



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

## NÁVRH SYSTÉMU MĚŘENÍ TEPLŮ NA ZKUŠEBNĚ TEPELNÝCH ČERPADEL

CONCEPT OF TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM ON HEAT PUMP TEST-ROOM

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETRA MACHÁČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK VDOLEČEK, CSc.

BRNO 2011



Zadání



## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá návrhem měření teplot na zkušebně tepelných čerpadel. Rozebírá různé varianty teplotních čidel a jejich umístění v měřícím okruhu. Dále obsahuje ukázkový software pro řízení a zpracování naměřených dat na zkušebně, která je obsluhována pomocí počítače a vestavěné datové karty.

## **ABSTRACT**

This work deals with design of temperature measurement on heat pump test-room. Discusses different various variants of thermometers and their placements in measurement circuit. It contains sample software for control and processing of measured data on the test-room, which is controlled by the computer and built-in data acquisition card.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Měření, teplota, teploměr, tepelné čerpadlo, čerpadlo typu země-voda, datová karta, nemrznoucí směs.

## **KEYWORDS**

Measure, temperature, thermometer, heat pump, heat pump type of ground-water, data acquisition card, antifreeze.



## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji tímto, že závěrečnou práci jsem vypracovala v celém rozsahu samostatně na základě uvedené literatury a rad vedoucího závěrečné práce Ing. Františka Vdolečka, CSc..

V Brně dne 27. 5. 2011

Bc. Petra Macháčková

Macháčková, P. *Návrh systému měření teplot na zkušebně tepelných čerpadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 59 s. Vedoucí práce Ing. František Vdoleček, CSc..



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Františku Vdolečkovi, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc, poskytnutí užitečných informací a v neposlední řadě také cenných rad při zpracování této práce.



## OBSAH

1	ÚVOD.....	13
2	TECHNICKÁ MĚŘENÍ.....	15
	2.1 Metrologie.....	15
	2.2 Metody měření.....	15
	2.3 Zdroje chyb měření.....	15
	2.4 Měřicí přístroje.....	16
3	MĚŘENÍ TEPLoty.....	17
	3.1 Teplota – definice a jednotky.....	17
	3.2 ITS-90 (The International Temperature Scale of 1990).....	17
	3.3 Rozdělení teploměru.....	18
	3.3.1 Dilatační teploměry.....	18
	3.3.2 Elektrické teploměry.....	20
	3.3.3 Optické teploměry.....	26
	3.3.4 Speciální teploměry.....	28
	3.3.5 Orientační měření teploty.....	29
4	TEPELNÁ ČERPADLA.....	31
	4.1 Historie tepelných čerpadel.....	31
	4.2 Princip tepelného čerpadla.....	31
	4.3 Druhy tepelných čerpadel.....	33
	4.3.1 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch.....	33
	4.3.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda.....	34
	4.3.3 Tepelné čerpadlo voda-voda.....	34
	4.3.4 Tepelné čerpadlo země-voda.....	35
	4.4 Provozní režimy tepelných čerpadel.....	36
5	ANALÝZA MĚŘENÍ TEPLoty NA TEPELNÉM ČERPADLE.....	39
	5.1 Výběr tepelného čerpadla a jeho schéma zapojení.....	39
	5.2 Návrh konkrétních čidel měřících teplotu na zvoleném tepelném čerpadle.....	41
	5.2.1 První varianta měřících přístrojů.....	41
	5.2.2 Druhá varianta měřících přístrojů.....	43
	5.2.3 Třetí varianta měřících přístrojů.....	45
	5.3 Zvolená varianta teploměru.....	46
	5.4 Volba průtokoměru.....	47
6	NÁVRH MĚŘENÍ TEPLoty NA ZKUŠEBNĚ TEPELNÝCH ČERPADEL.....	49
	6.1 Zkušebna tepelných čerpadel.....	49
	6.2 Návrh měření teploty na zkušebně tepelných čerpadel.....	49
	6.3 Navržená datová karta.....	50
	6.4 Návrh softwaru pro zkušebnu.....	51
7	ZÁVĚR.....	55
	LITERATURA.....	57
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59



## 1 ÚVOD

Tato práce má za cíl návrh a analýzu měření teplot na zkušebně tepelných čerpadel. Moderním trendem všech oborů v posledních letech se stává, že především jako zdroj vytápění a ohřevu užitkové vody se stále častěji používá netradičních obnovitelných zdrojů energie a dochází k nasazování maximálně úsporných energetických zařízení. Do popředí přicházejí hlavně tepelná čerpadla, která dokážou zhodnotit mnohé netradiční zdroje energie, jako je energie geotermální, odpadní teplo různých technologií atd.

Záměrem je použití těchto zařízení co nejúčelněji a co nejekonomičtěji, proto je samozřejmě třeba znát veškeré jejich parametry. To je především jejich výkon a účinnost. Zjištění nebo ověření těchto parametrů, je záležitostí státní zkušebny, která má v současnosti své metodiky a zkušební zařízení zpracovány, nicméně je zde samozřejmě prostor pro další varianty objektivizace a automatizace měření. Tato práce by mohla být jedním z příspěvků do diskusí, jak v dalších etapách modernizace postupovat.

Z důvodu komplexního pohledu na celou problematiku, je třeba nejprve rozebrat základy teorie a technologie technického měření. V dalších částech je zmíněn přehled dnes dostupných teplotních čidel používaných v laboratorních přesných měřeních i v technické praxi. Nejdůležitějšími konzultovanými vlastnostmi pro snímač využitelný v podmínkách zkušebny jsou možnosti jeho elektrického výstupu pro zpracování dat a dále pak dosažitelná přesnost.

Neméně důležitý popis je věnován samotným tepelným čerpadlům. Především jejich rozdělení v závislosti na použitém přírodním zdroji energie tepelné energie, např. voda, vzduch, nebo země a popis jednotlivých částí okruhů, ze kterých se čerpadla skládají. Rozborem těchto témat je určen konkrétní způsob měření a místa měření na čerpadle pro zkušebnu. Návrh bude demonstrován na konkrétním čerpadle na základě jeho parametrů udaných výrobcem v technickém listě.

Součástí práce je i návrh jednoduchého softwaru, který by mohl získaná data zpracovat. Vstupem tohoto programu budou konkrétní naměřená data a výstupem bude aktuální výkon čerpadla, který by měl být podle normy zkušebního ústavu v určitém rozmezí hodnot v porovnání s deklarovanou hodnotou, kterou udává výrobce tepelného čerpadla.



## 2 TECHNICKÁ MĚŘENÍ

### 2.1 Metrologie

Metrologie je vědní obor zabývající se především veličinami a jejich jednotkami, metodami měření, měřidly, vlastnostmi a schopnostmi pozorovatelů, péčí o fyzikální konstanty a vlastnosti látek a materiálů. Všechna měření se opírají o soustavu SI.

Žádné měření není úplně přesné. Přesnost je vyhodnocována pomocí chyb a nejistot měření a udává těsnost shody mezi výsledkem měření a pravou hodnotou, která by byla získaná naprosto přesným měřením. Pro přesné měření je třeba zvolit správnou metodu měření.

### 2.2 Metody měření

Metoda měření je logický sled po sobě následujících genericky posloupně popsaných činností, které jsou používány při měření.

Dělení metod měření:

- podle způsobu určení měřené veličiny
  - definiční – korespondují se základní definicí veličiny
  - odvozené – odvozené na jiných principech
- podle způsobu získání měřené hodnoty
  - přímé – veličina je měřena přímo
    - porovnávací, vyrovnávací, nahrazovací, přemísťovací
  - nepřímé – veličina je měřena zprostředkovaně přes jiné veličiny a její hodnota je dopočítána
- podle způsobu snímání měřené hodnoty
  - dotykové
  - bezdotykové
- podle druhu měřené hodnoty
  - mechanické
  - optické
  - elektrické

### 2.3 Zdroje chyb měření

Celý proces měření se setkává s celou řadou nedokonalostí a problémů, které se projevují ve výsledcích měření.

Mezi zdroje chyb patří:

- chyby přístroje

- plynou z nedokonalosti použitých měřících přístrojů, které vznikají při výrobě, při montáži nebo opotřebením
- výrobce popisuje chyby tzv. korekční křivkou, nebo jako odvolenou chybu přístroje pomocí  $\pm$ .
- chyby instalace
  - jsou důsledkem špatného zapojení, uložení a nastavení měřidel
  - měřidla se také mohou při paralelním nebo sériovém zapojení vzájemně ovlivňovat
- chyby metody
  - plynou z nedokonalosti použitých metod, nebo z přibližně určených fyzikálních konstant a nepřesně odpovídajících závislostí
- chyby pozorování
  - chyby vzniklé nesoustředěností pozorovatele
- chyby vyhodnocování
  - vznikají zaokrouhlováním během výpočtů, zaokrouhlováním použitých konstant
- vliv prostředí
  - nestálost parametrů prostředí a negativní vliv na jednotlivé součásti měření

#### 2.4 Měřicí přístroje

Měřicí přístroj je zřízení sloužící ke zjišťování hodnot měření veličiny. Většinou se jedná o soustavu prvků, které tvoří měřící systém. Prvky mohou být v měřícím systému zapojeny sériově, paralelně nebo zpětnovazebně.

Dělení měřících přístrojů:

- podle principu
  - elektrické, pneumatické, mechanické, optické atd.
- podle metody
  - výchylkové, kompenzační, součtové atd.
- další dělení
  - podle použitého signálu, podle způsobu práce (diskrétní, spojitý) atd.

Pro měření jsou důležité vlastnosti přístroje (statické, dynamické, informační, ostatní)



### 3 MĚŘENÍ TEPLoty

#### 3.1 Teplota – definice a jednotky

Teplota je stavovou veličinou, která ovlivňuje většinu stavů a procesů v přírodě. Pro dosažení stejných výsledků měření, které jsou nezávislé na jeho principu, byla odvozena termodynamická teplotní stupnice. Základní jednotkou termodynamické teploty je 1 K (Kelvin, po irském fyzikovi lordovi Kelvinovi). Kromě termodynamické teploty se používá ještě Celsiova teplota, kde jednotkou je 1 °C (stupeň Celsiův), a kdy 1 K = 1 °C a  $T_0 = 273,15$  K.

Pro praktickou realizaci termodynamické teploty se dnes používá Mezinárodní teplotní stupnice ITS-90.

[1]

#### 3.2 ITS-90 (The International Temperature Scale of 1990)

Spočívá na mnoha fyzikálních stavech látek (primárních teplotních bodech), na interpolačních přístrojích a na matematických vztazích pro interpolační přístroje. Nahrazuje dřívější stupnice ITS-27, ITS-48, ITS-48/60, ITP-68, kdy se postupem času teplotní stupnice zpřesňuje tak, aby se co nejvíce přiblížila k termodynamické teplotní stupnici.

Je definovaná v rozmezí teplot 0,65 K do nejvyšších teplot v praxi měřitelných podmínkách Planckova zákona při monochromatické radiaci. Celé rozmezí teplot je rozděleno na několik rozsahů a podrozsahů, kdy se některé překrývají a tak tvoří pro některé oblasti teplot různé definice, které poskytují pro jeden a ten samý stav různé číselné hodnoty. Rozdíly jsou zanedbatelně malé a jsou ve shodě se stupnicí.

[4]

Tab. 3.1 Definiční pevné body ITS-90 [4]

ČÍSLO	TEPLOTA		LÁTKA	TEPLOTNÍ BOD
	$T_{90}$ (K)	$t_{90}$ (°C)		
1.	13,8033	-259,3467	e-H <sub>2</sub>	T
2.	24,5561	-248,5939	Ne	T
3.	54,3584	-218,7916	O <sub>2</sub>	T
4.	83,8058	-189,3442	Ar	T
5.	234,3156	-38,8344	Hg	T
6.	273,16	0,01	H <sub>2</sub> O	T
7.	302,9146	29,7646	Ga	M
8.	429,7485	156,5985	In	F
9.	505,078	231,928	Sn	F
10.	692,677	419,527	Zn	F
11.	933,473	660,323	Al	F

12.	1234,93	961,78	Ag	F
13.	1337,33	1064,18	Au	F
14.	1357,77	1084,62	Cu	F

$e-H_2$  ... vodík v rovnovážné koncentraci s ortovodíkem nebo paravodíkem

$T$  ... trojný bod

$G$  ... bod teplotní závislosti tlaku plynu  $p = f(T_{90})$

$F(M)$ ... bod tuhnutí (tání) při skupenské proměně za tlaku  $p = 101325$  Pa

### 3.3 Rozdělení teploměrů

Teploměry využívají různé principy měření a jsou v mnoha konstrukčních variantách. Jeden přístroj nikdy nestačí na celý rozsah teplot, proto se skupiny teploměrů vhodně prolínají a doplňují.

Základní dělení:

- podle umístění snímací části v měřicím prostředí  
- dotykové, bezdotykové
- podle fyzikálního principu  
- dilatační, elektrické, speciální, optické
- podle teploměrné látky  
- kapalinové, kovové, polovodičové, plynové

Další dělení:

- podle teplotního rozsahu
- podle konstrukčního řešení
- podle použitého materiálu na vlastní čidlo

#### 3.3.1 Dilatační teploměry

Dilatační teploměry pracují na principu délkové a objemové roztažnosti látky s měnící se teplotou.

