

Kalorimetrická komora - Návrh zkoušení výkonových parametrů tepelných čerpadel

Calorimetric Chamber - Testing of Heat Pumps Performance
Parameters

Bc. Michal Krbeček

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Krbeček**
Osobní číslo: **A12438**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Kalorimetrická komora – Návrh zkoušení výkonových parametrů tepelných čerpadel**

Zásady pro vypracování:

1. Studujte problematiku tepelných čerpadel.
2. Stanovte možnosti teoretického a experimentálního stanovení výkonových parametrů tepelných čerpadel.
3. Rozeberte možnosti stanovení parametrů v kalorimetrické komoře.
4. Navrhněte zkoušení tepelných čerpadel v kalorimetrické komoře se zvážením možnosti měření parametrů pro vyšší výkon.
5. Popište postup při ustalování tepelně-technických parametrů komory před zahájením zkoušky.
6. Popište postup zkoušení a vyhodnocení měření.
7. Napište závěry hodnocení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2005 ASHRAE handbook fundamentals. I-P and SI eds. ASHRAE, 2005. ISBN 19-318-6273-7.
2. SCHRAMEK, Recknagel. Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik: einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik ; I07/08J. 73. Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg-Industrieverl. ISBN 38-356-3104-7.
3. Platné ČSN řada 06, 07, 34, 35, 36, 37, 38, 73, 74, 83, 91.
4. Studie kompenzované kalorimetrické komory.
5. Dvořák, Z., Klazar, L., Petrák, J.: Tepelná čerpadla. SNTL Praha, 1987.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Zálešák, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky


Datum zadání diplomové práce:

7. března 2014


Termín odevzdání diplomové práce:

11. června 2014

Ve Zlíně dne 7. března 2014


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
kaředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je vytvořit ucelený postup pro měření výkonových parametrů tepelných čerpadel v kalorimetrické komoře. Teoretická část představuje dostatečný zdroj informací pro pochopení problematiky fungování tepelného čerpadla. Jsou zde vysvětleny základní principy a popsán postup získávání tepla z různých energetických zdrojů. Dále je zde mimo jiné teoreticky popsána metodika zkoušení tepelných čerpadel v kalorimetrické komoře.

V praktické části byl proveden popis předmětné kalorimetrické komory a vytvořena metodika postupu při zkoušení výkonových parametrů tepelných čerpadel. To zahrnuje především popis ustalování tepelně technických parametrů před zahájením zkoušky a návrh přístrojového vybavení komory. Při návrhu postupů byl kladen důraz na dodržení předpisů stanovených platnou legislativou.

Klíčová slova: tepelné čerpadlo, TČ, výkonové parametry, kalorimetrická komora, topný faktor, COP, ČSN EN 14511

ABSTRACT

The aim of diploma thesis is to create complex guidelines for testing of heat pumps performance parameters in calorimetric chamber. Theoretical part is sufficient source of information for understanding the function of heat pumps. Main principles and process of heat gathering from different sources are given. Among others, the process of heat pump testing in calorimetric chamber is theoretically described.

Practical part is dedicated to describing particular calorimetric chamber and creating the process of heat pumps performance parameters. It mainly includes describing stabilization of thermal technical parameters before the test starts and designing measuring instrumentation. All active legislative rules were kept in mind during the designing of the test guidelines.

Keywords: heat pump, HPU, performance parameters, calorimetric chamber, Coefficient of performance, COP, EN 14511

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Martinu Zálešákovi, CSc. za jeho čas, který věnoval konzultacím a za jeho odborné připomínky.

Rád bych také poděkoval své rodině za možnost navštěvovat vysokou školu a za podporu po celou dobu studia.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TEPelnÉ ČERPAdLO	13
1.1 TERMODYNAMICKÉ ZÁKLADY	14
1.2 ROZDĚLENÍ TEPelnÝCH ČERPAdEL DLE ZDROJE ENERGIE.....	16
1.2.1 Vzduch jako zdroj tepla	17
1.2.2 Voda jako zdroj tepla	18
1.2.3 Země jako zdroj tepla.....	20
1.3 ROZDĚLENÍ TEPelnÝCH ČERPAdEL Z DALŠÍCH HLEDISEK	23
1.4 KONSTRUKČNÍ PRVKY TEPelnÉHO ČERPAdLA.....	25
1.4.1 Kompresor.....	25
1.4.2 Termostatický expanzní ventil	27
1.4.3 Výparník, kondenzátor	28
1.5 CHLADIVA.....	30
1.6 ZÁKLADNÍ HODNOCENÉ PARAMETRY TEPelnÝCH ČERPAdEL	33
1.6.1 Topný faktor	33
1.6.2 Topný výkon.....	33
1.6.3 Energetická úspora	34
1.6.4 Ekonomické hledisko	34
2 MOŽNOSTI TEORETICKÉHO A EXPERIMENTÁLNÍHO STANOVENÍ VÝKONOVÝCH PARAMETRŮ TEPelnÝCH ČERPAdEL	36
2.1 TEORETICKÉ STANOVENÍ PARAMETRŮ TEPelnÝCH ČERPAdEL.....	36
2.2 EXPERIMENTÁLNÍ METODY STANOVENÍ.....	37
3 ROZBOR MOŽNOSTÍ STANOVENÍ PARAMETRŮ V KALORIMETRICKÉ KOMOŘE	38
3.1 KALORIMETRICKÁ KOMORA	38
3.2 VÝKONOVÁ OMEZENÍ	39
3.3 USTALOVACÍ PROCES	40
3.4 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ KALORIMETRICKÉ KOMORY	40
3.5 ROZBOR MOŽNOSTÍ ŘÍZENÍ ZKUŠEBNÍCH PROCESŮ.....	41
4 VŠEOBECNÉ POŽADAVKY NA ZPŮSOBILOST ZKUŠEBNÍCH LABORATOŘÍ	43
4.1 NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	43
4.1.1 Zdroje nejistot	43
4.1.2 Standardní nejistota typu A, u_A	44
4.1.3 Standardní nejistota typu B, u_B	44
4.1.4 Kombinovaná standardní nejistota u_C	45

4.1.5	Rozšířená nejistota U	45
4.2	TECHNICKÉ POŽADAVKY	45
4.2.1	Zařízení.....	46
4.2.2	Osoby pracující v laboratoři	46
4.2.3	Prostory a podmínky měření	46
4.2.4	Software používaný v procesu měření	47
4.2.5	Zkušební metody	47
II PRAKTICKÁ ČÁST		48
5	PŘEDMĚTNÁ KALORIMETRICKÁ KOMORA A JEJÍ PARAMETRY	49
5.1	ROZMĚRY A USPOŘÁDÁNÍ KOMORY	49
5.2	TEPELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY KONSTRUKCÍ	50
5.3	KOMPENZOVANÝ PROSTOR.....	51
5.4	PARAMETRY REKONDIČNÍCH JEDNOTEK	51
5.5	ZKOUŠENÉ PARAMETRY.....	53
6	NÁVRH ZKOUŠEK TEPELNÝCH ČERPADEL V KALORIMETRICKÉ KOMOŘE SE ZVÁŽENÍM MOŽNOSTI MĚŘENÍ PARAMETRŮ PRO VYŠŠÍ VÝKON	54
6.1	PODMÍNKY ZKOUŠEK DLE ČSN EN 14511.....	54
6.2	NÁVRH ZKOUŠEK DLE ČSN EN 14511	57
6.2.1	Měření chladicího výkonu jednotek vzduch/voda a vzduch/vzduch.....	57
6.2.2	Měření topného výkonu jednotek vzduch/voda	57
6.2.3	Měření topného výkonu jednotek vzduch/vzduch.....	61
6.3	MĚŘENÍ ZAŘÍZENÍ S VYŠŠÍM VÝKONEM	62
7	POSTUP PŘI USTALOVÁNÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH PARAMETRŮ PŘED ZAHÁJENÍM ZKOUŠKY.....	63
7.1	USTALOVACÍ PROCES	63
7.2	SIMULACE USTALOVÁNÍ	63
7.2.1	Cíle simulace	63
7.2.2	Tvorba modelů komory	64
7.2.3	Nastavení parametrů simulace	64
7.2.4	Výstupy	66
8	NÁVRH MONITOROVÁNÍ ZKUŠEBNÍHO PROCESU	69
8.1	ČIDLA A JEJICH PARAMETRY	69
8.1.1	Teplota a vlhkost vzduchu	70
8.1.2	Teplota vody v potrubí	72
8.1.3	Průtok	73
8.1.4	Elektrické veličiny.....	74
8.1.5	Rychlost proudění vzduchu	76
8.2	MONITOROVACÍ SYSTÉM	77

9	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	80
9.1	ZÍSKÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	80
9.2	POSTUP VYHODNOCENÍ VČETNĚ NEJISTOT	81
9.3	PROTOKOL O ZKOUŠCE	82
	ZÁVĚR	84
	CONCLUSION	86
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	88
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	91
	SEZNAM OBRÁZKŮ	92
	SEZNAM TABULEK.....	94
	SEZNAM PŘÍLOH.....	95

ÚVOD

Současný trend zvyšování cen energií, dotační programy na úsporné bydlení a vyšší informovanost široké veřejnosti o alternativních zdrojích energie dostává do povědomí také tepelná čerpadla, která se stala nejprogresivnějším zdrojem alternativní energie. Tepelná čerpadla lze i přes nutnost dodávat elektrickou energii zařadit mezi alternativní zdroje, protože využívají obnovitelné zdroje energie ze svého okolí. Prvotní myšlenkou potřebnou pro vznik tepelného čerpadla je druhý zákon termodynamiky, který byl formulován v roce 1852 a mimo jiné říká, že teplo se vždy šíří z tělesa o vyšší teplotě na těleso s nižší teplotou.

Vývoj tepelných čerpadel za poslední roky prodělal obrovský pokrok a dnešní modely mohou při správném využití ušetřit velkou část nákladů na vytápění a přípravu teplé vody. Tepelné čerpadlo musí plnit svou funkci po dostatečně dlouhou dobu, aby se ekonomicky vrátila počáteční investice. Ta se pohybuje v řádech statisíců korun, v závislosti na výkonu a typu tepelného čerpadla. Ruku v ruce se zvyšující se oblibou tepelných čerpadel roste také počet jejich výrobců a distributorů, avšak zdaleka ne všichni při výrobě používají kvalitní materiály a výrobní postupy a tím snižují výkon a životnost svých výrobků.

Při výběru tepelného čerpadla je vhodné podrobně nastudovat problematiku stanovení výkonových parametrů a vyhledávat certifikované produkty ověřených výrobců. Většina z nich provádí testy svých výrobků ve vlastních laboratořích, které však nemusí splňovat předepsané podmínky pro měření a lze tak získat mnohem lepší výsledky, které se pak stávají podklady pro katalogové listy a obchodní strategii. Tento fakt byl podnětem pro vznik organizací, které se snaží odlišit kvalitní výrobky od těch nekvalitních. V České republice to je Asociace využití tepelných čerpadel, která uděluje spolehlivým produktům celoevropskou značku kvality QLabel. Při koupi takto označeného tepelného čerpadla si zákazník může být jist, že jeho parametry byly měřeny v akreditačních laboratořích za velmi přísných podmínek a s velkou přesností.

Požadavky na technické zázemí a přístrojové vybavení akreditovaných zkušeben jsou na vysoké úrovni a řídí se platnými legislativními předpisy. Pro získání akreditace musí laboratoř splňovat podmínky stanovené v EN 17025 a testy smí provádět podle standardů EN 14511, EN 15879 nebo EN 16147. Současně musí být realizovatelná akustická měření stanovená v EN 12102. Zmíněné normy převzal také český Úřad pro technickou normalizaci, metrologii

a státní zkušebnictví a jsou tak právně platné i pro Českou republiku. Těmito normami jsou stanoveny základní pravidla a je tím zaručeno získání kompaktních a srovnatelných výsledků pro různá měření. Konkrétní postupy, přístroje a způsob zpracování dat však jsou know-how jednotlivých zkušebních středisek.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEPELNÉ ČERPADLO

První tepelné čerpadlo sestrojil na konci čtyřicátých let minulého století americký vynálezce Robert C. Webber, který jej použil jak pro vytápění, tak také pro ohřev vody ve svém domě. Velký zájem o tepelná čerpala přinesla diskuze o nedostatku fosilních paliv, která proběhla o třicet let později. V současnosti se nejnovějšími výzkumy v oblasti tepelných čerpadel a geotermální energie zabývá International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA) založená v roce 1987 [1].

Definice základních pojmů, týkajících se fyzikálních veličin a tepelných čerpadel [2], použitých v práci:

- **teplota** - teplota je veličina, která charakterizuje, zda látka při tepelném kontaktu s jinou látkou bude či nebude v tepelné rovnováze (zda bude či nebude přijímat nebo předávat teplo)
- **teplo** - Vyjadřuje změnu vnitřní energie, tj. součet pohybových a polohových energií částic tělesa, jestliže se toto těleso ochladí nebo zvýší svoji teplotu.
- **přenos tepla** - Při vedení tepla částice látky v oblasti s vyšší teplotou předávají část své střední energie prostřednictvím vzájemných srážek částicím v místech s nižší teplotou, tj. majícím nižší střední energii.
- **teplonosná látka** – jakákoliv látka (voda, vzduch,...) použitá pro přenos tepla beze změny stavu
- **celkový chladicí výkon** – teplo předané jednotce teplonosnou látkou za jednotku času, vyjadřuje se ve wattech
- **topný výkon** – teplo předané jednotkou do teplonosné látky za jednotku času, vyjadřuje se ve wattech
- **chladicí faktor** – poměr celkového chladicího výkonu k efektivnímu příkonu jednotky, vyjadřuje se ve wattech/watt
- **topný faktor** – poměr topného výkonu k efektivnímu příkonu jednotky, vyjadřuje se ve wattech/watt
- **standardní podmínky hodnocení** – povinné normativní podmínky, které jsou používány pro značení a srovnávání nebo pro účely certifikace

1.1 Termodynamické základy

Tepelná čerpadla pracují na principu levotočivých systémů, v nichž se teplo odebírané zdroji přečerpává na teplotní hladinu vhodnou pro další využití, a to podle II. zákona termodynamiky za nezbytného přívodu energie. Množství získaného tepla potom je [7]:

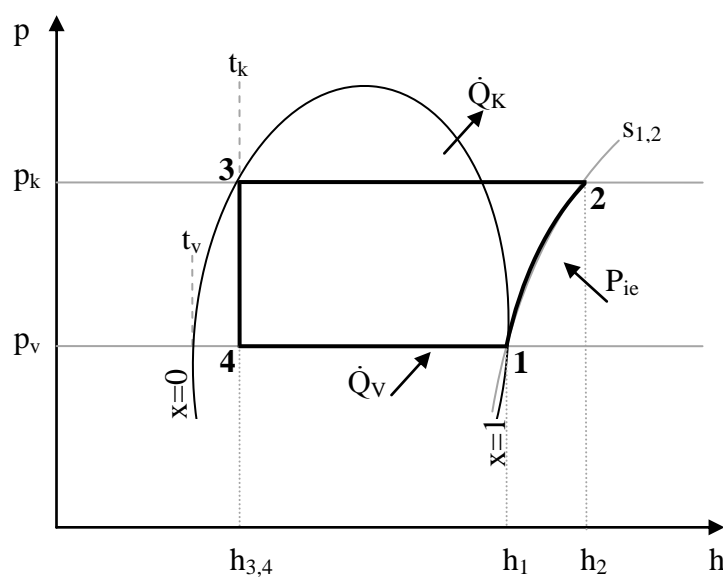
$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_V + P_{ie} \quad [\text{W}] \quad (1)$$

kde \dot{Q}_V teplo odebírané zdroji [W]

P_{ie} teoretický příkon kompresoru [W]

Během tepelného oběhu dochází k cyklické změně skupenství pracovního média. Tento cyklus se znázorňuje v diagramech pracovního média jako uzavřená křivka. Reálný oběh tepelného čerpadla vyháží z ideálního Rankinova oběhu, ve kterém probíhají 4 základní termodynamické změny

- 1→2: izoentropická komprese
- 2→3: izobarické ochlazení
- 3→4: adiabatické škrčení
- 4→1: izobarické vypařování



Obrázek 1: p-h diagram ideálního Rankinova cyklu

Množství tepla z Rovnice (1) odebraného ve výparníku je potom [7]:

$$\dot{Q}_V = \dot{m}_{ch}(h_1 - h_4) \quad [\text{W}] \quad (2)$$

kde \dot{m}_{ch} hmotnostní průtok chladiva $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

h_1 entalpie chladiva na výstupu z výparníku $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

h_4 entalpie chladiva na vstupu do výparníku $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

Příkon kompresoru lze vyjádřit jako:

$$P_{ie} = \dot{m}_{ch}(h_2 - h_1) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

kde \dot{m}_{ch} hmotnostní průtok chladiva $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

h_2 entalpie chladiva na výstupu kompresoru $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

Posledním členem tepelné bilance je množství získaného tepla:

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_{ch}(h_2 - h_4) \quad [\text{W}] \quad (4)$$

Z definice topného faktoru vyplývá, že se jedná o poměr, mezi dodanou a výstupní energií, pro zmíněný Rankinův cyklus je tedy možné psát [7]:

$$\varepsilon_{t,Rankin} = \frac{\dot{Q}_K}{P_{ie}} = \frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_1} \quad [-] \quad (5)$$

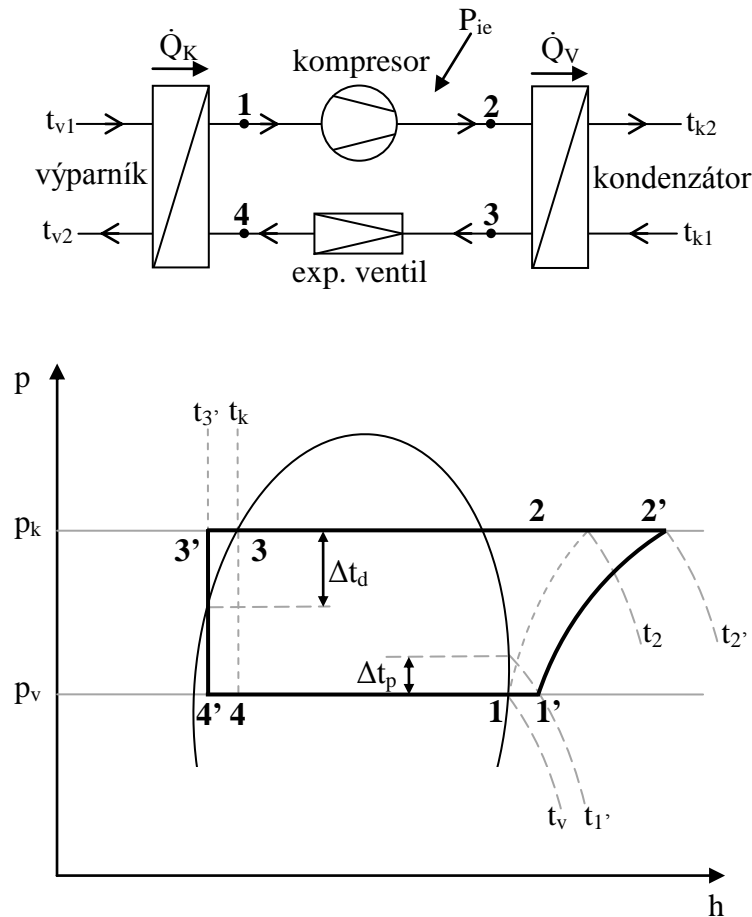
a obdobně pro chladicí faktor:

$$\varepsilon_{ch,Rankin} = \frac{\dot{Q}_V}{P_{ie}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad [-] \quad (6)$$

Pokud chceme zobrazit reálný oběh tepelného čerpadla, je nutné brát v potaz také podchlazení nebo přehřátí chladiva, tlakové a tepelné ztráty, reálný průběh komprese a případný teplotní skluz chladiva, se kterými reálný Rankinův oběh nepočítá.

Při reálné kompresi nedochází k nasávání syté páry, ale do kompresoru vstupují přehřáté páry. K přehřátí Δt_p dochází ve výparníku, přívodem tepla z okolí a také v samotném kompresoru. Jedná se o tepelné zisky a přehřáté páry navíc zaručují, že se do kompresoru nedostanou kapičky chladiva, což by mohlo v některých kompresorech působit potíže. Ani komprese není čistě izoentropická, jak předpokládá Rankinův oběh, protože při ní dochází

o ohřívání nasávaných par. V kondenzátoru pak probíhá podchlazení kapalného chladiva o teplotu Δt_d , aby bylo zaručeno, že k expanznímu ventilu se dostane chladivo v kapalném stavu, což zajišťuje jeho optimální výkon [7].



Obrázek 2: Schéma a p-h diagram tepelného čerpadla [7]

1.2 Rozdělení tepelných čerpadel dle zdroje energie

Rozdělení tepelných čerpadel lze provádět z různých hledisek. Nejdůležitějším však je zdroj energie, pomocí které čerpadlo dodává teplo do systému. Základními zdroji nízkopotenciální¹ energie jsou vzduch, voda a země. Dále rozlišujeme, jak tepelné čerpadlo do objektu dodává a na základě toho rozdělujeme tepelná čerpadla typu

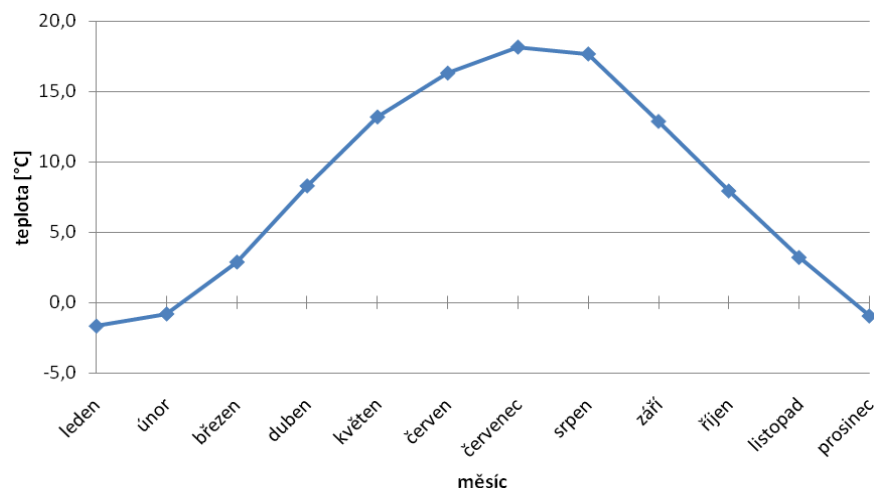
¹ Jako nízkopotenciální zdroj energie označujeme zdroj o nízké teplotě, jehož energii nelze využít přímo.

- vzduch/vzduch
- vzduch/voda
- voda/vzduch
- voda/voda
- země/voda

Při volbě nejvhodnějšího zdroje je nutné brát v úvahu aspekty, které udávají kvalitu daného zdroje. Jedná se především o stálost jeho teplotní hladiny, fyzikální vlastnosti (zamrznutí), vzdálenost od tepelného čerpadla (snaha minimalizovat ztráty při přenosu), pořizovací a provozní náklady a v neposlední řadě také ekologický dopad.

1.2.1 Vzduch jako zdroj tepla

Pro použití tepelných čerpadel vzduch/voda (vzduch) hrají roli především nižší pořizovací náklady – na primární straně okruhu je obvykle zapojen lamelový výparník doplněný ventilátorem pro lepší přenos tepla ze vzduchu a nejsou tedy nutné žádné terénní úpravy. Vzhledem k nízké měrné tepelné kapacitě vzduchu c_p je nutné realizovat velký objemový průtok vzduchu výparníkem. Tomu také odpovídá velikost venkovní jednotky. Další nevýhodou je kolísání venkovní teploty během dne a roku. Vzhledem k tomu, že efektivní využití tepelných čerpadel tohoto typu je od venkovní teploty -5 °C výše a COP tepelného čerpadla je přímo úměrný teplotě venkovního vzduchu, je ve většině aplikací nutné použít dodatečného zdroje tepla, který v případě poklesu venkovní teploty doplňuje či úplně nahrazuje tepelné čerpadlo [6], [8].



Obrázek 3: Dlouhodobý normál teploty vzduchu za roky 1961-2013 na území České republiky [9]

Zapojení tepelného čerpadla vzduch/vzduch není typické a využívá se především v průmyslových aplikacích, či k vytápění jedné místnosti. Mnohem častější je typ vzduch/voda, kdy se tepelné čerpadlo stará o ohřev teplé vody pro vytápění. Konstrukčně je nejčastěji TČ rozděleno do venkovní a vnitřní části, druhou možností je kompaktní jednotka nejčastěji umístěná ve venkovním prostředí. To je spojeno s většími tepelnými ztrátami na přívodu. Vzhledem k tomu, že venkovní vzduch obsahuje také vodní páru, na povrchu výparníku vzniká námraza, která zhoršuje průtok vzduchu a k úkonům spojeným s provozem tepelného čerpadla patří také odstranění této námrazy. To lze realizovat reverzačním chodem TČ, případně topným vodičem [8]. Velmi častým zdrojem vzduchu pro tepelné čerpadlo je také odpadní vzduch z technologií, který má vyšší teplotu a významně se tak zvyšuje COP.

1.2.2 Voda jako zdroj tepla

Tepelná čerpadla, využívající jako primární zdroj energie podzemní nebo povrchovou vodu, mají nejvyšší COP v porovnání s ostatními zdroji primární energie, při jeho výpočtu je však nutné brát v potaz také příkony oběhových čerpadel použitých pro čerpání vody. Nejčastějším typem jsou čerpadla voda/voda.

Největší výhodou spojenou s použitím podzemních zdrojů vody je její konstantní teplota, která zajišťuje konstantní COP v průběhu celého roku. Teplotu podzemní vody lze přibližně určit ze vztahu [6]:

$$t_w = t_s + 1 + 0,03 \cdot h \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (7)$$

kde t_s průměrná roční teplota vzduchu $[^{\circ}\text{C}]$

h hloubka pramenu pod povrchem $[\text{m}]$

0,03 geotermický gradient $[^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}]$

V našich zeměpisných podmínkách se teplota spodní vody pohybuje v rozmezí 8-10 $^{\circ}\text{C}$.

