



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VÝVOJ LABORATORNÍHO MODELU PRO TESTOVÁNÍ SEZONNÍHO TOPNÉHO FAKTORU

DEVELOPMENT OF A LABORATORY TEST MODEL FOR SEASONAL HEATING FACTOR
EVALUATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Fiala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Tomáš Fiala**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

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

Vývoj laboratorního modelu pro testování sezonního topného faktoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Účinnost tepelných čerpadel se hodnotí na základě tzv. sezonního topného faktoru, který je stanoven normovaným postupem na základě naměřených výkonových parametrů tepelného čerpadla při různých provozních podmínkách.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je vytvořit funkční systém řízení zkušebního zařízení, který by umožnil automatizované měření všech výkonových charakteristik, nutných pro stanovení sezonního topného faktoru.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 14511. Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru. Praha: ÚNMZ, 2014.

ČSN EN 14825. Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru: Zkoušení a klasifikace za podmínek částečného zatížení a výpočet při sezonním nasazení. Praha: ÚNMZ, 2016.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 10. 11. 2016



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá automatizací procesu testování sezónního topného faktoru SCOP u tepelných čerpadel. V práci je vysvětlen postup testování podle normy EN 14 825 a zobrazen formou vývojových diagramů. Dále je zde uveden popis laboratorního modelu vytvořeného v prostředí LabView a popsáno ověřování jeho funkčnosti.

Abstract

This master's thesis deals with automation of Seasonal Coefficient of Performance (SCOP) testing process of heat pumps. The thesis includes explanation of testing procedure according to EN 14 825 and flowcharts of its logic. Next there is description of laboratory test model made in LabView and its functionality verifying.

Klíčová slova

SCOP, sezónní topný faktor, EN 14 825, tepelné čerpadlo, testování, rozšíření programu, LabView

Keywords

SCOP, Seasonal Coefficient of Performance, EN 14 825, heat pump, testing, program extension, LabView

Bibliografická citace

FIALA, T. *Vývoj laboratorního modelu pro testování sezonního topného faktoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vývoj laboratorního modelu pro testování sezonního topného faktoru* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 24. května 2017

.....

Bc. Tomáš Fiala

Poděkování

Děkuji tímto svému vedoucímu Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D. za pomoc při dohodě spolupráce s firmou Honeywell, poskytnutí vlastních a zajištění externích konzultací a za jeho cenné připomínky k obsahu a výsledkům této práce. Dále děkuji Ing. Antonínu Hemmerovi z firmy Honeywell za poskytnutí zadání a domluvení vypracování této práce, přívětivý přístup a za okamžitou obětavou pomoc při řešení jakýchkoliv problémů. Neméně děkuji Ing. Zdeňku Kozákovi z firmy Honeywell za trpělivý přístup při zasvěcování do problematiky a odborný dohled nad prováděnými pokusy.

Obsah

1	Úvod	11
2	Tepelná čerpadla	12
3	Postup určování SCOP	14
3.1	Hodnocení TČ topnými faktory	14
3.1.1	COP	14
3.1.2	SCOP	15
3.2	Výpočet SCOP	17
3.2.1	Vstupní informace	17
3.2.2	Určení průtoku vody	20
3.2.3	Měření podmínek částečného zatížení	20
	Určení návrhového topného zatížení P_{design}	20
	Podmínky částečného zatížení	21
3.2.4	Průběh měření	23
3.2.5	Výsledný výpočet SCOP	24
3.2.6	Vývojové diagramy	28
	1. Výpočet SCOP	28
	2. Preparation	30
	3. Postup výpočtu pro určení hodnot COP_{bin} a DC při podmínkách A až G	31
	4. Měření COP a DC	32
	5. Tbivalent	33
	6. Zkušební postup	34
4	SCOP rozšíření	35
4.1	Použití SCOP rozšíření	35
4.2	Celkové nastavení	36
4.3	Podmínky	37
4.4	Test	37
4.5	Rozložení a další funkce	38
4.6	Výsledky	40
4.7	Výsledná zpráva	41
	Test results	41
	Technical data	42
	SCOP data	43

