

## MĚŘENÍ TEPLoty

- teplota je jednou z nejdůležitějších veličin ovlivňujících téměř všechny stavy a procesy v přírodě
- při měření teploty se měří obecně jiná veličina  $A$ , která je na teplotě závislá podle určitého vztahu  $A = f(A)$ , který lze číselně vyjádřit
- k měření teploty se využívá celé řady funkčních principů

### Pro praxi je důležité:

- správné rozhodnutí o **výběru teploměru**
- vhodné zabudování** teploměrného snímače
  - eliminace nebo potlačení rušivých vlivů na údaj snímače

### Rozdělení snímačů teploty:

- snímače dotykové
- snímače bezdotykové

1

## Přehled technických teploměru

Skupina teploměru	Typ teploměru	Fyzikální princip	Teplotní rozsah [°C]
Dilatační teploměry	plynový	změna tlaku	-5 +500
	kapalinový	změna tenze par	-200 +400
	kovový	změna objemu délková roztažnost	+750 0 +900
Elektrické teploměry	termoelektrické	termoelektrický jev	-200 +1 700
	odporové kovové odporové polovodičové diodové	změna elektrického odporu změna prahového napětí	-250 +1 000 -200 +400
Speciální teploměry	teploměrná tělíska	bod tání	+100 +1 300
	teploměrné barvy kapalné krystaly	změna barvy změna orientace	+20 +1 000 0 +300
Bezdotykové teploměry	širokopásmové pyrometry	zachycení veškerého teplotního záření	-40 +5 000
	monochromatické pyrometry	zachycení úzkého svazku záření	+100 +3 000
	poměrové pyrometry	srovnání dvou svazků teplotního záření o různých vlnových délkách	+700 +2 000
	termovize	snímání teplotního obrazu tělesa	-30 +1 200

2

## Speciální teploměry

- teploměrná tělíska**
  - využívá se keramické hmoty s definovaným bodem měknutí
  - dochází k deformaci teploměrného tělíska ve tvaru šikmého jehlanu
- teploměrné barvy**
  - na bázi **kapalných krystalů** (termochromní kapalné krystaly)
    - kapalné krystaly cholesterického typu, u nichž dochází k vratným změnám orientace se změnou teploty
  - na bázi organických **molekulárních komplexů**
    - dochází ke změně barvy při tzv. teplotě zvratu

### Použití speciálních teploměru:

- pro měření **povrchové teploty** těles
- k přípravě **termochromních tiskových barev** např. pro etikety (termocitlivá látka je uzavřena do polymerní mikrokapsle)
- pro jednorázové změření teploty
- nejsou vhodné jako čidla regulátorů v řídicích obvodech

3

## Ukázky aplikace termochromních barev samolepící štítky



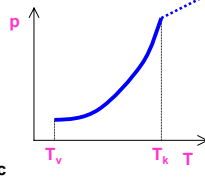
4

## Teploměry tenzní

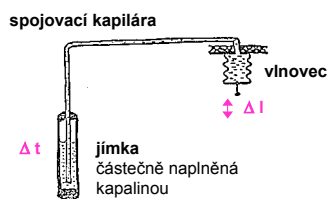
- využívají závislosti tenze par na teplotě, kterou je možno vyjádřit např. Antoineovou rovnicí:

$$\log p = A - \frac{B}{t + C}$$

Statistická charakteristika:



### Provedení tenzního teploměru:



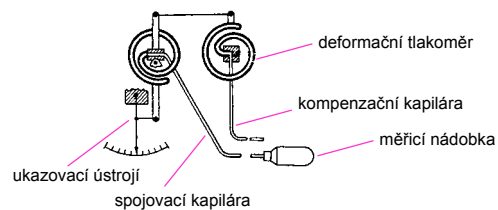
**Používané náplně:**  
propan (-40 až 90) °C  
ethylether (35 až 190) °C  
toluen (120 až 300) °C  
a další ...

6

## Teploměry kapalinové

- měření změn objemu při změně teploty:  $V_t = V_0 (1 + \beta \cdot t)$
- běžně používané jsou skleněné teploměry, nejčastěji plněné rtuť

### Provedení kapalinového teploměru pro provozní použití:



### Používané náplně:

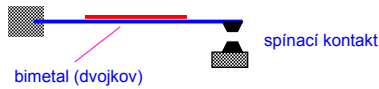
rtuť (-30 až 500) °C, xylén (-40 až 400) °C, methanol (-40 až 150) °C aj.