Při výběru lokality pro vyvrtání studny je vhodné provést hydrologický průzkum s důrazem na mohutnost zdroje podzemní vody, jenž je určujícím prvkem pro výkon instalovaného tepelného čerpadla, a na její chemické složení, které ovlivňuje zanášení výměníku. Minimální potřebný průtok vody v primárním okruhu určuje následující vztah [8]:

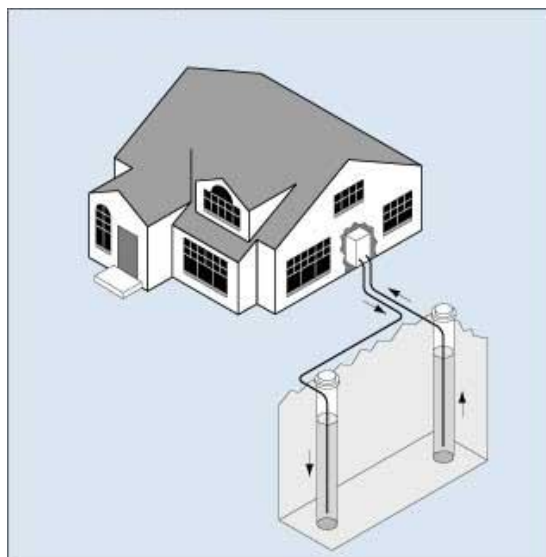
$$\dot{m} = \frac{P}{\Delta t \cdot c_p} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (8)$$

kde P výkon tepelného čerpadla $[\text{W}]$

Δt rozdíl teplot před a za výparníkem $[\text{K}]$

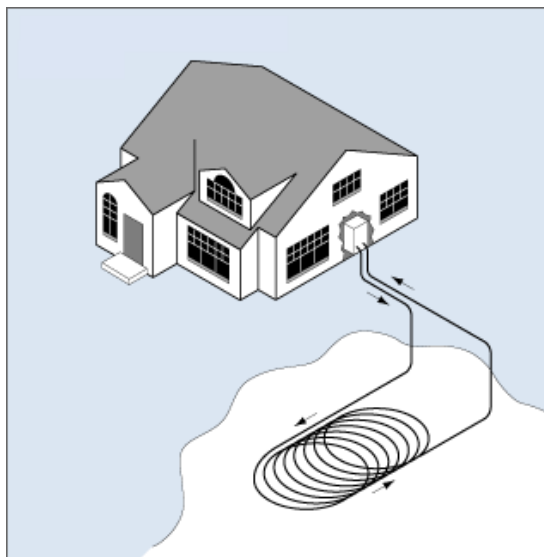
c_p měrná tepelná kapacita vody $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

Pro návrat vody se využívá druhá (vsakovací) studna, která by měla být ve vzdálenosti minimálně 10 metrů od zdrojové, aby nedocházelo k průsakům. Na vyhloubení studny pro tepelné čerpadlo je nutné stavební a vodohospodářské povolení a před uvedením tepelného čerpadla do provozu se provádí čerpací zkouška [8].



Obrázek 4: Systém studen pro čerpání vody [12]

Pro konstrukci tepelného čerpadla lze využít také tekoucí nebo stojatou povrchovou vodu. Uspořádání systému je pak nejčastěji s uzavřeným primárním okruhem, ve kterém koluje nemrznoucí směs, které odjímá teplo okolní vodě a předává jej ve výměníku. Výhody získávání energie z povrchové vody spočívají v nižších počátečních nákladech a faktu, že nedochází k zanášení výměníku, na druhou stranu dochází k vícenásobnému přestupu tepla. Je také nutné myslet na ekologickou nezávadnost použitého chladiva. Další nevýhodou je fakt, že teplota vody může klesnout pod bod mrazu a voda u kolektorů může začít namrzat. Pro instalaci se nejčastěji používají plastové kolektory uložené na dně. K jejich uložení je nutné mít povolení vlastníka a instalace musí splňovat požadavky ekologů. V České republice není využívání povrchové vody jako zdroje energie pro tepelné čerpadlo běžné, avšak v zahraničí takové instalace nejsou výjimkou [8].

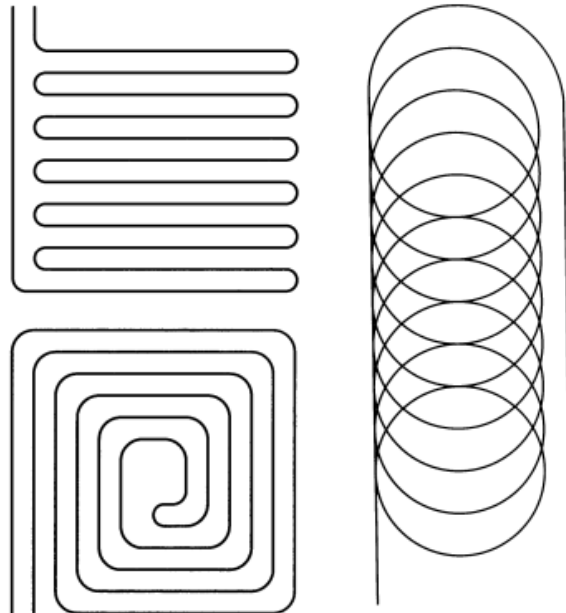


Obrázek 5: Uzavřený primární okruh TČ pro povrchové vodní zdroje [12]

1.2.3 Země jako zdroj tepla

Až 46% [10] sluneční energie je absorbováno půdou, kde se akumuluje. Kolektory, umístěnými v půdě proudí nemrznoucí směs, která průběžně odjímá teplo okolní půdě, a následně jej odevzdá ve výměníku tepelného čerpadla. Obecně jsou tepelná čerpadla typu země spojena s vyššími počátečními náklady, které plynou z nutnosti provádět terénní úpravy. Nejčastěji se tedy využívají v kombinaci s plánovanými úpravami terénu na daném pozemku.

Prvním způsobem odjímání tepla z půdy je pomocí plošných kolektorů. Pokládka kolektorů se provádí do nezámrazné hloubky, která je v našich geografických podmínkách asi 100 cm, vždy se doporučuje určitá rezerva, aby případné zamrznutí půdy nezpůsobilo poškození kolektoru. Na následujícím obrázku jsou vyobrazeny nejčastější způsoby uložení.



Obrázek 6: Způsoby uložení hadic zemního kolektoru

Celková plocha potřebná pro uložení kolektorů je závislá od požadovaného výkonu tepelného čerpadla, rozteče trubek, hloubky uložení a především složení půdy.

Tabulka 1: Tabulka měrného výkonu jímání tepla pro plošné kolektory [11]

Druh půdy	Měrný výkon jímání tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
suchá, nesoudržná	10-15
vlhká, soudržná	15-20
velmi vlhká, soudržná	20-25
půda obsahující vodu	5-30
půda s výskytem spodní vody	30-40

Potřebnou plochu A pro uložení kolektoru je možné vypočítat ze vztahu uvedeném v [11]:

$$A = \frac{P}{q_z} \quad [\text{m}^2] \quad (9)$$

kde	P	výkon tepelného čerpadla	[W]
	q_z	měrný výkon jímání	[W·m ²]

Při znalosti potřebné plochy a rozteče mezi trubkami lze spočítat celkovou délku trubek.

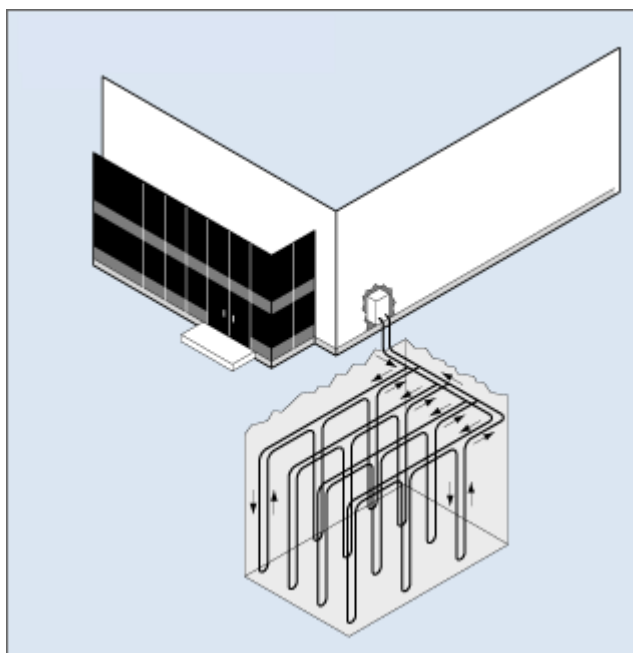
Kvůli nárokům na oběhové čerpadlo se celková délka rozděluje do větví, jejichž délka by neměla přesáhnout 100m [11] a měla by být stejná pro všechny větve. Potrubí jednotlivých větví se sbíhají v rozdělovači, který je umístěn na přístupném místě nejčastěji u paty objektu. Na stejném místě většinou nalezneme také odvodušovací ventil a armatury pro doplnění nemrznoucí směsi. Vzhledem k teplotní roztažnosti nemrznoucí směsi musí být v systému umístěna expanzní nádoba, kterou umístíme před oběhové čerpadlo.

Druhou možností získávání tepla ze země je pomocí hlubinných vrtů. Velkou výhodou této metody je fakt, že se jedná o zdroj naprosto nezávislý na roční době. Díky tomu je při správném návrhu možné požit tepelné čerpadlo s vertikálními vrty jako monovalentní. Teplota uvnitř vrtu je konstantní a pohybuje se mezi 8 a 12 °C. Hloubka a počet vrtů závisí na požadovaném výkonu tepelného čerpadla a na jakosti půdy, hloubka se však běžně pohybuje mezi 45 – 150 metry [8], [10].

Tabulka 2: Tabulka měrného výkonu jímání tepla pro hlubinné vrty [11]

Druh půdy	Měrný výkon jímání tepla [W·m ⁻¹]
hornina s velkým výskytem spodní vody	100
pevná hornina o vysoké tepelné vodivosti	80
normální pevná hornina	55
špatná zemina se suchými usazeninami	30

Tato metoda je také mnohem méně prostorově náročná. Po vytvoření vrtu je do něj umístěn kolektor ve formě plastové hadice a prostor mezi ním a zeminou je pro zajištění stability vyplněn plastickou směsí, která mimo jiné svými vlastnostmi podporuje přenos tepla mezi zeminou a teplonosným médiem.



Obrázek 7: Hlubinné vrtý pro získávání tepla [12]

Z principu uložení jak plošných, tak vertikálních kolektorů vyplývá, že se jedná o specializovanou činnost, kterou by měla obstarat odborná firma. Také použité materiály kolektorů by měly mít požadované technické parametry a při instalaci by měl být kladen důraz na jejich správné uložení. Pokud by došlo k poškození kolektorů při pokládce, později by se toto poškození mohlo stát zdrojem velkých problémů. Především u hlubinných vrtů je oprava poškozeného vedení nákladnou a složitou operací. Realizace takovýchto projektů by se neměla provádět bez dostatečné dokumentace, provedení geologického průzkumu. K provedení je také potřeba stavební povolení a souhlas příslušného vodohospodářského úřadu [11].

1.3 Rozdělení tepelných čerpadel z dalších hledisek

Na rozdělování tepelných čerpadel do různých kategorií lze mimo zdroje nízkopotencionální energie nahlížet z několika dalších hledisek. Podle druhu pohonu dělíme tepelná čerpadla:

- kompresorová
- absorpční

Nejčastějším typem jsou kompresorová tepelná čerpadla, kde kompresor pohání elektrická energie. Princip absorpčních čerpadel spočívá v ohřívání směsi vody s chladivem, až dojde

k odpaření chladiva a nárůstu tlaku v celém systému. Na konci okruhu je pak chladivo absorbováno zpět do vody a dopraveno zpět na začátek cyklu, do varníku. Jedná se tedy o tepelnou energii vzniklou hořením plynu [13], [14].

Dle teploty výstupní vody v sekundárním okruhu tepelná čerpadla dělíme na [3]:

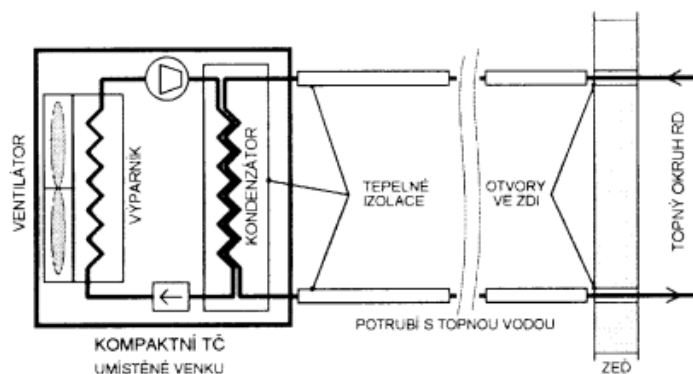
- nízkoteplotní $t_w < 35^\circ\text{C}$
- středněteplotní $35^\circ\text{C} < t_w < 44^\circ\text{C}$
- vysokoteplotní $45^\circ\text{C} < t_w < 55^\circ\text{C}$
- velmi vysoká teplota výstupní vody $t_w > 65^\circ\text{C}$

Druh tepelného čerpadla závisí na typu otopné soustavy. Nízkoteplotní čerpadla se používají v kombinaci s podlahovým vytápěním, vysokoteplotní tepelná čerpadla lze bez problému použít u běžných radiátorů. To lze s výhodou využít u stávajících domů bez nutnosti rozsáhlejší obnovy otopné soustavy.

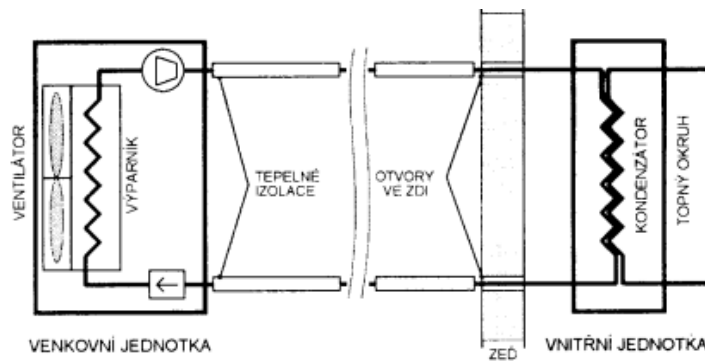
Tepelná čerpadla typu vzduch se dle provedení dají rozdělit:

- kompaktní provedení
- provedení split

v závislosti na tom, zda je výparník přímo součástí tepelného čerpadla, nebo zda stojí samostatně jako tzv. venkovní jednotka. Pokud instalujeme tepelné čerpadlo v provedení split, chladivo se do okruhu napouští až v místě instalace a musí mu předcházet tlaková zkouška. U kompaktních systémů je chladivo naplněno výrobcem. Je vhodné tepelné čerpadlo umístit co nejbližší k objektu a zároveň je nutné klást důraz na dostatečnou izolaci potrubí topné vody, aby došlo k minimalizaci tepelných ztrát [8].



Obrázek 8: Tepelné čerpadlo vzduch/voda v kompaktním provedení [8]



Obrázek 9: Tepelné čerpadlo vzduch/voda ve split provedení [8]

1.4 Konstrukční prvky tepelného čerpadla

V této kapitole budou podrobněji popsány základní konstrukční prvky, které svým uspořádáním tvoří tepelné čerpadlo. Řadíme sem výměníky tepla - výparník a kondenzátor, expanzní ventil a kompresor. Ostatní nezbytné součásti otopné soustavy s TČ, jako například sběrač a rozdělovač chladiva, měřící a jistící prvky, armatury sloužící k regulaci průtoku, filtry nejsou přímou součástí tepelného čerpadla a proto jim nebude věnována pozornost.

1.4.1 Kompresor

Kompresor v systému tepelného čerpadla slouží ke stlačování par chladiva z výparníku. Jejich stlačením dochází také ke zvýšení teploty a díky tomu mohou odevzdat teplo topné vodě v kondenzátoru.

Základními parametry kompresorů jsou tlakový poměr [17]:

$$\sigma = \frac{p_D}{p_N} \quad [-] \quad (10)$$

kde p_D tlak ve výtlačném hrdle [Pa]

p_N tlak v sacím hrdle [Pa]

a výkonost kompresoru

$$\dot{V}_D = \dot{V}_N - \dot{V}_O \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (11)$$

kde \dot{V}_N množství nasávaného plynu $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

\dot{V}_O množství plynu uniklého do okolí netěsnostmi $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

Podle principu činnosti dělíme kompresory na [17]:

- objemové
 - s vratným pohybem
 - pístové, membránové, s volným pístem
 - rotační
 - s jedním rotorem, s více rotory
- rychlostní
 - proudové
 - turbokompresory
 - radiální, axiální

V dnešní době používá drtivá většina tepelných čerpadel hermetické kompresory typu scroll. Jedná se o speciální typ pístového kompresoru, který v oblasti tepelných čerpadel nahrazuje klasický pístový kompresor.

Princip scroll kompresoru je založen na dvou spirálách, vložených do sebe. První spirála excentricky krouží v druhé, pevné a tímto se mezi spirálami vytvářejí plynové kapsy, které se neustále posouvají ke středu, kde je výtlačné potrubí. Čím blíže středu, tím se objem kapes snižuje. Konstrukce scroll kompresorů obsahuje minimum pohyblivých dílů a má nízké vibrace, což způsobuje nízkou hlučnost. Scroll kompresory se vyrábí výhradně v hermetickém provedení - elektromotor, sloužící jako pohon, je uzavřen společně s kompresorem. Výhodou je absolutní těsnost, která zabraňuje únikům chladiva. Největší výhodou oproti pístovým kompresorům je fakt, že neprovádí vratný pohyb. V případě pístového kompresoru nedojde k vytlačení celého objemu chladiva z válce a část chladiva v něm zůstává a tím se snižuje energetická účinnost. Na rozdíl od pístových jsou kompresory typu scroll odolné vůči nasátí kapalného chladiva. Při instalaci je nutné dodržet směr otáčení motoru. Z principu vyplývá, že v případě opačného směru by na výstupu kompresoru nebyl žádný tlak a mohlo by dojít k jeho zničení [8].



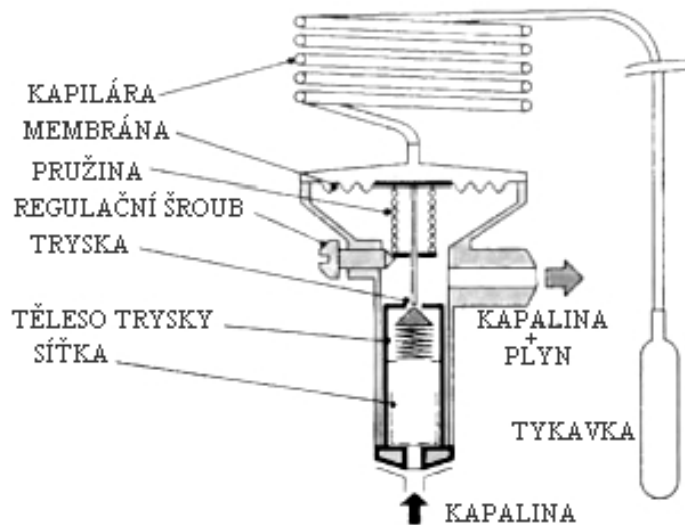
Obrázek 10: Scroll kompresor [18]

Při výběru kompresoru je nutné dbát na to, aby dokázal pracovat v daných pracovních podmínkách. Teplota nasávaných par může klesnout až k -20°C , teplota par na výtlaku může dosahovat 80°C , v závislosti na použitém chladivu a typu tepelného čerpadla. Tlak páry na výtlaku čerpadla se pohybuje do 3 MPa.

1.4.2 Termostatický expanzní ventil

Termostatický expanzní ventil (TEV) má za úkol vstříkovat do výparníku správné množství kapalného chladiva tak, aby měl výparník optimální provozní režim.

Základním prvkem expanzního ventilu je tryska, která vstříkuje chladivo. Tryska je ovládána poměrem sil pod a nad membránou. Nad membránou působí tlak tykavky, která plní funkci teplotního čidla. Umisťuje se těsně za výparník a je naplněna vhodným médiem, v závislosti na použitém chladivu a nastavení systému, které zvyšuje svůj tlak s teplotou. Tlak se na membránu přenáší pomocí kapiláry. Zespodu na membránu působí vyrovnávací tlak z potrubí a také tlak pružiny, který je konstantní a nastavuje se regulačním šroubem [8]. Snahou je pomocí TEV minimalizovat přehřátí výparníku a tím zvýšit vypařovací teplotu a tím v důsledku také COP.



Obrázek 11: Principiální schéma termostatického expanzního ventilu [8]

Pro ochranu elektromotoru kompresoru se instalují expanzní ventily s MOP (Maximum Operating Pressure). MOP je vypařovací tlak, při kterém dojde k uzavření vstřikovací trysky a tím zabrání dalšímu růstu vypařovacího tlaku. Ventil tedy pracuje také jako omezovač tlaku [8].

Modernější možností je použití elektronického expanzního ventilu EEV. Toto zařízení reguluje průtok pomocí servopohonu a údajů z teplotních a tlakových čidel umístěných za výparníkem. Rozlišujeme proporcionální a impulsní EEV. Výhodou je použití nezávislé na druhu chladiva a velice přesná modulace průtoku, která zaručuje stabilní přehřátí. Vzhledem k elektronice obsažené ve ventilu je jeho pořizovací cena vyšší než u klasického TEV a je nutné zhodnotit náročnost instalace a možnost využití EEV [19].

1.4.3 Výparník, kondenzátor

Výparník je výměník tepla, který slouží k přenosu tepla mezi zdrojem nízkopotencionálního tepla v okolí a chladičem.

V závislosti na typu, resp. tepelném zdroji tepelného čerpadla se pro realizaci výparníku používá lamelový výměník pro vzduchová tepelná čerpadla, deskový či trubkový výměník pro TČ typu voda a země. Lamelový výparník je realizován nejčastěji měděnou trubkou, na kterou jsou osazeny hliníkové lamely pro zvýšení teplosměnné plochy, mezi kterými proudí venkovní vzduch poháněný ventilátorem.



Obrázek 12: Lamelový tepelný výměník [20]

Pro přenos tepla mezi vodou, případně nemrznoucí směsí a chladivem slouží deskové nebo trubkové výměníky. Deskové výměníky vynikají kompaktní velikostí, chemickou odolností, vysokými provozními tlaky a možností tepelné izolace. Naopak nevýhodou jsou vyšší tlakové ztráty, než u trubkových výměníků typu trubka v trubce. Jsou složeny z několika prolisovaných desek, které složením do sebe vytvoří kanálky, kterými proudí teplosměnné látky.



Obrázek 13: Deskový tepelný výměník [20]

Trubkové výměníky mají obecně větší rozměry, ale jsou levnější. Typ trubka v trubce se, stejně jako deskový výměník, nehodí pro otevřený primární okruh. Vzhledem k malým průměrům vnitřních trubek by mohlo docházet k jejich ucpávání a jsou tedy vhodné pro uzavřené okruhy teplených čerpadel země-voda. Deskové a trubkové výměníky se používají také pro realizaci kondenzátorů [8].

Kondenzátor je výměník tepla, ve kterém dochází ke kondenzaci plynného chladiva za současného odevzdání tepla do otopného systému. Vzhledem k tomu, že se jedná stejné zařízení, návrh, typy i provedení jsou shodné s výparníkem. Obecně lze k výměníkům tepla v otopném systému s tepelným čerpadlem říci, že jejich vlastnosti do značné míry ovlivňují vlastnosti celé soustavy.

1.5 Chladiva

Chladivo je nositelem energie v tepelném čerpadle. Jedná se o látku, která se snadno odpařuje a zkapaňuje. Z principu funkce tepelného čerpadla je jeho základní vlastností nízká teplota varu. Při výběru vhodného chladiva jsou však důležité také další chemické a termodynamické vlastnosti. Například objemová chladivost, bezpečnost z hlediska hořlavosti, výbušnosti a stability, rozpustnost s oleji a vodou, chemické a korozní působení na konstrukční materiály a v neposlední řadě také ekonomické a ekologické hledisko [6].

V posledních letech se zvyšují požadavky na ekologickou nezávadnost používaných chladiv, viz Nařízení evropského parlamentu a Rady č. 1005/2009 o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu nebo Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. Pro ekologické hodnocení používaných chladiv se používá několik kritérií. Vliv chladiv na poškozování ozónové vrstvy Země udává koeficient ODP (Ozone Depletion Potential). Je to relativní číslo, které udává kolik kg chladiva R11 je ekvivalentní 1kg dané chemické látky (chladiva) při úniku do atmosféry. Vliv látek na skleníkový efekt, který způsobuje globální oteplování, se označuje pomocí koeficientu GWP (Global Warming Potential). GWP udává poměrný oteplovací účinek daného chladiva na atmosféru Země v porovnání s účinkem čistého CO₂ [8].

Vzhledem k tomu, že GWP nezohledňuje produkci CO₂ při výrobě energie pro pohon tepelného čerpadla, je objektivnějším kritériem TEWI (Total Equivalent Warming Impact), celkový ekvivalentní oteplovací účinek [16]:

$$TEWI = GWP \cdot L \cdot n + GWP \cdot m \cdot (1 - \alpha) + n \cdot E \cdot \beta \quad [\text{kg CO}_2] \quad (12)$$

kde	GWP	Global Warming Potential	$[(\text{kg CO}_2) \cdot (\text{kg chladiva})^{-1}]$
	L	hmotnost uniklého chladiva za rok	$[\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}]$
	n	životnost zařízení	[rok]

m	použité množství chladiva	[kg]
α	koeficient recyklace	[%]
E	roční spotřeba energie	[kWh·rok ⁻¹]
β	emise CO ₂ při výrobě energie	[(kg CO ₂)·kWh ⁻¹]

Základní skupiny chladiv dle jejich chemického složení [8]:

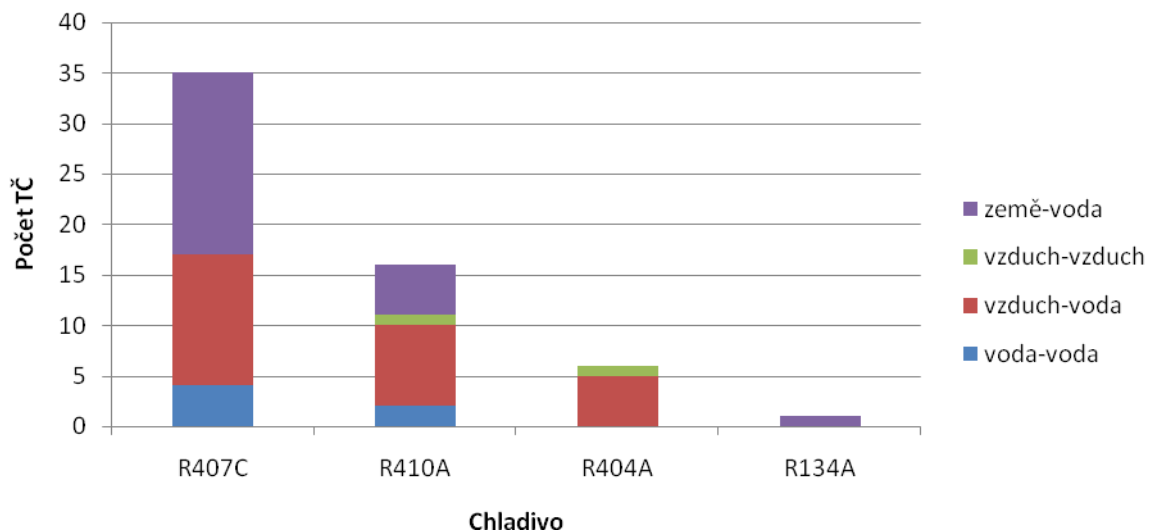
- CFC (Chlorine-Fluorine-Carbon) - Plně halogenované sloučeniny uhlíku a jejich směsi obsahující chlor a fluor, prvky, které nejvíce poškozují ozonovou vrstvu. Mají vysoký ODP i GWP. Patří sem například R11, R12, R13, R113, R114, R114, R115, R502, R503.
- HCFC (Hydrogen-Chlorine-Fluorine-Carbon) - Částečně chlorfluorované uhlovodíky obsahující chlor a fluor. Relativně nízký ODP, vysoký GWP. R21, R22, R141b, R142b, R123, R124.
- HFC (Hydrogen-Fluorine-Carbon) - Částečně fluorované uhlovodíky neobsahující chlor. Nepoškozují ozonovou vrstvu, avšak mohou mít vysoký GWP. R134a, R152a, R125, R32, R218, R407c, R404a.
- HC (Hydrogen-Carbon) - Přírodní uhlovodíky, neobsahují halogenidy. Jsou hořlavé. Nemají žádný negativní vliv na ozonovou vrstvu a velmi malý vliv na oteplování.