	Bin calculation	43
5	Výsledky měření	44
5.1	Tepelné čerpadlo	44
5.2	Měřicí komora.....	46
5.3	Nastavení měření.....	48
5.4	Jednotlivé podmínky.....	52
5.4.1	Preparation.....	52
5.4.2	Podmínka T_{biv}	54
5.4.3	Podmínka D	58
5.4.4	Měření elektrické spotřeby	60
5.4.5	Podmínka C.....	60
5.4.6	Podmínka A	62
5.4.7	Podmínka E.....	64
5.5	Výsledky	66
	Výstupy z programu.....	67
	Odtávací cykly.....	70
6	Závěr	71
7	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	73
8	Zdroje	75

1 Úvod

Tepelná čerpadla (dále také TČ) jsou v současnosti nejprogresivnějším alternativním zdrojem energie [1]. Podle článku Asociace pro využití tepelných čerpadel [2] bylo u nás v roce 2016 v provozu více než 70 000 tepelných čerpadel různých výkonů a systémů, každá sedmá novostavba byla vybavena tepelným čerpadlem a tento podíl stále roste. Hodnocení parametrů a posuzování kvality TČ je proto věnována náležitá pozornost, aby tak všechny kusy uváděné na trh přinášely očekávané úspory pro budoucí majitele a ekologické úlevy pro okolí.

Jedním z parametrů pro posouzení TČ je sezónní topný faktor SCOP (Seasonal Coefficient of Performance). Ten byl zaveden pro objektivní hodnocení topné účinnosti provozu během roku a jeho hodnota je určována postupem podle normy ČSN EN 14 825 [3]. Za použití metodiky ČSN EN 14 511 [4] jsou zde určovány topné faktory COP při podmínkách pokrývajících celé spektrum zvažovaného průměrného otopného období. Z těchto hodnot je pak výpočtem určen SCOP; zjednodušeně se jedná o vážený průměr, kde váhou je počet hodin provozu při daných teplotně-vlhkostních podmínkách. Faktor SCOP je pak využíván např. pro přiřazení energetického štítku nebo při udělování značky kvality Q-label Evropskou asociací pro tepelná čerpadla (EHPA).

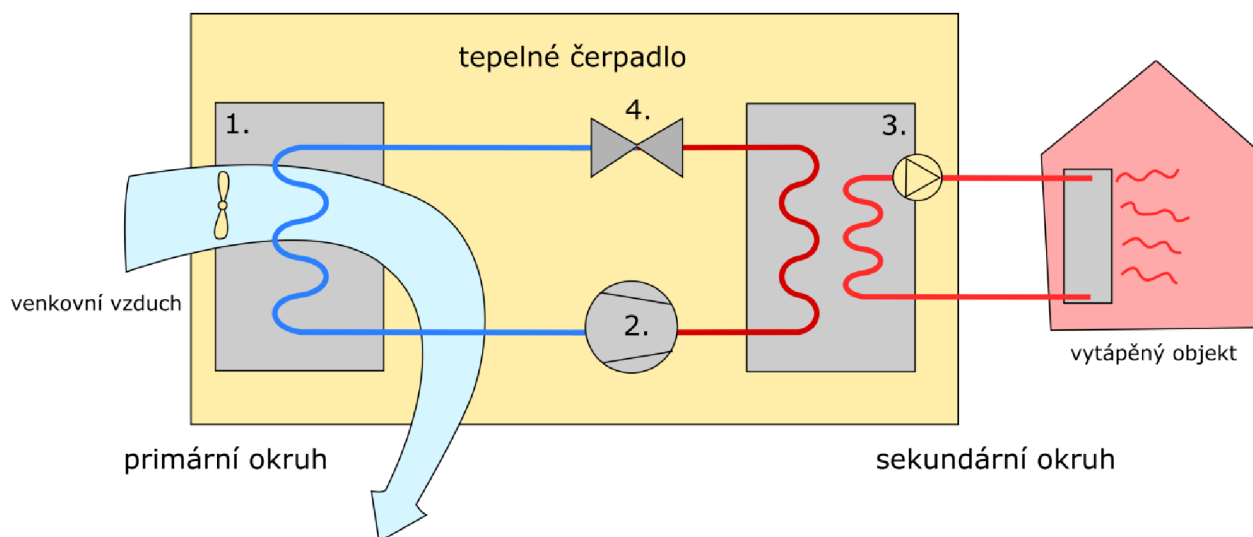
Tato práce byla vytvořena pro potřeby společnosti Honeywell, kde v laboratoři tepelných čerpadel probíhá testování vyvíjených prvků pro TČ. Pro hodnocení optimální funkce TČ zde má být využíván i parametr SCOP. Jeho správné určení je náročné jak na znalost příslušných norem a jejich náležitostí, tak časově. Proto bylo požadavkem společnosti tento postup řídit počítačovým programem.