7

## Dvojkové senzory teploty

- teploměrným čidlem je **bimetal** (dvojkov)
- bimetalický pásek je zhotovený ze dvojice pevně spojených kovových materiálů s rozdílným teplotním součinitelem roztažnosti

Provedení bimetalového teploměru pro spínací účely:



- pro zvýšení citlivosti bývá bimetalový pásek stočen do spirály nebo šroubovice
- bimetalových senzorů se nejčastěji využívá pro dvupolohovou regulaci teploty

8

## Elektrické teploměry

- **termoelektrické snímače teploty**
- **odporové snímače teploty**
- transformují teplotu na elektrický signál (napětí, proud, odpor)
- nejčastěji používané typy senzorů
  - pro **provozní měření** teploty
  - pro **čidla regulátorů** při automatickém řízení teploty
  - pro moderní **přenosné teploměry**

9

## Termoelektrické senzory teploty

- termoelektrické senzory jsou založeny na **Seebeckovu jevu** (převod tepelné energie na elektrickou)
- **termoelektrický článek** je tvořen dvěma vodiči z různých kovových materiálů, které jsou na obou koncích spolu vodivě spojeny
- jestliže teplota  $t_m$  měřicího spoje bude různá od teploty  $t_0$  srovnávacího spoje, vzniká **termoelektrické napětí** a obvodem prochází proud
- v zjednodušené formě můžeme závislost termoelektrického napětí na teplotě vyjádřit lineárním vztahem:

$$E = \alpha_{AB}t_m + \alpha_{BA}t_0 = \alpha_{AB}(t_m - t_0)$$

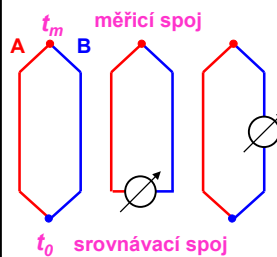
$\alpha_{AB}$  je koeficient závislý na materiálech použitých kovů a platí  $\alpha_{AB} = -\alpha_{BA}$

Uvedený vztah platí jen pro úzké rozmezí teplot. Pro přesnější vyjádření se používá vztahu:

$$E = \sum_{i=0}^n a_i \Delta t^i \quad n = 2 \text{ až } 14 \text{ podle požadované přesnosti}$$

10

## Měřicí obvod termočlánu



- dva spojené kovové vodiče **A** a **B** navzájem spolu spojené
  - **měřicí spoj**
  - **srovnávací spoj**
- pro správnou funkci snímače je nutné aby teplota  $t_0$  srovnávacího spoje byla konstantní, nebo aby vliv termoelektrického napětí tohoto spoje byl kompenzován

**Měření termoelektrického napětí:**

- měřicí přístroj se zapojuje tak, že se rozpojí srovnávací spoj
- měřicí přístroj se zapojuje do jedné větve termočlánu

11

## Přehled vlastností termočlánu

**Materiál na výrobu termočlánu by měl vykazovat:**

- co největší a lineární přírůstek termoelektrického napětí s teplotou
- stabilitu údaje při dlouhodobém provozu
- odolnost proti chemickým a mechanickým vlivům

**Páry materiálů pro vytvoření termočlánu jsou normalizovány.**

**Některé typy termočlánu jsou uvedeny v tabulce:**

Označení a název termočlánu	T měď-měďnikl	J železo-měďnikl	K niklchrom-niklhlinik	S platinarhodium-platina
Použitelnost trvale krátkodobě	(-200 až +400) °C +600 °C	(-200 až +600) °C +900 °C	(-50 až +1000) °C +1300 °C	(0 až +1300) °C +1800 °C
Termoelektrické napětí (mV/100 °C)	4,25	5,37	4,8	0,64
Odolnost v oxidačním prostředí	malá	malá	velká	velká
Odolnost v redukčním prostředí		velká	malá	malá