Z fyzikálního hlediska můžeme chladiva rozdělit na azeotropní a zeotropní. U azeotropního chladiva se během fázové přeměny z páry na kapalinu nemění složení par ani kapaliny. Zeotropní chladiva jsou nejčastěji směsí více chladiv, které mají během fázové přeměny páry na kapalinu proměnné složení [8].

Při volbě chladiva pro tepelné čerpadlo je vhodné dbát na doporučení výrobce kompresoru v souvislosti s použitým olejem. V každém kompresoru je olejová náplň, která je v neustálém styku s chladivem. Nové kompresory bývají plněny minerálními, polyolesterovými či alkybenzenovými oleji a je nutné zvolit chladivo, které se v daném oleji dobře rozpouští. V krajním případě lze olejovou náplň kompresoru vyměnit. Před naplněním chladivového okruhu je doporučeno provést tlakovou zkoušku, která odhalí případné netěsnosti, které by způsobily únik chladiva. Zkouška spočívá v připevnění vysokotlakého manometru na servisní výstup a naplnění systému netečným plynem. Tlak v potrubí může kolísat v závislosti na okolní teplotě, v žádném případě však nesmí

docházet k trvalému poklesu. Před samotným naplněním chladiva je nutné odstranit ze systému nežádoucí plyny a zbytky vlhkosti. Složky vzduchu jako kyslík a dusík po ochlazení v kondenzátoru nezkapalní a mohou být příčinou vzniku koroze. Azeotropní chladiva se plní v plynném stavu, zeotropní v kapalném [8].

Z porovnání 58 modelů od 8 českých výrobců tepelných čerpadel vyplývá, že nejpoužívanější chladiva jsou R407C, R410A a R404A.

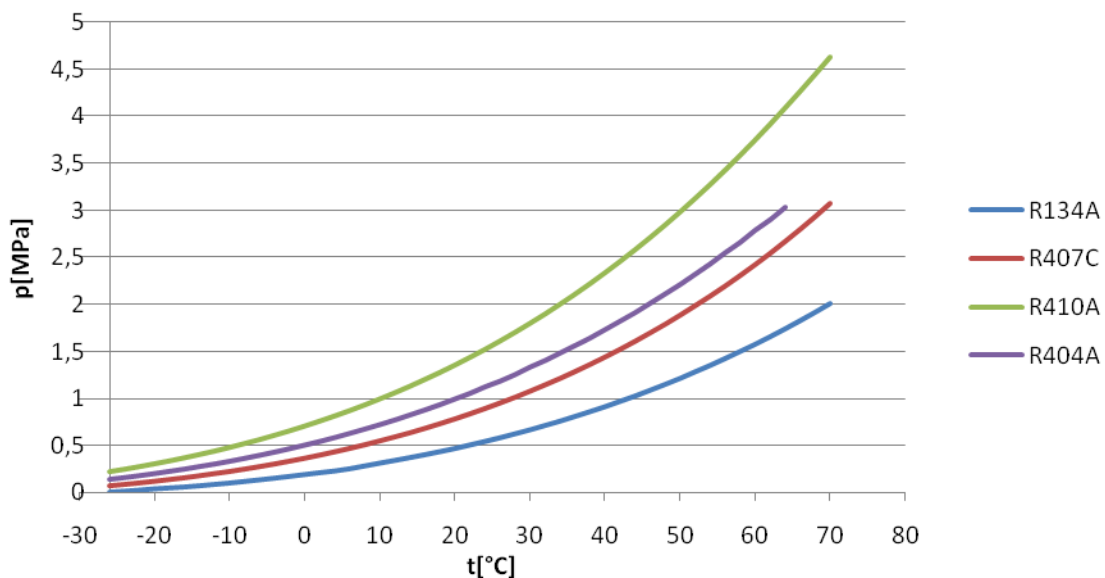


Obrázek 14: Nejpoužívanější chladiva tepelných čerpadel

Chladivo R407C patří do skupiny HCF, je to zeotropní směs plněná zásadně v kapalně formě. Nejčastěji používané chladivo u tepelných čerpadel země voda. Spolu s R410A je náhradou za zakázané chladivo R22. Nemají žádný negativní vliv na ozonovou vrstvu, jsou nehořlavé, nevýbušné, nejedovaté. R410A vyžaduje vyšší tlaky, proto se používá v kombinaci s modifikovanými kompresory a kondenzátory pro vyšší provozní tlaky. R134A je náhradou za velice rozšířené chladivo R12, oproti němu má lepší vlastnosti při vysokých teplotách. R404A je nejčastější chladivo pro tepelná čerpadla typu vzduch-voda, má relativně velký GWP [8].

Tabulka 3: Základní vlastnosti nejpoužívanějších chladiv

Chladivo	Složení [%]	Teplota varu [°C]	ODP [-]	GWP/100 let [-]
R134A	C ₂ H ₂ F ₄	-26,1	0	1600
R404A	R125/R134A/R143A 44/4/52	-46,4	0	4540
R407C	R32/R125/R134A 23/25/52	-43,8	0	1980
R410A	R32/R125 50/50	-51,6	0	2340



Obrázek 15: Závislost tlaku a teploty sytých par nejpoužívanějších chladiv

1.6 Základní hodnocené parametry tepelných čerpadel

1.6.1 Topný faktor

Základním výkonovým parametrem, který určuje vlastnosti tepelného čerpadla, je topný faktor. Jeho velikost určuje využití energie získávané ze zdroje nízkopotenciálního tepla. Zjištění hodnoty COP tepelného čerpadla pobíhá ve specializovaných laboratořích a je podmíněno dodržením standardních podmínek hodnocení stanovených v normě ČSN EN 14511. Při porovnávání tepelných čerpadel na základě topného faktoru je nutné porovnávat čerpadla srovnatelných výkonů a parametrů, především teploty výstupní vody.

1.6.2 Topný výkon

Dimenzování výkonu tepelných čerpadel pro použití jako vytápěcí zdroj se provádí na základě tepelné ztráty objektu. Pro její stanovení se používá postup popsany v ČSN EN 12831. Tepelná čerpadla, čerpající energii ze vzduchu, se dodávají s bivalentním zdrojem energie. Nejčastěji se jedná o malý elektrický kotel. Je to z důvodu zvýšené spotřeby tepla při nižších teplotách venkovního vzduchu, kdy zároveň klesá výkon TČ vzduch-voda. Stav, kdy se aktuální tepelná ztráta a výkon TČ rovnají, se nazývá bod bivalence. Návrh čerpadel tohoto typu se provádí tak, aby bod bivalence byl v rozmezí -3 až -7 °C a v tomto případě doplňkový zdroj pokrývá asi 5% spotřeby.

Tepelná čerpadla typu voda nebo země lze realizovat jako monovalentní, díky tomu že teplota vody ve studni, respektive zeminy je během roku relativně stálá a díky tomu dokáže pokrýt spotřebu energie na vytápění i během zimního období.

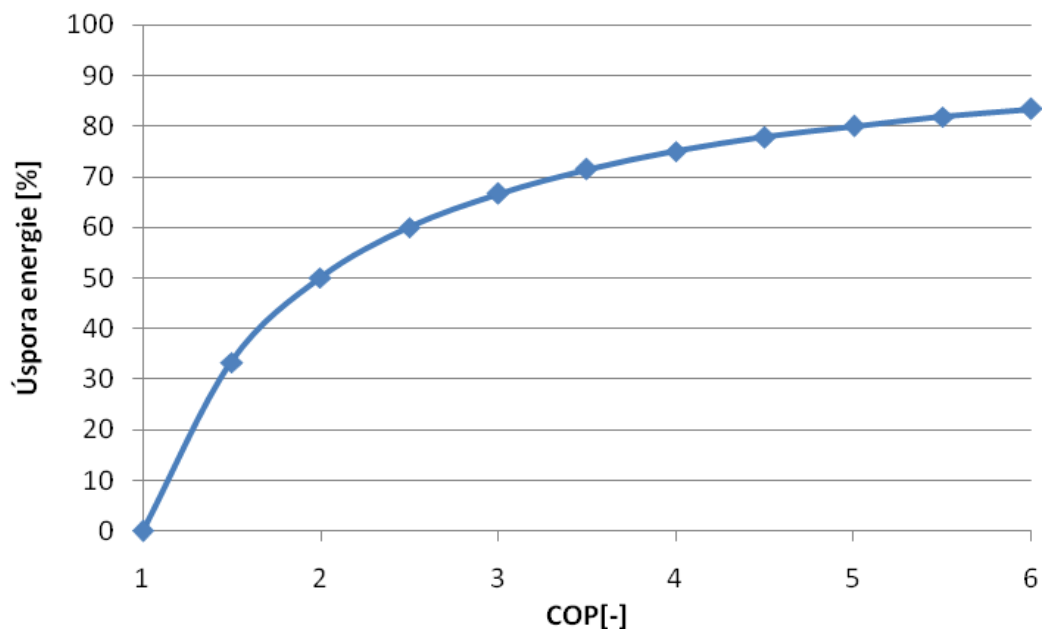
1.6.3 Energetická úspora

Hlavním důvodem realizace soustav s tepelným čerpadlem je zvýšit energetickou hospodárnost při využívání energií na vytápění a tím minimalizovat náklady spojené s vytápěním. Základní podmínkou je, aby spotřeba primární energie pro provoz TČ byla nižší, než pro provoz nahrazovaného zdroje tepla. Přitom platí, že úspora energií při použití tepelného čerpadla není úměrně závislá na topném faktoru, tzn. pokud zdvojnásobím topný faktor, neznamená to dvojnásobnou úsporu energií, jak je patrné ze vztahu [6]:

$$Q_u = Q_{TČ} \left(1 - \frac{1}{COP} \right) \quad [W] \quad (13)$$

kde $Q_{TČ}$ spotřeba tepla v aplikaci [W]

COP topný faktor [-]



Obrázek 16: Závislost úspory energií na topném faktoru tepelného čerpadla

1.6.4 Ekonomické hledisko

Kromě faktorů, které přímo ovlivňují návratnost investice spojené s pořízením tepelného čerpadla, tj. snížení spotřeby energií, do ekonomické rozvahy vstupují také druhotné faktory. Jedná se především o spolehlivost a životnost tepelného čerpadla. Použitím kvalitních materiálů a výrobních postupů zvyšujeme životnost tepelného čerpadla a jeho součástí a minimalizujeme náklady na opravy a údržbu, které musí být brány v potaz při ekonomických propočtech.

Koncept tepelných čerpadel zapadá do současného trendu obcí, krajů a především státu podporovat úsporu energií a obnovitelné zdroje energie v rodinných a bytových domech. Při správném vypracování projektu je tak možné na výstavbu či rekonstrukci objektu s tepelným čerpadlem získat finanční podporu ve formě dotace.

2 MOŽNOSTI TEORETICKÉHO A EXPERIMENTÁLNÍHO STANOVENÍ VÝKONOVÝCH PARAMETRŮ TEPELNÝCH ČERPADEL

2.1 Teoretické stanovení parametrů tepelných čerpadel

Do teoretického výpočtu skutečného topného faktoru tepelného čerpadla je nutné zahrnout tepelné ztráty jednotky, případně akumulčního zásobníku a příkony pomocných zařízení, především oběhových čerpadel a ventilátorů [7].

$$\varepsilon_{t,T\check{C}} = \frac{\dot{Q}_{T\check{C}}}{P_{T\check{C}}} = \frac{\dot{Q}_T - \dot{Q}_Z}{P + P_{O\check{C}}} \quad [-] \quad (14)$$

kde	\dot{Q}_T	tepelný výkon TČ	[W]
	\dot{Q}_Z	teplené ztráty	[W]
	P	elektrický příkon TČ (kompresoru)	[W]
	$P_{O\check{C}}$	elektrický příkon dalších zařízení, spojených s provozem TČ	[W]

Z dlouhodobého hlediska má vypovídací hodnotu průměrný topný faktor, získaný za určité období, typicky topnou sezónou - SPF (Seasonal Performance Factor), který zahrnuje také spotřebu energie pro elektrokotel či regulaci.

Topný výkon je definován jako teplo předané jednotkou do teplotonosné látky za jednotku času, vyjádřené ve wattech [4].

$$P_H = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [W] \quad (15)$$

kde	q	objemový průtok chladiva	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	ρ	hustota chladiva	$[kg \cdot m^{-3}]$
	c_p	měrná tepelná kapacita	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
	Δt	rozdíl teplot před a za výměníkem	[K]

Vztah pro chladicí výkon je ekvivalentní. Výpočty je nutné korigovat o teplo, které vzniká při práci kompresoru nebo ventilátoru. Měření topného a chladicího výkonu by mělo probíhat v podmínkách definovaných v ČSN EN 14511.

2.2 Experimentální metody stanovení

Experimentální metody stanovení parametrů tepelných čerpadel spočívají v ověření parametrů tepelného čerpadla, nejčastěji v laboratorních podmínkách. Měření lze teoreticky provést v jakékoliv instalaci tepelného čerpadla, avšak zde nejsou splněny podmínky na parametry vnitřního i venkovního prostředí, které je důležité pro vyhodnocení a porovnání výsledků měření. Navíc, většina měřících prvků, potřebných k provedení měření, nebývá součástí standardní instalace tepelného čerpadla.

Nejčastěji proto stanovení parametrů tepelných čerpadel probíhá v laboratořích samotného výrobce. Naměřené informace potom slouží jako zdroj dat do katalogových listů jednotlivých výrobků nebo jako orientační hodnoty sloužící k analýze procesu zlepšování daného produktu. Vybavení těchto laboratoří, měřící postupy i vyhodnocení by mělo být na vysoké úrovni a mělo by probíhat dle platných předpisů, avšak přesné měřící vybavení a postupy jednotliví výrobci tají jako své know-how. Udržet standardní podmínky hodnocení definované v ČSN EN 14511 je náročné na technické vybavení měřícího prostoru a proto je běžné, že na úrovni provozních zkoušek prováděných výrobcem se z finančních důvodů ustupuje od jejich striktního dodržování. Dalším důvodem může být fakt, že výrobce se samozřejmě snaží dosáhnout co nejlepších výsledků.

Získání objektivních výsledků, na základě kterých je možné pro daný produkt získat nejrůznější osvědčení kvality, se provádí v certifikovaných laboratořích. Příkladem může být Značka kvality evropské asociace tepelných čerpadel (EHPA), která slouží jako celoevropské měřítko kvality tepelných čerpadel. Její získání podléhá dodržení standardů norem ČSN EN 14511 a EN 16147 a smí být prováděno pouze v akreditovaných zkušebnách notifikovanou osobou. Měření v těchto institucích probíhá pomocí dostatečně přesných a kalibrovaných přístrojů a výstupem je protokol o měření a případně odpovídající certifikát.

3 ROZBOR MOŽNOSTÍ STANOVENÍ PARAMETRŮ V KALORIMETRICKÉ KOMOŘE

Pro experimentální určení množství přeneseného tepla mezi dvěma tělesy slouží kalorimetr. Stejného principu se využívá také při měření parametrů chladících a topných systémů. Systém měření parametrů tepelných čerpadel v kalorimetrické komoře spočívá v maření topného výkonu ve vnitřním prostoru a chladícího výkonu ve vnějším prostoru při různých teplotních podmínkách v obou prostorech, případně naopak pro chladicí režim TČ. V průběhu zkoušky dále probíhá měření potřebných parametrů, ze kterých se pomocí kalorimetrické rovnice vyčíslí základní tepelné parametry měřeného zařízení. Pro tepelná čerpadla jsou sledované parametry především průtok vody jako teplotnosného média, a její teploty před a za kondenzátorem.

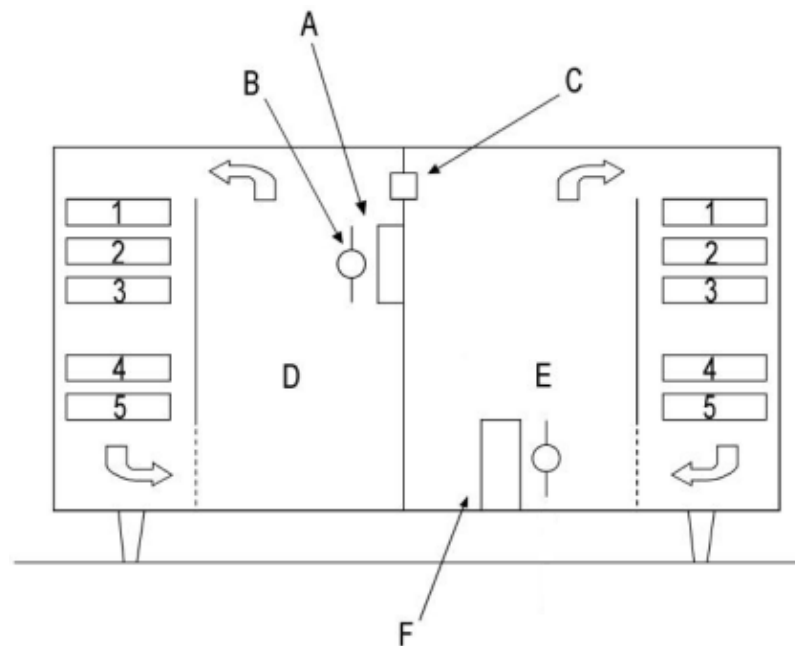
3.1 Kalorimetrická komora

Kalorimetrické komory se využívá například při měření ztrát na elektrických strojích, kde se nejčastěji jedná o jednokomorové provedení. Pro měření tepelných čerpadel je nutné realizovat dvoukomorovou kalorimetrickou komoru. V jedné části je umístěn výparník tepelného čerpadla a pomocí rekondiční jednotky jsou v ní udržovány parametry venkovního vzduchu. V druhé části je umístěna vnitřní jednotka TČ a jsou v ní simulovány parametry vnitřního prostředí. Jednotlivé měřicí prostory jsou oddělené přepážkou, která musí obsahovat zařízení pro vyrovnávání tlaků.

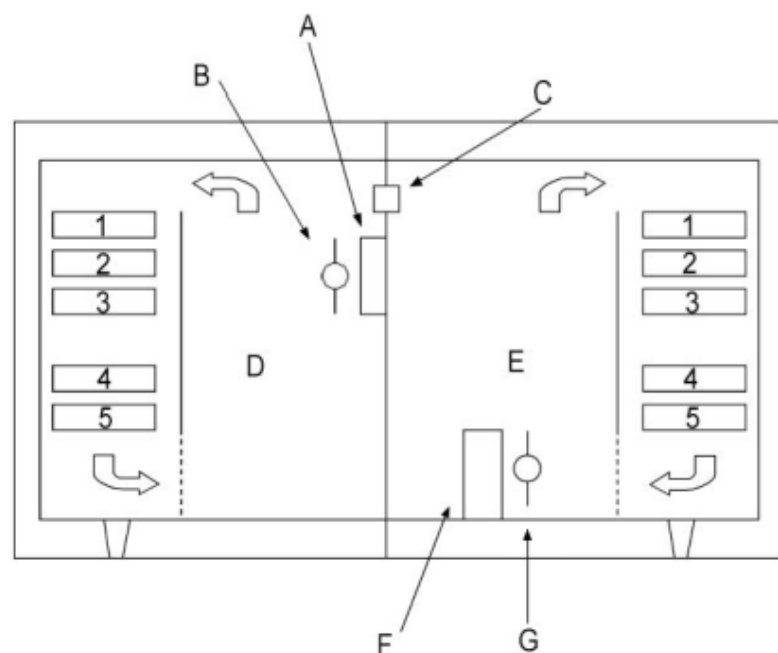
Dvoukomorovou kalorimetrickou komoru lze realizovat jako kalibrovanou nebo kompenzovanou. U kalibrované kalorimetrické komory dochází ke kalibraci všech stěn ohraničujících měřicí prostor a na základě kalibračních protokolů se počítají tepelné ztráty/zisky. V případě kompenzované komory měřicí prostor nesousedí přímo s okolním prostředím. Je zde realizován kompenzační prostor, ve kterém jsou udržovány stejné klimatické podmínky jako na dané straně měřicího prostoru. Tím jsou eliminovány rušivé teplotní vlivy okolního prostředí a je zabráněno vzniku tepelných ztrát/zisků.

Obrázek 17 a Obrázek 18 ukazují schematické návrhy obou typů komor. Legenda k označení: A - vnitřní jednotka, B - zařízení pro odběr vzorku vzduchu, C - zařízení pro vyrovnání tlaku vzduchu, D - vnitřní měřicí prostor, E - venkovní měřicí prostor, F -

venkovní jednotka, G - kompenzační prostor, 1 - chladič, 2 - ohřívač, 3 - vlhčící zařízení, 4 - ventilátor, 5 - stratifikátor vzduchu.



Obrázek 17: Schéma kalibrované kalorimetrické komory [4]



Obrázek 18: Schéma kompenzační kalorimetrické komory [4]

3.2 Výkonová omezení

Maximální výkon měřených zařízení je limitován jednak velikostí obou měřících prostorů kalorimetrické komory dle ČSN EN 14511 a také výkonem rekondičních jednotek pro

udržování konstantního klimatu. Prostorová omezení jsou dána především faktem, že je kalorimetrická komora určena pro zkoušení tepelných čerpadel typu vzduch-voda nebo vzduch-vzduch. S rostoucím výkonem měřeného zařízení rostou nároky na objemový průtok výparníkem, který je nutné zajistit. Rostou také nároky na vzduchový výkon rekondičních jednotek. Ten je dán normou a musí být minimálně dvakrát větší, než je u zkoušených zařízení. Minimální potřebné rozměry komory v závislosti na výkonu jsou definovány v praktické části práce v Tabulce 14.

3.3 Ustalovací proces

Ustalovací proces je nedílnou součástí každé zkoušky tepelného čerpadla. Začíná zapnutím rekondičních a kompenzačních jednotek a končí dosažením ustáleného stavu. Zkoušku lze provést až po ustálení teplot na hodnotě potřebné pro měření. Délka ustalovacího procesu je dána hlavně výkonem rekondičních a kompenzačních jednotek, které se starají o úpravu vzduchu. Dalším ovlivňujícím faktorem je počáteční teplota v okolí a uvnitř komory.

V ustáleném stavu by se měla teplota vzduchu pohybovat v určité toleranci od požadované hodnoty a tepelný tok stěnou mezi měřicím a kompenzačním prostorem by ideálně měl být nulový.

Matematickým aparátem pro výpočet doby ustalovacího procesu je diferenciální rovnice s okrajovými podmínkami. Jiným způsobem, jak zjistit dobu ustalovacího procesu může být použití výpočetních simulačních programů.

3.4 Přístrojové vybavení kalorimetrické komory

Stěžejním prvkem každé měřicí laboratoře jsou použité měřicí prvky. Snahou samozřejmě je realizovat co nejpřesnější měření, aby bylo dosaženo relevantních výsledků. Celkovou přesnost měření ovlivňuje několik faktorů spojených se získáváním hodnot. Základním faktorem je přesnost měřicího senzoru a postupu při zpracování změřených hodnot. Důležité je také zvolit senzor s vhodným měřicím rozsahem pro danou aplikaci. Dalšími parametry měřicích senzorů, na které je dobré brát zřetel je doba odezvy a pracovní rozsah v rámci teploty, vlhkosti a tlaku. Cílem je také minimalizovat nejistoty měření. Toho lze docílit zvolením vhodných měřicích přístrojů a měřicí metody, při které je dodržen správný

postup měření. Maximální velikosti nejistot měření pro dodržení standardu normy ČSN EN 14511 jsou uvedeny v Tabulce 15.

Z principu kalorimetrické metody měření parametrů tepelných čerpadel vyplývá, že je nutné měřit jak průtok topné vody, tak její teploty před a za kondenzátorem. Základní metody měření jak průtoku tak teploty kapaliny v potrubí spočívají buď ve vložení měřícího prvku do soustavy potrubí, nebo jeho přiložením k vnější stěně. Další hodnotou nutnou pro určení výkonových parametrů TČ je spotřeba elektrické energie, kterou lze získat použitím dostatečně dimenzovaného elektroměru.

Další teplotní čidla budou potřeba na monitorování teploty vzduchu v jednotlivých částech kalorimetrické komory. Způsobů měření vlhkosti existuje několik, v našem případě realizujeme psychometrickou metodu, spočívající v měření teploty vlhkého teploměru a následnému určení relativní vlhkosti pomocí psychometrických tabulek. Proces výpočtu však bude probíhat v příslušném převodníku snímače a výstupem bude signál reprezentující relativní vlhkost. Výhodou použití společného čidla na měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu spatřuji především ve skutečnosti, že tyto hodnoty budou měřeny na stejném místě a se stejnou chybou. Další kladnou věcí, kterou přináší měření teploty a vlhkosti pomocí jediného senzoru je fakt, že k převodu naměřené hodnoty na elektrický signál dojde pomocí stejného algoritmu v jenom elektrickém zařízení a bude tak zajištěna správná reprezentace dat.

Výstupem všech měřících zařízení bude unifikovaný elektrický signál, který je vhodný pro další zpracování a případnou vizualizaci v nadřazeném systému. Tento signál bývá nejčastěji ve tvaru -10 až 10V, 0-10V, 0-20mA, 4-20mA v závislosti na požadavcích aplikace. Proudový signál je odolnější proti rušení a obecně lze říci, že se díky tomu používá především v průmyslových aplikacích. Existuje několik způsobů vyhodnocení měření, které se liší v závislosti na prostředí.