Tyto principy popisují vztahy:

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \Delta \vartheta) \quad (3.1)$$

$$v = v_0 \cdot (1 + \beta \Delta \vartheta) \quad (3.2)$$

$$p = p_0 \cdot (1 + \beta \Delta \vartheta) \quad (3.3)$$

$l, v, p$  ... výsledná délka (objem, tlak)

$l_0, v_0, p_0$  ..původní délka (objem, tlak)

$\alpha$  ... součinitel délkové roztažnosti

$\beta$  ... součinitel objemové roztažnosti  
 $\Delta v$  ... teplotní rozdíl

Dělení: kapalinové, kovové a plynové

### Kapalinové

Tyto teploměry využívají objemové roztažnosti kapalin. Teploměrnou kapalinou je rtuť nebo líh; méně pak pentan a toluol.

Dělí se nejen podle použité kapaliny, ale i podle konstrukce, a to na:  
 - skleněné, tlakové a parní

Skleněné teploměry jsou nejrozšířenější. Obsahují nádobku s tekutinou, která se roztahuje do kapiláry o malém průměru. Malý průměr je důležitý ke zvýraznění závislosti a k dobré rozlišitelnosti teploty na lineární stupnici. Dělí se na škálové, stonkové a tyčinkové.

Tlakové teploměry jsou tvořeny jímkou a kapilárou. Obě části jsou zcela zaplněny kapalinou, která při změně teploty mění svůj tlak, který je měřen manometrem. Jímka bývá kovová (ocelová, bronzová), jelikož jsou tlaky v teploměru poměrně velké. Výhodou je jejich linearita v širokém rozsahu a velká síla na výstupu, která se dá využít k regulačním účelům. Nevýhodou je kompenzace a vysoké nároky na stálost charakteristiky deformačního manometru.

Parní teploměry využívají změny tlaku. Jsou přesnější a citlivější než tlakové. Liší se v tom, že mají jímkou vyplněnou kapalinou jen částečně. Teploměrnou látkou jsou zde lehce odpařitelné látky (benzen, aceton, toluol atd.). Zbytek jímkou a celou kapilárou vyplňuje sytá pára, a to až k manometru. Stupnice není lineární, protože závislost sytých par a teploty je určena vztahem.

$$\log p = A + \frac{B}{T} + CT \quad (3.4)$$

$A, B, C$  ... konstanty  
 $p$  ... tlak sytých par  
 $T$  ... absolutní teplota

### Kovové

Využívají délkové teplotní roztažnosti kovů. Podle konstrukce je dělíme na:

- tyčové a bimetalové

Tyčové teploměry se skládají z jímky a tyče, kdy jejich materiály mají rozdílný součinitel délkové teplotní roztažnosti. Při změně teploty se tyč prodlouží o hodnotu  $y_1$  zatímco jímka o hodnotu  $y_2$ . Koncové body se tedy vůči sobě posunou o hodnotu  $\Delta y$ .

Bimetalové teploměry se skládají z tzv. dvojkovu (bimetalu). Který je vyrobený z pevně spojených pásů dvou kovů o nestejně roztažnosti po celé délce. V praxi se využívají výraznější závislosti, které dávají tvar šroubovice nebo spirály. Mezi používané materiály patří např. invar-mosaz, invar-nikl, invar-ocel atd. Tyto teploměry jsou použitelné do +400 °C. Výhodou je jejich jednoduchost a použitelnost v regulační technice.

### Plynové

Principem jsou shodné s tlakovými teploměry. Nejčastější náplní je inertní plyn (dusík, helium apod.). Tyto teploměry využívají buď objemové roztažnosti, nebo pracují s konstantním objemem s využitím stavové rovnice. Skládá se z nádoby o malém obsahu a z kapiláry, která může mít délku až 100 metrů. Používají se k měření teplot, které jsou blízké absolutní nule (-260 °C), ale můžeme se s nimi potkat až do vysokých teplot (+800 °C).

Výhodou těchto teploměrů je jejich použitelnost až do oblasti teplot blízkých absolutní nule, velká přesnost, linearita a stabilita charakteristiky.

Nevýhodou je malý přírůstek tlaku v závislosti na změně teploty a jejich poměrně vysoká cena.

### 3.3.2 Elektrické teploměry

Elektrické teploměry využívají přesné definice teplotní závislosti některé elektrické veličiny na teplotě. Jsou nejrozšířenějšími teploměry v automatických systémech, a to díky svému elektrickému výstupu.

Dělení: odporové a termočlánky

#### Odporové

Pracují na principu teplotní závislosti odporu na teplotě. Dnes patří k základním a dokonce i etalonovým měřidlům s rozsahem -259 °C až +961 °C.

Dělíme je na:

- kovové, polovodičové, polykrystalické, monokrystalické

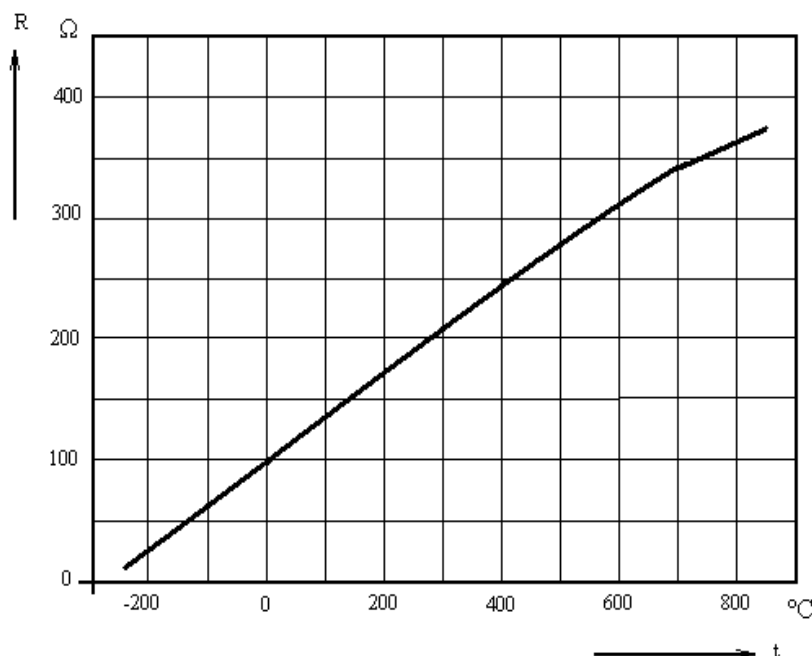
Za průmyslový standard kovových odporových teploměrů se považuje platinový odporový drát Pt100, který má za 0 °C odpor 100 Ω. Hlavní výhodou platinových čidel je jejich vynikající dlouhodobá stálost odporu, která zaručuje jejich vysokou přesnost a reprodukovatelnost měření. Nevýhodou je velká citlivost na magnetické pole především při nižších teplotách.

Polovodičové odporové senzory využívají také teplotní závislosti odporu na teplotě. Podle typu teplotní závislosti je dělíme na negasty, pozistry a monokrystalické odporové senzory.

Monokrystalické se vyznačují vysokou stálostí charakteristik a považujeme je v příslušném rozsahu měření zpravidla za kvazilineární.

### Kovový odporový teploměr Pt100

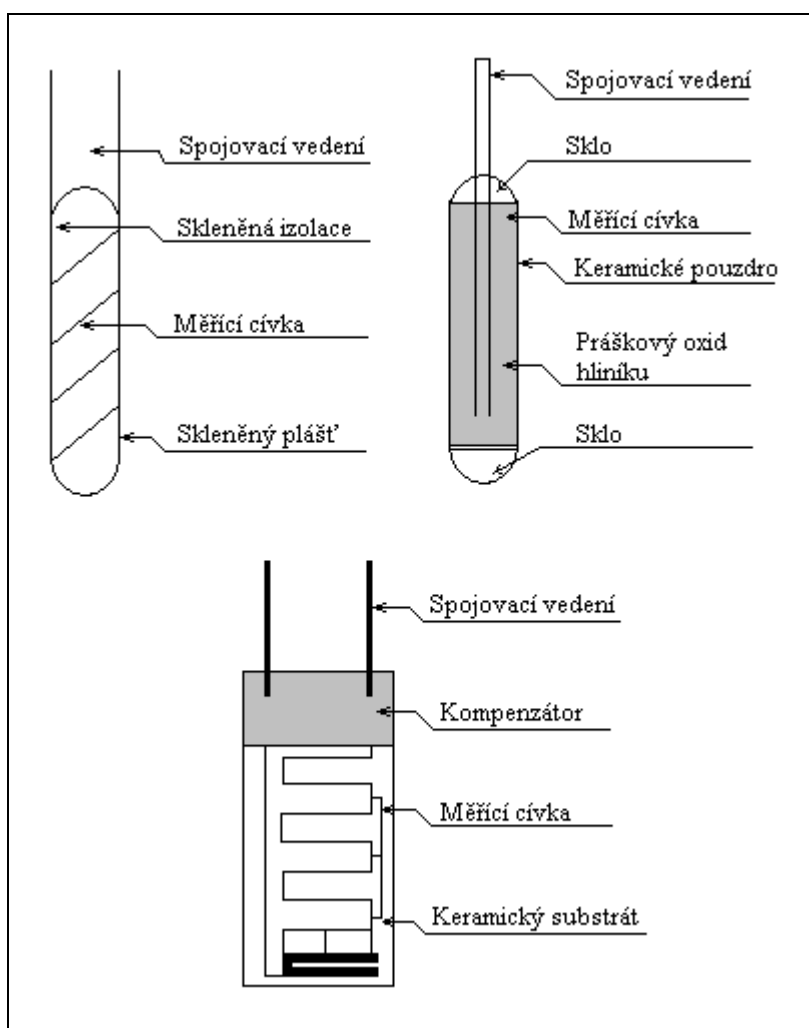
Měření teploty odporovými teploměry je založeno na vlastnosti společné všem vodičům a polovodičům, kterou je závislost jejich elektrického odporu na teplotě. Tato vlastnost víceméně závisí na konkrétním materiálu. Relativní změna odporu v závislosti na teplotě ( $dR/dt$ ), je známá jako teplotní koeficient, jehož hodnota obvykle není konstantní v rozsahu měřených teplot, ale je funkcí teploty (*Obr. 3.1*). Výsledkem je matematický vztah mezi odporem a teplotou, který má formu mnohočlenu vyššího řádu.



*Obr. 3.1 Křivka charakteristiky Pt100*

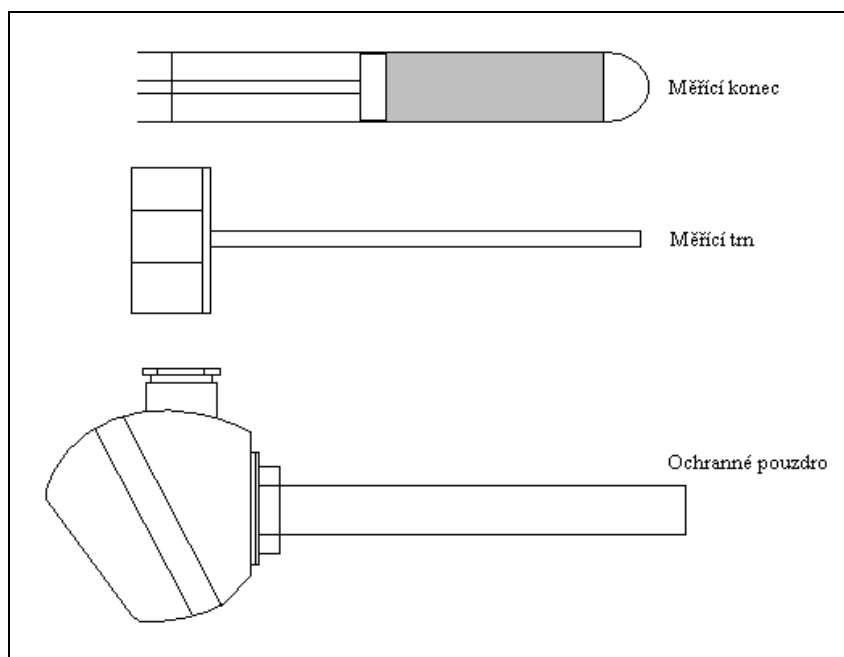
Měření odporovým teplotním detektorem je založeno na principu platinové cívky navinuté na vhodný materiál. Tím je buď sklo, nebo keramický materiál. Aby bylo dosaženo menšího rozměru a vyšší odolnosti měřidel, používají se v současné době namísto drátů velmi

tenké vrstvy platiny, které jsou nasazené na keramický podklad (Obr. 3.2).



Obr. 3.2 Skleněné vinutí, keramické vinutí a odporové teploměry s tenkou vrstvou

Aby nedošlo k mechanickému poškození tlakem nebo proudící tekutinou, jsou tyto měřící součásti v ochranných válcových trubičkách tzv. měřicích trnech. To zajišťuje jednoduchou manipulaci, bez nutnosti demontáže celého zařízení. Odporové teploměry jsou kontaktní měřidla, je tedy nutné, aby čidlo přístroje bylo v kontaktu s měřeným médiem, proto jsou umísťovány do ochranného pouzdra (Obr. 3.3).