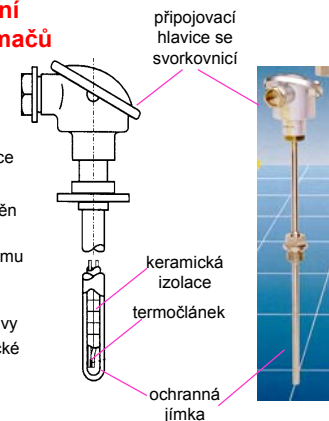
12

## Konstrukční uspořádání termoelektrických snímačů

### Termoelektrický snímač s ochrannou jímkou

⇒ snímač pro provozní aplikace

- Termoelektrický článek je umístěn v ochranné armatuře
- zabraňuje jeho mechanickému poškození
  - chrání před nepříznivými fyzikálními a chemickými vlivy
  - zhoršuje však jeho dynamické vlastnosti



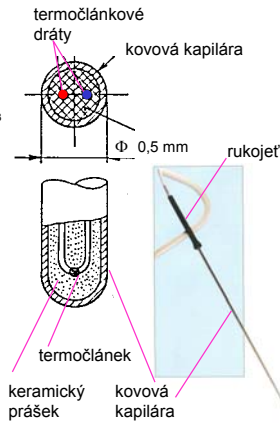
13

## Plášťový termočlánek

Termočlánekové dráty jsou uloženy v niklové nebo nerezové trubičce vyplněné práškovým MgO nebo  $Al_2O_3$

### Přednosti plášťových termočláneků:

- snadné tvarové přizpůsobení  
⇒ možnost měření na těžko přístupných místech
- malá tepelná kapacita
- velmi dobrý přestup tepla  
⇒ příznivé dynamické vlastnosti



14

## Měřicí obvody pro termoelektrické senzory

### Požadavky na měřicí obvody:

- minimalizace vlivu kolísání teploty srovnávacího spoje
- minimalizace vlivu odporu přívodů k senzoru
- potlačení rušivých signálů

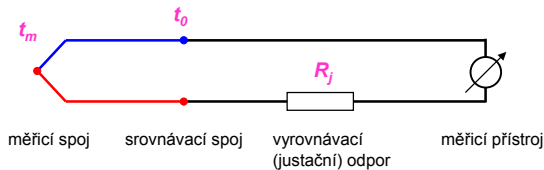
### Potlačení vlivu teploty srovnávacího spoje:

- umístěním srovnávacího spoje **do termostatu**
  - v laboratořích při  $0^\circ\text{C}$
  - u provozních aplikací při  $50^\circ\text{C}$
- analogovými **kompenzačními obvody**
  - kompenzační krabice
- u číslicových měřicích systémů **číslicovou korekcí**

15

## Zapojení měřicích obvodů s termočlánek

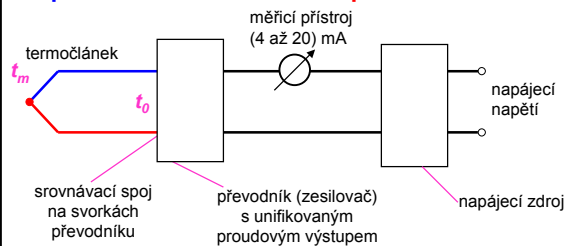
### Přímé měření termoelektrického napětí milivoltmetrem



- vliv velikosti vnitřního odporu měřicího přístroje
- vliv odporu spojovacího vedení
- vliv kolísání teploty srovnávacího spoje
- prodloužení termočláneku do místa srovnávacího spoje pomocí kompenzačního vedení

16

## Měření teploty termoelektrickým senzorem s použitím dvouodičového převodníku

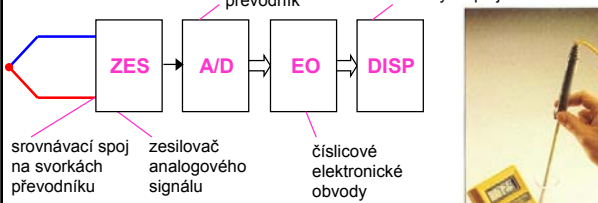


- velikost napájecího proudu převodníku je funkcí hodnoty měřené veličiny
- při počáteční hodnotě teploty je hodnota výstupního signálu 4 mA
- s rostoucí teplotou se zvyšuje velikost proudového výstupu až k maximální hodnotě 20 mA
- tohoto zapojení se používá při provozním měření teploty