3.5 Rozbor možností řízení zkušebních procesů

Pro malé aplikace s menším počtem sledovaných veličin, častou změnou měřícího místa a nízkými nároky na následné automatizované zpracování dat jsou vhodným řešením digitální datalogery. Tato zařízení v pravidelných intervalech ukládají naměřené hodnoty na paměťové médium, nejčastěji paměťovou kartu, kterou potom uživatel vyjme a uložená

data snadno zobrazí v počítači. Uložená data jsou nejčastěji formátována pro zpracování v tabulkovém editoru, avšak veškeré vyhodnocení operátor provádí ručně.

V průmyslovém prostředí se pro přenos dat - ať už měřicích či ovládacích signálů - používají speciální sběrnice, na které se mimo měřicích senzorů umisťují také moduly zajišťující komunikaci s nadřazeným systémem, ve kterém následně dochází k vyhodnocení naměřených hodnot. Vzhledem k faktu, že tento způsob monitorování je založen spíše pro kontrolu průběhu výrobního procesu a ne pro získávání přesných hodnot, není kladen důraz na přesnost a možnosti vyhodnocení na softwarové ani hardwarové úrovni. K vyhodnocení výstupních signálů měřicích čidel lze využít také modulů PLC. Vzhledem k faktu, že monitorování systému pomocí programovatelných automatů je opět úzce spojeno s jejich řízením, lze v použití programovatelných automatů nalézt určitou výhodu.

Další z možností, jak dostat změřené hodnoty do počítače, je využití vysoce přesných A/D převodníků. Tato zařízení jsou konstruována s ohledem na vysokou přesnost a stabilitu. Většinou obsahují vícekanálový analogově-digitální převodník, který s nadřazeným systémem komunikuje pomocí linky RS485 nebo RS232, rozhraní USB, nebo pomocí Ethernetu. Každý ze způsobu komunikace má své uplatnění. Sériová nebo paralelní linka se s výhodou používá v prostředí náchylném na rušení nebo v případě nutnosti získávat data z větších vzdáleností. Rozhraní USB se typicky používá v laboratorních aplikacích, ve kterých je nadřazeným systémem počítač. Velkou výhodou některých USB převodníků je fakt, že jsou přes rozhraní také napájené. Systém přímého získávání měřených dat pomocí převodníků bez sběrnice struktury je vhodný také z důvodu snadné komunikace s použitým softwarem, který může klást některé nestandardní požadavky.

Se způsobem získávání dat úzce souvisí také komunikační médium. Je nutné zvolit takové přenosové médium, které splňuje požadavky na útlum signálu, případně odolnost proti možným rušivým signálům. Z nutnosti použití elektronických zařízení samozřejmě vyplývá nutnost zajistit dostatečně dimenzovaný a stabilní zdroj elektrického napájení pro všechny prvky měřicího řetězce, případně navrhnout také záložní zdroj, který spotřebu pokryje v případě neočekávaného výpadku nebo poruchy.

4 VŠEOBECNÉ POŽADAVKY NA ZPŮSOBILOST ZKUŠEBNÍCH LABORATOŘÍ

Kvalitní měřicí laboratoř vyžaduje kvalitní technické vybavení, zajištění ověřených měřících postupů, vyškolený personál a v neposlední řadě také kvalitní výstupy, ke kterým patří výpočet nejistoty měření.

4.1 Nejistoty měření

Při měření existuje celá řada vlivů, které způsobují odchylku mezi naměřenou hodnotou a skutečnou hodnotou měřené veličiny. Tuto odchylku nazýváme nejistota měření a pokud chceme výsledek měření považovat za komplexní informaci, je nutné klást důraz na uvádění nejistoty měření, se kterou byla požadovaná informace změřena. Nejistota měření má vždy stejnou jednotku jako měřená veličina. Pro stanovení nejistoty měření byl vyvinut spolehlivý matematický aparát, který lze aplikovat ve většině případů měření.

4.1.1 Zdroje nejistot

Za zdroj nejistot při měření považujeme veškeré jevy, které nějakým způsobem ovlivňují neurčitost jednoznačného stanovení výsledku měření. Nejčastějšími zdroji nejistot jsou [30]:

- nedokonalá či neúplná definice měřené veličiny
- nevhodný výběr přístroje
- nereprezentativní výběr vzorků měření
- nevhodný postup měření
- zaokrouhlení konstant a převzatých hodnot
- linearizace, aproximace, interpolace nebo extrapolace hodnot
- neznámé nebo nekompenzované vlivy prostředí
- nedodržení shodných podmínek při opakovaném měření
- subjektivní vliv obsluhy

4.1.2 Standardní nejistota typu A, u_A

Standardní nejistota měření typu A pochází z místních zdrojů nejistot měření, které přímo souvisejí s realizací daného měření. Stanovuje se z opakovaných měření stejné hodnoty měřené veličiny za stejných podmínek pomocí statistické analýzy dat.

Nejprve je nutné určit výběrový průměr z naměřených hodnot dle vztahu [30]:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad [-] \quad (16)$$

a poté standardní nejistotu typu A, která je definována jako směrodatná odchylka výběrových průměrů [30]:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n(n-1)}} \quad [-] \quad (17)$$

Pokud je počet opakovaných měření n menší než deset, je nutné určit korigovanou standardní nejistotu [30]:

$$u_{Ak} = k \cdot u_A \quad [-] \quad (18)$$

Velikost korekčního součinitele k je dána v Tabulce 4 a odvíjí se od počtu opakování měření.

Tabulka 4: Hodnoty korekčního koeficientu pro různé počty opakovaných měření [30]

n [-]	9	8	7	6	5	4	3	2
k [-]	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

4.1.3 Standardní nejistota typu B, u_B

Standardní nejistota typu B vzniká v důsledku náhodných chyb nebo odchylek, o kterých nejsme schopni získat přímé informace. Její určení je obecně složitější, protože vyžaduje hlubší pochopení problematiky měření. Jako zdroje informací pro určení nejistoty typu B mohou sloužit výsledky předchozích měření, zkušenosti měřícího technika, informace o podmínkách měření či údaje z certifikátů nebo kalibračních listů.

Nejprve je nutné identifikovat jednotlivé potencionální zdroje nejistot Z_j a odhadnout rozsah odchylek $\pm AZ_{max}$ od jmenovité hodnoty a určí se nejistota daného zdroje [30]:

$$u_z = \frac{\Delta Z_{\max}}{m} \quad [-] \quad (19)$$

Hodnota m závisí na druhu rozložení. To se určuje na základě odhadu odchylek v daném intervalu. Nejčastěji se využívá rovnoměrného rozdělení ($m=1,73$). Pokud předpokládáme výskyt malých odchylek od jmenovité hodnoty, aproximujeme normálním rozdělením ($m=2$). V případech velmi podobných normálnímu rozdělení se pro modelování situace používá trojúhelníkové rozdělení ($m=2,45$).

Výsledná standardní nejistota typu B se určí ze vzorce [30]:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^n u_{zj}^2} \quad [-] \quad (20)$$

4.1.4 Kombinovaná standardní nejistota u_C

Kombinovaná nejistota lze jednoduše zjistit ze vztahu [30]:

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} \quad [-] \quad (21)$$

Pokud zvolíme prezentaci výsledků pomocí kombinované standardní nejistoty, je nutné uvést podrobnou definici měřené veličiny a odhad měřené veličiny uvést spolu s kombinovanou standardní nejistotou včetně jednotek, ve kterých jsou uvedeny.

4.1.5 Rozšířená nejistota U

Pro zvýšení pravděpodobnosti definování správné hodnoty zavádíme rozšířenou nejistotu U , což je kombinovaná standardní nejistota rozšířená o koeficient k_r [30]:

$$U = k_r \cdot u_C \quad [-] \quad (22)$$

Koeficient rozšíření závisí na typu rozdělení pravděpodobnosti výsledku měření a pomocí statistických nástrojů lze předpokládat jako nejpravděpodobnější normální rozdělení, tedy $k_r=2$.

4.2 Technické požadavky

Na správnosti a spolehlivosti prováděných zkoušek a měření má vliv také mnoho faktorů, které přímo nesouvisí se získanými hodnotami. Tyto okolnosti jsou popsány v mnoha předpisech, které jsou závazné pro měřicí laboratoře, které chtějí dosahovat technicky

platných výsledků. V této kapitole jsou popsány základní technické požadavky definované v ČSN EN ISO/IEC 17025 [31] a ČSN EN ISO 10012 [32].

Mezi nejdůležitější okolnosti patří lidský faktor, podmínky prostředí, zkušební a kalibrační metody či použitá zařízení. Tyto prvky se různou měrou podílí na celkové nejistotě měření a je nutné je vzít v úvahu při vývoji pracovního postupu, zaškolování osob a výběru zařízení.

4.2.1 Zařízení

Laboratoř musí být vybavena veškerými technickými zařízeními, které jsou nutné pro provedení zkoušky. Tato zařízení a jejich software musí být při měření schopna dosahovat požadované správnosti a před uvedením do provozu musí být kalibrována nebo zkontrolována, aby bylo zajištěno, že splňují příslušné normy. O každém zařízení používaném pro provádění zkoušek je nutné vést záznamy, které obsahují údaje o jednoznačné identifikaci zařízení, datu poslední kalibrace, datu další plánované kalibrace nebo údržby, dále odkaz na uživatelskou příručku a informace o poškození případně nesprávné funkci.

4.2.2 Osoby pracující v laboratoři

Všechny osoby pracující se specifickými zařízeními, provádějící zkoušky nebo kalibrace, hodnotící výsledky a nesoucí odpovědnost za protokoly o zkouškách by měly být kvalifikované k provádění těchto úkonů. Tato kvalifikace by měla být stanovena na základě odpovídajícího vzdělání, výcviku a zkušeností. Kvalifikované osoby by také měly mít dobré znalosti všeobecných požadavků, které jsou obsaženy v právních předpisech a normách.

Laboratoř musí udržovat aktuální popisy práce pro všechny pracovníky, kteří se na zkouškách podílí a musí být definována odpovědnost za jednotlivé činnosti, jako je provádění a plánování zkoušek, předkládání odborných stanovisek nebo úpravu a validaci použitých metod.

4.2.3 Prostory a podmínky měření

V závislosti na typu měření je nutné monitorovat a případně řídit podmínky prostředí tak, aby nedocházelo k ovlivňování nebo znehodnocení výsledků měření. V případě

kalorimetrické komory se jedná především o eliminaci nechtěných vlivů teploty a vlhkosti, ale obecně je nutné sledovat také prašnost, elektromagnetické rušení, hladinu hluku či vibrací. Probíhající měření musí být přerušeno, pokud podmínky prostředí ohrožují jeho výsledky. Proto je důležité dbát na efektivní oddělení okolních prostor.

4.2.4 Software používaný v procesu měření

Volba a identifikace všech funkcí použitého softwaru je nezbytná pro zjištění, zda je z dlouhodobého hlediska vhodný pro vyhodnocování měření. Software a všechny jeho součásti je nutné validovat před prvním použitím, případně po každé revizi. Důležitá je také kontrola vyhodnocovacích algoritmů naprogramovaných uživatelem.

4.2.5 Zkušební metody

Aby byla zaručena vysoká vypovídací hodnota, všechny měřicí postupy, které v laboratoři probíhají, musí být vhodně voleny s odkazem na platné legislativní předpisy. Patří sem přeprava, manipulace a skladování zařízení nebo jejich správné uvedení do bezchybného provozu. Konkrétně pro zkoušení tepelných čerpadel jsou vypracovány komplexní zkušební postupy, které je nutné dodržet a nelze je nijak upravovat.

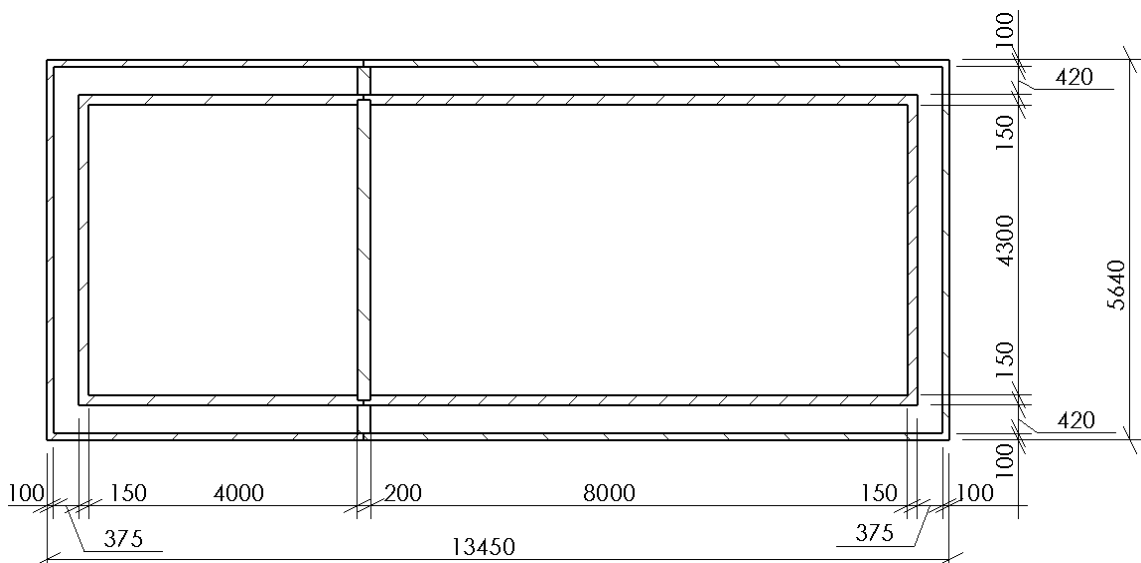
II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PŘEDMĚTNÁ KALORIMETRICKÁ KOMORA A JEJÍ PARAMETRY

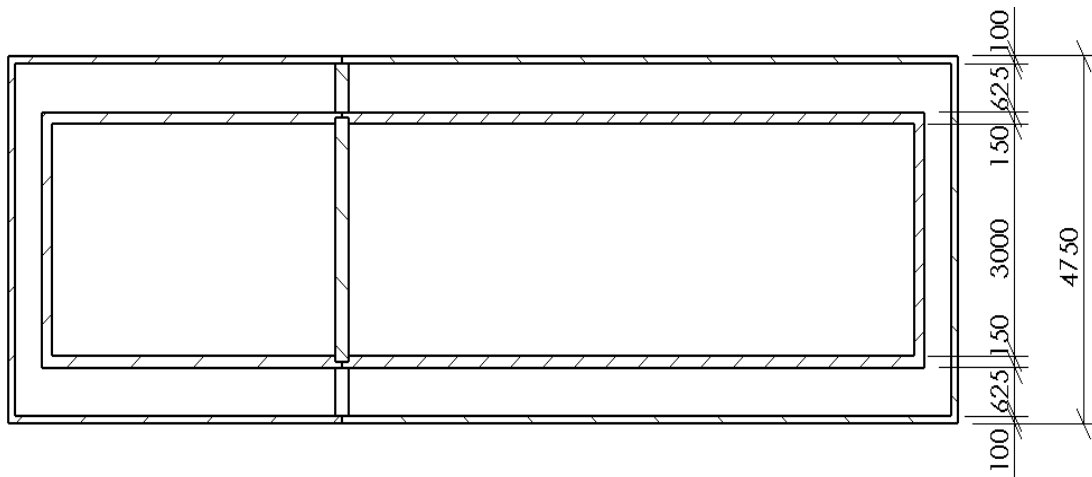
5.1 Rozměry a uspořádání komory

S ohledem na zadání projektu, který definuje oblast použití komory nejen pro měření výkonu chladicích zařízení a teplených čerpadel, ale také pro měření tepelně akumulacních vlastností materiálů bude realizována kompenzovaná kalorimetrická komora, složená ze dvou částí. V jedné budou simulovány klimatické podmínky venkovního vzduchu, ve druhé budou nastaveny parametry vnitřního prostředí.

Část komory, ve které bude simulováno vnitřní prostředí bude mít velikost $4\text{m} \times 4,3\text{m} \times 3\text{m}$ ($d \times \text{š} \times v$). Druhá část, simulující venkovní prostředí, bude mít s ohledem na realizaci akustických měření vnitřní rozměry $8\text{m} \times 4,3\text{m} \times 3\text{m}$ ($d \times \text{š} \times v$). Šířka stěn měřicího prostoru komory bude 150 mm, šířka příčky oddělující obě části 200 mm a šířka stěny oddělující kompenzační prostor a prostor okolí komory bude 100 mm. Celkové rozměry komory včetně velikosti kompenzačního prostoru jsou patrné z Obrázku 19 a Obrázku 20. Kvůli minimalizaci tepelných ztrát podlahou a stropem bude kompenzovaný prostor realizován i zde. Vzniklý prostor pod podlahou bude využit pro přívod a odvod médií a kabelů k měřicím zařízením. Nosnost podlahy bude $350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, což je dostatečná hodnota vzhledem k hmotnosti teplených čerpadel o výkonu do 12 kW, pro které je komora určena [21].



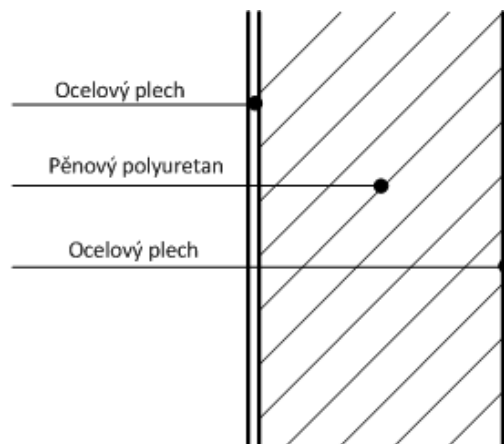
Obrázek 19: Půdorys kalorimetrické komory



Obrázek 20: Nárýs kalorimetrické komory

5.2 Tepelně technické parametry konstrukcí

Všechny stěny komory i přepážka oddělující vnitřní a vnější zkušební prostor budou vystavěny pomocí panelů z pěnového polyuretanu a opláštění z ocelového plechu dle Obrázku 21.



Obrázek 21: Složení konstrukce stěny kalorimetrické komory [21]

Přednosti těchto panelů spočívají v eliminaci kondenzace vodní páry v konstrukci, snadné manipulovatelnosti a vzhledem k ostatním účelům komory také díky svým akustickým vlastnostem. Tepelně technické vlastnosti použitých materiálů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 5: Tepelně technické parametry konstrukcí kalorimetrické komory [21]

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Měrná tep. kapacita c_p [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Objemová hmotnost ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Faktor dif. odporu μ [-]
Korozivzdorná ocel	0,006	17	460	7900	1000000
Pěnový polyuretan	0,100/0,150 /0,200	0,032	1500	35	220
Korozivzdorná ocel	0,006	17	460	7900	1000000

5.3 Kompenzovaný prostor

Z Obrázku 19 a Obrázku 20, kde jsou naznačeny rozměry kalorimetrické komory vyplývá, že šířka kompenzovaného prostoru okolo stěn se bude pohybovat okolo 40cm a pod podlahou a nad stropem 70 cm. V tomto prostoru budou udržovány stejné parametry prostředí jako uvnitř měřícího prostoru, a tím dojde k eliminaci tepelných ztrát a ovlivňování měření. Toho bude docíleno pomocí dvou kompenzačních jednotek, jedna pro každou stranu kompenzačního prostoru. Při návrhu jednotek bylo provedeno stanovení předpokládaných teplot v okolním prostoru komory pro letní a zimní období a pomocí navržených hodnot a tepelně technických parametrů konstrukcí byl proveden výpočet tepelných ztrát/zisků, na které je nutné dimenzovat výkon kompenzačních zařízení. Výkony jednotek udržujících teplotu vzduchu v kompenzačním prostoru jsou přímo spojené s velikostí jednotky a s dobou ustalovacího procesu.

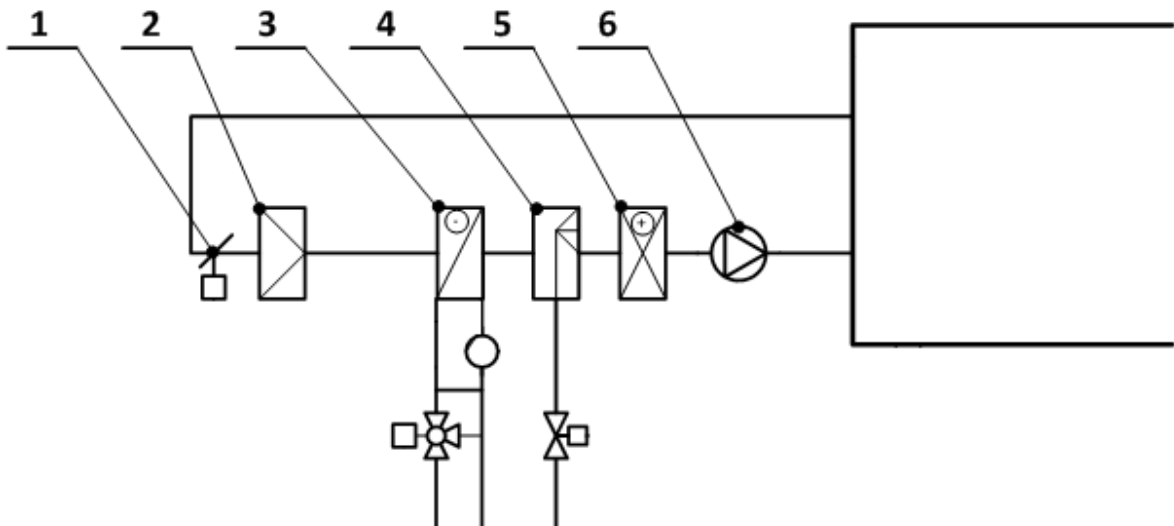
Tabulka 6: Výsledky výpočtu vzduchových výkonů kompenzačních jednotek [21]

Kompenzační prostor	Výkon výměníku [W]	Teplotní spád na výměníku [K]	Vzduchový výkon ventilátoru [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]	Rychlost proudění [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
Studená strana	2 700	2	0,97	0,53
Teplá strana	4500	2	1,61	0,47

5.4 Parametry rekondičních jednotek

Pro každou stranu měřícího prostoru je navržena jedna jednotka, která udržuje předepsané parametry vzduchu dle ČSN EN 14511. Jejich účelem je kompenzovat topný/chladicí výkon zkoušených zařízení a tepelné ztráty/zisky přepážkou oddělující měřící prostory. V

Obrázku 22 značí: 1 - regulační klapka, 2 - vzduchový filtr, 3 - chladič, 4 - vlhčící zařízení, 5 - ohřívač, 6 - ventilátor.



Obrázek 22: Funkční schéma rekondiční jednotky [21]

Tepelný/chladicí výkon je tedy dán topným/chladícím výkonem zkoušených jednotek, tepelnou ztrátou přepážky a výkonem kondicionování, který je nutný pro dosažení tepelně ustáleného stavu. Výpočty stanovují potřebný chladicí výkon rekondičních jednotek na $P_{ch} \geq 16,7 \text{ kW}$ a tepelný výkon $P_{tep} \geq 16,0 \text{ kW}$.

Požadavky na vzduchový výkon rekondičních jednotek jsou dány v ČSN EN 14511 a stanovují, vzduchový výkon musí být minimálně dvakrát vyšší než vzduchový výkon zkoušených zařízení. Typické hodnoty pro zařízení o výkonu do 12 kW jsou $2500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ na vnitřní straně, resp. $7500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ u venkovní jednotky tepelného čerpadla. Dále je nutné dodržet podmínku maximální výstupní rychlosti vzduchu $v \leq 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a to realizováním dostatečného průřezu výstupního otvoru o ploše alespoň $S \geq 1,4 \text{ m}^2$ resp. $S \geq 4,16 \text{ m}^2$.

Podle požadavků na mikroklimatické podmínky při měření je nutné, aby byly rekondiční jednotky schopny vlhčit a odvlhčovat. Výpočet potřebného odvlhčovacího a zvlhčovacího výkonu byl stanoven určením počátečních a koncových podmínek.

Tabulka 7: Konečné návrhové parametry kompenzačních a rekondičních jednotek [21]

Jednotka	Objemový tok vzduchu [m ³ ·h ⁻¹]	Průřez výst. otvoru [m ²]	Výkon ohříváče [kW]	Výkon chladiče [kW]	Příkon ventilátoru [kW]	Vlhčící výkon [kg _{H2O} ·h ⁻¹]
Kompenzační jednotka část vnitřní	3 500	-	2,7	1,2	0,5	-
Kompenzační jednotka část vnější	5 800	-	4,5	4,5	1	
Rekondiční jednotka část vnitřní	20 000	1,40	16,5	16,5	1,8	18
Rekondiční jednotka část vnější	20 000	4,16	16,5	16,5	1,8	18

5.5 Zkoušené parametry

Kalorimetrická komora je primárně určena pro měření energetických a akustických parametrů chladících jednotek, tepelných čerpadel a vybraných vytápěcích prvků. S ohledem na zaměření práce podrobněji rozeberu pouze měření výkonových parametrů tepelných čerpadel. Základním výkonovým parametrem tepelných čerpadel je topný faktor. Z jeho definice vyplývá, že je nutné měřit několik veličin. Za prvé je to spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla a všech pomocných zařízení, jako jsou ventilátory a oběhová čerpadla. Dále je nutné zjistit tepelný/chladící výkon dle Rovnice (15). K tomu bude nutné měřit množství vody, které vstupuje do kondenzátoru a její teplotu na vstupu i výstupu. Pomocí dalších vlastností vody je následně možné určit výkon výměníku a ve výsledku i topný faktor tepelného čerpadla.

Kromě monitorování veličin přímo souvisejících s parametry tepelného čerpadla je nezbytné kontrolovat parametry vnitřního vzduchu v obou prostorech měřicí komory. Základními parametry jsou teplota a relativní vlhkost vzduchu, resp. teplota vlhkého teploměru.

6 NÁVRH ZKOUŠEK TEPELNÝCH ČERPADEL V KALORIMETRICKÉ KOMOŘE SE ZVÁŽENÍM MOŽNOSTI MĚŘENÍ PARAMETRŮ PRO VYŠŠÍ VÝKON

6.1 Podmínky zkoušek dle ČSN EN 14511

Pro měření, jehož výstupem je certifikace či srovnávání parametrů různých zařízení je nutné dodržet povinné normativní podmínky - standardní podmínky hodnocení. Pro zahájení měření je nutné nastolit tzv. ustálený stav, který je definován typem tepleného čerpadla a měření. Většinou se měření provádí také při provozních podmínkách, které mohou lépe reflektovat použití ve skutečných aplikacích. Pro splitová tepelná čerpadla typu vzduch/vzduch jsou standardní a provozní podmínky dány následujícími tabulkami.