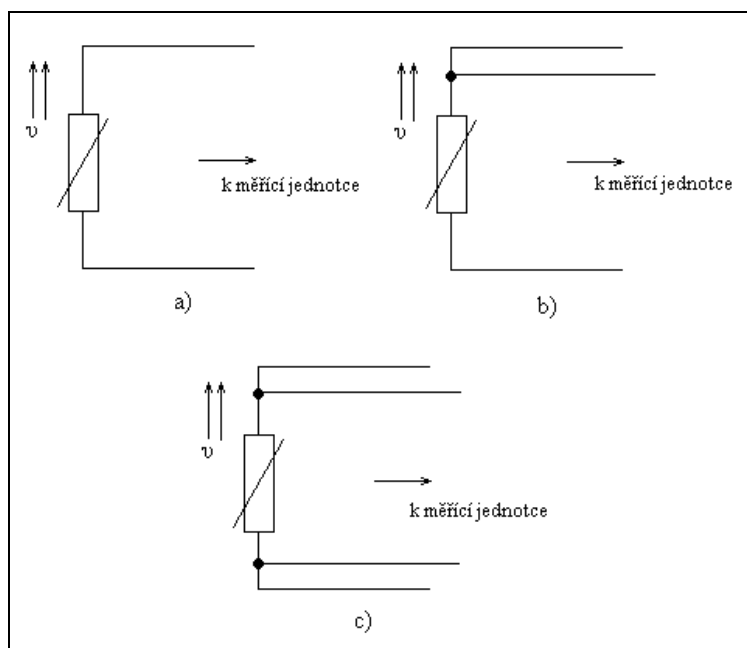
Obr. 3.3 Části odporového teploměru

Při měření těmito teploměry je nutné brát v úvahu, že hodnota měření je ovlivňována odporem vodiče, kterým je přístroj připojen. Běžně se používají tři typy obvodů – 2, 3 a 4 vodičové.

Nejpřesnějších měření se dosáhne použitím obvodu se čtyřmi vodiči, jelikož v něm není měření ovlivněno odporem připojeného vodiče nebo teplotou v jeho okolí (Obr 3.4 a).

Běžně používaným typem zapojení je ovšem obvod se třemi vodiči, kterým je eliminován odpor připojovacího vodiče (tzv. Wheatstoneův můstek). (Obr 3.4 b).

V případě obvodu se dvěma vodiči je odpor připojovacího vodiče změřen měřicím můstkem. Vliv odporu připojovacího vodiče při použití tohoto obvodu může být kompenzován použitím moderních kontrolních zařízení, jakými jsou kompenzační rezistory, které nejsou závislé na teplotě (Obr 3.4 c).



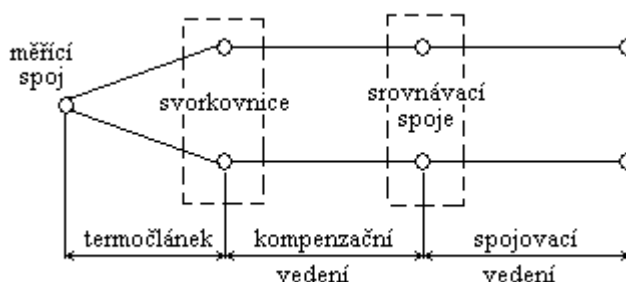
Obr. 3.4 Typy zapojení: a) obvod se dvěma vodiči  
 b) obvod se třemi vodiči  
 c) obvod se čtyřmi vodiči

### Termoelektrické

Termoelektrický teploměr (neboli termočlánek) využívá vznik termoelektrického napětí vlivem teploty. Ke své činnosti používá Seebeckův jev. Jestliže vodivě spojíme dráty dvou různých kovů do uzavřeného obvodu a oba spoje umístíme do prostředí o rozdílných teplotách, pak citlivý milivoltmetr v obvodu zaznamená výchylku. Termoelektrický snímač představuje generátor napětí, jehož velikost závisí na teplotě měřícího spoje a platí zde:

$$U_{te} = \alpha \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (mV) \quad (3.5)$$

kde je  $U_{te}$ ... termodynamické napětí generované termočlánekem  
 $\alpha$  ... koeficient úměrnosti neboli Seebeckův koeficient  
 $\vartheta_1, \vartheta_2$ ...teploty měřícího spoje



Obr. 3.5 Návosloví termoelektrického teploměru



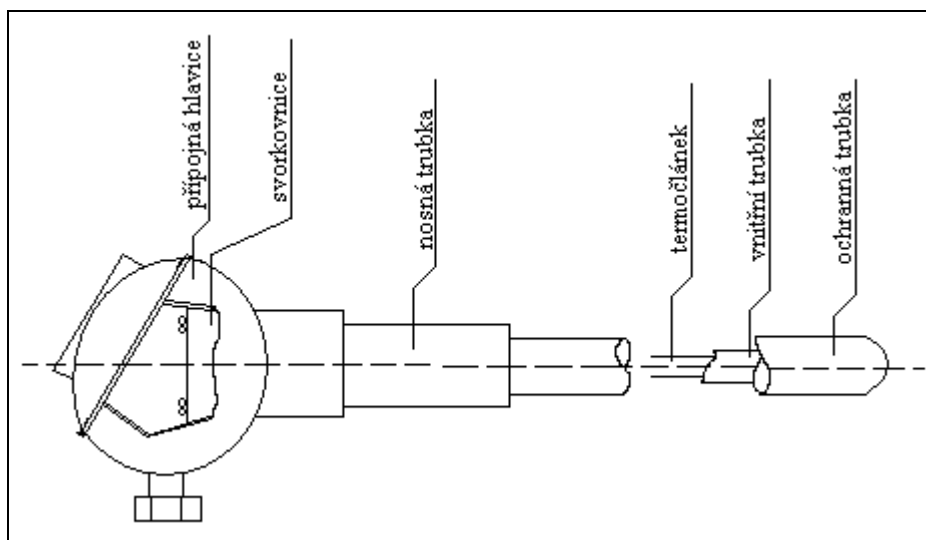
V praxi je spoj umístěn do měrného prostředí označovaný jako teplý a druhý jako studený srovnávací. Průměr vodičů by měl být kvůli malému odporu snímače co největší, kvůli minimalizování ztrátového tepla naopak co nejmenší. Proto se průměry vodičů u běžných termočlánků volí od 0,5 mm do 4 mm a vodiče z ušlechtilých kovů mají průměr od 0,2 mm do 0,5 mm. Měřicí rozsah je velmi široký od teploty  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $2320\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Dělení termočlánků podle použitého materiálu:

- základní termočlánky typu J, K, T a E
- ušlechtlejší termočlánky typu S, R a B

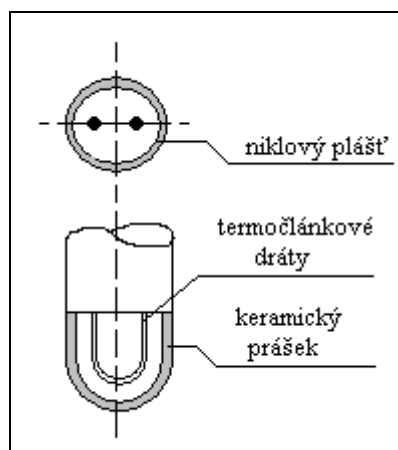
Termočlánky se v automatizační technice dělí:

Termočlánek s ochrannou jímkou je tvořen termočlánkem a ochrannou armaturou, ve které je termočlánek umístěn. Tato ochranná jímka zabraňuje mechanickému poškození a chrání jej před nepříznivými fyzikálními a chemickými vlivy. Vlastní termočlánek je vložen do stonkové trubky zakončené přírubou, na které je svorkovnice s připojenými vývody termočlánku. Materiál vnější ochranné trubky je různý podle charakteru prostředí a velikosti měření teploty. Nevýhodou ochranné jímky je zhoršení dynamických vlastností termočlánků.



Obr. 3.6 Termočlánek s ochrannou jímkou

Plášťový teploměr je moderním typem termočlánků, u kterých jsou dráty uloženy v niklové trubičce vyplněné práškovým  $\text{MgO}$  nebo  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Průměr kovového pláště je 0,15 až 10 mm. Tyto termočlánky mají malou časovou konstantu, dají se ohýbat a umožňují měření i na těžko dostupných místech.



Obr. 3.7 Plášťový termočláňek

Termočláňek bez ochrany se používá jen výjimečně, je-li požadovaná malá časová konstanta.

Výhodou termočláňků je jejich použitelnost v širokém rozsahu teplot, mají miniaturní rozměry měřícího spoje, jsou málo poruchové, poměrně přesné a umožňují dálkový přenos údajů.

Nevýhodou je malý vstupní signál, který je nutno dále upravovat a nelinearita generovaného elektromotorického napětí.

### 3.3.3 Optické teploměry

Touto skupinou teploměrů jsou bezdotykové teploměry, které jsou známější pod názvem pyrometry. Mezi hlavní výhody bezdotykového měření teploty patří zanedbatelný vliv měřící techniky na měřený objekt, možnost měření rotujících nebo pohybujících se těles, možnost měření rychlých teplotních změn a možnost snímání a zobrazování celého povrchu měřeného tělesa.

Dělení podle způsobu měření:

- radiační, jasové, barvové a pásmové

Další dělení může být podle vlnové délky, se kterou pracují, podle šířky spektrální oblasti, podle optického konstrukčního uspořádání atd.

Pyrometry se používají pro měření v rozsahu teplot od  $-40\text{ °C}$  do  $+3000\text{ °C}$  a jsou vhodné pro měření teploty s malou hmotností v pohybu apod. Tato měřidla využívají Stefan-Boltzmanova zákona, podle kterého pro černé těleso a jím vyzařovanou energii platí:

$$E_0 = \sigma \cdot T^4 \quad \text{resp.} \quad E_0 = -C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (3.6)$$

kde je  $E_0$  ... energie vyzářené černým tělesem  
 $T$  ... absolutní teplota  
 $C_0$  ... součinitel záření černého tělesa

Pro skutečná tělesa, která se pouze blíží vlastnostem černých těles, pak platí následující modifikace tohoto zákona:

$$E = E_0 \cdot \varepsilon \quad (3.7)$$

kde  $\varepsilon$  je emisní součinitel, který je závislý na druhu materiálu, jeho povrchu a teplotě.

Praktické měření je založeno na závislostech, které dokázal Planck  $E = f \cdot (\lambda \cdot T)$  a Wien  $\lambda_m \cdot T = konst.$ , kdy se maximální spektrální zářivost tělesa při určité teplotě posouvá s vlnovou délkou, a tím vlastně barvou emitovaného záření na stranu kratší vlnové délky.

### Radiační

Jsou to přístroje vyhodnocující teplotu přímo podle Stefan-Boltzmanova zákona. Rozsah měřených teplot je od +50 °C do +1500 °C, ve speciálních případech je to od -100 °C do +5000 °C. Při měření teploty je důležité, aby měřený povrch překryl celé zorné pole, jinak dochází k hrubým chybám měření.

Měření těmito senzory funguje tak, že z měřeného tělesa je optickou soustavou vysílané záření soustředěného do ohniska objektivu, kde dopadá na termočlánek nebo bolometr. Tyto prvky pak udávají teplotu, která ovšem není skutečná. Pro převod měřené teploty a skutečné slouží vztah s emisním součinitelem:

$$T_s = \frac{T_p}{\sqrt[4]{\varepsilon}} \quad (K) \quad (3.8)$$

kde je  $T_s$  ... skutečná teplota  
 $T_p$  ... teplota udaná pyrometrem  
 $\varepsilon$  ... poměrná emise úhrnného záření

Pokud je k měření využíváný polovodičový bolometr, pak se do pyrometru přidává rotující clona. Výhodou je jejich použití pro bezdotyková měření při nízkých teplotách.

### Jasové

K měření využívají velké množství tepelné energie, která je vyzářená v úzkém pásmu vlnových délek. Teplota se mění tak, že se jas měřeného objektu porovnává s jasnem porovnávacího zdroje pyrometru. Nastavuje

se tak dlouho, dokud vlákno žárovky nezmizí v záření vyzařovaném měřeným objektem. Porovnávání obou jasů se provádí buď lidským okem, nebo automaticky. Jasové pyrometry při odečítání na stupnici ukáží teplotu, která odpovídá záření absolutně černého tělesa. Všeobecně bývá teplota odečítána na stupnici pyrometru nižší, jak skutečná teplota měřeného objektu.

Pro skutečnou teplotu platí vztah:

$$\frac{1}{T_s} = \frac{1}{T_p} + \frac{\lambda}{C_2} \cdot \ln \varepsilon_\lambda \quad (3.9)$$

kde je  $C_2$  ... 2. vyzařovací konstanta Planckova zákona  
 $\lambda$  ... použitelná vlnová délka  
 $\varepsilon_\lambda$  ... spektrální emisivita měřeného objektu

Podle konstrukce je dělíme na:

- přístroje s proměnným jasem,
- přístroje se stálým jasem porovnávacího zdroje

### Barvové

Barvové, neboli distribuční, pyrometry pracují na podobném principu jako jasové pyrometry. Oproti nim ovšem nepotřebují přesné udání poměrné spektrální emise  $\varepsilon$ . Tyto pyrometry jsou zejména vhodné na zjišťování teploty objektů, u kterých se během měření emisivita mění. Měřicí rozsah barvových pyrometrů je od 700 °C do 2000 °C. Z konstrukčního hlediska se dělí na porovnávací, poměrové a na automatické.

### Pásmové

Pásmové, neboli fotoelektrické, pyrometry pracují na podobném principu jako pyrometry radiační. Reagují jen na záření v určitém rozsahu vlnových délek. Pásmo vymezuje použitá optika, filtry a použitý fotocitlivý prvek.

Výhodou těchto pyrometrů je velmi rychlá reakce na změnu teploty, možnost měření i malých objektů a použití pro měření nízkých teplot.

## 3.3.4 Speciální teploměry

### Termovize

Samostatnou skupinou jsou čidla teplotního obrazu. Využívají vyzařování objektů v infračervené oblasti spektra. Povrch objektu je sledován speciální kamerou s detektorem infračerveného záření. Teplotní

pole se zobrazuje jako termogram v různých barevných odstínech v odstínech šedi. V současnosti se používají kvantové nebo pyroelektrické detektory.

Kvantové detektory se používají v systémech s opto-mechanickým rozkladem obrazu. Tyto detektory je nutné v činnosti chladit.

Pyroelektrické detektory se dají používat i za normálních teplot okolí, jelikož nepotřebují chlazení.