Základem bylo zpracování metodiky normy pro určení SCOP do vývojových diagramů. S jejich pomocí pak bylo vytvořeno rozšíření programu Connect, komunikačního programu, který je napojen na řídicí systém laboratorní klimakomory a je provozován v prostředí LabView. Vytvořené programové rozšíření, nazvané *SCOP rozšíření (SCOP extension)*, má v maximální možné míře zautomatizovat postup vedoucí k určení výsledného SCOP. Uživatel programu má být při užívání SCOP rozšíření instruován tak, aby byl bez plné znalosti normy schopen provést všechny potřebné zásahy k nastavení jednotlivých podmínek. Samotná měření, včetně vyhodnocování dílčích i finálních výsledků, pak mají probíhat zcela autonomně.

Během vytváření programu byla provedena řada zkoušek k ověření správného fungování jednotlivých částí. Na závěr byla provedena jedna kompletní zkouška celého procesu stanovení SCOP, která tak obsáhla funkčnost těchto částí i jejich propojení v celkové výsledné rozšíření. Při měření všech potřebných podmínek byla tímto způsobem také otestována většina z možných scénářů průběhu měření.

2 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla řadíme k novodobým a alternativním zdrojům energie. Jejich funkcí je převádět nízkopotenciální teplo z okolního prostředí na vysokopotenciální teplo použitelné pro vytápění vnitřních prostor. Tento tepelný stroj pracuje podle chladicího oběhu, ideálně co nejvíce podobného obrácenému Carnotovu cyklu, a jeho základní součásti jsou: dva výměníky tepla – výparník a kondenzátor, kompresor a expanzní ventil. Výměníky tepla slouží k interakci chladivového okruhu s okolím. Výparník odebírá teplo z primárního okruhu (okruh s glykolem nebo vodou v zemi nebo ve vodním zdroji), případně je tento okruh fyzicky vynechán. Zdrojem je v takovém případě vzduch nebo se jedná o zařízení s přímým výparem a teplo odebírá samotné chladivo. Chladivo je obecně médiem pracujícím uvnitř cyklu tepelného čerpadla, které svými vlastnostmi (zejména dostatečně nízkou teplotou varu) umožňuje jeho fungování. Druhý výměník tepla, kondenzátor, předává zhodnocené teplo do sekundárního okruhu, kterým může být vodní otopná soustava nebo třeba systém vzduchotechniky. Kompresor navyšuje tlak chladiva za výparníkem a umožňuje tak jeho následnou kondenzaci.



Obr. 1 Schéma tepelného čerpadla, 1. výparník, 2. kompresor, 3. kondenzátor, 4. expanzní ventil

Před kompresorem bývá dosaženo určitého přehřátí par a v chladivovém okruhu také bývá předřazen odlučovač kapaliny, který zajišťuje, že do kompresoru nevnikne chladivo v kapalné formě a nepoškodí kompresor. Součástí dále bývají sběrače chladiva, odlučovače oleje, filtry, dehydrátory, presostaty a další komponenty. V současnosti nejvíce využívané kompresory pro běžné aplikace jsou scroll kompresory. Ty dosahují dostatečné účinnosti, nízké hlučnosti a dalších vhodných vlastností a proto je jimi osazena většina tepelných čerpadel pro používání např. v soukromých budovách. Výkon tepelného čerpadla je možné regulovat výkonem kompresoru. Podle toho se pak rozlišují jednotky s plynulou regulací (tzv. invertorové), s regulací stupňovou a s tzv. on-off regulací zapínáním a vypínáním chodu. Dvě tlakové hladiny okruhu jsou na druhé straně odděleny expanzním ventilem. Ten řízeně snižuje tlak za kondenzátorem a umožňuje tak opětovné vypařování chladiva. Další častou součástí tepelných čerpadel je čtyřcestný ventil. Ten umožňuje celkovou změnu funkce jednotky z topení na chlazení. Uvnitř jednotky také bývají pohonné prvky pro primární a sekundární okruh,

například ventilátor pro nasávání vzduchu nebo vestavěné vodní čerpadlo pro otopnou soustavu.