Tabulka 8: Standardní a provozní podmínky hodnocení pro TČ vzduch/vzduch, režim vytápění [3]

		Venkovní výměník tepla		Vnitřní výměník tepla	
		Vstupní teplota suchého teploměru [°C]	Vstupní teplota vlhkého teploměru [°C]	Vstupní teplota suchého teploměru [°C]	Vstupní teplota vlhkého teploměru [°C]
Standardní podmínky	Venkovní/oběhový vzduch	7	6	20	max. 15
Provozní podmínky	Venkovní/oběhový vzduch	2	1	20	max. 15
	Venkovní/oběhový vzduch	-7	-8	20	max. 15
	Venkovní/oběhový vzduch	-15	-	20	max. 15
	Venkovní/oběhový vzduch	12	11	20	max. 15

Tabulka 9: Standardní a provozní podmínky hodnocení pro TČ vzduch/vzduch, režim chlazení [3]

		Venkovní výměník tepla		Vnitřní výměník tepla	
		Vstupní teplota suchého teploměru [°C]	Vstupní teplota vlhkého teploměru [°C]	Vstupní teplota suchého teploměru [°C]	Vstupní teplota vlhkého teploměru [°C]
Standardní podmínky	Venkovní/oběhový vzduch	35	24	27	19
Provozní podmínky	Venkovní/oběhový vzduch	27	19	21	15
	Venkovní/oběhový vzduch	46	24	29	19

Měření tepelného výkonu tepelných čerpadel typu vzduch/voda norma ČSN EN 14511 rozděluje do čtyř kategorií dle teploty výstupní vody, z toho plyne nutnost porovnávat pouze čerpadla se stejnou teplotou výstupní vody.

Tabulka 10: Standardní a provozní podmínky hodnocení pro TČ vzduch/voda, režim vytápění (střední teplota) [3]

		Venkovní výměník tepla		Vnitřní výměník tepla	
		Vstupní teplota suchého teploměru [°C]	Vstupní teplota vlhkého teploměru [°C]	Vstupní teplota vody [°C]	Výstupní teplota vody [°C]
Standardní podmínky	Venkovní vzduch	7	6	40	45
	Odváděný vzduch	20	12	40	45
Provozní podmínky	Venkovní vzduch	2	1	*	45
	Venkovní vzduch	-7	-8	*	45
	Venkovní vzduch	-15	-	*	45
	Venkovní vzduch	12	11	*	45

* zkouška probíhá se stejným průtokem vody jako při standardních podmínkách hodnocení

Tabulka 11: Standardní a provozní podmínky hodnocení pro TČ vzduch/voda, režim chlazení [3]

		Venkovní výměník tepla		Vnitřní výměník tepla	
		Vstupní teplota suchého teploměru [°C]	Vstupní teplota vlhkého teploměru [°C]	Vstupní teplota [°C]	Výstupní teplota [°C]
Standardní podmínky	Voda - střední teplota	35	-	12	7
	Voda - nízká teplota	35	-	23	18
Provozní podmínky	Voda - střední teplota	27	-	*	7
	Voda - nízká teplota	27	-	*	18
	Voda - střední teplota	46	-	*	7

* zkouška probíhá se stejným průtokem vody jako při odpovídajícím měření standardních podmínek hodnocení

Před začátkem měření je nutné dosáhnout tzv. ustálený stav. Ustálený stav je takový, kdy všechny měřené veličiny standardních podmínek hodnocení drží po určitou dobu odchyly pod hodnotami definovanými v Tabulce 12. Zmíněná doba se odvíjí od typu zkoušeného tepelného čerpadla a v závislosti na průběhu zkoušky.

Tabulka 12: Přípustné odchyly od žádané hodnoty [4]

Měřená veličina	Přípustná odchylka aritmetického průměru od žádané hodnoty	Přípustná odchylka jednotlivých měřených hodnot od žádané hodnoty
Kapalina		
Vstupní teplota	±0,2 K	±0,5 K
Výstupní teplota	±0,3 K	±0,6 K
Objemový průtok	±2 %	±2,5 %
Statická tlak. diference	-	±10 %
Vzduch		
Vstupní teplota (suchá)	±0,3 K	±1 K
Vstupní teplota (vlhká)	±0,4 K	±1 K

Objemový průtok	±5%	±10 %
Statická tlak. diference	-	±10 %
Chladivo		
Teplota kapaliny	±1 K	±2 K
Sytá pára/teplota odpařování	±0,5 K	±1 K
Napětí	±4 %	±4 %

6.2 Návrh zkoušek dle ČSN EN 14511

Průběh zkoušek podle normy ČSN EN 14511 se liší dle typu tepelného čerpadla a měřené výstupní veličiny. Pro měření topného výkonu tepelných čerpadel vzduch/vzduch lze použít jak postup pospaný v kapitole 6.2.2, pak by se jednalo o použití metody entalpie vzduchu, tak také kalorimetrickou metodou popsanou v kapitole 6.2.3. Postup měření chladicího výkonu je shodný pro oba typy TČ.

6.2.1 Měření chladicího výkonu jednotek vzduch/voda a vzduch/vzduch

Zkouška je definována udržení ustáleného stavu po dobu minimálně 1 hodiny, s přihlédnutím k dovoleným tolerancím definovaných v Tabulce 12. Jsou povoleny periodické výkyvy způsobené akčním zásahem regulační soustavy, avšak stále platí, že odchylka aritmetického průměru od žádané hodnoty nesmí překročit meze definované v tabulce.

Samotné zaznamenávání všech potřebných měřených hodnot probíhá v intervalu 30 sekund po dobu nejméně 35minut.

6.2.2 Měření topného výkonu jednotek vzduch/voda

Zkušební postup se skládá ze tří fází: přípravné periody, rovnovážné periody a periody sběru dat. Celková doba sběru dat se liší v závislosti na tom, zda je zkoušené tepelné čerpadlo v ustáleném nebo nestacionárním stavu.

Během přípravné periody je v provozu tepelné čerpadlo i rekondiční jednotky zajišťující dosažení definovaného klimatu. Přípravná perioda končí, jakmile je po dobu deseti minut dosaženo ustáleného stavu, opět s ohledem na definované tolerance. Pokud dojde k situaci, kdy na konci přípravné periody nastane odtávací cyklus, tepelné čerpadlo by mělo pracovat

v režimu vytápění dalších deset minut po ukončení odtávacího cyklu. Teprve potom se přechází do rovnovážné periody.

Rovnovážná perioda začíná ihned po ukončení přípravné fáze zkoušky. Celková doba rovnovážné fáze je 60 minut, ve kterých musí být udržovány parametry prostředí v mezích stanovených Tabulce 12.

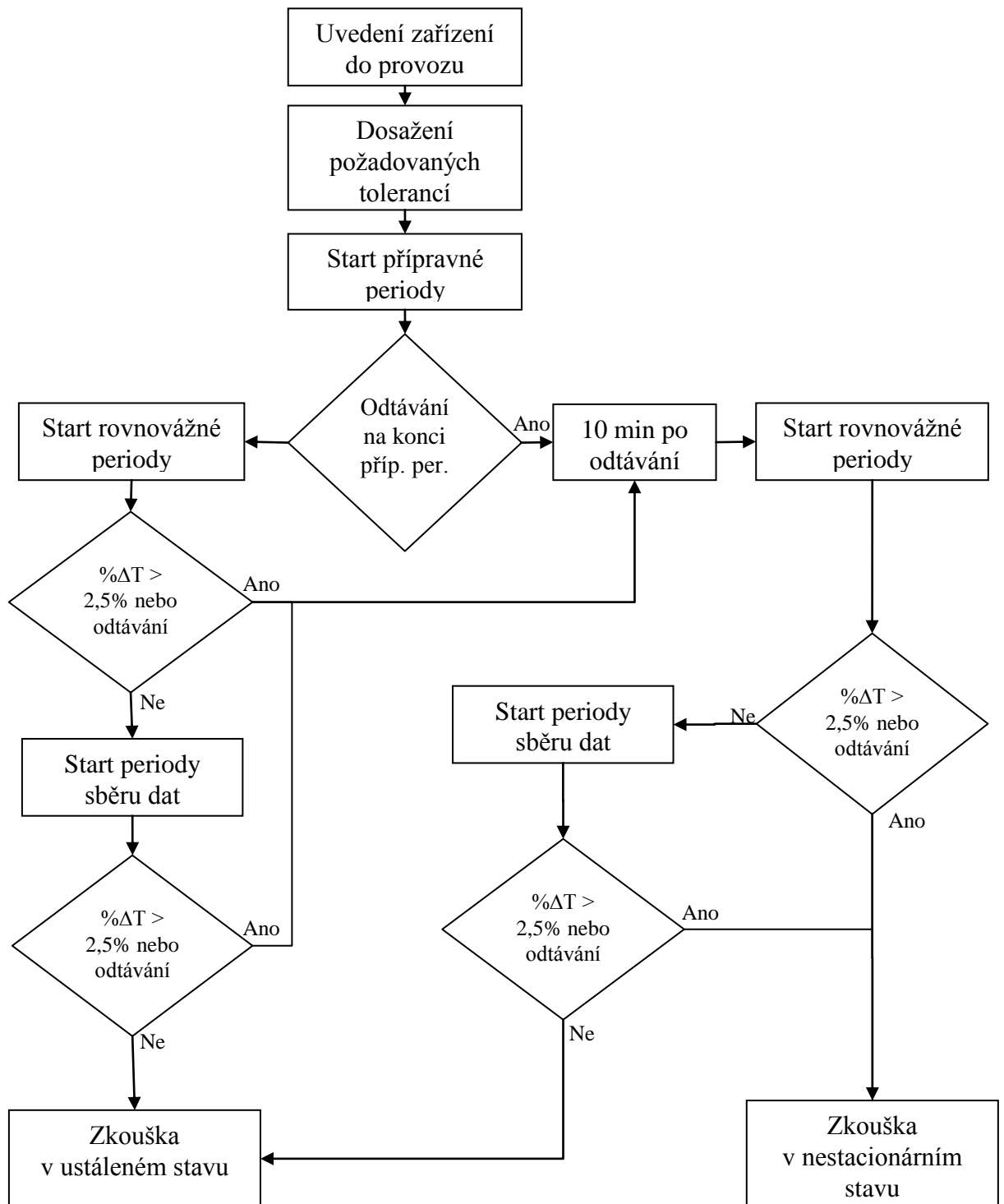
Perioda sběru dat startuje ihned po ukončení rovnovážné periody. Data by měla být zaznamenávána v pravidelných intervalech, který je 30 sekund nebo méně. V době odtávacího cyklu a 10 minut po jeho skončení je nutné interval odečtu dat snížit na 10 sekund. Data získaná v tomto období je nutné zahrnout do výpočtu celkového výkonu.

Dochází také k měření rozdílu mezi vstupní a výstupní teplotou teplotnosného média u výměníku na vnitřní straně. Každých 5 minut je určována střední teplotní diference $\Delta T_i(\tau)$. K jejímu zjištění je nutné uložit hodnotu $\Delta T_i(\tau=0)$, což je střední teplotní diference prvního pětiminutového úseku, pak již výpočet probíhá dle vztahu:

$$\% \Delta T = \left[\frac{\Delta T_i(\tau = 0) - \Delta T_i(\tau)}{\Delta T_i(\tau = 0)} \right] \cdot 100 \quad [\%] \quad (23)$$

Vypočtená hodnota následně rozhoduje, zda bude test tepelného čerpadla proveden v nestacionárním či ustáleném stavu. Pokud bude během prvních 70 minut periody sběru dat získaná hodnota vyšší než 2,5%, bude zkouška provedena jako nestacionární. Stejně tak pokud dojde k odtávacímu cyklu během rovnovážné periody nebo během prvních 70 minut periody sběru dat. Pokud nedojde ani k jednomu z výše uvedených, bude test vyhodnocen jako zkouška v ustáleném stavu a po 70 minutách ukončen. Tato pravidla jsou podmíněna realizováním odtávacího cyklu na konci přípravné periody.

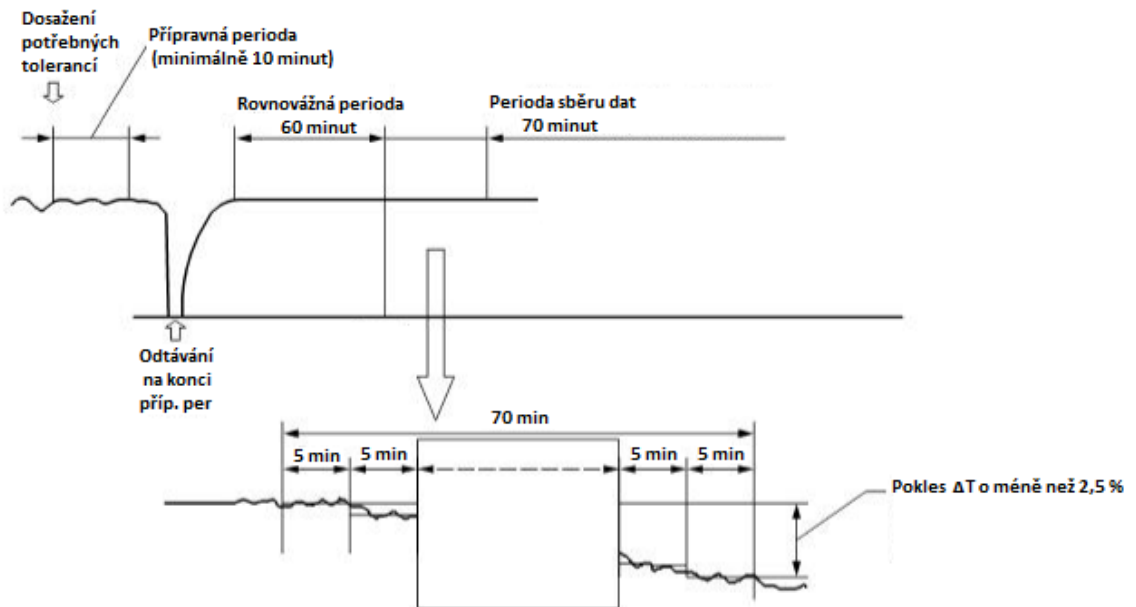
Pokud odtávací cyklus na konci přípravné periody neproběhne a současně proběhne během rovnovážné nebo na začátku periody sběru dat, musí být zápis dat přerušen. Zkouška bude pokračovat započítáním nové rovnovážné fáze po uplynutí 10 minut. Pokud odtávací cyklus nenastane ani v jedné fázi, zkouška proběhla v ustáleném stavu.



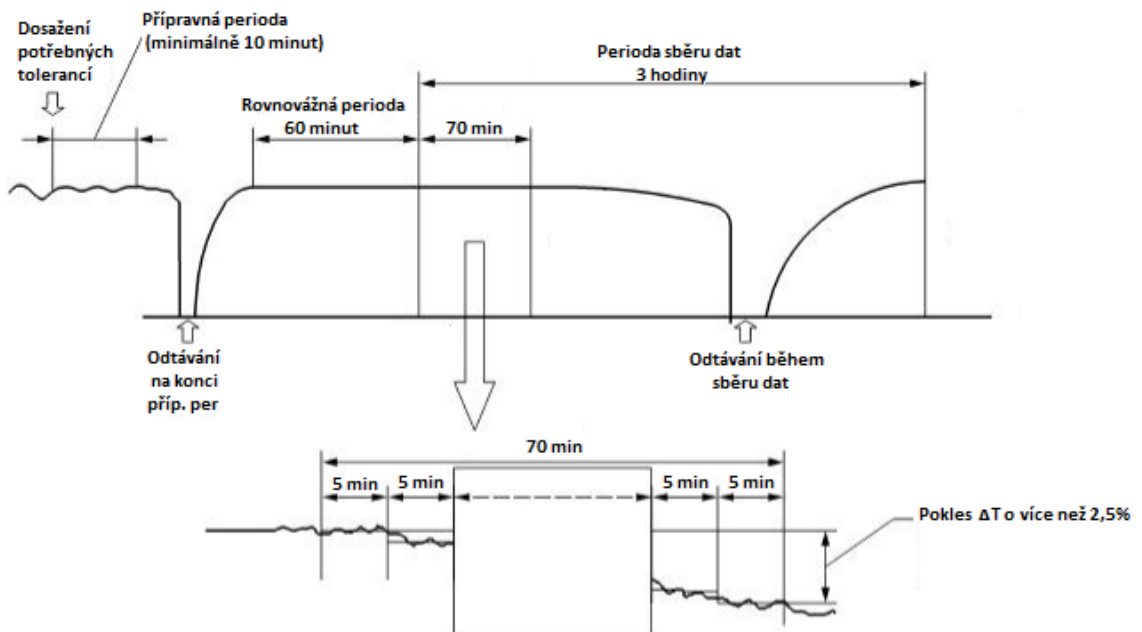
Obrázek 1: Postup zkoušky tepelného čerpadla [4]

Definice zkoušky v nestacionárním stavu spočívá především v upravení přípustných odchylek od žádané hodnoty a rozlišení, kdy tepelné čerpadlo pracuje v režimu vytápění (Interval H) nebo odtávání (Interval D). Interval odtávání trvá po celou dobu odtávacího cyklu plus 10 minut po jeho skončení, zbytek času je uvažován jako interval, kdy tepelné čerpadlo vytápí. Oba časové úseky dohromady tvoří jeden cyklus tepelného čerpadla.

Celková doba zkoušky je stanovena na 3 hodiny, nebo 3 kompletní cykly tepelného čerpadla, dle toho co nastane dříve. Pokud zrovna probíhá odtávání tepelného čerpadla, je nutné nechat tento proces dokončit a až pak ukončit sběr dat.



Obrázek 24: Zkouška provedená v ustáleném stavu [4]



Obrázek 25: Příklad zkoušky provedené v nestacionárním stavu [4]

Tabulka 13: Příпустné odchytky od žádané hodnoty pro nestacionární test [4]

Měřená veličina	Odchytky aritmetické střední hodnoty od stanovených zkušebních podmínek		Odchytky jednotlivých hodnot od stanovených zkušebních podmínek	
	Interval H	Interval D	Interval H	Interval D
Vstupní teplota vzduchu, vnitřní strana				
Suchý teploměr	± 0,6 K	± 1,5 K	± 1,0 K	± 2,5 K
Vlhký teploměr	-	-	-	-
Vstupní teplota vzduchu, vnější strana				
Suchý teploměr	± 0,6 K	± 1,5 K	± 1,0 K	± 5,0 K
Vlhký teploměr	± 0,4 K	± 1,0 K	± 0,6 K	-
Vstupní teplota vody	± 0,2 K	-	± 0,5 K	- 5 K
Výstupní teplota vody	± 0,5 K	-	± 1,0 K	+ 2 K

Poznámka: Odchytky aritmetické střední hodnoty pro data z dvou a více intervalů H nebo D nemohou být vyhodnocovány společně. Vyhodnocení musí proběhnout pro každou sadu hodnot zvlášť.

6.2.3 Měření topného výkonu jednotek vzduch/vzduch

Tato kapitola se zabývá měřením topného výkonu jednotek typu vzduch/vzduch pomocí kalorimetrické metody. V tomto případě odpadá přípravná perioda a zkouška začíná přímo rovnovážnou fází. Ta trvá tak dlouho, dokud všechny měřené parametry nespĺňují tolerance dané Tabulkou 12 (případně Tabulkou 13, pokud dojde k odtávacímu cyklu) po dobu alespoň 60 minut. Poté začíná perioda sběru dat, která probíhá stejně jako v předchozím případě.

Pokud během celé zkoušky nedojde k odtávacímu cyklu a střední teplotní diference $\Delta T_i(\tau)$ nepřekročí hodnotu 2,5%, je test proveden v ustáleném stavu a po 70 minutách sběru dat ukončen. Naopak, pokud dojde k odtávacímu cyklu nebo střední teplotní diference překročí hodnotu 2,5%, je zkouška provedena v nestacionárním stavu, definované v předchozí kapitole.

6.3 Měření zařízení s vyšším výkonem

Hlavním omezujícím faktorem, který je limitujícím pro provádění měření na zařízeních o vyšších výkonech, je velikost měřicího prostoru kalorimetrické komory. Ten je v závislosti na výkonu měřeného zařízení definován v normě ČSN EN 14511.

Tabulka 14: Minimální rozměry kalorimetrické komory v závislosti na výkonu zařízení [4]

Jmenovitý výkon zařízení [W]	Doporučené minimální vnitřní rozměry komory [m]		
	Délka	Šířka	Výška
3000	1,8	2,4	2,1
6000	2,4	2,4	2,1
9000	3,0	2,7	2,4
12000	3,7	3,0	2,4

Velikost kalorimetrické komory musí být dostatečná, aby nedocházelo k omezení proudění vzduchu u sacích a výfukových otvorů u rekondičních jednotek. Vyústky z těchto zařízení by měly být opatřeny vhodnou krycí mřížkou, aby rychlost výstupního vzduchu nepřekročila hodnotu $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a v prostoru před nimi by se neměly nacházet žádné překážky, které by bránily správné stratifikaci vzduchu v prostoru. Minimální vzdálenost měřeného zařízení od bočních stěn a stropu je 1 m, s výjimkou zařízení určených i instalaci ke stěně. Pro zařízení o vyšších výkonech, než jsou uvedeny v Tabulce 14, se velikost měřicího prostoru odvíjí od rozměrů jednotky tepelného čerpadla. Měla by být [4]:

- 4 x širší než zkoušené zařízení
- 2,5 x vyšší než zkoušené zařízení
- 1,5 x delší než zkoušené zařízení

za současného dodržení všech dalších podmínek o proudění vzduchu v prostoru, nastavení požadovaných vlastností prostředí s dostatečnou přesností aj. Možností, jak realizovat měření zařízení o vyšších jmenovitých výkonech ve stávající laboratoři, je umělá regulace výkonu tepelného čerpadla snížením o určitý koeficient.

7 POSTUP PŘI USTALOVÁNÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH PARAMETRŮ PŘED ZAHÁJENÍM ZKOUŠKY

7.1 Ustalovací proces

První krokem je uvedení do provozu všech kompenzačních i rekondičních zařízení. Vzhledem k tomu, že v této fázi ještě neprobíhá žádné měření, je možné, aby všechny jednotky pracovaly na plný výkon. Jakmile však dojde k dosažení požadovaných parametrů, je nutné regulačním zásahem omezit výkon rekondičních jednotek. Během měření je nutné udržovat parametry vzduchu v souladu s podmínkami popsány v kapitole 5.4 především s ohledem na rychlost proudění vzduchu z výústek, aby nedocházelo ke zkratovému proudění vzduchu z výstupu jednotky přímo na vstup tepelného čerpadla.

Ustálený stav je popsán v kapitole 6.2 a je dán především povolenými tolerancemi uvedených v Tabulce 12. Po jeho dosažení je nutno jej udržet nejméně po dobu jedné hodiny a až potom může započít samotná zkouška tepelného čerpadla. Během ní je stále nutné udržovat požadované parametry vzduchu na obou stranách měřicího prostoru a v kompenzačních prostorech, jejichž funkcí je eliminovat tepelné ztráty/zisky a také pomáhají udržovat konstantní podmínky v měřících prostorech.

7.2 Simulace ustalování

V rámci práce byla provedena simulace ustalování teplot v jednotlivých prostorách kalorimetrické komory, jejímž výstupem je předpokládaná doba, po kterou budou muset pracovat jednotky pro úpravu vzduchu, než bude možné započít zkoušku.

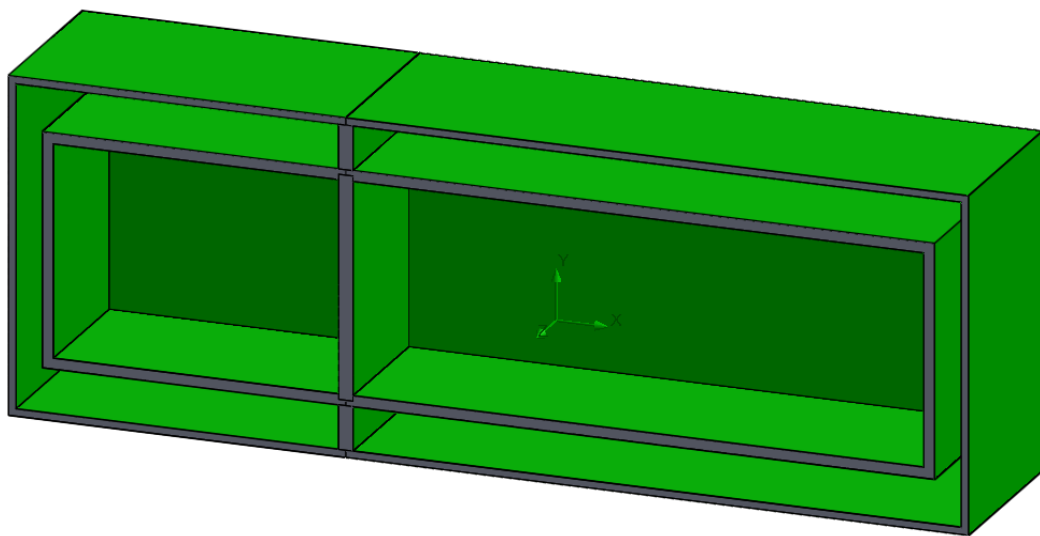
Jako simulační software jsem zvolil program SolidWorks 2012 s nástavbou Flow Simulation.

7.2.1 Cíle simulace

Hlavním cílem simulace je určit dobu, která uplyne od uvedení do provozu všech rekondičních zařízení do dosažení ustálených teplotních hladin. Vedlejším cílem je měření tepelných toků stěnami mezi měřícím a kompenzačním prostorem na obou stranách komory.

7.2.2 Tvorba modelu komory

Tvorba modelu komory vycházela z rozměrů uvedených na Obrázku 19 a Obrázku 20. Postupně byly vytvořeny všechny konstrukce tvořící oba měřicí a kompenzační prostory, a to včetně ocelového opláštění, aby byla simulace co nejvíce přiblížena realitě. Celkem tedy vzniklo 18 součástí, které byly nejčastěji vytvořeny pomocí nástrojů vývojového prostředí *Přidat vysunutím* a *Skořepina*. Následně byly všechny součásti seskupeny do jednoho celku. Zvláštní důraz byl kladen na usazení přepážky oddělující měřicí prostory a na vytvoření přesných vazeb mezi jednotlivými komponentami modelu.