#### Krystalové teploměry

Krystalové teploměry obsahují tekuté krystaly na bázi cholesterických mezifází derivátů cholesterolu. Jeho měrný element tvoří výbrus monokrystalu piezokrystalového rezonátoru. Krystalový výbrus je závislý na teplotě, kdy se rezonanční kmitočet mění s teplotou. Využití tohoto jevu spočívá ve srovnávání měřícího a referenčního kmitočtu, přičemž se dosahuje citlivosti až 0,001 °C.

#### Fotografické měření teploty

Fotografické materiály jsou citlivé na infračervené záření vysílané měřeným objektem. Po vyvolání citlivé fotografické desky se objeví na pozadí objektu teplotní pole, pro jehož vyhodnocení je zapotřebí vyfotografovat společně s měřeným objektem i teplotní měřítko, které je tvořené řadou vyhřátých destiček na známé hodnoty teploty.

### 3.3.5 Orientační měření teploty

Mezi hlavní orientační metody měření teploty, které se používají v praxi, patří:

Teploměrná tělíška, která jsou vyrobená ze slitiny s přesně udanou prodlevou tání, jejíž dosažení je doprovázeno rychlým roztavením tělíška, mají použití omezeno na rozsah od 100 °C do 1600 °C.

Žároměrky jsou keramické trojboké jehlany s teplotou deformace v rozmezí od 600 °C do 2000 °C. Při jejím dosažení se vrchol jehlanu dotýká podložky.

Teploměrné barvy, tužky a křídly se používají zejména pro orientační měření povrchové teploty v rozsahu od 50 °C do 1600 °C, jejíž dosažení signalizuje změna barvy.

Teploměrné nálepky mají po několika stupních sduženo pár teploměrných elementů, používají se k indikaci teploty povrchu.



## 4 TEPELNÁ ČERPADLA

Tepelné čerpadlo je zařízení na vytápění objektu, které je schopné z elektrické energie vyrobit tepelnou energii. Jedná se o alternativní zdroj tepla.

### 4.1 Historie tepelných čerpadel

Základní principy této technologie byly objeveny již v roce 1892, kdy hlavní myšlenku vyslovil William Thomson (neboli Lord Kelvin) ve své 2. větě termodynamiky. Dalším, kdo do tohoto oboru přispěl, byl německý vynálezce Emil Wartburg, který v roce 1881 praktikoval pokusy s magnetickým polem a kovy.

Ke konci 40. let minulého století sestrojil americký vynálezce Robert C. Weber první prototyp tepelného čerpadla. Přišel na něj při pokusech s hlubokým zamražením, kdy se popálil o výstupní potrubí. Což byl první impuls k myšlence o funkci tohoto zařízení. Weber propojil výstup mrazáku se zásobníkem na teplou vodu a přebytečné teplo pomocí větráku a potrubní smyčky vháněl do domu.

První realizace v průmyslu se objevila až po roce 1927, kdy tímto způsobem vyřešil vytápění úřední budovy v Los Angeles T. Haldane.

Hlavní vlna rozmachu tepelných čerpadel přišla v době energetické krize. V roce 1981 fungovalo v Evropě na 100 000 tepelných čerpadel, v Japonsku 500 000 kusů a v USA na 3 miliony tepelných čerpadel.

[20]

### 4.2 Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo pracuje na stejném principu jako chladnička. Ta odebírá teplo z potravin, čímž je chladí a v zadní části lednice topí. Stejným, ale opačným principem pracuje tepelné čerpadlo, ale s daleko vyšším výkonem. Odebírá teplo vodě, vzduchu nebo zemi a pomocí radiátorů nebo podlahového topení topí.

Tepelné čerpadlo dokáže ohřát vodu na 55 °C. S touto vodou je možné vytápět, připravovat teplou užitkovou vodu atd. Volbou teploty primárního zdroje a výstupní teploty je pak ovlivněn topný faktor tepelného čerpadla.

Topný faktor charakterizuje účinnost tepelného čerpadla tím, že udává poměr vyprodukovaného tepla a spotřebované energie. Označuje se *COP* (Coefficient of Performance). Pokud má například tepelné čerpadlo topný faktor 4, znamená to, že dokáže vyprodukovat 4x více tepla, než kolik je třeba dodat elektrické energie na jeho provoz. V praxi platí, že čím větší je topný faktor, tím vyšší je účinnost tepelného čerpadla. Důležité je to, že topný faktor s klesající teplotou nízkopotenciálního zdroje také klesá. Proto je třeba se u výrobců tepelných čerpadel informovat, při jaké venkovní teplotě je topný faktor uváděn. To platí především u čerpadel, kde je zdrojem nízkopotenciálního tepla vzduch.

Vlivy na topný faktor:

- Teplota nízkopotenciálního zdroje – má největší vliv na topný faktor. Ovlivnit lze pouze volbou nízkopotenciálního tepla.
- Výstupní teplota tepelného čerpadla – zároveň s teplotou nízkopotenciálního zdroje má na topný faktor největší vliv a v největší míře lze ovlivnit. Čím je výstup tepelného čerpadla chladnější, tím je topný faktor vyšší.
- Konstrukce čerpadla – vhodnou konstrukcí lze zvýšit topný faktor, případně snížit teplotu nízkopotenciálního zdroje, se kterým ještě může čerpadlo pracovat.

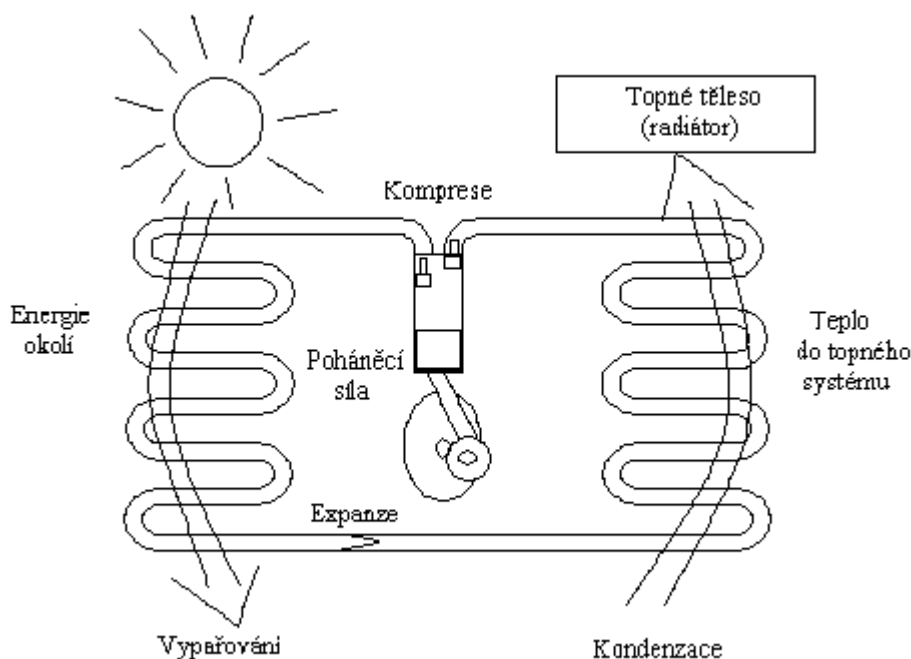
Pravidlem by mělo být, že výkon tepelného čerpadla se navrhuje na krytí 50 až 70 % tepelných ztrát objektu, které jsou stanovené pro nejnižší výpočtovou teplotu. Je to z toho důvodu, že nejrychlejší návratnost investic dosáhneme, poběží-li tepelné čerpadlo na svůj jmenovitý výkon po co nejdelší dobu. Nedílnou součástí soustav s tepelnými čerpadly je doplňkový zdroj tepla, který při nižších venkovních teplotách dodává potřebné množství energie.

Základními součástmi tepelného čerpadla jsou:

- kompresor s pohonnou jednotkou, který zajišťuje oběh teplotnosné látky ve vnitřním okruhu;
- expanzní ventil, který zajišťuje, aby se zkapalněné chladivo o vyšším tlaku převedlo do výparníku a při nižším tlaku se vypařilo;
- výparník neboli výměník tepla, kde se přijímá získané teplo z chladícího média
- filtr
- regulační prvky s elektroinstalací
- náplň chladiva

[20] [21]





Obr. 4.1 Funkce tepelného čerpadla

Při funkci probíhají čtyři termodynamické děje:

- **Vypařování:** Od vzduchu, vody nebo země odebrává teplo chladivo, které koluje v tepelném čerpadle a tím se odpařuje, čímž se skupenství mění na plynné.
- **Komprese:** Kompresor tepelného čerpadla prudce tlačí o několik stupňů ohřáté plynné chladivo, a díky fyzikálnímu principu komprese, kdy při vyšším tlaku stoupá teplota, jako teplotní výťah „vynese“ ono nízkopotenciální teplo na vyšší teplotní hladinu (cca 80 °C).
- **Kondenzace:** Zahřáté chladivo pomocí druhého výměníku předá teplo vodě v radiátorech, ochladí se a zkondenzuje. Radiátory toto teplo vyzáří do místnosti. Ochlazená voda v topném okruhu putuje zpátky k druhému výměníku pro další ohřátí.
- **Expanze:** Průchodem přes expanzní ventil putuje chladivo nazpátek k prvnímu výměníku, kde se opět ohřeje.

#### 4.3 Druhy tepelných čerpadel

Podle toho, z jakého zdroje se nízkopotenciální teplo čerpá a kam se přenáší, rozdělujeme tepelná čerpadla:

- vzduch-vzduch, vzduch-voda, voda-voda, země-voda

##### 4.3.1 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch

Energie se odebírá přímo z venkovního vzduchu a předává vzduch, kterým se objekt vytápí. Topný faktor klesá se snižující se teplotou venkovního vzduchu. Montáž bývá většinou snadná, je však třeba brát ohled na dodržení

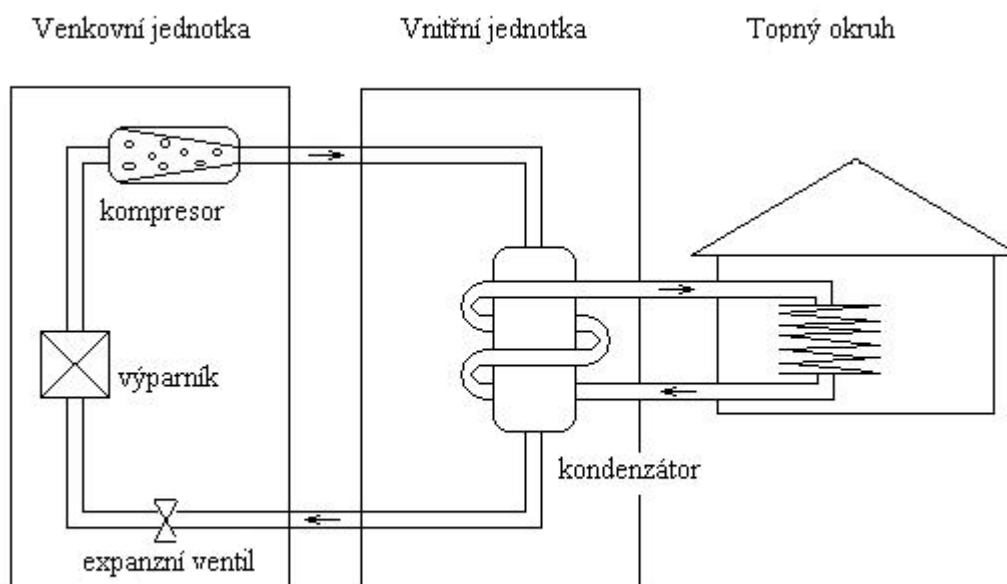
hygienických požadavků na emise hluku od venkovní výparníkové jednotky. Instalace předpokládá teplovzdušné větrání a vytápění.

[8]

#### 4.3.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Energie se odebírá ze vzduchu a předává se do vodního okruhu, kterým se pomocí otopných těles, podlahového vytápění nebo výměníkem voda-vzduch objekt vytápí. Topný faktor klesá se snižující teplotou venkovního vzduchu. I v tomto případě je třeba brát ohled na dodržení hygienických požadavků na emise hluku.

[7]



Obr. 4.3 Příklad tepelného čerpadla vzduch-voda

#### 4.3.3 Tepelné čerpadlo voda-voda

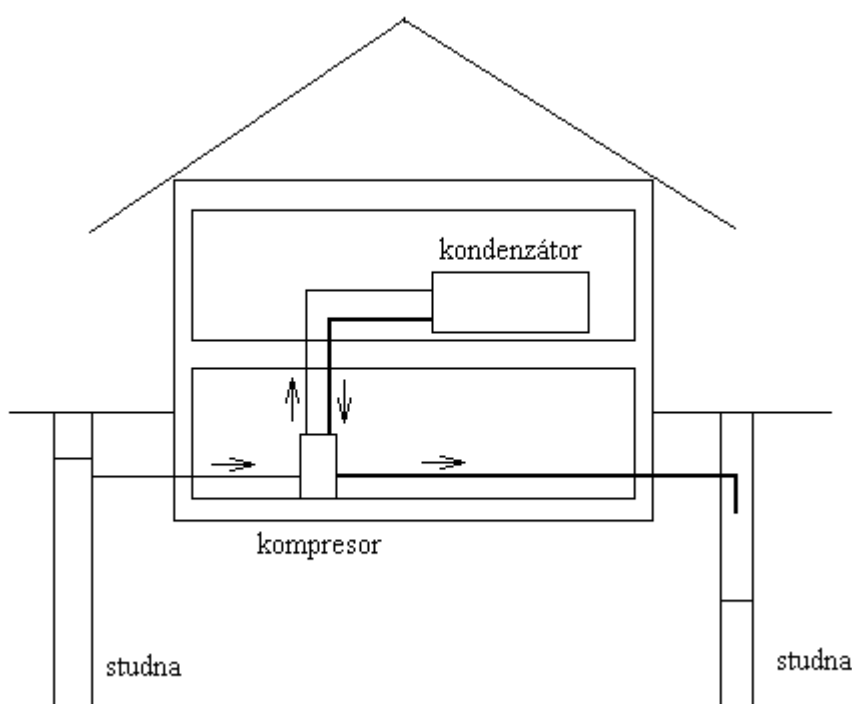
Nízkopotenciální energie se může podle možností odebírat z několika zdrojů.