Fungování tepelných čerpadel se posuzuje topnými faktory COP a SCOP, účinnostmi, které budou vysvětleny v dalším textu. Pro faktor COP je možné vyjádřit i okamžitou hodnotu. Ta je však pouze orientační a má smysl pouze v případech, kdy je výkon tepelného čerpadla stabilní a neovlivněný okolními podmínkami. Například pro jednotky, u nichž je primárním zdrojem tepla vzduch, dochází při teplotách pod přibližně 5 °C k namrzání výparníku a následnému postupnému klesání výkonu. Tomuto efektu se zabraňuje spouštěním odmrazovacích režimů. U jednotek s možností reverzace pomocí čtyřcestného ventilu se například využívá krátkodobého přepnutí do opačného chodu. Při posuzování jednotek v podmínkách, kdy k namrzání dochází, je proto nutné uvažovat průměrné hodnoty účinnostiho faktoru za delší dobu činnosti včetně proběhnutí odmrazovacích cyklů, během kterých jsou okamžité hodnoty topného výkonu záporné a výrazně tak ovlivní výslednou hodnotu. Pro hodnocení fungování jednotek v režimu chlazení jsou využívány jiné faktory (EER, SEER) a odlišné metody, než jsou popsány v této práci.

3 Postup určování SCOP

Normy, podle kterých je rozšíření programu sestavené, obsahují informace, hodnoty a postupy pro nakládání se všemi typy tepelných čerpadel. Základní naprogramovaná struktura je sestavená tak, aby ji v budoucnu bylo možné využít v plném rozsahu norem. V současnosti dokončená a otestovaná část je určena pouze pro TČ vzduch-voda s kompresorem s plynulou regulací a pro monoblokové jednotky, podle zařízení dostupného k testování. Jednotky vzduch-voda v tomto uspořádání jsou také pravděpodobně nejvíce rozšířené v naší oblasti. Z těchto důvodů se bude většina dalšího textu, teoretické i praktické části, věnovat tomuto typu tepelných čerpadel.

3.1 Hodnocení TČ topnými faktory

Pro porovnání tepelných čerpadel mezi sebou, nebo srovnání s jinými zdroji tepla se používají zejména dva parametry: topný faktor COP a sezónní topný faktor SCOP.

3.1.1 COP

Topný faktor tepelného čerpadla vyjadřuje účinnost zařízení za daných ustálených provozních podmínek. Jeho hodnota se stanoví postupem podle zkoušky uvedené v normě ČSN EN 14 511 [4], výsledně to je poměr topného výkonu jednotky k celkovému elektrickému příkonu jednotky. Podle normy je potřeba uskutečnit test o celkové délce 140 až 380 min v závislosti na průběhu testu. Během testu je pak většinou nutné provést několik odtávacích cyklů výparníku (dále také defrostovací cyklus, defrost), aby se tak získaly střední hodnoty výkonu a příkonu, odpovídající reálnému provozu. Do spotřeby elektrické energie je započítán jak příkon samotného zařízení (tj. kompresoru, řídicí elektroniky a regulačních a zabezpečovacích prvků), tak příkon pro překonání tlakových ztrát výměníků, což je například pro tepelné čerpadlo (dále TČ) vzduch-voda energie pro pohon oběhového čerpadla ve vodní části. Oběhové čerpadlo může být součástí jednotky TČ nebo samostatně umístěné, do výpočtu je pak započítána pouze adekvátní část energie.

V normě [4] jsou uvedeny provozní podmínky pro měření – vstupní teploty pro venkovní výměník tepla a vstupní a výstupní teploty pro vnitřní výměník tepla. Podmínky jsou rozděleny na standardní a uživatelské podmínky pro hodnocení. U tepelných čerpadel vzduch-voda (nízkoteplotní aplikace) je podle [5] a podle průzkumu nabídek firem většinou uváděný COP při podmínce A2/W35, přestože standardní podmínka je A7/W35. Minimální hodnoty COP při A2/W35 jsou totiž používány pro udělování značky kvality Q-label a tyto hodnoty později převzaly dotační programy Zelená úsporám a Nová zelená úsporám. V současné době, v souvislosti se zavedením směrnic o ekodesignu a štítkování tepelných čerpadel, je uvádění hodnot COP z hlediska legislativy zbytečné a nejsou ani používány jako omezovací kritéria [5].