Obrázek 26: Vytvořený model kalorimetrické komory

7.2.3 Nastavení parametrů simulace

Nejdelší čas zabralo nastavení simulačních parametrů. Nastavení celé simulace probíhá v několika krocích:

a) definování pevných materiálů

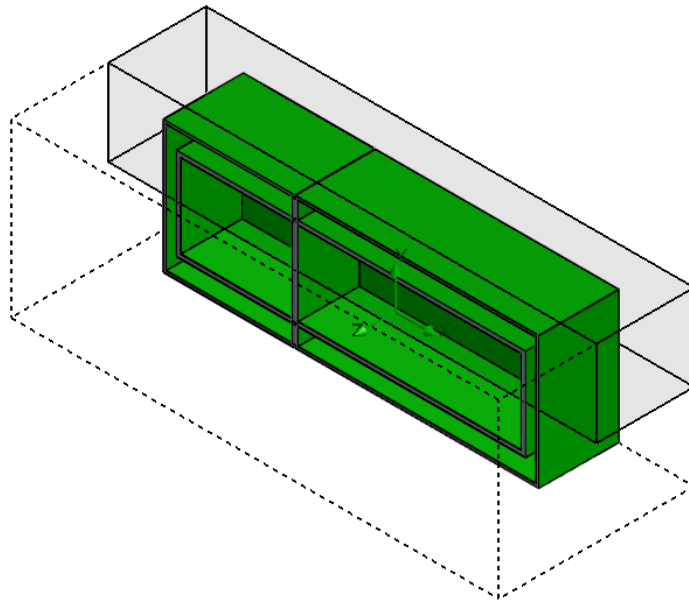
Definování pevných materiálů spočívá v nastavení požadovaných vlastností k jednotlivým prvkům konstrukce. Lze vybírat z široké škály běžných předdefinovaných látek, pro účely simulace kalorimetrické komory však bylo nutné vytvořit vlastní materiály jak pro pěnový polyuretan, tak pro korozivzdornou ocel a následně je přiřadit k odpovídajícím konstrukcím. K nastavovaným parametrům patří také počáteční teplota materiálu, kterou lze určit počáteční podmínky simulace.

b) definování tekutin

Stejně tak je nutné definovat tekutiny, které se vyskytují v prostorech mezi konstrukcemi a v jejich okolí. V tomto případě nebylo nutné definovat vlastní, byl použit vzduch s přednastavenými vlastnostmi.

c) výpočetní doména (*Computational Domain*)

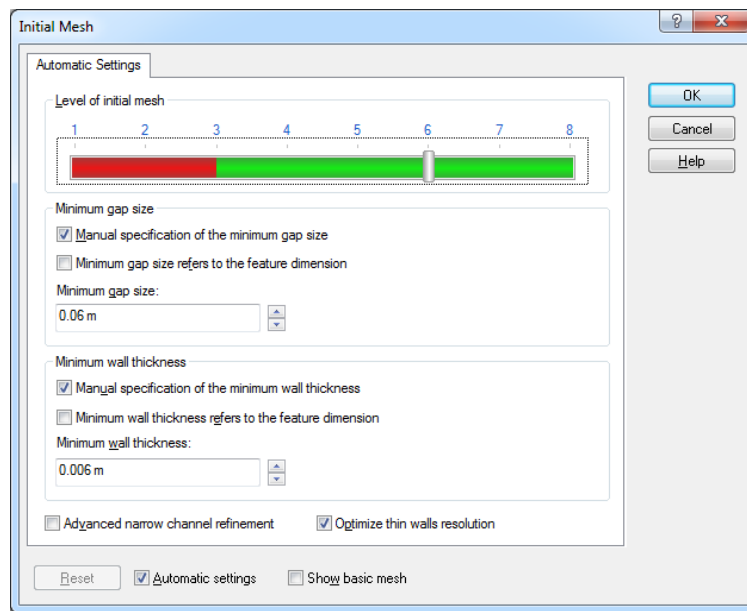
Výpočetní doména ohraničuje prostor, ve kterém probíhají výpočty. Na její velikosti závisí délka simulace. Pokud řešíme osově souměrný model, lze pro urychlení celého procesu využít funkce zrcadlení výpočetní domény podle jedné nebo více os. Výpočet tak bude probíhat jen v polovině/čtvrtině souměrného prostoru a tím dojde ke znatelnému urychlení výpočtu.



Obrázek 27: Model komory se zvýrazněnou výpočetní doménou

d) mřížka (*Mesh*)

Před zahájením samotné simulace je nutné uvnitř výpočetní domény vytvořit mřížku bodů. Hustota mřížky ovlivňuje kvalitu výstupů simulace, ale na druhou stranu hustá mřížka zvyšuje potřebný výpočetní čas. Hustotu mřížky lze nastavit v osmi stupních, přičemž je vhodné nastavit parametry *Minimum gap size* a *Minimum wall thickness*, což napomůže získání přesnějších dat pro generování mřížky.



Obrázek 28: Dialogové okno pro nastavení mřížky simulace

e) subdomény tekutin (*Fluid Subdomain*)

Prostory vytvořené konstrukcemi je nutné definovat jako *Fluid Subdomain*. V našem případě se jedná o měřicí i kompenzované prostory. Definice spočívá v určení tekutiny (pokud je rozdílná od předdefinované), její počáteční teploty a případně rychlosti proudění.

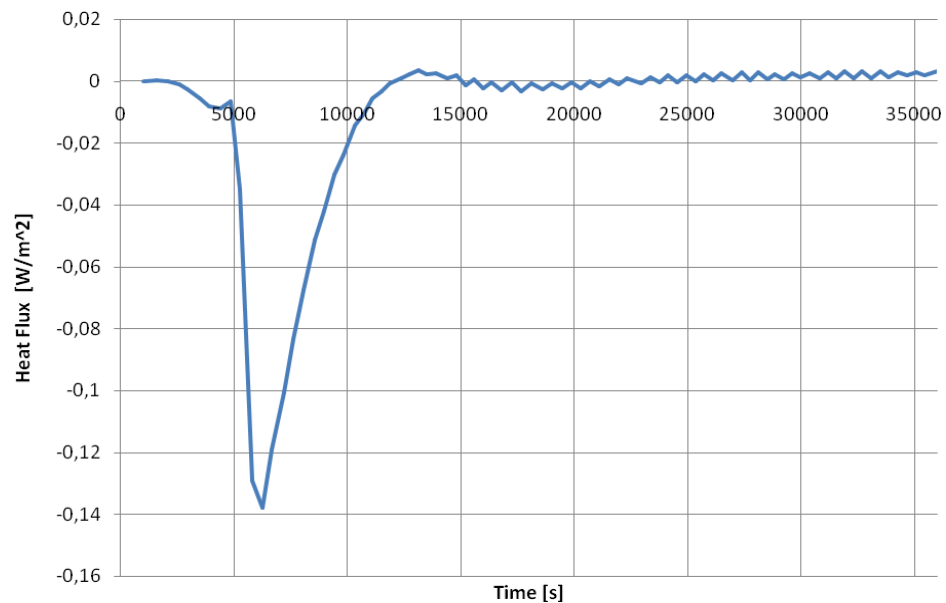
f) doba trvání simulace

Poslední parametrem, který je třeba nastavit je celková doba trvání simulace v reálném čase. Předpokladem bylo, že během 10 hodin již určitě musí dojít k tepelně technickému ustálení komory a proto byl zvolen tento čas. Data simulace budou ukládána v intervalu jedné minuty.

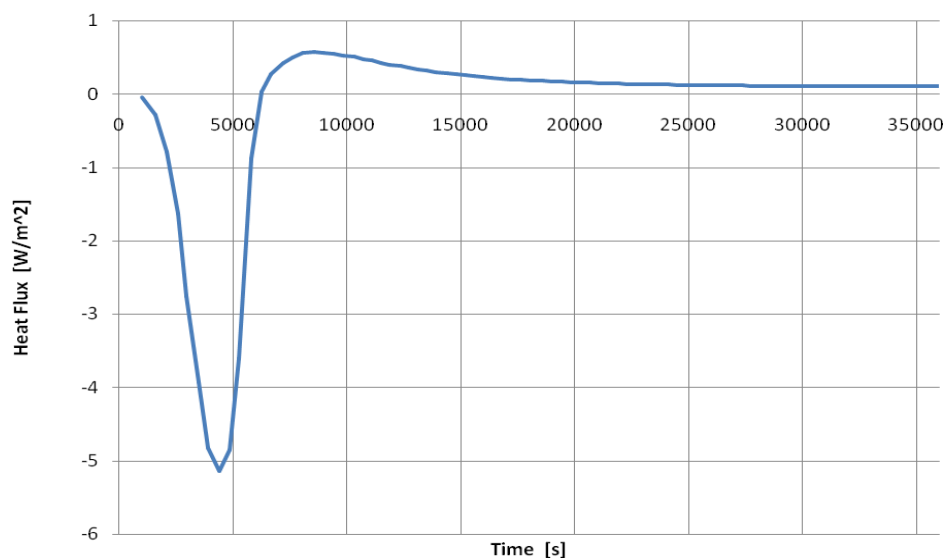
7.2.4 Výstupy

Během celé doby simulace nebylo dosaženo ustáleného stavu, tak jak je definován v normě ČSN EN 14511. Bylo to dáno skutečností, že v těsné blízkosti přepážky nedošlo k dosažení požadovaných teplot vzduchu. Na Obrázku 29 a Obrázku 30 je vidět, že ve vzdálenosti asi 0,5 m od stěny přepážky je teplota vzduchu mimo povolenou toleranci ± 1 K. Tento fakt vyplývá ze zjednodušení, které bylo v simulaci provedeno - to spočívá v řešení realizace rekondičních zařízení. Ohřev a chlazení vzduchu bylo vytvořeno tak, že se do prostoru umístil pomyslný kvádr, který sloužil jako zdroj tepla/chladu tím způsobem, že mu byla

Doba ustálení byla určena z časového průběhu tepelného toku v jednotlivých částech komory. Průměrná hodnota tepelného toku stěnou oddělující měřicí a kompenzační prostor na teplé straně je po ustálení rovna $0,003 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, což lze považovat na minimum. Na chladné straně se hodnota ustálila na $0,104 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, což je opět hodnota která výrazným způsobem neovlivní měření.



Obrázek 31: Průběh tepelného toku mezi měřicím a kompenzačním prostorem -
teplá strana



Obrázek 32: Průběh tepelného toku mezi měřicím a kompenzačním prostorem -
chladná strana

8 NÁVRH MONITOROVÁNÍ ZKUŠEBNÍHO PROCESU

8.1 Čidla a jejich parametry

Norma ČSN EN 14511 udává maximální dovolené nejistoty měření, které je při zkouškách tepelných čerpadel dodržet. Nejistota měření úzce souvisí s přesností měření, a proto byl při návrhu měřicí soustavy kladen důraz na přesnost jednotlivých snímačů a vyhodnocovacích jednotek.

Tabulka 15: Nejvyšší přípustné nejistoty měření [4]

Měřená veličina	Nejistota měření
Kapalina	
Teplotní rozdíl [K]	± 0,15 K
Teplota, vstup/výstup [K]	± 0,15 K
Objemový průtok [m ³ ·s ⁻¹]	± 1 %
Statická tlaková diference [kPa]	± 1 kPa ($\Delta p \leq 20$ kPa) ± 5% ($\Delta p > 20$ kPa)
Vzduch	
Teplota suchého teploměru [°C]	± 0,2 K
Teplota vlhkého teploměru [°C]	± 0,4 K
Objemový průtok [m ³ ·s ⁻¹]	± 5 %
Statická tlaková diference [Pa]	± 5 Pa ($\Delta p \leq 100$ Pa) ± 5% ($\Delta p > 100$ Pa)
Chladivo	
Tlak na výstupu kompresoru [kPa]	± 1 %
Teplota [°C]	± 0,5 K
Koncentrace teplonosné kapaliny [%]	± 2 %
Elektrické veličiny	
Výkon [W]	± 1 %
Napětí [V]	± 0,5 %
Proud [A]	± 0,5 %
Elektrická energie [kWh]	± 1 %
Otáčky kompresoru [l·min⁻¹]	± 0,5 %

Hodnoty tepelného a chladicího výkonu při použití kalorimetrické metody by měly být určeny s nejistotou maximálně 5% bez ohledu na nejistoty vzniklé při jednotlivých měřeních a s ohledem na nejistotu způsobenou vlastnostmi kapaliny. Při určení tepelného výkonu během odtávacího cyklu by nejistota neměla přesáhnout 10% [4].

Pro bezchybnou činnost zvolených měřících snímačů bez vnášení dalších nepřesností je nutné při instalaci snímače dbát na správné umístění vzhledem k dalším prvkům soustavy. Informace potřebné pro správnou instalaci jsou uvedeny v katalogových listech a je nutné se jimi řídit, aby bylo zajištěno měření s minimalizací chyb. Dalším aspektem je umístění senzoru vzhledem k prostoru. Při měření všech veličin je nutné navrhnout měřící body, ve kterých bude zajištěno získávání reprezentativních hodnot.

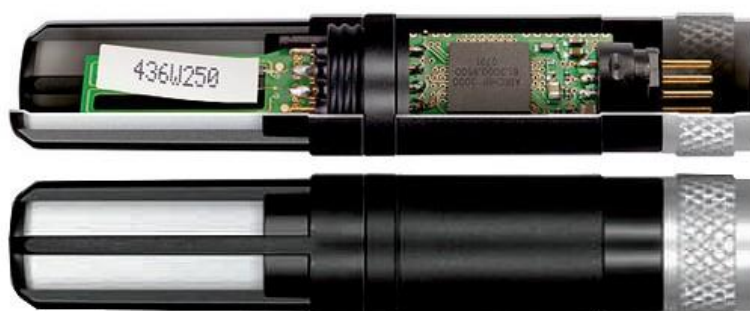
8.1.1 Teplota a vlhkost vzduchu

Zjišťování teploty a vlhkosti vzduchu ve zkoušeném prostředí bude probíhat současně za pomoci jediného zařízení, které bude schopno měřit teplotu vzduchu i teplotu vlhkého teploměru. Z těchto hodnot se následně automaticky určí relativní vlhkost vzduchu v daném prostoru. Průmyslové měřící sondy nedosahují požadované přesnosti měření jednotlivých veličin, aby bylo možné dodržet nejistoty měření stanovené v Tabulce 15, ale především nesplňují požadavky na provozní podmínky, především s ohledem na vlhkost. V průběhu zkoušky bude ve venkovním měřícím prostoru prostředí o teplotě pod bodem mrazu a 100% relativní vlhkost. Tyto podmínky kladou vysoké nároky na použitá měřící zařízení. Je tedy nutné zvolit exaktní a odolné přístroje.



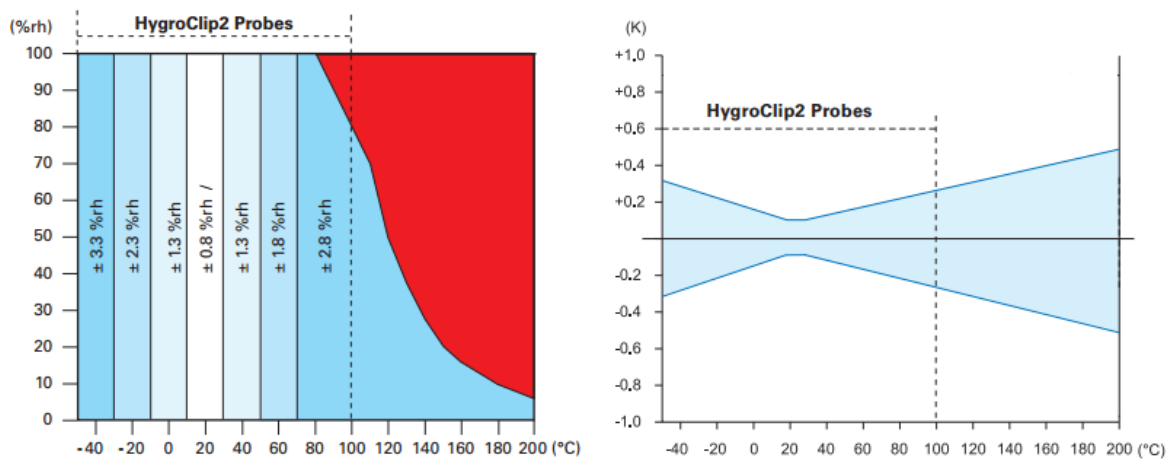
Obrázek 33: Měřící sonda a převodník pro měření teploty a vlhkosti [22]

Zařízením, které má dostatečný jak provozní, tak měřicí rozsah je například sonda HygroClip2 od společnosti Rotronic. Sonda obsahuje senzory pro měření teploty a vlhkosti Pt100 1/3 Class B resp. ROTRONIC Hygromer®. Jeho měřicí rozsah je od -100° do 200°C při relativní vlhkosti 0-100%, což naprosto pokrývá potřebu pro účely měření klimatu vzduchu. Standardní přesnost měření dle údajů výrobce je $\pm 0.8\% \text{ rh} / \pm 0.1 \text{ K}$ při 23 °C a 10, 35, 80 % relativní vlhkosti, je však možné dosáhnout přesnosti až $\pm 0.5\%$ relativní vlhkosti použitím přesnější metody kalibrace. Doba odezvy při měření vlhkosti je udávána 3-12 sekund, u teploty 4 sekundy.



Obrázek 34: Měřicí sonda HygroClip2 [22]

S výhodou se sonda HygroClip2 používá s převodníkem HF5. Tato sestava realizuje velice přesné měření, jehož výstupem je dvoukanálový unifikovaný signál ve tvaru 0-5 V, 0-10 V nebo 4-20mA, který je vhodný pro všechny monitorovací a řídicí systémy. Dle modelu lze nastavit, jakou veličinou bude reprezentovat druhý signál - rosný bod, teplotu vlhkého teploměru nebo entalpii, první kanál je vždy vyhrazen teplotě. Převodník, včetně elektronických obvodů, je schopen pracovat v teplotách od -50 °C do 100°C, a relativní vlhkosti 0-100%. Přesnost odpovídá použití se sondou HygroClip2. Převodník je volitelně dodáván s digitálním displejem, vždy však splňuje požadavky na krytí IP 65. V našem případě bude převodník instalován na zeď, pomocí lišty DIN, avšak je možné jej umístit například na potrubí. Převodník je dodáván včetně softwaru, který umožňuje snadnou konfiguraci zařízení pro danou aplikaci a s jeho pomocí je možné určit další psychometrické veličiny.



Obrázek 35: Přesnost měření vlhkosti a teploty sondy HygroCclip2 [23]

8.1.2 Teplota vody v potrubí

Měření teploty vody před a za kondenzátorem bude probíhat pomocí příložného snímače. Toto řešení bylo zvoleno především díky snadné instalaci na libovolný průměr potrubí bez nutnosti zásahu do soustavy. Příložná čidla dosahují dostatečné přesnosti a nevýhodu v podobě pomalejší odezvy eliminuje fakt, že nejsou určeny pro skokové změny teploty. Měřená veličina bude po většinu měřicí doby kolísat kolem konstantní hodnoty. Moderní měřicí snímače už do jisté míry eliminovaly teplotní rušení z okolního prostředí. Tento efekt je navíc kompenzován skutečností, že se měřicí prvky pro měření teploty na vstupu a výstupu z kondenzátoru budou nacházet ve stejném prostředí a skutečnost, že v podstatě měříme teplotní rozdíl. Chyba měření způsobená vlivem okolních teplot tak bude dostatečně kompenzována.



Obrázek 36: Příložný snímač teploty vody v potrubí [24]

Potřebné parametry splňuje model NS 740 od společnosti SENSIT. Snímač je tvořen plastovou hlavicí a kovovým měřicím pouzdrem, umístěným v ochranném pouzdře. Vlastní čidlo Pt1000 je díky konstrukci izolované od vlivu okolního prostředí. Pro lepší přenos tepla je doporučeno nanést na povrch trubky teplo vodivou pastu, která je součástí balení. Rychlost odezvy je i bez jejího použití dostačující pro účely měření teploty vstupní/výstupní vody a drží se pod 3 sekundami. Přesnost čidla odpovídá třídě $A \pm (0.15 + 0.002 T)$ při okolní teplotě v rozsahu -30°C až 80°C . Měřicí rozsah lze volit, pro naše poměry je ideální $0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$. Převodník je integrovaný přímo na měřené potrubí a tím je eliminován vliv teploty na měřicí vodiče. Výstupem je unifikovaný signál 0-10V. Snímač lze pomocí plastové pásky instalovat na potrubí o minimálním průměru 20mm.

8.1.3 Průtok

Pro výpočet tepelného/chladicího výkonu tepelného čerpadla je nezbytné do výstupního potrubí umístit vhodný a dostatečně přesný měřič průtoku. Dimenzování průměru potrubí a měřicího rozsahu se provádí v závislosti na hmotnostním průtoku topné vody, který lze získat dosažením do Rovnice (8). Průměr potrubí pro tepelná čerpadla o výkonech kolem 15 kW nejčastěji volíme DN 25 nebo DN 32. Tabulka 16 ukazuje návrhové parametry pro systémy s TČ, vypočítané parametry jsou zvýrazněny.

Tabulka 16: Typické parametry průtoku a rychlosti proudění v systému s TČ

Výkon [W]	Rozdíl teplot výstup/vstup [K]	Hmotnostní průtok [kg·s ⁻¹]	Průměr potrubí [mm]	Rychlost proudění [m·s ⁻¹]
3000	5	0,14	DN 25	0,30
3000	5	0,14	DN 32	0,18
5000	5	0,24	DN 25	0,50
5000	5	0,24	DN 32	0,30
12000	5	0,57	DN 25	1,19
12000	5	0,57	DN 32	0,73
16000	5	0,77	DN 25	1,59
16000	5	0,77	DN 32	0,97

Těmto parametrům vyhovuje například magnetický průtokoměr M-2000 od výrobce průtokoměrů Badger Meter. Dokáže měřit průtok kapaliny v potrubí, která proudí rychlostí $0,03-12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V závislosti na průměru potrubí to odpovídá množství od 1,2 litru za minutu. Zvolený průtokoměr dosahuje velmi vysoké přesnosti $\pm 0,004\%$ pro rychlosti

proudění menší než $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro rychlosti větší je přesnost $\pm 0,25\%$ z měřené hodnoty, což stále naprosto splňuje požadavky kladené normou. Přesnost měření navíc není ovlivňována vlastnostmi média, jako je teplota, tlak, viskozita, hustota nebo profil proudění. Svými provozními podmínkami - teplota v rozmezí -20°C až 60°C a relativní hustota až 90% naprosto zapadá do konceptu návrhu laboratoře. Přístroj je vytvořen z antikoročních materiálů a vzhledem k téměř nulové tlakové ztrátě nezatěžuje sekundární obvod tepelného čerpadla.



Obrázek 37: Průtokoměr Badger Meter M-2000 [25]

Vzhledem k principu činnosti magnetického snímače průtoku jsou součástí senzoru také elektronické obvody, které zajišťují vyhodnocení měření a na jejich výstupu je unifikovaný signál 4-20 mA vhodný pro přivedení k nadřazenému systému a vyhodnocení. Systém také dokáže rozpoznat a upozornit na různé poruchové stavy, například při nulovém průtoku. Součástí balení je také certifikát o provedené kalibraci.

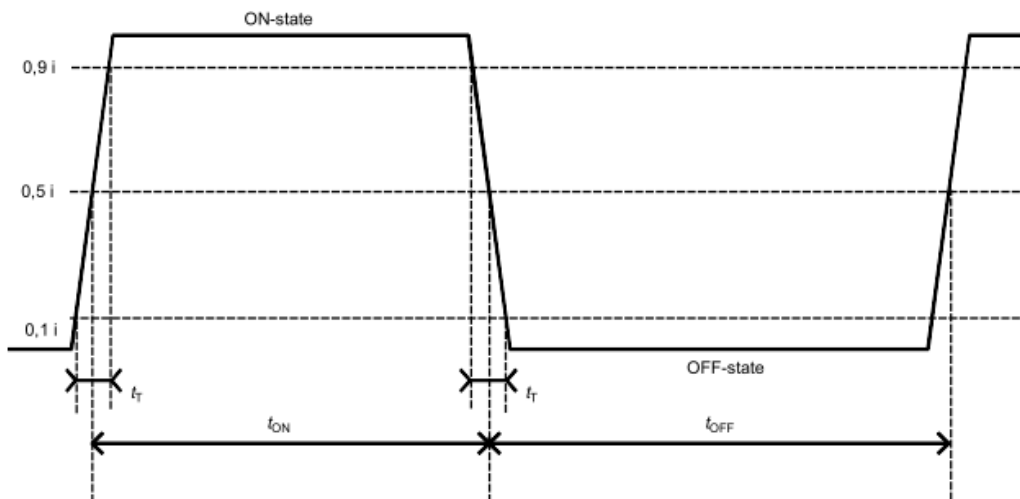
8.1.4 Elektrické veličiny

Měření spotřeby elektrické energie je možné realizovat buď měřením elektrického proudu, napětí a účinníku a následným výpočtem příkonu, nebo přímo, elektroměrem. Protože dostupné elektroměry jsou schopny poskytnout dostatečnou přesnost měření, jedná se o vhodnější variantu, vzhledem k nižší náročnosti měření.



Obrázek 38: Elektroměr Celsa WH6165 [26]

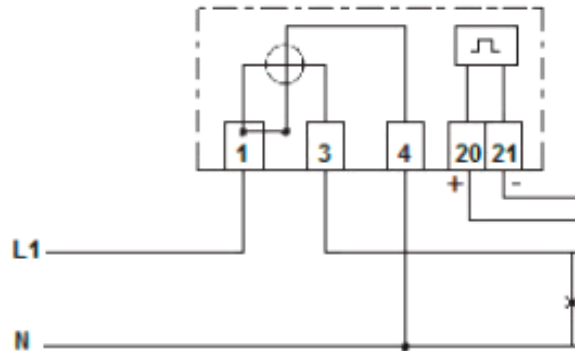
Zvolený model od firmy Celsa dokáže měřit zatížení na jedné fázi až do velikosti 65A, což odpovídá cca 15kW příkonu s přesností $\pm 1\%$. Toto číslo přibližně třikrát převyšuje potřebné hodnoty pro zkoušená tepelná čerpadla. Provedení elektroměru je pro usazení na DIN lištu, s LCD displejem v krytí IP 51. Mimo odečtení hodnoty z displeje je množství spotřebované energie zjistit pomocí pulzního výstupu definovaného standardem IEC 62053-21. Délka trvání logické úrovně 1 nebo 0 je definována na 30ms, délka náběžné a sestupné hrany musí být menší než 5ms. Výstup je definován na 1000 pulzů/kWh.



Obrázek 39: Tvar výstupního impulzu elektroměru [28]

Tento způsob bude vzhledem ke snadné automatizovatelnosti a vyšší spolehlivosti a přesnosti měření využit pro naše účely. Elektroměr bude připojen na čítač impulzů s USB rozhraním napojeným na počítač. Dle stejného mezinárodního standardu zmíněného výše

lze zařízení zařadit do třídy přesnosti 1. Provozní teplota zařízení je -25°C až 60°C při relativní vlhkosti 75%.



Obrázek 40: Schéma zapojení elektroměru [26]

8.1.5 Rychlost proudění vzduchu

Rychlost vzduchu bude měřena na výstcích z rekondičních jednotek do měřených prostorů kalorimetrické komory. Instalací anemometrů bude zajištěna kontrola dodržení podmínky o maximální přípustné rychlosti vzduchu z výstupního otvoru dané normou ČSN EN 14511.