Jednou z možností jsou vrty do zemského masivu, kdy jsou předpokladem vrtné práce nebo uložení registrů do země. Hloubka vrtů nebo délka registru záleží na potřebném výkonu tepelného čerpadla. Topný faktor je celoročně prakticky konstantní. Při provádění zemských vrtů jsou nutná některá zvláštní povolení, jako například hydrogeologický posudek pro odbor životního prostředí příslušného místního městského úřadu.

Další možností je čerpání spodní vody ze zbudované čerpací studny. Jde o odebírání tepla čerpané vodě a navrácení ochlazené vody zpět do druhé studny tak, aby nebyl narušen režim spodních vod. Topný faktor je celoročně přibližně konstantní. Pro provádění studní je nutné schválení příslušným vodoprávním úřadem.

Poslední možností je řeka nebo rybník, kdy je předpokladem uložení výměníků pod hladinou. U obou zdrojů je potřeba provést energetickou bilanci, aby nedošlo k podchlazení zdroje tepla. V případě použití odděleného primárního okruhu je podmínkou použití biologicky šetrné nemrznoucí směsi v primárním okruhu. Většinou se jedná o směs lihu a vody.

[8]



Obr. 4.4 Příklad tepelného čerpadla voda-voda

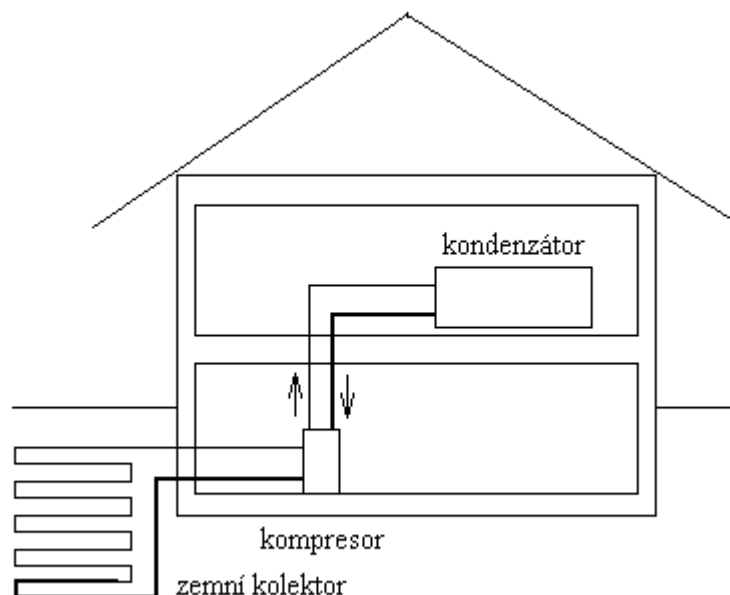
#### 4.3.4 Tepelné čerpadlo země-voda

Teplota je do vody předávána nemrznoucí směsí, která sbírá teplo v potrubí, které je uloženo do vrtu nebo kolektoru pod povrchem země. V plastové trubce, která je dlouhá několik set metrů, cirkuluje nemrznoucí směs, která se průchodem zemí ohřívá o několik stupňů Celsia. V nezamrzné hloubce je stálá teplota 4 °C. Poté putuje do výměníku tepelného čerpadla, kde se ochladí a ochlazená směs zamíří zpátky do kolektoru k opětovnému zahřátí. Tento cyklus se neustále opakuje.

Nízkopotenciální energii můžeme ze země odebírat pomocí horizontálního plošného kolektoru, nebo z vertikálního vrtu. Na 1 kW výkonu tepelného

čerpadla je potřeba přibližně 12 metrů vrtu, kdy maximální hloubka jednoho vrtu je 100 m a minimální vzdálenost vrtů je 5 m.

[8]



Obr. 4.5 Příklad tepelného čerpadla země-voda

#### 4.4 Provozní režimy tepelných čerpadel

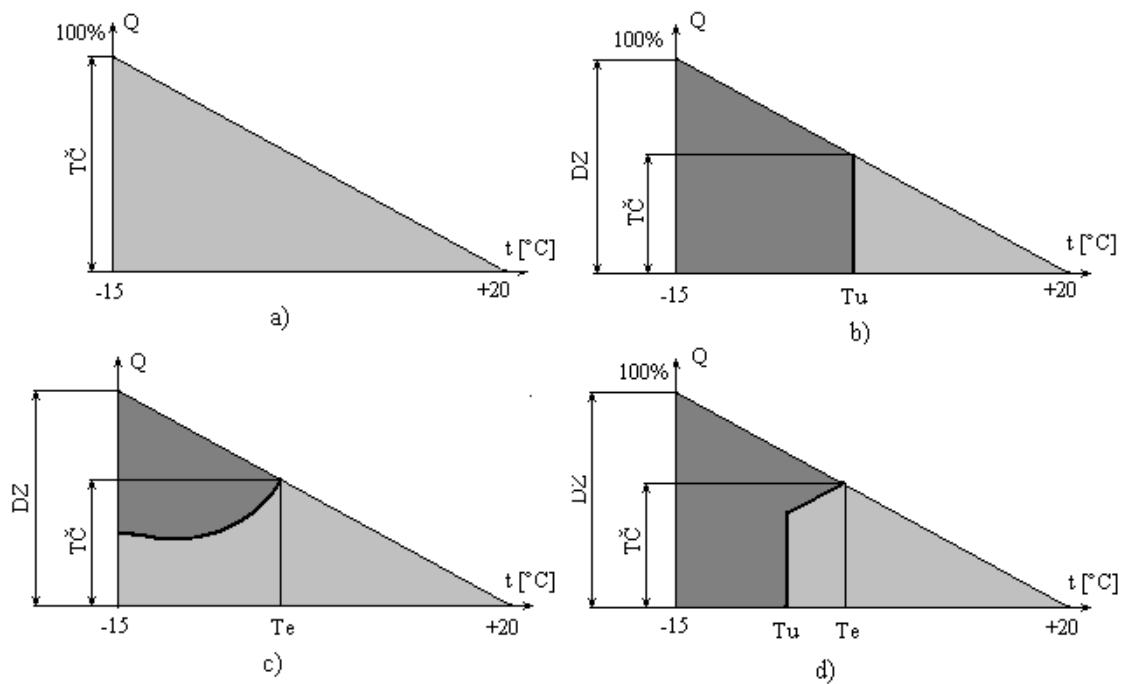
Během roku se mění potřeba výkonu pro vytápění. Dimenzování tepelného čerpadla pro maximální výkon je obvykle neekonomické, protože je nutno pořídit nejen dražší tepelné čerpadlo, ale hlavně zdroj nízkopotenciálního tepla (např. vrt). Větší tepelné čerpadlo a hlubší vrt nebo větší zemní kolektor výrazně zvýší pořizovací náklady.

Rozeznáváme několik provozních režimů:

- Monovalentní provoz – zdrojem tepla je pouze tepelné čerpadlo ( $TČ$ ), které pracuje po celou dobu topné sezóny
- Alternativně-bivalentní provoz – tepelné čerpadlo ( $TČ$ ) pracuje jen po určitou část topné sezóny, při mrazech je odstaveno. Teplo pak dodává jiný zdroj (např. kotel). Teplota  $T_u$  je teplota přepnutí na druhý zdroj ( $DZ$ ).
- Paralelně-bivalentní provoz – tepelné čerpadlo ( $TČ$ ) pracuje po celou topnou sezónu i při nižších teplotách, při kterých jeho výkon ovšem nestačí, a proto je doplněno o druhý zdroj tepla ( $DZ$ ), kdy zařízení pracují současně. Teplota  $T_e$  je teplota připnutí druhého zdroje.
- Částečně paralelně-bivalentní provoz – tepelné čerpadlo ( $TČ$ ) pracuje jen po určitou část topné sezóny, při mrazech je odstaveno a teplo dodává další

zdroj (DZ). Před odstavením tepelného čerpadla pracují po nějakou dobu oba zdroje současně.

[10]



Obr. 4.6 Provozní režimy tepelného čerpadla: a) monovalentní provoz, b) alternativně-bivalentní provoz, c) paralelně-bivalentní provoz, d) částečně paralelně-bivalentní provoz [10]



## 5 ANALÝZA MĚŘENÍ TEPLoty NA TEPELNÉM ČERPADLE

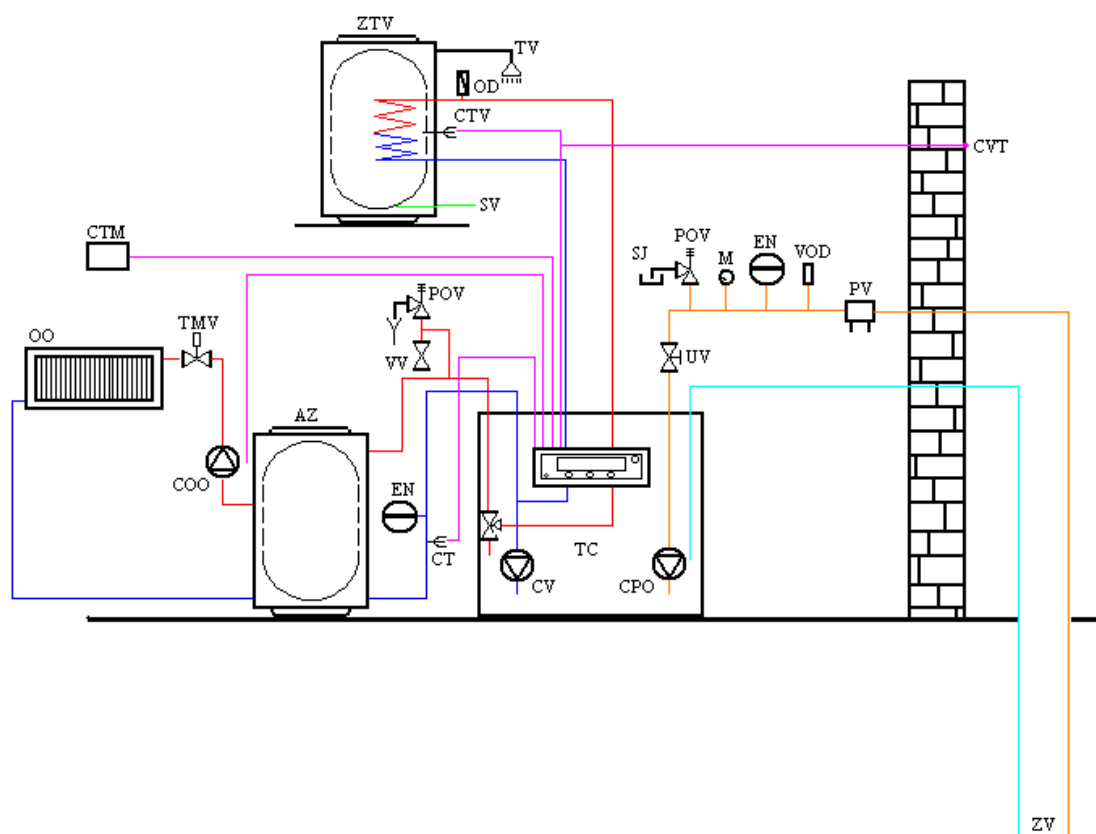
Pro uskutečnění analýzy měření teploty na tepelném čerpadle je potřeba zvolit konkrétní tepelné čerpadlo, udělat návrh jeho zapojení a navrhnout místa, kde je vhodné teploty měřit.

### 5.1 Výběr tepelného čerpadla a jeho schéma zapojení

K analýze bylo vybráno čerpadlo Logatherm WPS 9 (*Obr. 5.1*) typu země-voda s jedním vytápěcím okruhem, s akumulacním zásobníkem a ohřevem vody, jehož parametry jsou v příloze *Příloha 5.1*. Toto čerpadlo bylo navrženo z důvodu jeho vlastností a parametrů a také proto, že bylo montované do blízkého rodinného domu. Zapojení tohoto čerpadla s čidly pro měření teploty jsou na *Obr. 5.2*. [9]



*Obr. 5.1 Tepelné čerpadlo Logatherm WPS 9 [9] [22]*



Obr. 5.2 Schéma zapojení tepelného čerpadla Logatherm WPS 9 [9]

Vysvětlivky k Obr. 5.2:

- AZ - akumulční zásobník
- CPO - čerpadlo primárního okruhu
- COO - čerpadlo otopného okruhu
- CT - čidlo teploty výstupu
- CTM - čidlo teploty místnosti
- CTV - vnější čidlo teplé vody
- CVT - čidlo venkovní teploty
- CV - čerpadlo vytápění
- EN - expanzní nádoba
- M - manometr
- OO - otopný okruh
- OD - odvzdušnění
- POV - pojistný ventil
- PV - plnicí ventil
- SJ - sběrná jímka
- SV - studená voda
- TC - tepelné čerpadlo země-voda
- TMV - termostatický ventil
- TV - teplá voda
- VOD - velký odvzdušňovač
- VV - vypouštěcí ventil



- UV - uzavírací ventil
- ZTV - externí zásobník teplé vody
- ZV - zemní vrt (nebo plošný kolektor)

Z Obr. 5.2 je patrné, že pro správný chod tepelného čerpadla je potřeba měřit teplotu v místnosti, kterou chceme vytápět, teplotu vně budovy (venku), jelikož tepelné čerpadlo ohřívá vodu v topném systému v závislosti na venkovní teplotě. Dále je pro ohřev vody důležité měřit teplotu vody, která je v zásobníku teplé vody (boileru).