17

## Teploměr s číslicovým výstupem

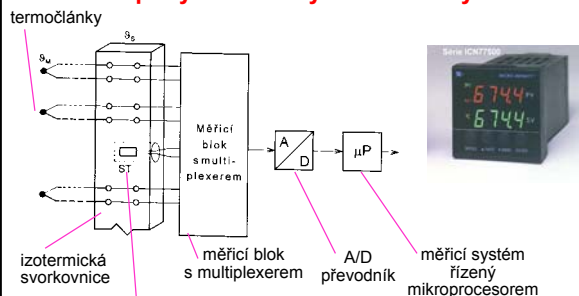
termočlánek → A/D převodník → číslicový displej



- teplota srovnávacího spoje se měří polovodičovým senzorem teploty
- číslicový elektronický obvod zajišťuje korekci údaje při změnách teploty srovnávacího spoje
- číslicové obvody zajišťují rovněž linearizaci statické charakteristiky teploměru

18

## Měření teploty vícemístným měřicím systémem



### Multiplexer

- mnohapolohový přepínač
- zajišťuje sériové zpracování informací z jednotlivých měřicích míst

19

## Odporové snímače teploty

- kovové odporové teploměry
- polovodičové odporové teploměry



ukázky provedení průmyslových snímačů teploty

20

## Kovové odporové teploměry

- elektrický odpor kovových vodičů vzrůstá s teplotou
- pro čisté kovy je možno závislost vyjádřit polynomem; v technické praxi vystačíme s polynomem 2. stupně:

$$R = R_0 [1 + \alpha (t - t_0) + \beta (t - t_0)^2]$$

- pro menší teplotní rozsah ( $\Delta t < 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) lze použít lineárního vztahu:

$$R = R_0 [1 + \alpha (t - t_0)]$$

- kde  $\alpha$  je teplotní součinitel definovaný v pracovním bodě  $t_0$

Pro realizaci odporových teploměrů se používají především čisté kovy, jejichž teplotní součinitel má být stálý a pokud možno co největší:

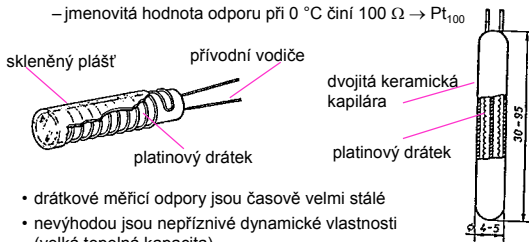
- používanými materiály jsou platina, nikl, měď
- nejčastěji používaným materiálem je **platina**
  - může být vyrobena ve **standardně čistém stavu**
  - je **fyzikálně a chemicky stálá**

21

## Provedení kovových odporových senzorů

### • drátkové měřicí odpory

- čidlo senzoru je tvořeno spirálovitě stočeným tenkým platinovým drátkem (průměr 0,05 mm), který je zataven do keramického nebo skleněného tělíska
- v jiném uspořádání je drátek navinut na slídicové či pertinaxové podložce
- jmenovitá hodnota odporu při 0 °C činí 100 Ω → Pt<sub>100</sub>

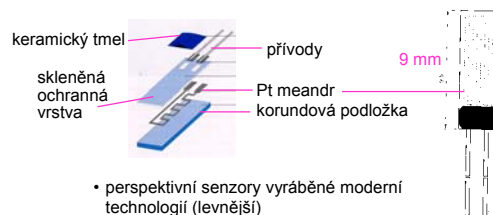


- drátkové měřicí odpory jsou časově velmi stálé
- nevýhodou jsou nepříznivé dynamické vlastnosti (velká tepelná kapacita)

22

### • plošné měřicí odpory

- měřicí odpory vyráběné tenkovrstvou technologií, při níž se platinový odpor vytvoří fotolitografickou technikou ve formě jednoduchého meandru na ploché korundové destičce
- jmenovitý odpor čidla se nastaví pomocí laseru
- plošné měřicí odpory se vyrábí se jmenovitou hodnotou 100 Ω, 500 Ω, 1000 Ω, 2000 Ω



- perspektivní senzory vyráběné moderní technologií (levnější)
- vyšší hodnota jmenovitého odporu
- příznivé dynamické vlastnosti

23

## Polovodičové odporové teploměry

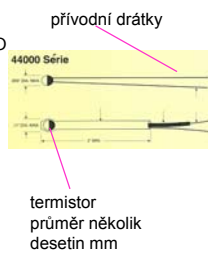
- využívá se závislosti odporu polovodičů na teplotě
- v praxi se využívá několika typů polovodičových senzorů teploty:

### NTC - termistory (negasty)

- jsou vyráběny práškovou technologií z oxidů kovů ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{BaO}$  a dalších)
- vylišované senzory (nejčastěji ve tvaru perličky) se zpevňují silnováním za vysoké teploty
- vykazují záporný teplotní součinitel odporu
- závislost odporu na teplotě je nelineární a odpor s teplotou klesá:

$$R = R_0 \cdot e^{\frac{B}{T - T_0}}$$

$R, R_0$  - odpory termistoru při teplotách  $T$  a  $T_0$   
 $B$  - veličina úměrná aktivační energii



24

## PTC - termistory (pozistory)

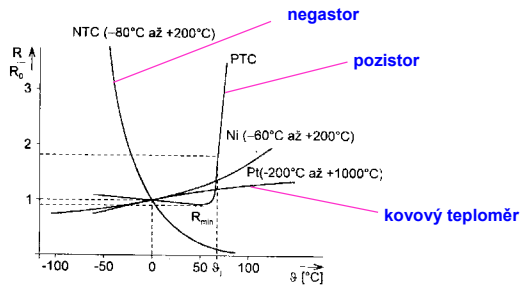
- vyrábějí se z polykrystalické feroelektrické keramiky např.  $\text{BaTiO}_3$
- vykazují **kladný teplotní součinitel odporu**
- v úzkém teplotním rozmezí odpor pozistoru prudce stoupá
- pro oblast nárůstu odporu platí vztah:

$$R = R_r \cdot e^{A \cdot T}$$

- pozistory se obvykle používají jako dvoustavové senzory
  - signalizace překročení mezní teploty
  - dvupolohová regulace

25

## Porovnání teplotních závislostí odporových senzorů



- polovodičové senzory vykazují vyšší citlivost než kovové
- polovodičové senzory mají příznivější dynamické vlastnosti
- kovové senzory vykazují vysokou stabilitu, reprodukovatelnost a přesnost

26

## Měřicí obvody pro odporové senzory teploty

Na měřicí obvody jsou kladeny tyto požadavky:

- minimalizace **vlivu měřicího proudu** (proudu procházejícího senzorem)
- minimalizace **vlivu odporu přívodů** k senzoru
- analogová nebo číslicová **linearizace**

### Vliv měřicího proudu

- průchodem měřicího proudu odporovým senzorem teploty dochází k chybě měření vlivem oteplení senzoru
- chybu je možno vyjádřit vztahem:

$$\Delta t = \frac{R \cdot I^2}{D} \quad D - \text{zatěžovací konstanta [W K}^{-1}\text{]}$$

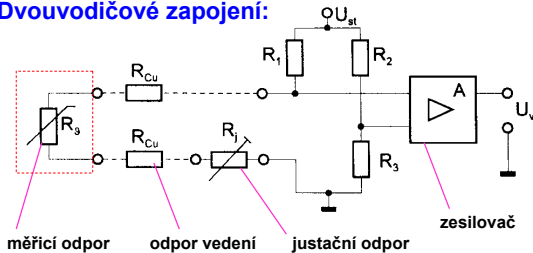
- pomocí uvedeného vztahu a katalogové hodnoty D je možno vypočítat maximální proud pro přípustnou chybu  $\Delta t$

27

## Vliv odporu přívodů

- definovaná hodnota odporu vedení  $R_v = 20 \Omega$
- vliv teploty na odpor spojovacího vedení
- dvou vodičové, třívodičové a čtyřvodičové zapojení odporového senzoru

### Dvou vodičové zapojení:

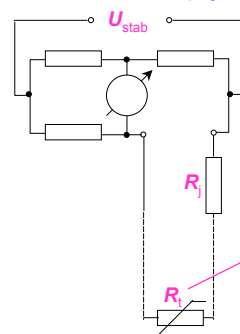


měřicí odpor    odpor vedení    justiční odpor    zesilovač

28

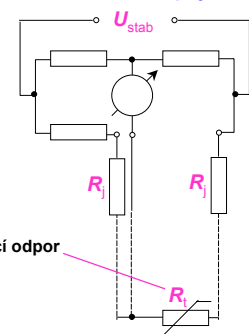
## Měřicí obvody pro odporové senzory teploty