Vhodným měřicím prvkem je snímač a elektronický převodník rychlosti vzduchu AVS-200 od výrobce měřicí techniky Kele. Snímač se běžně používá v klimatizačních a průmyslových aplikacích, svými parametry se však hodí také pro laboratorní měření. Měřicí rozsah lze přepínat a lze měřit proudící vzduch o rychlosti až $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ s přesností $\pm 5\%$, která je jen velmi málo ($0,1\%/^{\circ}\text{C}$) ovlivněna teplotou proudícího vzduchu. Měřicí senzor dokáže pracovat při teplotách -20 až 60°C , elektronický převodník je pak proveden v krytí IP 44 a provozní teplota je od 0 do 50°C . Sonda je s převodníkem spojena $1,4\text{m}$ dlouhým kabelem. Samozřejmě je pak unifikovaný výstupní signál v proudové nebo napěťové podobě.



Obrázek 41: Snímač a převodník AVS-200 pro měření rychlosti vzduchu [27]

8.2 Monitorovací systém

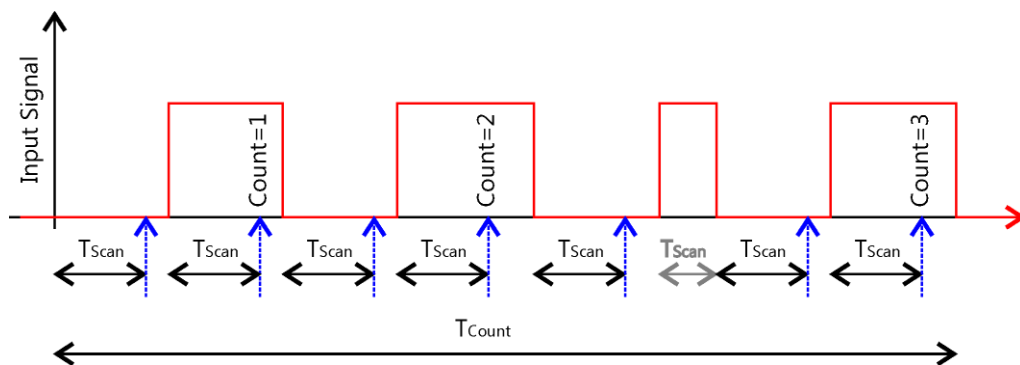
Monitorovací systém je navrhován s ohledem na tvar vstupního signálu z měřících senzorů a použitý nadřazený systém. Ve zkoumaném případě je výstupem měřících čidel unifikovaný signál 0-10V a nadřazeným systémem počítač. Sběr dat od měřících členů tak bude probíhat pomocí analogově digitálních převodníků komunikujících pomocí USB rozhraní. Základními požadavky na systém A/D převodníků jsou především přesnost a citlivost. Vhodným řešením je použití prvků od německého výrobce LucidControl, který má v portfoliu několik převodníků, které dodává včetně pomocného softwaru, který disponuje širokou škálou nastavení vstupů i výstupů.

Každý modul obsahuje čtyři 14bitové analogově-digitální převodníky, které umí pracovat se signály 0-5V, 0-10V a 0-24V s přesností 0,25% z maximálního rozsahu. Provedení vstupní svorkovnice, možnost uchycení na DIN lištu a jednoduché počáteční nastavení je předurčují pro rychlou a jednoduchou instalaci. Na výstupu je rozhraní USB standardu 2.0. Port slouží jak pro přenos dat, tak pro napájení celého zařízení. Samozřejmostí je kompatibilita s nejpoužívanějšími operačními systémy, která je rozšířena také o operační systémy rozšířené v automatizaci a průmyslu Beagle Bone a Raspberry Pi.



Obrázek 42: Čtyřkanálový A/D převodník LucidControl [29]

Výstupem zvoleného elektroměru je pulz o šířce 30 ms za každý Watt energie do tepelného čerpadla. Vyhodnocení tohoto signálu bude probíhat pomocí jiného modulu a to čtyřkanálového digitálního vstupu. Tento modul disponuje stejnými vlastnostmi, přesností i konstrukcí, na vstupu však zpracovává digitální signál. V našem případě bude nastaven jako vysokofrekvenční čítač, lze jej však použít také pro detekování náběžné nebo sestupné hrany signálu, nebo jako galvanické oddělení. Princip čítání pulzů je uveden na Obrázku 43, ze kterého vyplývá, že je velmi důležité nastavení hodnot T_{Scan} a T_{Count} . Použité zařízení dovoluje nastavit hodnotu vzorkovací periody v intervalu $80 \mu s \leq T_{Scan} \leq 1 s$. Do proměnné vyhrazené pro ukládání počtu pulzů lze uložit až osmibitové číslo, což je pro naše účely dostatečné. Maximální doba T_{Count} je však definována na 1 hodinu, což je pro naše účely limitující. Tento nedostatek je nutné řešit v nadřazeném systému správnou interpretací naměřených hodnot a způsobem jejich vyhodnocení.



Obrázek 43: Princip vyhodnocení pulzů [29]

Úkolem nadřazeného systému je správná interpretace, záznam a zpracování naměřených dat. Výstupem je protokol o měření, který musí obsahovat ucelené informace. Dalším úkolem softwarového vybavení je na základě monitorování umožnit operátorovi řízení celého průběhu zkoušky. Při návrhu ovládacího a monitorovacího softwaru je nutné definovat funkčnost, kterou by měl splňovat s ohledem na konkrétní aplikaci.

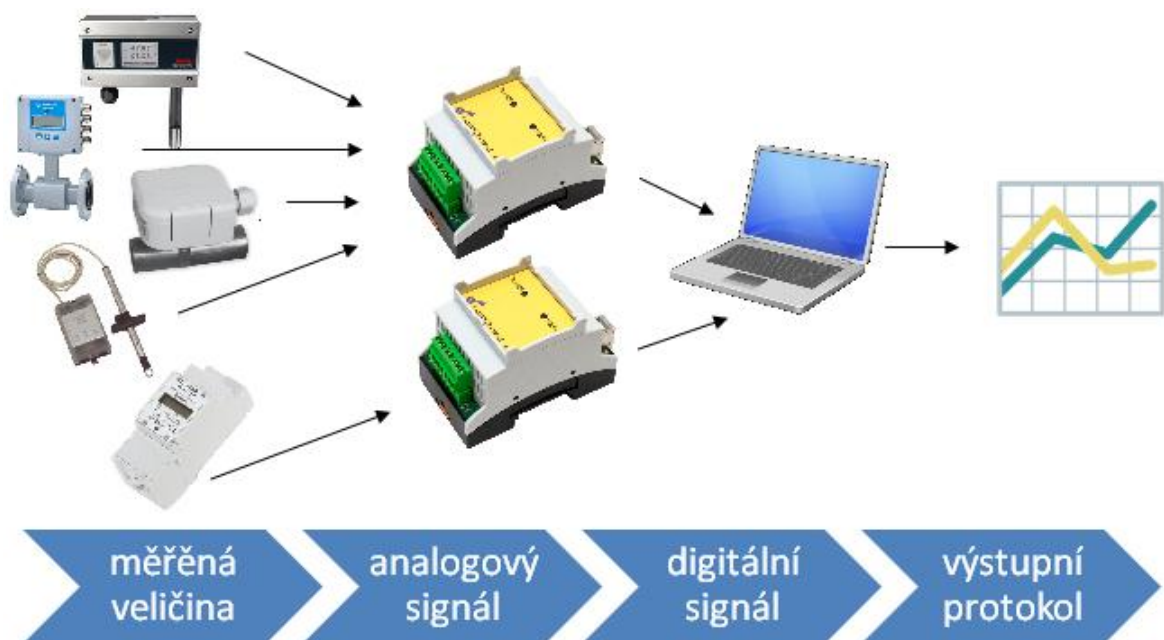
Uživatel by měl mít možnost sledovat všechny měřené veličiny v reálném čase a ve vhodném měřítku. Ovládací prostředí by mělo být uživatelsky příjemné a přehledné, aby bylo možné vždy rychle najít požadovanou informaci. Mezi možnostmi by mělo být zobrazení vybraných parametrů do jednoho grafu, provádění aritmetických operací, výpočet matematických operací podle zadaných vzorců, nebo možnost seřadit jednotlivé záznamy podle různých atributů. Doplnkovou funkcí může být například plánovač a historie provedených měření.

9 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Po provedeném měření je nutné správně interpretovat a prezentovat výsledky zkoušky. To zahrnuje získání naměřených dat, určení nejistot měření a zpracování protokolu o provedené zkoušce.

9.1 Získání naměřených dat

Získávání dat probíhá na několika úrovních. Od základní informace o velikosti měřené veličiny se pomocí převodníku konkrétního čidla tato informace převede na analogový signál, který je pomocí A/D převodníku digitalizován a za pomoci firmwaru příslušného ADC je reprezentován jako vstupní hodnota pro nadřazený software, který data v reálném čase zobrazuje.



Obrázek 44: Schéma měřicího řetězce

Současně se zobrazováním dat musí probíhat také jejich ukládání pro pozdější vyhodnocení. Ukládání probíhá v předem nastaveném intervalu, který je specifický pro typ zkoušky. Formát, ve kterém budou data ukládána, musí zohlednit způsob následného zpracování.

9.2 Postup vyhodnocení včetně nejistot

Veškeré výsledky měření by se měly uvádět včetně nejistoty měření, se kterou byly získány. Údaje pro obecný výpočet nejistoty měření v našem případě získáme z uvedené přesnosti daného měřicího přístroje.

Při teoretickém výpočtu nejvyšší možné standardní nejistoty typu A budeme předpokládat nejhorší možnou výchozí situaci, tj. že výběrový průměr hodnot $\bar{y}=0$. To znamená, že polovina změřených hodnot y_i je získána s nejvyšší kladnou chybou (y_{i+max}) a polovina se zápornou (y_{i-max}). Počet měření byl zvolen $n=70$. Číslo vychází z faktu, že nejkratší dobu, 35 minut, trvá zkoušení chladicího výkonu a perioda odečtu dat je minimálně 30sekund. Upravením Rovnice (17) a dosazením přesnosti $\pm 0,1$ K pro měření teploty vzduchu získáme:

$$u_{Amax} = \sqrt{\frac{\frac{n}{2}(y_{i+max} - \bar{y})^2 + \frac{n}{2}(y_{i-max} - \bar{y})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\frac{70}{2}(0,1-0)^2 + \frac{70}{2}(-0,1-0)^2}{70(70-1)}} = 0,01K$$

Obdobně byl výpočet proveden pro všechny řádky následující tabulky, ve které jsou pro porovnání uvedeny také horní hranice pro jednotlivá měření tak, jak je určuje norma. Je z ní patrné, že vypočtené hodnoty jsou řádově 10x nižší než stanovené. V celkovém hodnocení však dále přibude standardní nejistota typu B, jejíž hodnotu nelze vyčíslit dopředu, avšak je nutné ji brát v potaz.

Tabulka 17: Vypočítané maximální hodnoty standardní nejistoty typu A

Měřená veličina	Přesnost měřicího přístroje	Vypočtená maximální u_{Amax}	Maximální přípustná nejistota dle [3]
Teplota vzduchu	$\pm 0,1$ K	0,01 K	0,2 K
Teplota vody	$(\pm 0,15 + 0,002T)$ K	0,02 K	0,15 K
Průtok vody	$\pm 0,25$ %	0,03 %	1 %
Výkon	± 1 %	0,12 %	1 %

9.3 Protokol o zkoušce

Protokol o měření musí obsahovat alespoň základní informace o zkoušeném zařízení a podmínkách zkoušky [4]:

- datum zkoušky
- zkušební ústav
- místo zkoušky
- použitá testovací metoda
- jméno technika
- označení testovaného objektu - typ, sériové číslo, výrobce
- typ chladiva
- množství chladiva
- odkaz na normativní dokument

ČSN EN 145 11 dále definuje dodatečné informace, které by měly být ve výstupní zprávě uvedeny, například zda se jedná o nové či používané zařízení. Pokud se jedná o již používanou jednotku, neměl by chybět záznam o roce uvedení do provozu a veškerých servisních prohlídkách a zákrocích, které byly na zařízení provedeny. Dalším dodatečným údajem může být informace o použitých měřících zařízeních, jejich přesnosti, datum poslední kalibrace atd.

Výsledky měření jsou nejčastěji prezentovány pomocí tabulky, ve které jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty. Mimo samotných výsledků měření by měly být uvedeny specifické podmínky hodnocení, celková doba zkoušky, nastavení regulace tepelného čerpadla a samozřejmě vypočítané hodnoty tepelného/chladicího výkonu a topného/chladicího faktoru. Nejdůležitější informace bývají pro lepší prezentaci uvedeny také v grafické podobě.

číslo zkoušky		1	2	3
specifikace podmínky hodnocení *		A7/W35	A2/W35	A2/W35
datum zkoušky		10.10.2013	10.10.2013	10.10.2013
tepelné čerpadlo odtávalo ano/ ne		NE	ANO	ANO
Průměrná doba odtávání jednoho cyklu	(min)	0	5.0	5.1
průměrná doba celého cyklu	(min)	0	55.9	74.3
výpočtová doba zkoušky	(min)	70.0	167.8	148.6
teplota topné vody výstupní výpočtová	(°C)	35.00	34.07	34.33
teplota topné vody vstupní výpočtová	(°C)	30.02	30.58	31.34
teplota topné vody výstupní	(°C)	35.00	34.97	34.99
teplota topné vody vstupní	(°C)	30.02	30.84	31.56
teplota vzduchu suchý teploměr	(°C)	7.00	2.03	2.01
teplota vzduchu mokřý teploměr	(°C)	6.04	0.93	0.91
relativní vlhkost	(%)	88.01	84.00	84.00
barometrický tlak	(kPa)	97.651	97.549	97.593
teplota okolí	(°C)	21.36	20.69	20.16
tlak. rozdíl sekun. okruhu	(kPa)	34.561	34.904	34.885
účinnost čerpadla	(-)	0.180	0.181	0.181
objemový průtok topné vody	(m ³ .h ⁻¹)	1.8503	1.8533	1.8526
hustota topné vody	(kg.m ⁻³)	995.5	995.3	995.1
stř. měrné teplo topné vody	(kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	4.175	4.175	4.175
napětí	(V)	225.92	225.46	225.96
celkový proud	(A)	12.01	10.84	8.88
celkový el. příkon	(kW)	2.677	2.402	1.964
částečný příkon kap. čerpadla sek. okruhu	(W)	98.60	99.37	99.31
tepelný výkon – topná voda	(kW)	10.622	7.467	6.407
tepelný výkon korigovaný – topná voda	(kW)	10.523	7.367	6.308
elektrický efektivní příkon	(kW)	2.579	2.302	1.864
topný faktor	(-)	4.081	3.200	3.384
Nastavení regulace	%	80%	80%	60%

^(*) Komentář ke zkrácenému označení: A7/W35 ↓

A (vzduch), 7 (vstupní teplota zdrojového vzduchu ve °C) / W (voda), 35 (výstupní teplota topné vody ve °C)

Obrázek 45: Příklad zobrazení výsledků zkoušky do tabulky



Obrázek 46: Příklad grafického znázornění naměřených výsledků - tepelný výkon a příkon

ZÁVĚR

Obecně jsou zkoušky parametrů tepelných čerpadel důležitý prvkem, který může mít v konečném důsledku pozitivní vliv na kvalitu výrobku. Podmínkou však je dodržení normativních předpisů, které zkoušky sjednotí a zajistí porovnatelnost výsledků, na jejichž základě lze rozhodnout o kvalitě daného tepelného čerpadla a případně udělit certifikát kvality. Nejrozšířenější evropskou institucí, která zastřešuje testování tepelných čerpadel je European Heat Pump Association, která uděluje certifikát kvality QLabel. Výkonové parametry produktu s tímto označením lze považovat za kvalitní a stejně tak garantuje další klíčové požadavky, jako je existence dokumentace v českém jazyce nebo stálá servisní síť, které při koupi tepelného čerpadla koncového zákazníka zajímají nejvíc.

Trendem poslední doby je postupný nástup tepelných čerpadel vzduch/voda. Je to dáno především kvalitními kompresory, které v dnešní době existují a faktem, že průměrná teplota vzduchu na našem území v topném období se pohybuje nad bodem mrazu. Nejčastěji tak dochází k ověřování právě tepelných čerpadel, kde je zdrojem nízkopotenciální energie vzduch.

Předmětná kalorimetrická komora byla navržena pro měření zařízení s výkonem do 12kW. Limitujícím faktorem je v tomto ohledu především velikost jednotlivých měřících prostorů. V komoře o stávajících rozměrech je samozřejmě možné realizovat také měření zařízení o vyšších výkonech. Je však nutné dodržet další podmínky a pro účely zkoušky omezit maximální výkon tepelného čerpadla předem definovaným koeficientem. Je možné provést několik měření na stejném tepelném čerpadle s různými koeficienty a sledovat výkonové parametry. Na základě naměřených hodnot potom lze učinit kvalifikovaný odhad výkonnostních parametrů při plném výkonu čerpadla. Takto získané výsledky však nelze brát jako závazné a na jejich základě nelze rozhodovat o případném udělení certifikátu kvality.

Při výběru měřících přístrojů bylo nutné klást důraz především na jejich přesnost s ohledem na dodržení maximální přípustné nejistoty měření stanovené normou ČSN EN 14511, dle které byly navrženy také zkušební postupy. Nejistotami měření se zabývá celá řada normativních dokumentů a každá akreditovaná laboratoř musí nejistoty minimalizovat. Vypočítaná maximální standardní nejistota u_A je dostatečně nízká, ale je nutné brát v potaz, že tato hodnota ještě není konečná. Vzhledem k vysoké přesnosti použitých měřidel by

však kombinovaná standardní nejistota u_C neměla překročit limity stanovené zmiňovanou normou. Důležitá je však také kvalita samotné zkoušky a proto vznikla celá řada normativních přepisů, které stanovují striktní podmínky, postupy, použití měřících přístrojů a vyhodnocení dat, dle kterých zkouška musí proběhnout, aby bylo možné její výsledky považovat za technicky platné.

Navrhnutý monitorovací systém splňuje požadavky na přesnost, dostatečnou rychlost vyhodnocení a také se jedná o ekonomičtější řešení, než například použitím řešení s programovatelným automatem. Definované požadavky na monitorovací software splňuje většina k tomu určených programů, některé dokonce v licenci freeware. Avšak pro přesné měření bych doporučoval profesionální software, který dokáže pružně reagovat na specifické požadavky zákazníka.

Provedená simulace měla za cíl určit dobu potřebnou pro ustálení tepelně technických vlastností komory před započítáním zkoušky. Konečný stav simulace plně neodpovídá ustálenému stavu dle ČSN EN 14511, získané hodnoty tak nezle brát jako zcela přesné. Dávají však představu o délce ustalovacího procesu a mohou sloužit jako výchozí hodnoty pro zkušební měření.

CONCLUSION

Generally, the testing of heat pump performance parameters is important factor that can ultimately have a positive impact on product quality. Condition, that must be remained, is compliance with normative regulations, which ensure comparability of results. Those results are fundamental when deciding of granting heat pump with quality certificate. The most common European institution, which covers the testing of heat pumps, is European Heat Pump Association with the QLabel quality certificate. Performance parameters of product with this label can be considered as high-quality as well as it guarantees other key requirements, such as the user manual in Czech language or existing service network, that are most important for customer.

The most recent trend is the gradual onset of air/water heat pumps. It is primarily due to quality compressors, that are nowadays available and the fact that average air temperature in heating season is above freezing point. So, the most common is testing of heat pumps with the air as source of low-potential energy.

The specific calorimetric chamber is designed for measuring devices up to 12kW of power. The limiting factor, in this case, is the size of each measuring areas. In chamber of existing dimensions is of course possible to carry out measurements on devices with higher performance. It is necessary to apply all other conditions and limit the maximum performance of the tested heat pump for testing purposes by predetermined coefficient. It is possible to perform multiple measurements on the same heat pump with different coefficients and monitor performance parameters. Educated guess of full power performance can be made based on measured values. However results for full power obtained this way cannot be taken as mandatory for granting quality certificates.

When selecting measuring devices was necessary to insistence mainly on measuring accuracy regard to compliance with the maximum allowed uncertainty of measurement defined in EN 14511, according to which were designed also the test procedures. Measurement uncertainty is mentioned in many normative documents and every accredited laboratory must minimize uncertainty by following them. Calculated maximum standard uncertainty u_A is low enough, but it is important to have in mind, that this value is not final. However, due to high accuracy of used measuring instruments, the combined standard uncertainty u_C should not exceed the limits laid down by the mentioned standard. Very

important is also the quality of the test itself and, therefore, was created a number of normative guidelines that set strict conditions, procedures measuring instruments and data analysis. To consider results as technically valid, the test must be run according to these standards.

Suggested monitoring system meets the requirements for accuracy, sufficient evaluation speed and is more economical solution than, for example using programmable logic controller. Defined requirements for the monitoring software meet most of designated programs, many of them even in freeware license. However, for accurate measurements I would suggest professional software that can flexibly respond to specific customer requirements.

The simulation was designed to determine the time required for stabilization of thermal conditions before starting the test. The final state of simulation does not fully reflect the steady state according to EN 14511, so the taken values are not exact. It gives an image of the length of the stabilization process and can serve as a baseline for test measurements.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *International Ground Source Heat Pump Association* [online]. 2013 [cit. 2014-03-06]. Dostupné z: <http://www.igshpa.okstate.edu/>
- [2] ČSN EN 14511-1. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru: Termíny a definice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [3] ČSN EN 14511-2. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru: Zkušební podmínky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [4] ČSN EN 14511-3. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru: Zkušební metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [5] ČSN EN 14511-4. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [6] DVOŘÁK, Zdeněk, Luděk KLAZAR a Jiří PETRÁK. *Tepelná čerpadla*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987, 339 s.
- [7] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie: učební texty*. ČVUT, 2010.
- [8] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: návratnost i za jeden rok*. 1. vyd. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. ISBN 80-239-0275-X.
- [9] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2014 [cit. 2014-03-06]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>
- [10] *Clean energy project analysis RETScreen engineering*. Varennes, Quebec: Minister of Natural Resources Canada, 2001. ISBN 06-623-9150-0.

- [11] STEIBEL ELTRON. *Tepelná čerpadla: Projektování a instalace*. 2002, 85 s. Dostupné z: http://www.ekosal.sk/download/Tepelna_cerpadla2002_6.pdf
- [12] *British Geological Survey* [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.bgs.ac.uk/home.html>
- [13] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, s. 66-97. ISBN 80-010-2802-X.
- [14] ROBUR. *Plynová absorpční tepelná čerpadla*. 2013, 23 s. Dostupné z: http://www.robur.cz/download/20646_ROBUR_cerpadla.pdf
- [15] Pozor na parametry a konstrukci tepelného čerpadla. *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10899-pozor-na-parametry-a-konstrukci-tepelneho-cerpadla>
- [16] MAYKOT, Reinaldo, Gustavo C. WEBER a Ricard A. MACIEL. Using the TEWI Methodology to Evaluate Alternative Refrigeration Technologies. In: *International Refrigeration and Air Conditioning Conference* [online]. 2004 [cit. 2014-03-18]. Dostupné z: <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/709/>
- [17] KAMINSKÝ, Jaroslav, Kamil KOLARČÍK a Oto PUMPRLA. *Kompresory*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004, 122 s. ISBN 80-248-0704-1.
- [18] The Scroll compressor. *Air Compressor Guide* [online]. 2013 [cit. 2014-03-21]. Dostupné z: <http://www.air-compressor-guide.com/scroll-compressor.html>
- [19] CAREL S.R.O. *Expanze chladiva v klimatizaci a chlazení* [online]. 2005 [cit. 21.3.2014]. Dostupné z: <http://www.carel-cz.cz/dokumentace/chlazení/ventily/CZ402200000.pdf>
- [20] Výměníky tepla. *CIAT* [online]. 2014 [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://www.vymeniky-ciat.cz/vymeniky>
- [21] ZÁLEŠÁK, Martin. *Návrh laboratoře techniky prostředí*. Zlín, 2014.
- [22] Humidity, Temperature and CO2 Measurement. *Rotronic* [online]. 2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: http://www.rotronic.ch/hygroflex5-hf5.html?__store=english_ch

- [23] ROTRONIC. *HygroClip2: Technical Information*. 2014. Dostupné z: http://www.lesmaninst.com/unleashd/catalog/analytical/Rotronic-HygroClip2/Rotronic-HygroClip2_bro.pdf
- [24] PŘÍLOŽNÉ SNÍMAČE TEPLoty S PLASTOVOU HLAVICÍ. *Sensit, s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.sensit.cz/shop/prilozne-snimace-teploty-s-plastovou-hlavici/11/da931120.html>
- [25] Electronic Flow Meters. *Badger Meter* [online]. 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.badgermeter.com/Flow-Instrumentation/Electronic-Flow-Meters/ModMAG/M2000.htm#>
- [26] LCD counter 1-phase. *Celsa* [online]. 2011 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.celsagermany.com/products/detail/wh6165-1.html>
- [27] Air Velocity Transmitter. *Kele* [online]. 2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.kele.com/flow/avs-200.aspx>
- [28] IEC 62053-31. *Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements: Pulse output devices for electromechanical and electronic meters (two wires only)*. First Edition. Geneva: IEC Central Office, 1998.
- [29] *LucidControl* [online]. 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.lucid-control.com/>
- [30] HLAVÁČ, Vladimír. Nejistoty měření. In: *Technická měření* [online]. ČVUT, 2013 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/tem/nejistoty/nejistoty1.pdf>
- [31] ČSN EN ISO/IEC 17025. *Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
- [32] ČSN EN ISO 10012. *Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2003.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CFC	Chlorine-Fluorine-Cargon, druh chladiva
COP	Topný faktor (Coefficient of performance)
c_p	Měrná tepelná kapacita, [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
EER	Chladicí faktor (Energy Efficiency Ratio)
EEV	Elektronický expanzní ventil
EEV	Elektronický expanzní ventil (Electronic Expansion Valve)
GWP	Potenciál celkového oteplení země (Global Warming Potential)
HC	Hydrogen-Cargon, druh chladiva
HCFC	Hydrogen-Chlorine-Fluorine-Cargon, druh chladiva
HFC	Hydrogen-Fluorine-Cargon, druh chladiva
MOP	Maximální pracovní tlak (Maximum Operating Pressure)
ODP	Potenciál rozkladu ozonu (Ozone Depletion Potential)
PLC	Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
RH	Relativní vlhkost (Relative Humidity)
SPF	Sezonní topný faktor (Seasonal Performance factor)
TČ	Tepelné čerpadlo
TEV	Termostatický expanzní ventil
TEV	Termostatický expanzní ventil (Thermostatic Expansion Valve)
TEWI	Celkový ekvivalentní oteplovací účinek (Total Equivalent Warming Impact)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: p-h diagram ideálního Rankinova cyklu	14
Obrázek 2: Schéma a p-h diagram tepelného čerpadla [7]	16
Obrázek 3: Dlouhodobý normál teploty vzduchu za roky 1961-2013 na území České republiky [9]	18
Obrázek 4: Systém studen pro čerpání vody [12]	19
Obrázek 5: Uzavřený primární okruh TČ pro povrchové vodní zdroje [12]	20
Obrázek 6: Způsoby uložení hadic zemního kolektoru	21
Obrázek 7: Hlubinné vrty pro získávání tepla [12].....	23
Obrázek 8: Tepelné čerpadlo vzduch/voda v kompaktním provedení [8].....	24
Obrázek 9: Tepelné čerpadlo vzduch/voda ve split provedení [8]	25
Obrázek 10: Scroll kompresor [18]	27
Obrázek 11: Principiální schéma termostatického expanzního ventilu [8]	28
Obrázek 12: Lamelový tepelný výměník [20].....	29
Obrázek 13: Deskový tepelný výměník [20]	29
Obrázek 14: Nejpoužívanější chladiwa tepelných čerpadel	32
Obrázek 15: Závislost tlaku a teploty sytých par nejpoužívanějších chladiv	33
Obrázek 16: Závislost úspory energií na topném faktoru tepelného čerpadla	35
Obrázek 17: Schéma kalibrované kalorimetrické komory [4]	39
Obrázek 18: Schéma kompenzační kalorimetrické komory [4].....	39
Obrázek 19: Půdorys kalorimetrické komory	49
Obrázek 20: Nárys kalorimetrické komory.....	50
Obrázek 21: Složení konstrukce stěny kalorimetrické komory [21].....	50
Obrázek 22: Funkční schéma rekondiční jednotky [21]	52
Obrázek 23: Postup zkoušky tepelného čerpadla [4]	59
Obrázek 24: Zkouška provedená v ustáleném stavu [4]	60
Obrázek 25: Příklad zkoušky provedené v nestacionárním stavu [4].....	60
Obrázek 26: Vytvořený model kalorimetrické komory	64
Obrázek 27: Model komory se zvýrazněnou výpočetní doménou	65
Obrázek 28: Dialogové okno pro nastavení mřížky simulace	66
Obrázek 29: Teplá strana komory na konci simulace	67
Obrázek 30: Chladná strana komory na konci simulace.....	67