Čidlo venkovní teploty (CVT) je montováno na nejchladnější stranu domu, nejlépe přímo pod střechu, aby bylo chráněno před sluncem a větrem. Vysílá signál do regulátoru tepelného čerpadla a ten přizpůsobí teplotu v místnosti výstupní hodnotě tepelného čerpadla.

Čidlo teploty místnosti (CTM) je montováno na vnitřní stěnu bez průvanu a tepelného záření a je připojeno na tepelné čerpadlo, kde signalizuje teplotu místnosti a tím ovlivňuje teplotu na výstupu, která se sníží, pokud čerpadlo naměří vyšší teplotu než nastavenou.

Čidlo teploty teplé vody (CTV) se připevňuje k externímu zásobníku teplé vody přibližně do 1/3 výšky zásobníku nad zpětnou větví do tepelného čerpadla.

Čidlo výstupní teploty (CV) se montuje k akumuláčnímu zásobníku.

Mezi další podstatné veličiny, které je nutné znát, jsou tlak nemrznoucí směsi, která koluje mezi zemním vrtem a tepelným čerpadlem a velikost průtoku. O hodnotu tlaku se stará zapojený manometr a správnou velikost průtoku zajišťují zapojené ventily.

## 5.2 Návrh konkrétních čidel měřících teplotu na zvoleném tepelném čerpadle

Cílem práce má být měření teplot, proto jsou v této kapitole uvedeny různé varianty a kombinace teplotních čidel.

Konkrétní čidla jsou navržena tak, aby svou funkčností a rozsahem vyhovovala místu měření a následnému zpracování naměřených hodnot. Například pro měření venkovní teploty není nutné použít teploměr s rozsahem  $-100\text{ °C}$  až  $1200\text{ °C}$ . Bohatě nám postačí teploměr o rozsahu  $-55\text{ °C}$  až  $125\text{ °C}$ .

### 5.2.1 První varianta měřících přístrojů

#### Měření venkovní teploty a teploty v místnosti

Pro měření venkovní teploty a teploty místnosti byly zvoleny dva stejné teploměry, které vyhovují svým provedením, rozsahem, přesností a rozlišením, a to snímače teploty typu NS 510A (Obr. 5.3) s čidlem typu Pt 1000. [5]

Tento snímač je určený ke kontaktnímu měření teploty vzduchu. Je tvořen kovovým měřicím stonkem a plastovou hlavicí. Stonek snímače je z nerezové

oceli třídy 17240 a délka stonku je 25 mm. Snímače vyhovují stupni ochrany IP65 dle ČSN EN 60 529. IP65 je krytí, které chrání přístroj před vniknutím prachu a jakékoliv pomůcky a zároveň chrání proti vodním proudům.

Základní vlastnosti jsou uvedené v tabulce *Tab. 5.1*. Katalogový list toho teploměru je v *Příloze 5.2*.



*Obr. 5.3 Teplotní čidlo NS510A [5]*

*Tab. 5.1 Základní vlastnosti digitálního teploměru NS 510A. [5]*

Typ čidla	Pt 1000
Měřicí rozsah	-30 °C až +60 °C
Napájecí napětí $U_{\text{nap}}$	10 až 30 V
Zatěžovací odpor $R_z$	$50(U_{\text{nap}} - 10) \Omega$
Výstupní signál	4 až 20 mA
Třída přesnosti	B dle IEC 751, $\Delta t = \pm (0,3 + 0,005 t ) \text{ °C}$

#### Měření teploty teplé vody a měření teploty výstupu z akumulčního zásobníku

Pro měření teploty teplé vody byl vybrán teploměr společnosti JUMO měření a regulace s.r.o. [6], a to typ JUMO Dtrans T100 (*Obr. 5.4*). Jedná se o závitový odporový teploměr s převodníkem. Skládá se z ochranné jímky s vestavěným teplotním senzorem, procesního připojení a krytem pro elektronický převodník, který převádí hodnotu odporu na unifikovaný signál.

Základní vlastnosti jsou uvedené v tabulce *Tab. 5.2* a katalogový list je v příloze *Příloha 5.3*.



Obr. 5.4 Teplotní čidlo JUMO Dtrans T100 [6]

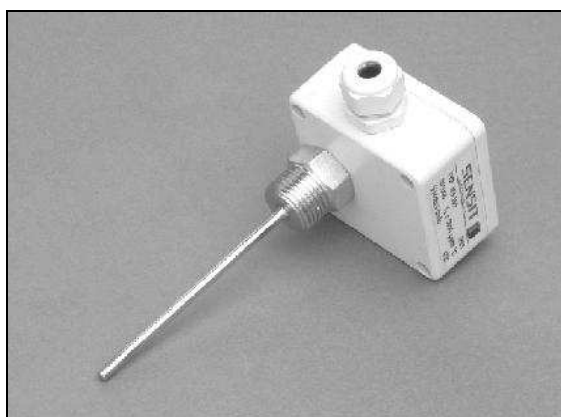
Tab. 5.2 Základní vlastnosti odporového teploměru JUMO Dtrans T100. [6]

Typ čidla	Pt 1000
Měřicí rozsah	-50 °C až +150 °C
Napájecí napětí $U_{\text{nap}}$	8 až 35 V
Zatěžovací odpor $R_z$	$(U_{\text{nap}} - 8)/23 \Omega$
Výstupní signál	4 až 20 mA
Třída přesnosti	A dle IEC 751, $\Delta t = \pm (0,15 + 0,002 t ) \text{ °C}$

### 5.2.2 Druhá varianta měřících přístrojů

#### Měření venkovní teploty

Vybrán byl teploměr společnosti SENSIT s.r.o. [5] typ NS 560 (Obr. 5.5), který má plastovou hlavici a kovový měřící stonek dlouhý 50 mm, který svojí konstrukcí umožňuje přímé měření teploty. Základní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce Tab. 5.3 a katalogový list je v příloze Příloha 5.4.



Obr. 5.5 Teplotní čidlo NS 560 [5]

Tab. 5.3 Základní vlastnosti teploměru NS 560. [5]

Typ čidla	Pt 1000
Měřicí rozsah	-30 °C až +60 °C
Napájecí napětí $U_{\text{nap}}$	12 až 30 V
Zatěžovací odpor $R_z$	$50(U_{\text{nap}} - 11) \Omega$
Výstupní signál	4 až 20 mA
Třída přesnosti	B dle IEC 751, $\Delta t = \pm (0,3 + 0,005 t ) \text{ °C}$

### Měření teploty v místnosti

Pro měření teploty v místnosti je dostatečné měřit v rozsahu od 0 °C do 35 °C, proto byl zvolen teploměr typu NS 500 ALPHA (Obr. 5.6) společnosti SENSIT s.r.o. [5]. Měřicí čidlo je založeno opět na principu odporových teploměrů a jedná se o Pt 1000. Základní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce Tab. 5.4 a katalogový list tohoto měřidla je v příloze Příloha 5.5.



Obr. 5.6 Teplotní čidlo NS 500 ALPHA [5]

Tab. 5.4 Základní vlastnosti teploměru NS 500 ALPHA. [5]

Typ čidla	Pt 1000
Měřicí rozsah	0 °C až +35 °C
Napájecí napětí $U_{\text{nap}}$	11 až 30 V
Zatěžovací odpor $R_z$	$50(U_{\text{nap}} - 10) \Omega$
Výstupní signál	4 až 20 mA
Třída přesnosti	B dle IEC 751, $\Delta t = \pm (0,3 + 0,005 t ) \text{ °C}$

### Měření teploty teplé vody a měření teploty výstupu z akumulárního zásobníku

Pro druhou variantu byl zvolen teploměr STSp/I společnosti ZPA Ekoreg s.r.o. [12]. Tento teploměr (Obr. 5.7), který je založen na principu Pt100, má dvě části. První částí je ochranné pouzdro s teplotním čidlem a druhou částí je objímka, pomocí které se teploměr připevňuje k místu měření. Základní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce Tab. 5.5 a katalogový list je v příloze Příloha 5.6.



Obr. 5.7 Teplotní čidlo STSp/I [13]

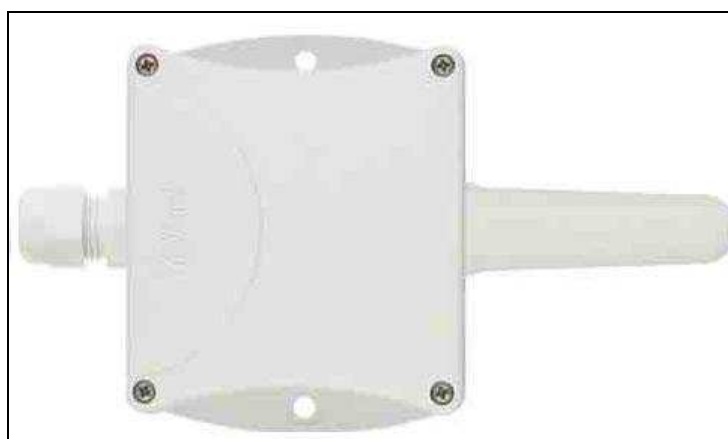
Tab. 5.5 Základní vlastnosti odporového teploměru STSp/I. [12]

Typ čidla	Pt 100
Měřicí rozsah	0 °C až +100 °C
Napájecí napětí $U_{\text{nap}}$	10 až 36 V
Výstupní signál	4 až 20 mA
Přesnost	$\pm 1$ °C

### 5.2.3 Třetí varianta měřících přístrojů

#### Měření venkovní teploty a teploty v místnosti

Pro snímání teploty bylo vybráno čidlo P0120 (Obr. 5.8) dodávané společností A.P.O. – ELMOS v.s.o. [16]. P0120 je konstruované pro měření teploty venku i uvnitř a je založené na principu odporových teploměrů. Základní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce Tab. 5.6 a katalogový list je v příloze Příloha 5.7.



Obr. 5.8 Teploměr P0120 [16]

Tab. 5.5 Základní vlastnosti odporového teploměru P0120. [16]

Typ čidla	Pt 100
Měřicí rozsah	-30 °C až +80 °C
Napájecí napětí $U_{\text{nap}}$	9 až 30 V
Výstupní signál	4 až 20 mA
Přesnost	$\pm 0,4$ °C

#### Měření teploty teplé vody a měření teploty výstupu z akumulčního zásobníku

Další možností je snímání teploty pomocí termoelektrického teploměru. Jedním z dodavatelů těchto teploměrů je společnost JSP s.r.o. [14], která má v nabídce teploměr T1504 (Obr. 5.9). Tento teploměr je tyčový s převodníkem. Má volitelnou délku ochranné trubky a možnost upevnění snímače pomocí přesuvného upevňovacího šroubení. Jeho stupeň krytí je IP 65. Základní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce Tab. 5.7 a katalogový list je v příloze Příloha 5.8.



Obr. 5.9 Teplotní čidlo STSp/I [15]

Tab. 5.7 Základní vlastnosti termoelektrického teploměru T1504. [14]

Typ čidla	Termočlánek typu J
Měřicí rozsah	-200 °C až 800 °C
Výstupní signál	4 až 20 mA
Třída přesnost	1, 2 dle IEC 584-2

### 5.3 Zvolená varianta teploměrů

Pro měření teplot na zkušebně je nejspíš nejvhodnější možností měřících přístrojů první varianta. Volíme ji pro jeden okruh měření teplot na tepelném čerpadle, přičemž v tomto případě se jedná o akumulční okruh.

U výběru musíme přihlídnout na přesnost teploměrů, na jejich rozlišení a v neposlední řadě také na měřicí rozsah. Jelikož je možné dosáhnout změny teploty

v necelých stupních, je vhodné mít rozlišení minimálně 0,1 °C, což splňuje jak teploměr NS 510A tak teploměr JUMO Dtrans T100 (viz *Příloha 5.2* a *Příloha 5.3*). Oba snímače také disponují měřicím rozsahem, který plně vyhovuje požadavkům pro měření teplot, venkovních, vnitřních a teplot na vstupu a výstupu čerpadla.

Lepší přesnost a rozlišení teploměrů je možné pojistit důslednou a pravidelnou kalibrací přístrojů. Ta by se v rámci častých měření měla opakovat přibližně dvakrát za rok.

Při volbě je samozřejmě nutné přihlédnout i k cenám teploměrů a k tomu, kolik jsme ochotní do nich investovat finančních prostředků. Pokud chceme měřit přesně, musíme vybírat kvalitní teploměry, což znamená vyšší peněžní náročnost.

Podobně by bylo třeba řešit i smyčku ohřevu, který je v činnosti pouze v zimním období. Topení by ovšem mohlo v letních měsících fungovat jako klimatizační jednotka.

#### 5.4 Volba průtokoměru

Vybrán byl průtokoměr společnosti KOBOLD Messring GmbH [19], který je pulzní s turbínovým kolem a je typu TUR 2150 (*Obr. 5.10*). Tento typ je v provedení s integrovaným převodníkem měřených hodnot. Základní vlastnosti jsou v tabulce *Tab. 5.8* a katalogový list je v příloze *Příloha 5.9*.