### Dvou vodičové zapojení



- odporem  $R_j$  se nastavuje odpor spojovacího vedení

### Třívodičové zapojení



- zapojení kompenzuje vliv teploty na odpor spojovacího vedení

29

## Porovnání elektrických teploměrů

	Termočlánek	Kovový teploměr	Termistor
Výhody	aktivní snímač jednoduchý levný odolný široce použitelný široký teplotní rozsah	vysoká stabilita vysoká přesnost lepší linearita než u termočláneku	vysoká citlivost rychlá odezva dvouvodičové měření
Nevýhody	nelineární nízká úroveň signálu potřeba referenčního signálu nízká citlivost nízká stabilita	poměrně vysoká cena potřeba stabilizačního napájecího zdroje malá změna odporu nízká hodnota odporu zahřívání procházejícím proudem	nelineární omezený teplotní rozsah křehký potřeba stabilizovaného napájecího zdroje zahřívání procházejícím proudem

31

## Elektronický záznamník teplot

### Dataloger

- zařízení umožňující ukládání naměřených dat do paměti a následné čtení zaznamenaných údajů
- elektronický zapisovač naměřených hodnot
- možnost přenosu dat do PC



### Miniaturní kompaktní dataloger

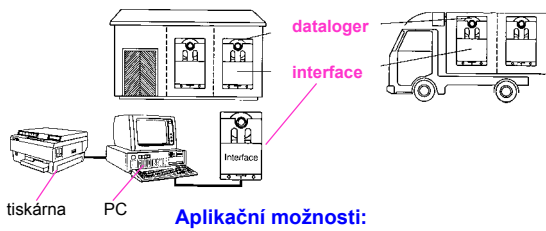
- obsahuje teplotní senzor
- elektronické obvody
- paměť 3 000 hodnot teploty
- rozměry 55x35 mm
- životnost baterie 10 let

### Interface:

- zařízení umožňující propojení datalogeru s počítačem
- programování datalogeru
- čtení zaznamenaných údajů
- nabíjení akumulátoru datalogeru

32

### Aplikace teploměru s datalogerem



tiskárna PC

#### Aplikační možnosti:

software

- grafické a tabulkové vyhodnocení

- záznam teploty
- při laboratorních experimentech
  - při skladování
  - při transportu
  - při výrobním procesu
  - konzervářství, mrazírny, farmaceutické výroby ap.

33

### Inteligentní převodníky teploty

#### • Inteligentní převodník (smart transmitter) :

- umožňuje připojení různých čidel pro snímání měřené veličiny (termočlánek, odporový teploměr a j.)
- zahrnuje elektronické obvody pro zpracování, analýzu a unifikaci signálu
- konfigurace a funkce převodníku je programovatelná uživatelem

#### Provedení inteligentního převodníku:



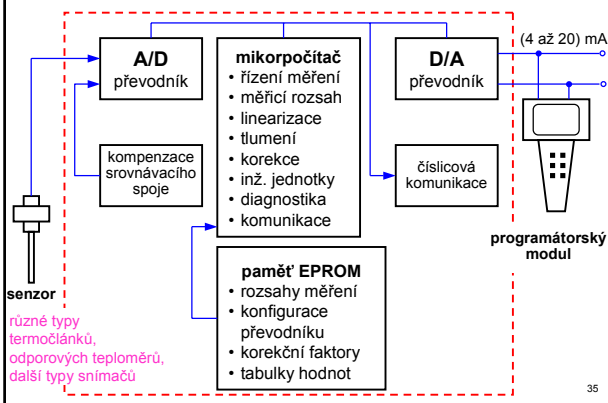
displej pro zobrazení hodnot

zdičky pro připojení programovacího modulu

výměnný přední panel

34

### Schéma inteligentního převodníku teploty



senzor

různé typy termočláneků, odporových teploměrů, další typy snímačů

35

### Zabudování dotykových teploměrů

- vhodné umístění teplotních snímačů je jedním ze základních předpokladů správného měření teploty
- u snímače musí být zajištěn dokonalý styk s prostředím aby docházelo i k dobrému přestupu tepla
- ztráty tepla vedením se omezí dostatečným ponorem teploměru
- měření teploty kapalin v nádobách vyžaduje míchání
  - zvětšení součinitele přestupu tepla
  - dosažení homogenního teplotního pole

#### Volba měřicího místa:

- snadná montáž, demontáž a údržba teploměru
- umístění čidla do teploměrné jímky chrání teploměr proti chemickým a mechanickým vlivům
  - dochází však ke zhoršení dynamických vlastností

36