Obrázek 31: Průběh tepelného toku mezi měřícím a kompenzačním prostorem - teplá strana	68
Obrázek 32: Průběh tepelného toku mezi měřícím a kompenzačním prostorem - chladná strana	68
Obrázek 33: Měřicí sonda a převodník pro měření teploty a vlhkosti [22]	70
Obrázek 34: Měřicí sonda HygroClip2 [22]	71
Obrázek 35: Přesnost měření vlhkosti a teploty sondy HygroCclip2 [23]	72
Obrázek 36: Příložný snímač teploty vody v potrubí [24]	72
Obrázek 37: Průtokoměr Badger Meter M-2000 [25]	74
Obrázek 38: Elektroměr Celsa WH6165 [26]	75
Obrázek 39: Tvar výstupního impulzu elektroměru [28]	75
Obrázek 40: Schéma zapojení elektroměru [26]	76
Obrázek 41: Snímač a převodník AVS-200 pro měření rychlosti vzduchu [27]	77
Obrázek 42: Čtyřkanálový A/D převodník LucidControl [29]	78
Obrázek 43: Princip vyhodnocení pulzů [29]	78
Obrázek 44: Schéma měřícího řetězce	80
Obrázek 45: Příklad zobrazení výsledků zkoušky do tabulky	83
Obrázek 46: Příklad grafického znázornění naměřených výsledků - tepelný výkon a příkon	83

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Tabulka měrného výkonu jímání tepla pro plošné kolektory [11].....	21
Tabulka 2: Tabulka měrného výkonu jímání tepla pro hlubinné vrty [11].....	22
Tabulka 3: Základní vlastnosti nejpoužívanějších chladiv	33
Tabulka 4: Hodnoty korekčního koeficientu pro různé počty opakovaných měření [30]	44
Tabulka 5: Tepelně technické parametry konstrukcí kalorimetrické komory [21].....	51
Tabulka 6: Výsledky výpočtu vzduchových výkonů kompenzačních jednotek [21].....	51
Tabulka 7: Konečné návrhové parametry kompenzačních a rekondičních jednotek [21]	53
Tabulka 8: Standardní a provozní podmínky hodnocení pro TČ vzduch/vzduch, režim vytápění [3].....	54
Tabulka 9: Standardní a provozní podmínky hodnocení pro TČ vzduch/vzduch, režim chlazení [3].....	55
Tabulka 10: Standardní a provozní podmínky hodnocení pro TČ vzduch/voda, režim vytápění (střední teplota) [3]	55
Tabulka 11: Standardní a provozní podmínky hodnocení pro TČ vzduch/voda, režim chlazení [3].....	56
Tabulka 12: Přípustné odchylky od žádané hodnoty [4].....	56
Tabulka 13: Přípustné odchylky od žádané hodnoty pro nestacionární test [4].....	61
Tabulka 14: Minimální rozměry kalorimetrické komory v závislosti na výkonu zařízení [4].....	62
Tabulka 15: Nejvyšší přípustné nejistoty měření [4]	69
Tabulka 16: Typické parametry průtoku a rychlosti proudění v systému s TČ	73
Tabulka 17: Vypočítané maximální hodnoty standardní nejistoty typu A.....	81

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Technické listy přístrojového vybavení komory

Příloha P II: Model kalorimetrické komory

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÉ LISTY PŘÍSTROJOVÉHO VYBAVENÍ KOMORY

Sonda měření teploty a vlhkosti

HYGROCLIP2

TECHNICAL INFORMATION.

Factory Adjustment.

Three different adjustment profiles are available from the factory; this means that measurement accuracy can be matched to the application need. The custom adjustment profile consists of 20 Humidity values at 3 Temperatures to ensure optimum performance over a required working range. Calibration data is stored within the probe and can be retrieved later for audit purposes.

Probe Output Signal.

When connected to a PC the HygroClip2 probes can be rescaled with different ranges to suit the application need. It is also possible to assign the internally calculated dew or frost point value to one of these outputs; thus converting the HygroClip2 into a dew point probe.

Sensor Diagnostics.

The intelligence of AirChip3000 technology enables advanced sensor diagnostics. Should the RH sensor deviate from factory defined parameters (for example because of chemical contamination) measurement values can be automatically compensated and a digital alarm triggered. The HygroClip2 probe can also be programmed to generate an alarm in the form of pre-defined analog output signals in the event of a problem with either the RH or temperature sensor. The user has full control over these features using ROTRONIC HW4 software.

Data Logging and Alarm Generation.

Up to 2,000 measurement values can be stored in the HygroClip2 probe; the user is able to configure the measurement interval, set alarm limits, scale the output signal and download data using optional ROTRONIC HW4 software. The HygroClip2 probe can be programmed with set limits to generate an alarm which is available when the probe is communicating with a PC or compatible ROTRONIC device. Thus, the HygroClip2 can be integrated in any application.

Humidity sensor	ROTRONIC Hygromer® IN-1
Temperature sensor	Pt100 1/3 Class B
Accuracy with Standard adjustment profile	at 23 °C and 10, 35, 80 %rh ±0.8%rh / ±0.1 K
Accuracy with High Precision adjustment profile	at 23 °C and 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90%rh ±0.5%rh / 0.1 K
Accuracy with Custom adjustment profile	at 3 freely selectable temperatures between -10 and 70 °C and 20 freely selectable %rh values (10...90 %rh) ±0.5%rh / 0.1 K
Resolution, AirChip3000	Typically 0.02 %rh, 0.01 K
Long-term stability	<1 %rh, 0.1 °C / year
Humidity response time τ 63	3...12 seconds (depending on probe type)
Measurement range	0...100 %rh, -100...200 °C (depending on probe type)
Electronics operating range	-50...100 °C and 0...100 %rh
Analog output signals (standard, user scalable)	0...1V = 0...100 %rh 0...1V = -40...60 °C
PC interface UART (standard)	with ROTRONIC interface cable HW4 compliant
Sensor diagnosis function	Yes (programmable, factory default = off)
Alarm function	Yes, analog & digital, programmable
Audit Trail & Electronic Records	FDA 21CFR Part 11 and GAMP compliant
Power supply & consumption	3.2...5 VDC ±0% / typically 4 mA
Housing/probe material	Polycarbonate or stainless steel (depends on probe type)
Filter	Polyethylene insert, polycarbonate cage
Standards	CE-compliant 2007/108/EG



Electrical connections:

1	V+
2	GND (digital and power)
3	RXD (UART)
4	TXD (UART)
5	Analog signal, humidity (0...100 %rh = 0...1 V)
6	Analog signal °C (-40...60 °C = 0...1 V)
7	AGND (analog ground)

Převodník pro měření teploty a vlhkosti HF5

DESCRIPTION

The Rotronic HF5 Series High Performance Multi Parameter Humidity and Temperature Transmitters are ideal for all applications where exact measurement of humidity, enthalpy, dry bulb, wet bulb, temperatures plus other psychrometric parameters are critical. This high performance transmitter using air chip technology accurately measures relative humidity to within $\pm 0.8\%$ RH. The HydroClip2 probe can be individually calibrated and adjusted to increase measurement precision where you need it the most. The HF5 Series is available in a duct mount or wall mount configuration. This unit can be factory configured or software is available for field configuration.

FEATURES

- Interchangeable probe
- Calculates all psychrometric values
- Automatic sensor and drift compensation
- Optional DIN rail mounting
- Field configurable with software

APPLICATION

The HF5 is ideal for high accuracy HVAC applications, building management systems, museums, libraries, environmental monitoring systems. The HF5 Series measures dew point, wet bulb, enthalpy, specific humidity, absolute humidity and mixing ratio.

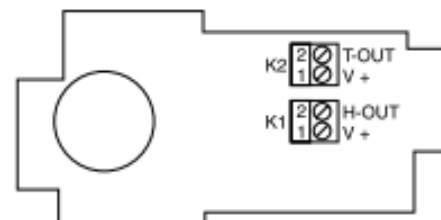
HydroClip2

The new HydroClip2 is available in various formats: from a simple plug-in probe for handheld instruments and data loggers to the highly developed cable probes for high temperature and other special applications. As standard, they all have high accuracy, which can be increased further by specific adjustments within our patented AirChip, making every HydroClip2 a high-end product for all applications.

rotronic
LEADING IN HUMIDITY MEASUREMENT



WIRING



Terminals	Description
K2-2: T-OUT	Temperature output (+) OUT-2
K2-1: V+	Power supply: 10...28 VDC (+)

Terminals	Description
K1-2: H-OUT	Relative humidity or dew point (+) OUT-1
K1-1: V+	Power supply: 10...28 VDC (+)

Note: Connect the + of the power supply to only one of the V+ terminals. The two terminals marked V+ are internally connected.

SPECIFICATIONS

Supply Voltage	HF52 10 to 28 VDC, 40 mA HF53 15 to 40 VDC, 50 mA; 12 to 28 VAC, 1.2 VA
Accuracy	$\pm 0.8\%$ RH @ 73°F (23°C) from 5% to 95% RH
Stability	0.5% drift per year
Repeatability	0.3% RH
Long Term Stability	<1% RH/year
Response Time	RH: Typically 10 seconds for 63 % of a jump 35 to 80 %RH (1 m/sec air flow at sensor)
Temperature:	Typically 4 seconds for 63 % of a change from 23 to 80 °C (1 m/sec air flow at sensor)
Signal Output	4-20 mA
Maximum Output Impedance	500Ω
Minimum Output Impedance	1000Ω

Range	
Humidity	0-100%
Temperature	-148° to 392°F (-100° to 200°C)
Display	Optional: LCD, 1 or 2 decimals
Operating Humidity	0 to 100% non-condensing
Operating Temperature	-40° to 140°F (-40° to 60°C)
Enclosure Rating	ABS/IP65 conforms to UL94-HB
Wiring Terminations	Screw terminals/ M16 cable gland or ½" conduit adapter
Dimensions	
Case	5.1"H x 5.1"W x 1.8"D (13 x 13 x 4.5 cm)
Wall Plate	0.6" Ø x 3.5"L (1.5 x 9 cm)
Duct Probe	0.6" Ø x 8.3"L (1.5 x 21 cm)
Approvals	CE/EMC: EMC Directive 2004/108/EC
Weight	1 lb (0.45 kg)
Warranty	1 year

Průtokoměr Badger Meter M-2000

MAGNETIC FLOW METER M-2000 SERIES



DESCRIPTION

The **Badger Meter M-2000 Series magnetic flow meter** is the result of years of research and field use in electromagnetic flow meters. The M-2000 can measure almost any liquid, slurry or paste that has minimum electrical conductivity. These meters are perfect for flow measurement in commercial HVAC water systems, wastewater, reclaimed water, irrigation and industrial applications because they can handle suspended solids, have no pressure drop, no moving parts, and their accuracy is not affected by temperature, pressure, viscosity, density or flow profile. They are NSF listed for use in potable water. The ANSI 150 RF flanged pipe spool makes them easy to install and they are available with the NEMA 4X (IP66) integral amplifier (transmitter and display housing) mounted atop the flow detector housing, or with the amplifier remotely mounted. For the remote mount configuration, a 30 ft. cable is standard (other lengths available) and the detector housing comes with either a NEMA 4X or NEMA 6P (submersible) junction box. Each meter is factory calibrated and tested and a certificate is included.

FEATURES

- **High accuracy of +/- 0.25% and flow range of 300:1 for reliable measurement**
- **Unaffected by most solids contained in the fluid for application flexibility**
- **Pulsed DC magnetic field for zero point stability**
- **Corrosion resistant liners provide long life**
- **Grounding rings included for non-conductive piping**
- **Bidirectional flow sensing and totalization for reversing system application**
- **Empty pipe detection feature generates error message when pipe is not full**
- **NEMA 4X (IP66) enclosure for installation in exposed areas**
- **Large backlit 4-line, 20 character LCD display for local indication and programming even in low light conditions**
- **Modbus RTU via RS232 communications for network systems**

SPECIFICATIONS

Supply Voltage	85-265 VAC (45-65 Hz)	Engineering Units	Ounces, pounds, liters, US gallons, imperial gallons, barrels, hectoliters, megagalions, cubic meters, cubic feet, acre feet
Supply Watts	15 W	Pipe Size Range	1" to 24" standard (1/4", 1/2" and 28" to 54" also available), ANSI 150 RF flanges standard
Digital Inputs	Maximum 30 VDC, programmable as positive zero return, external totalizer reset, or preset batch start	Flow Range	Unidirectional or bidirectional with two separate totalizers (programmable) 0.10 to 39.4 fps (0.03 to 12 mps)
Maximum Output Impedance	800 ohms @ 24 VDC	Velocity Range	-4° to 140°F (-20° to 60°C)
Outputs	0-20 mA, 4-20 mA, 0-10 mA, or 2-10 mA	Operating Temperature	Up to 90% non-condensing
Analog output	Four configurable, 24 VDC sourcing outputs (maximum of two) 50 mA each or 100 mA total, sinking open collector outputs (maximum of four) 100 mA each or 30 VDC total, AC solid state relay (maximum of two) 48 VAC	Media Compatibility	Many fluid applications including hot or chilled water, glycol solutions; minimum conductivity 5.0 µS/cm
Digital outputs	500 mA maximum	Media Temperature Range	178°F (80°C) with rubber liner; 212°F (100°C) with PTFE liner and local mount amp; 311°F (155°C) with PTFE liner and remote mount amp
Pulse outputs	Scalable up to 10 kHz, passive open collector up to 10 kHz active switched 24 VDC, up to two outputs (forward and reverse flow), pulse width programmable from 1 to 1,000 ms or 50% duty cycle	Maximum Pressure	285 psig at ambient temperature, refer to ANSI B16.5 standard for 150 lb RF flanges for temperature/pressure spec
Frequency output	Scaleable up to 10 kHz open collector, up to 1 kHz solid state relay	Materials Of Construction	Meter housing and flanges: carbon steel Liner: Rubber Electrodes: Alloy C Pipe spool: 316 SS Grounding rings: stainless steel Amplifier housing: cast aluminum with powder-coat paint
Alarm	High/low flow alarm, error alarm, empty pipe alarm outputs	Enclosure Rating	NEMA 4X (IP66) amplifier housing; NEMA 4X or NEMA 6P detector housing junction box for remote mount configuration
Wiring Terminations	1/2" NPT conduit connection and 3 cord grips on amplifier housing; 30 ft. standard length cable for remote mount configurations (other lengths available)	Approvals	NSF Listed, CE
Communication	RS232 - Modbus RTU or remote display	Warranty	1 year
Accuracy	±0.25% of flow rate for velocities greater than 1.64 fps (0.5 mps); ±0.004% for lower velocities		
Repeatability	±0.1%		
Display	Backlit, 4 line, 20 character LCD and 3-button programming keys		

Příložený snímač teploty NS 740

TECHNICKÉ PARAMETRY

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Typ snímače (K – s konektorem)	NS 140 NS 140K	NS 141 NS 141K	NS 142 NS 142K	NS 340 NS 340K	NS 341 NS 341K
Typ čidla	Ni 1000/5000	Ni 1000/6180	Ni 891	Ni 10000/5000	Ni 10000/6180
Měřicí rozsah	-30 až 130 °C (teplota v okolí hlavice -30 až 100 °C)				
Max. ss měřicí proud	1 mA	1 mA	1 mA	0,3 mA	0,3 mA

Typ snímače (K – s konektorem)	NS 143 NS 143K	PTS 140 PTS 140K	PTS 240 PTS 240K	PTS 340 PTS 340K	HS 140 HS 140K
Typ čidla	Ni 2226	PT 100/3850	PT 500/3850	PT 1000/3850	termistor NTC 20 kΩ
Měřicí rozsah	-30 až 130 °C (teplota v okolí hlavice -30 až 100 °C)				
Max. ss měřicí proud	0,7 mA	3 mA	1,5 mA	1 mA	1 mW *)

*) maximální příkon

Typ snímače (K – s konektorem)	NS 540 NS 540K	NS 740 NS 740K	NS 840 NS 840K	Poznámka
Typ čidla	Pt 1000/3850	Pt 1000/3850	Pt 1000/3850	
Výstupní signál	4 až 20 mA	0 až 10 V	1 až 5 kHz 2 až 10 kHz 3 až 15 kHz	
Standardní měřicí rozsahy	-30 až 60 °C 0 až 35 °C 0 až 100 °C 0 až 150 °C	-30 až 60 °C 0 až 35 °C 0 až 100 °C 0 až 150 °C	Libovolný měřicí rozsah, min. rozpětí 50 °C	teplota v okolí hlavice -30 až 80 °C; teplota v okolí hlavice snímače NS 840(K) -30 až 70 °C
Napájecí napětí (U _{nap})	11 až 30 Vss	15 až 30 Vss	8 až 30 Vss	doporučená hodnota 24 Vss; doporučený zdroj 12 Vss pro NS 840(K) Axima AXSP3P02012
Maximální zvlnění U _{nap}	0,5 %	0,5 %	0,5 %	
Zatěžovací odpor R _z	50(U _{nap} -10) Ω	> 50 kΩ	> 1 kΩ	
Výstupní signál při přerušení čidla	> 24 mA	> 10,5 V	Nastavitelný	
Výstupní signál při zkratu čidla	< 3,5 mA	~ 0 V	(< dolní rozsah nebo > horní rozsah)	

OSTATNÍ PARAMETRY

Třída přesnosti čidla	Ni čidla: tř. B, $\Delta t = \pm (0,4 + 0,007t)$, pro $t \geq 0$; $\Delta t = \pm (0,4 + 0,028 t)$, pro $t \leq 0$ ve °C; Pt čidla: tř. B dle IEC 751, $\Delta t = \pm (0,3 + 0,005 t)$ ve °C NTC 20 kΩ: ± 1 °C pro rozsah 0 až 70 °C
Chyba měření NS 540(K), NS 740(K) a NS 840(K)	< 0,6 % z rozsahu, minimálně 0,5 °C NS 840(K) 0,5 °C pro rozpětí < 100 °C, < 0,6% z rozsahu pro rozpětí > 100 °C
Zapojení snímačů	dle schéma zapojení
Doba odezvy	$\tau_{0.5} < 3$ s (v proudící vodě 0,4 m.s ⁻¹)
Doporučený průřez vodičů – snímače s průchodkou	0,35 až 1,5 mm ²
Typ konektoru v hlavici – snímače s konektorem	RSFM4 - Lumberg
Izolační odpor	> 200 MΩ při 500 Vss, 25° ± 3 °C; vlhkost < 85 %
Stupeň krytí	IP 65 dle ČSN EN 60 529
Materiál pouzdra	mosaz 423223.31
Materiál hlavice	POLYAMID
Materiál ochranného pouzdra	SILIKON a SILAMID
Standardní délka pásky	40 cm
Minimální průměr potrubí	20 mm
Pracovní podmínky	teplota okolí: -30 až 100 °C; -30 až 80 °C s převodníkem; -30 až 70 °C s frekv. výstupem relativní vlhkost: max. 85 % (při teplotě okolí 25 °C) atmosférický tlak: 87 až 107 kPa
Hmotnost	cca 0,15 kg

Elektroměr WH6165

WH6165



IEC: WH6165 / PTB: WH6165-b / MID: WH6165-M

1-Phase LCD-digital-meter / direct connection / Option MID

- Available with MID agreement (MID B + MID D)
- PTB approval possibility
- 50 pulse output (with protection diode)
- 2 modules width (36mm)
- Measure by shunt of precision
- For assembly on rail DIN according to DIN/EN 50022

Order information

Article description	Article number
WH6165 (IEC)	70106 - 1005
WH6165-M (MID)	70106 - 1036

Description

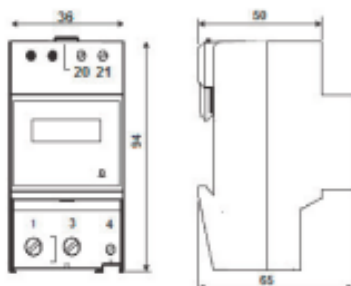
This meter measures the electric active energy consumption under 230 V network and maximum of 6.5A current with an accuracy class 1, according to IEC 62053-21 or class B, according to EN 50470-3. About a 50 interface a subsequent treatment of the energy data is made possible.

This meter is easy of use thanks to the fast assembly on rail din and its multi-functional display. Available in MID-approval execution.

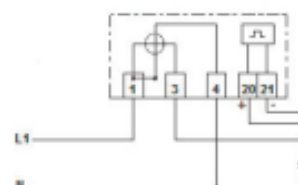
Technical Data

Rated current	10 [6.5] A (according to IEC1036, EN1036) Range: from 0.5 to 6.5A
Voltage measurement input	230 V (+/- 10%)
Max. consumption	0.5W
Measurement frequency	50Hz (+/- 2%)
Starting current	40mA
Measurement accuracy	Class 1 (IEC 62052-11 and 62053-21) / Class B (MID EN50470-1 and 50470-3)
Pulse output	For class A pulse device according to EN 62053-31
Pulse weight	1000 pulse/kWh
Pulse width	30ms
Metrological LED	Weight: 1000 pulses/kWh - Width: 30ms
Power factor	$\cos \phi = 0.8c \dots 1 \dots 0.5l$
Dimensions	36 x 94 x 65 mm (2-DIN modules) / Weight: 150g
Connection terminals	16mm ² (measure) - 0.25mm ² (50 output)
Protection index	IP51
Operating temperature	-25°C to +55°C
Storage temperature	-40°C to +70°C
Installation location	Indoors
Mechanical environment	Class M1
Electromagnetic environment	Class E2
Maximum operating moisture	75%

Dimensions:



Connections:



Měření rychlosti proudění vzduchu

AIR VELOCITY TRANSMITTER AVS-200



DESCRIPTION

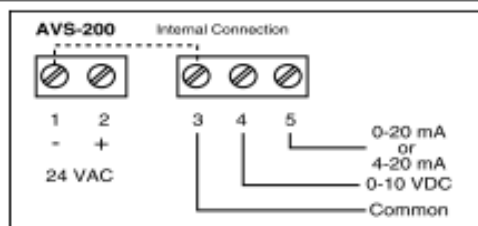
The Kele AVS-200 is an electronic air velocity transmitter for use in HVAC systems, laboratories, and industrial applications. It features three DIP switch-selectable velocity ranges and two analog outputs (one voltage, one current). The AVS-200 also has a selectable time constant (the time it takes to register 63.2% of a velocity change) of 3 or 10 seconds. The sensing probe has an adjustable insertion length of up to 8" (20.3 cm) and a 4.5' (1.4 m) cable.

FEATURES

- Three DIP switch-selectable velocity ranges
- Two analog outputs
- Selectable time constant
- Dust- and splash-proof (IP44) enclosure

SPECIFICATIONS	
Supply Voltage	24 VAC ±10%, 50/60 Hz
Supply VA	5 VA
Output Signal	0-10 VDC, 0/4-20 mA
Loads	0-10 VDC output: 1kΩ minimum resistance; 4-20 mA output: 600Ω maximum resistance
Wiring	4.5' (1.4 m) cable from transmitter to probe; screw terminals inside transmitter housing
Accuracy	±5% of measured value plus 0.5% of measuring range
Repeatability	0.5% of measuring range
Temperature Effect	Maximum 0.1%/°C (0.2%/°F)
Time Constant	63.2% for 3 or 10 seconds
Operating Temperature	
Electronics	32° to 122°F (0° to 50°C)
Sensing Tip	-4° to 140°F (-20° to 60°C)
Velocity Range	0-1000 fpm (0.5.1 m/s), 0-2000 fpm (10.2 m/s), or 0-3000 fpm (0-15.3 m/s); DIP switch selectable
Probe Length Range	Adjustable 1" to 8" (2.5 to 20.3 cm)
Enclosure Rating	IP44
Approvals	CE, RoHS
Weight	1.8 lb (0.8 kg)
Warranty	1 year

WIRING



Note: Any device sharing a transformer with the AVS-200 must have a common power negative "-" and signal negative "-" terminal, and polarity must be observed. Otherwise, a separate transformer must be used.

INSTALLATION

The sensing probe must be installed through a 5/8"(16mm) hole in the duct with the arrow on the mounting flange pointing in the direction of the airflow. The tab on the mounting flange should be aligned with the line on the probe to ensure proper airflow measurement. The insertion length is adjustable. Loosen the set screw, and move the probe to the selected position. The scale on the probe shows the insertion length. Always install the sensing probe downstream of filters and coils. Avoid placement directly in the outside air stream. For best accuracy, locate the sensing probe a minimum of 10 duct diameters (or widths) upstream of any obstruction and a minimum of 10 duct diameters downstream.

ORDERING INFORMATION

MODEL	DESCRIPTION
AVS-200	Air velocity transmitter
RELATED PRODUCTS	
691-K0A	Control transformer, 120:24 VAC, 40 VA, Class 2
	PAGE 979

PŘÍLOHA P II: MODEL KALORIMETRICKÉ KOMORY

Jedná se o přílohu v elektronické podobě. Nachází se na přiloženém CD v adresáři Přílohy\Příloha PII. Obsahuje model kalorimetrické komory vytvořený v programu SolidWorks.