*Obr. 5.10 Průtokoměr TUR 2150*

*Tab. 5.8 Základní vlastnosti průtokoměru TUR 2150 [19]*

Měřicí rozsah	1,2 až 20 m <sup>3</sup> /h
Maximální tlak	10 bar
Provozní teplota	max. 70 °C
Výstup	4 až 20 mA
Přesnost	± 1 % z koncové hodnoty



## 6 NÁVRH MĚŘENÍ TEPLOT NA ZKUŠEBNĚ TEPELNÝCH ČERPADEL

### 6.1 Zkušebna tepelných čerpadel

Zkoušky tepelných čerpadel provádí Zkušebna tepelných a ekologických zařízení při Strojírenském zkušebním ústavu, která má samozřejmě zpracovanou svou relativně dokonalou metodiku. Tento návrh řešení si klade za cíl, být jakousi variantní studií tohoto dnes velmi atraktivního oboru.

U tepelného čerpadla se zkouší, zda výrobcem deklarovaný výkon vyhovuje kritériu: „Testovaný chladící a ohřívací výkon  $\geq 0,88$  deklarovaný výkon.“

Pro zjišťování výkonu je potřeba měřit teplotu na třech místech, sledování průtoku a tlaku v potrubích. První místo, kde se měří teplota studené vody, je před smyčkou, která vede do tepelného čerpadla. Druhé místo měření teploty je těsně před vstupem vody do tepelného čerpadla. Poslední místo měření je ve výstupu z tepelného čerpadla.

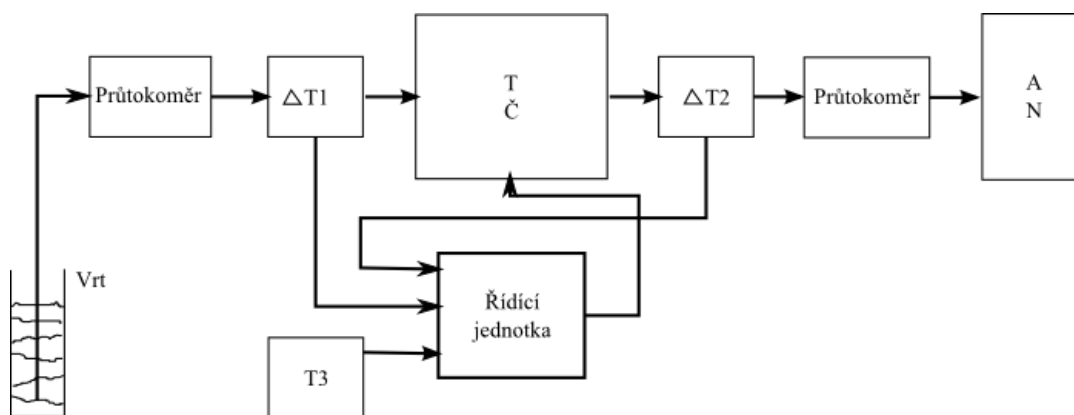
Pro měření prvních dvou míst jsou zvoleny čidla teploty typu NS510A a pro měření teploty na výstupu z tepelného čerpadla je vybrán teploměr JUMO Dtrans T100 (viz. Kapitola 5.2.1)

### 6.2 Návrh měření teploty na zkušebně tepelných čerpadel

Do návrhu je kromě již zmíněných teploměrů, tepelného čerpadla a akumulční nádoby zapojena řídicí jednotka a průtokoměry, jak je vidět na blokovém schématu zapojení (Obr. 6.1). Toto zapojení je opět řešením pouze jedné smyčky tepelného čerpadla - akumulční okruh (Obr. 6.2).

Řídicí jednotka je navržena jako spojení datové karty se čtyřmi analogovými vstupy a počítače.

Do karty vstupují analogové hodnoty z čidla teploty vody před vstupem do tepelného čerpadla, čidla teploty vody, která vystupuje z čerpadla, teplota vrtu a hodnoty průtoku.



Obr. 6.1 Zjednodušené blokové schéma zapojení zkušebny

Popis zjednodušeného blokového schématu:

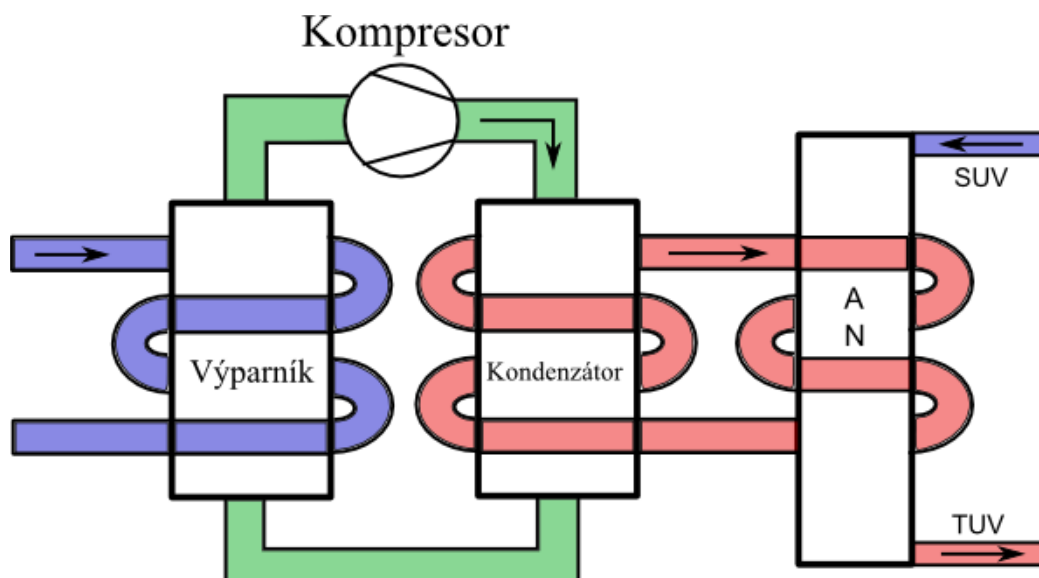
$\Delta T1$  ... měřený teplotní rozdíl teplot z čidla NS 510A

$\Delta T2$  ... měřený teplotní rozdíl teplot z čidla JUMO Dtrans T100

$T3$  ... teplota vrtu

$T\check{C}$  ... tepelné čerpadlo Logatherm WPS9

$AN$  ... akumulční nádrž



Obr. 6.2 Akumulační okruh

### 6.3 Navržená datová karta

Zvolena byla karta společnosti National Instrument s.r.o. [17] NI PCI-6238 (Obr. 6.3), která je vestavná do počítače. Karta je vybavena osmi analogovými vstupy, dvěma analogovými výstupy, šesti digitálními vstupy a čtyřmi digitálními výstupy, čímž plně vyhovuje navrženým požadavkům na řízení zkušebny. Katalogový list je v příloze Příloha 6.1.



Obr. 6.3 Datová karta NI PSI-6238 [17]

#### 6.4 Návrh softwaru pro zkušebnu

V rámci práce byl pro zkušebnu navržen obslužný měřicí software, který pomocí datové PC karty získává přesné teploty v měřicích bodech na čerpadle a na jejich základě vypočítává aktuální dílčí výkon čerpadla pro navržený akumulární okruh. Celkový výkon by byl spočítán jako součet všech dílčích výkonů, což znamená zpracování dalších okruhů, které by pro čerpadlo mohly být navrženy.

Vstupem pro výpočty nejsou pouze teploty, ale je třeba vědět i přesné vlastnosti kapaliny v primárním okruhu – především její měrnou tepelnou kapacitu a objemovou hustotu. Pro účely této zkušebny byla použita nemrznoucí směs vody a monoetylglykolu v poměru 1:1, která je v praxi používána velmi často a má teplotu tuhnutí  $-20\text{ °C}$ . Další vlastnosti směsi jsou v tabulce *Tab. 6.1*.

Tab. 6.1 Fyzikální vlastnosti použité nemrznoucí směsi [18]

Teplota tuhnutí	$-20\text{ °C}$
Objemová hustota	$1058\text{ kg/m}^3$
Měrná tep. kapacita	$3630\text{ J/K*kg}$

Posledním parametrem potřebným pro finální výpočet je hodnota průtoku nemrznoucí směsi okruhem, která je podle *Obr. 6.1* měřena na dvou místech, a to před prvním místem měření a za druhým místem měření. Pokud bychom uvažovali i okruh vytápěcí, pak by pro nás byla podstatná hodnota průtoku kapaliny, který teče z akumulární nádrže zpět do čerpadla. V této práci je ovšem zaměřena pouze na akumulární okruh.

V softwaru je samozřejmě možnost nastavit parametry jakékoliv nemrznoucí kapaliny, která je v měřeném čerpadle použita.

Celý program pracuje v nekonečné smyčce řízené vývojovým diagramem na obrázku *Obr. 6.5*. Nejprve je provedena inicializace PC karty a dále se vstupuje do hlavní smyčky, kde je nejprve změřena teplota primárního okruhu při vstupu do čerpadla a poté na jeho výstupu. Z těchto teplot je vypočítán rozdíl určující množství předaného tepla. Násobením tohoto rozdílu a objemu kapaliny, která čerpadlem prošla za určitou časovou jednotku (v tomto případě je to jedna sekunda), získáme výkon čerpadla.

$$P = Q_m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (\text{W}), \quad (6.1)$$

kde

$$Q_m = Q_v \cdot \rho \quad (\text{kg/s}) \quad (6.2)$$

$P$  ... výkon tepelného čerpadla

$Q_m$  ... hmotnostní průtok

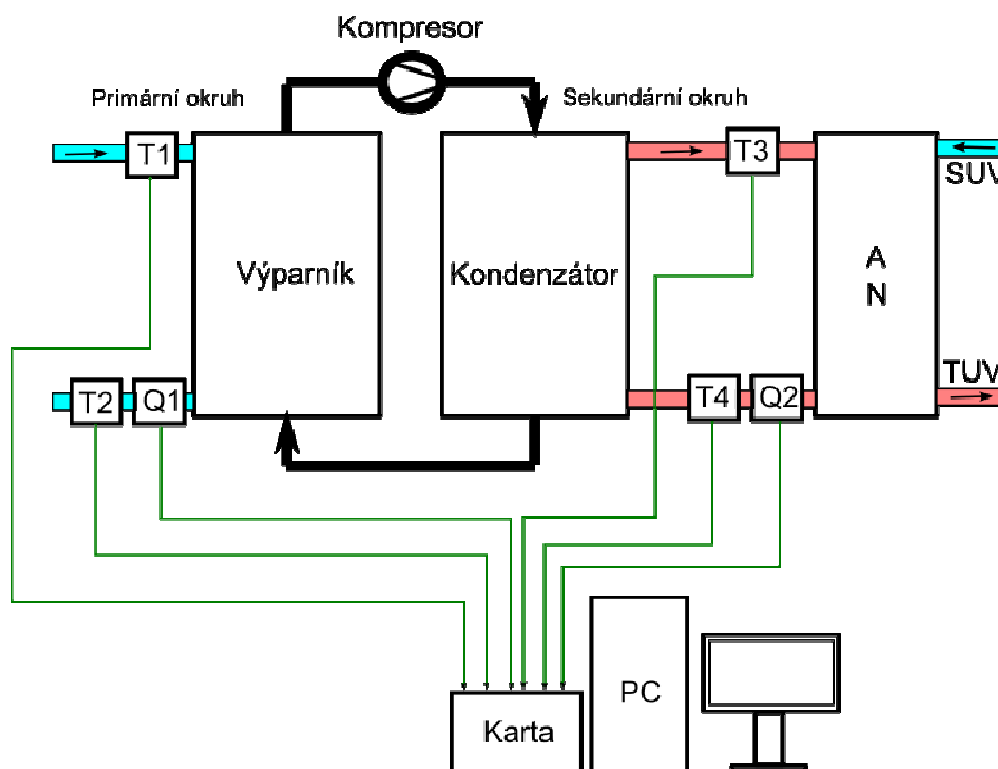
$c_p$  ... tepelná kapacita kapaliny

$\Delta T$  ... rozdíl teplot  $T_1$  a  $T_2$

$Q_v$  ... objemový průtok

$\rho$  ... hustota kapaliny

Na obrázku *Obr. 6.4* je znázorněno konkrétní osazení akumulčního okruhu tepelného čerpadla měřicími prvky. Pro správnou funkci výpočtového softwaru je nutné použít kromě vybraných teploměrů ještě vhodný průtokoměr, který měří velikost průtoku kapaliny na vstupu a výstupu z tepelného čerpadla.

