeních.



Obr. č. 11. Pyrometr GIM 3590

Pyrometry Fluke řady 572, 574, 576, měří bezkontaktně povrchovou teplotu v rozsahu od -30 do $+900^{\circ}\text{C}$, poměr D / S je udáván výrobcem $60 / 1$, přičemž ohraničení měřené plochy je indikováno 3 bodovým laserovým paprskem. Přístroje umožňují komunikovat s prostředím prostřednictvím rozhraní RS 232 nebo USB.



Obr. č. 12 Pyrometr Fluke 576

Pyrometry **FLUKE** třídy **3i** měří teplotu až do $+3000^{\circ}\text{C}$, speciální optika umožňuje nastavit poměr $D / S = 25 / 1$ až $180 / 1$, což je nezbytné při měření vysokých teplot z dostatečné vzdálenosti.



Obr. č. 13 Pyrometr Fluke řady 3i

3. 2 Bezkontaktní - plošné měření povrchové teploty

Bezkontaktní měření povrchové teploty na ploše (termovize) umožňuje zjistit rozložení teplotního pole v měřeném prostoru. Termovizní přístroje jsou vybaveny LC barevným displejem s vysokým kontrastem, měří v rozsahu -20 až $+600^{\circ}\text{C}$ s citlivostí $0,08^{\circ}\text{C}$. Naměřené hodnoty (obrázky z LCD) je možné přenášet a archivovat na počítači.



Obr. č. 14 Bezkontaktní měření plochy přístrojem Fluke řady TI 40

Termovizní měření je rozšířeno v elektrotechnických měřeních, protože není nutno odpojovat měřený objekt od sítě a lze získat podrobné zobrazení rozložení teplotního pole měřeného povrchu.

Např. při měření oteplení propojení vodičů v rozvaděči, ze získat během velmi krátké doby informaci o vadných spojích, vyšší teplota, při měření motorů může odhalit vadné ložisko nebo nestandardní oteplení vinutí apod.

4 Měřicí ústředny

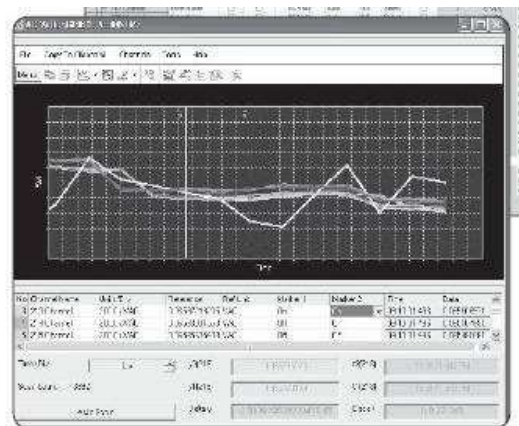
Měřicí ústředny umožňují reálné měření teploty z více míst. Ústředny obsahují měřicí karty k jejichž vstupním obvodům jsou připojeny teplotní snímače, např. termočlánky.

Měřicí ústředna **Agilent Technologies 34970A** umožňuje připojit až tři měřicí termočláňkové karty Agilent Technologies 34971A s 20 kanály. Mezi vybrané vlastnosti ústředny lze zařadit vysokou rychlost vzorkování (250 kanálů / sekundu), reálný přenos do počítače po rozhraní GPIB, RS 232, USB, alarm překročení nastavených hodnot, vnitřní paměť apod.



Obr. č. 15 Měřicí ústředna Agilent Technologies 34970A

Praktická měření s ústřednou Agilent 34970A byla provedena jak ve standardních podmínkách, tak v prostorách se silným magnetickým polem, kdy musel být poměr S / N filtrován vstupními obvody měřicí karty ústředny.



Obr. č. 16 Záznam teploty z měřicí ústředny Agilent 34970A

Naměřené hodnoty otepleného vzorku, jímž protékal proud 6 kA jsou uvedeny na obr. č. 16. Hladká křivka představuje měření ve vypnutém stavu, křivka s mnoha inflexními body je reprezentována neustáleným stavem po zapnutí proudu vzorkem. V tomto případě nejde o náhlou změnu oteplení, nýbrž o indikaci rušení magnetickým polem. Na základě ustáleného stavu i při zapnutém proudu 10kA lze říci, že ústředna plně vyhovuje požadavkům EMC.

5 Závěr

Cílem článku bylo seznámit čtenáře se současnými možnostmi měření teploty jak kontaktně, tak bezkontaktně, popř. termovizními systémy. V mnoha případech byly pouze nastíněny teoretické požadavky kladené na měření, měřicí metodu a vyhodnocení měření.