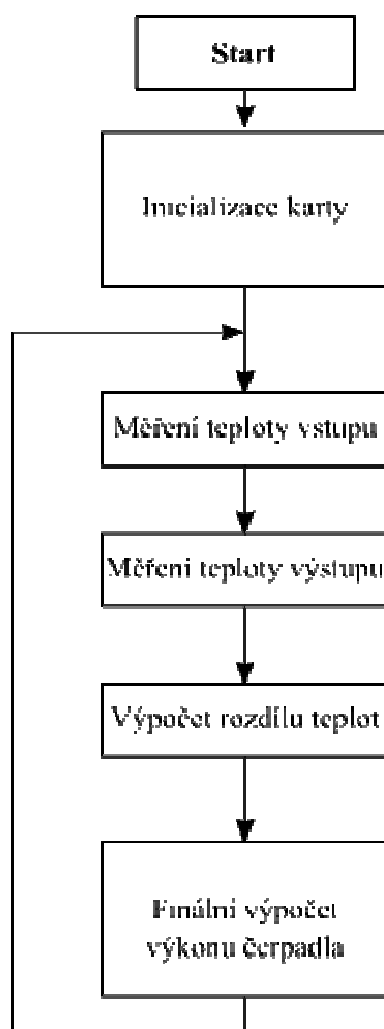


*Obr. 6.4* Schéma osazení teploměry a průtokoměry

kde jsou měřicí přístroje navrženy takto:

T1 ... STSp/I  
T2 ... JUMO Dtrans T100  
T3 ... STSp/I  
T4 ... JUMO Dtrans T100  
Q1... TUR 2150  
Q2... TUR 2150  
Karta NI PSI-62388

Konkrétní osazení bylo zvoleno na základě vlastností jednotlivých teploměrů. Nebylo možné použít čidla pro snímání venkovní a vnitřní teplota, jelikož je návrh udělán pro měření na zkušebně, kde jsou směrodatné hodnoty naměřené v okruhu na *Obr. 6.4.*

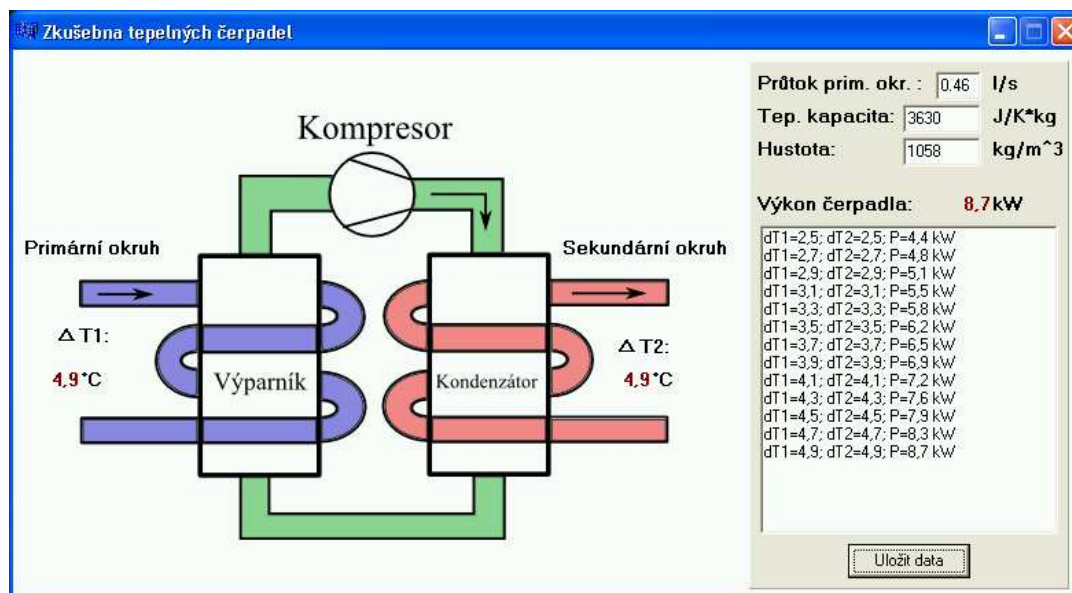


*Obr. 6.5* Vývojový diagram řídicího programu

Výpočet, podle kterého je získán dílčí výkon čerpadla, se řídí vzorcem (6.1). Hlavní okno programu je ukázáno na Obr. 6.6. Je zde znázorněné schéma, které symbolizuje akumulací okruh, pro který program zpracovává hodnoty.

V programu je obsluze umožněno upravovat velikost hodnoty průtoku, který je v případě demonstrativních výpočtů nahrazen pevnou hodnotou a počítá se vlastně se změnami vstupních a výstupních teplot z čerpadla, které udávají, o kolik stupňů se nemrznoucí médium ochladí při průchodu čerpadlem, a tím předá své teplo. Výpis programu je v příloze Příloha 6.2.

Pro zpracování dat je nutné zajistit i archivaci vstupních a výstupních dat, což umožňuje tlačítko „Uložit data“, které naměřené údaje exportuje do textového souboru. V okénku v pravé části je příklad textového výstupu hodnot rozdílů teplot a dílčího výkonu pro akumulací okruh po simulované změně vstupních a výstupních teplot.



Obr. 6.6 Náhled uživatelského prostředí programu

Na zkušebně se předpokládá nahrazení zemního vrtu a akumulacího zásobníku pomocí jiných náhradních zásobníků, které jsou schopné simulovat obě části. Pokud bychom to řešili v této práci, byl by překročen její rozsah.

## 7 ZÁVĚR

Předložená práce probírá problematiku měření teplot, což je základní parametr při posuzování výkonu tepelných čerpadel. Toto je i jeden z cílů – tedy příspěvek do diskuse o možnostech dalšího rozvoje zkušebny tepelných čerpadel a úprav jejich stávajících postupů.

Rozebrána je především problematika metod a prostředků měření teploty a samotné základy funkce tepelných čerpadel. Byla vybrána vhodná a dostupná varianta tepelného čerpadla Logatherm WPS9, pro které bylo po uvážení několika variant vybráno osazení měřících míst potřebnými kontrolními teploměry. Jako nejvhodnější se jevila varianta s čidly NS 510A a JUMO Dtrans T100, která fungují na principu Pt 1000. Jsou v provedení pro měření venkovních a vnitřních teplot, a teplot na vstupu a výstupu tepelného čerpadla. Oba teploměry obsahují převodník teplota/proud. Kromě teplot je také třeba znát průtok, bez něhož nelze stanovit tepelný výkon. Protože zadaným problémem byla především teplota, výběr průtokoměru nebyl v práci řešen a hodnota objemového průtoku je do programu vkládána (zadávána) v příložené demoverzi ručně.

Vzhledem k tomu, že zkušebna je řízena převážně pomocí počítače, je nutné pro sběr dat z čidel využít vhodný převodník a nejvýhodnější variantou je vestavná karta do počítače. Po uvážení počtu potřebných vstupů a výstupů byla zvolena datová karta od National Instrument s.r.o. s označením NI PSI-6238. V návaznosti na zvolené přístrojové vybavení byl navržen také jednoduchý řídicí a vyhodnocovací software.

Řídicí software by bylo možné v návaznosti na použitou měřicí kartu vytvořit pomocí profesionálního vývojového prostředí LabVIEW od NI, nicméně z důvodů vysoké pořizovací ceny je v tomto případě zvolena levnější varianta v podobě komunikace pomocí knihoven dodaných pro C++. Dalším důvodem provedení v C++ jsou nižší nároky na výkon počítače a je zde i lepší přenositelnost kódu.

Výsledkem práce je tedy návrh přístrojového osazení základní smyčky zkušebny tepelných čerpadel včetně vyhodnocovacího programu, který může posloužit také jako variantní řešení, resp. příspěvek do diskuse o rozvoji zkušebny těchto čerpadel. Pro skutečnou realizaci by bylo třeba dořešit začlenění dalších měřených parametrů čerpadla. Především by bylo třeba zahrnout veškeré další teploty a tlaky v jednotlivých okruzích i samostatnou a detailní analýzu všech dílčích okruhů na čerpadle. Například primární a sekundární, ohřev TUV, odběry pro vytápění objektu atd. Dále mohla být brána v potaz případná reverzní činnost v době letních vysokých teplot, kdy čerpadlo může pracovat jako klimatizace - odebírat teplo z objektu a ukládat ho např. do podzemních akumulčních nádrží apod.

Komplexní řešení by si vyžádalo řadu dalších snímačů, ale také další měřicí karty a sofistikovanější software. To však nebylo předmětem zadání této práce. Při návštěvě přímo na pracovišti státní zkušebny se rovněž ukázalo, že představou pracovníků je ve svém důsledku mnohem složitější strukturovaný a decentralizovaný systém měření a řízení pracoviště, který by měl být pravděpodobně směřován na uplatnění PLC jednotlivě ve všech měřených okruzích. Zcela závěrem se domnívám, že s případnými

potřebnými úpravami by mohlo v této práci navržené řešení zastoupit úlohu jedné z mnoha těchto smyček.



## LITERATURA

- [1] VDOLEČEK, F. *Technická měření*. Brno, 2002. 64 stran.
- [2] MACHÁČKOVÁ, P. *Automatická kalibrace snímačů vibrací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D.
- [3] OMEGA. *Měření teploty*. [online]. Dostupné z www: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/temperaturemeasurement.html>
- [4] BĚŤÁK, J. *Teplotní stupnice*. [online]. Automa: Časopis pro automatizační techniku. 2003. [cit. 23. 2. 2011]. Dostupné z www: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28679](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28679)
- [5] SENSIT s.r.o. *Snímače teploty pro venkovní prostředí*. [online]. [cit. 5. 5. 2011]. Dostupné z www: <http://www.sensit.cz/sortiment/snimace-teploty-venkovni-prostredi.php>
- [6] JUMO ČR. *Odporové teploměry*. [online]. [cit. 5. 5. 2011]. Dostupné z www: [http://gads.jumo.net/pio/JUMO/cs\\_CZ/prd/90.2815/jumo-dtrans-t100---z%C3%A1vitov%C3%A9-odporov%C3%A9-teplom%C4%B9ry-bez---s-p%C5%99evodn%C3%ADkem.html](http://gads.jumo.net/pio/JUMO/cs_CZ/prd/90.2815/jumo-dtrans-t100---z%C3%A1vitov%C3%A9-odporov%C3%A9-teplom%C4%B9ry-bez---s-p%C5%99evodn%C3%ADkem.html)
- [7] KLIMA CHLAZENÍ HK s.r.o. *Tepelná čerpadla*. [online]. [cit. 10. 4. 2011]. Dostupné z www: <http://www.altherma-tepelnacerpadla.cz/daikin-altherma>
- [8] MEGAWATT s.r.o. *Tepelná čerpadla*. [online]. [cit. 11. 4. 2011]. Dostupné z www: <http://www.megawatt.cz/cs/52/tepelna-cerpadla/>
- [9] BUDERUS. Bosch Termotechnika s.r.o., obchodní divize Buderus. *Tepelné čerpadlo Logatherm WPS 9*. [online]. [cit. 16. 4. 2011]. Dostupné z www: <http://www.buderus.cz/produkty/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-zeme-voda/logatherm-wps-xxk.html>
- [10] PECH, O. *Zemní zdroje tepla pro tepelná čerpadla – vertikální vrtané kolektory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Jaroš, Dr.
- [11] Strojírenský zkušební ústav s.p. [online]. Dostupné z www: <http://www.szutest.cz/>
- [12] ZPA Ekoreg s.r.o. *Snímače teploty*. [online]. [cit. 20. 5. 2011]. Dostupné z www: <http://www.zpaul.cz>
- [13] MAHRLO s.r.o. *Odporový snímač*. [online]. [cit. 20. 5. 2011]. Dostupné z www: <http://meriacaaregulacna.wordpress.com>

- [14] JSP s.r.o. *Termoelektrické snímače*. [online]. [cit. 20. 5. 2011]. Dostupné z [www: http://www.jsp.cz](http://www.jsp.cz)
- [15] MAVIS Nový Bor s.r.o. *Termoelektrické snímač*. [online]. [cit. 20. 5. 2011]. Dostupné z [www: http://mavis.cz](http://mavis.cz)
- [16] A.P.O. – ELMOS v.s.o. *Odporové snímače*. [online]. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné z [www: http://www.apoelmos.cz](http://www.apoelmos.cz)
- [17] National Instrument s.r.o. *Datová karta*. [online]. [cit. 25. 5. 2011]. Dostupné z [www: http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202500](http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202500)
- [18] MATUŠKA T. *Oběhová čerpadla a hydraulika solárních soustav*. [online]. [tzbinfo](http://www.tzbinfo.cz). 2005. [cit. 25. 5. 2011]. Dostupné z [www: http://www.tzb-info.cz/2563-obehova-cerpadla-a-hydraulika-solarnich-soustav-i](http://www.tzb-info.cz/2563-obehova-cerpadla-a-hydraulika-solarnich-soustav-i)
- [19] KOBOLD Messring GmbH. *Průtokoměr*. [online]. [cit. 26. 5. 2011]. Dostupné z [www: http://www.koboldmessring.com/fileadmin/koboldfiles/pdf/cz/s4cz\\_tur.pdf](http://www.koboldmessring.com/fileadmin/koboldfiles/pdf/cz/s4cz_tur.pdf)
- [20] MasterTherm. *Princip tepelného čerpadla*. [online]. [cit. 13. 4. 2011]. Dostupné z [www: http://www.mastertherm.cz/princip-tepelneho-cerpadla](http://www.mastertherm.cz/princip-tepelneho-cerpadla)
- [21] KLAZAR L. *Topný faktor*. [online]. [tzbinfo](http://www.tzbinfo.cz). 2005. [cit. 13. 4. 2011]. Dostupné z [www: http://www.tzb-info.cz/2432-jak-je-to-vlastne-s-topnym-faktorem](http://www.tzb-info.cz/2432-jak-je-to-vlastne-s-topnym-faktorem)
- [22] BOSCH Group. *Tepelné čerpadlo Logatherm WPS 9*. [online]. [cit. 26. 5. 2011]. Dostupné z [www: http://www.bosch.cz/press/detail.asp?f\\_id=684](http://www.bosch.cz/press/detail.asp?f_id=684)

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 5.1* – Technický list čerpadla Logatherm WP S9
- Příloha 5.2* – Katalogový list teplotního čidla NS 510A
- Příloha 5.3* – Katalogový list teplotního čidla JUMO Dtrans T100
- Příloha 5.4* – Katalogový list teplotního čidla NS 560
- Příloha 5.5* – Katalogový list teplotního čidla NS 500 ALPHA
- Příloha 5.6* – Katalogový list teplotního čidla STSp/I
- Příloha 5.7* – Katalogový list teplotního čidla P0120
- Příloha 5.8* – Katalogový list teplotního čidla T1504
- Příloha 5.9* – Katalogový list průtokoměru TUR 2150
- Příloha 6.1* – Katalogový list datové karty NI PCI-6236
- Příloha 6.2* – Výpis programu