Parametr COP uvádí ve svých podkladech většina výrobců a při stejných podmínkách a důvěře o dodržení postupu měření dle normy může být použit pro porovnání TČ mezi sebou. Tyto hodnoty však není možné brát jako určující pro skutečné fungování jednotky nebo pro přesné porovnávání s jinými zdroji tepla. Důvodem je, že topný faktor měřený při jedné dané kombinaci provozních podmínek, nemůže dostatečně věrohodně vyjádřit provozní efektivitu jednotky provozované po celý rok. Během otopného období se totiž mění jak venkovní teplota zdroje tepla, tak (z toho plynoucí) potřeba dodávky tepla. COP tak udává hodnotu, při které TČ

pracuje třeba 326 hodin z celkových 4910 hodin provozu během topného období – tedy přibližně 7 % (hodnoty pro průměrné referenční topné období podle [3]). Pro takové účely je proto vhodné použít sezonní topný faktor SCOP.

3.1.2 SCOP

Sezonní topný faktor je účinnost zohledňující změny podmínek v průběhu otopné sezóny a je počítaný pro konkrétní aplikaci – teplotu otopné vody, návrhovou tepelnou ztrátu budovy, referenční topné období. Snahou je početně simulovat a určit, s jakou efektivitou bude skutečně fungovat a proto je vhodnějším kriteriem při výběru tepelného čerpadla. SCOP vychází z normy ČSN EN 14 825 [3] a pro jeho stanovení je potřeba provést sérii měření jednotlivých COP podle [4]. Hodnota je využívána pro zařazení daného zařízení do energetické třídy pro účely energetického štítku a také pro vyhodnocení splnění požadavku na ekodesign. Pro účely štítkování [6] a ekodesignu [7] jsou doprovodnými dokumenty [8] výpočtové podmínky oproti normě do určité míry upraveny [9]. Na energetickém štítku jsou stejné informace označující konkrétní aplikaci, jako byly použity pro výpočet SCOP:

- teplotní aplikace 55 °C nebo 35 °C (v [3] jsou podmínky i pro teploty otopné vody 45 °C a 65 °C)
- jmenovitý tepelný výkon = volená tepelná ztráta, pro kterou byl SCOP stanoven (měla by poté odpovídat tepelné ztrátě objektu, kde bude jednotka použita; ve výpočtech SCOP značena P_{design})
- grafické označení referenčního topného období (podle umístění v Evropě; průměrné, chladnější a teplejší klimatické podmínky a u každé příslušná hodnota jmenovitého tepelného výkonu)

Šipka hrotu a nápis ukazuje zařazení do třídy sezonní energetické účinnosti vytápění za průměrných klimatických podmínek pro středněteplotní a nízkoteplotní aplikaci, stanovené podle [6]. Pro zařazení se využívá sezonní energetická účinnost vytápění η_s , která se svou hodnotou vejde do jednoho z intervalů A+++ až G a je vypočítaná:

$$\eta_s = \frac{SCOP}{CC} = \frac{SCOP}{2,5} \quad (1)$$

Kde:

SCOP je sezonní topný faktor [-]

CC je převodní koeficient [-], který vyjadřuje odhadovanou 40 % průměrnou účinnost při výrobě energie v EU; hodnota převodního koeficientu CC je 2,5 [6]

Tab. 1 Třídy sezonní energetické účinnosti vytápění u ohřivačů, s výjimkou nízkoteplotních tepelných čerpadel a ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů s tepelným čerpadlem pro nízkoteplotní aplikaci [6]

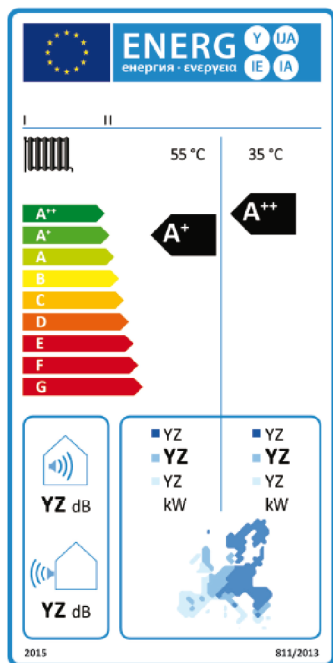
Třída sezonní energetické účinnosti vytápění	Sezonní energetická účinnost vytápění η_s v %
A+++	$\eta_s \geq 150$
A++	$125 \leq \eta_s < 150$
A+	$98 \leq \eta_s < 125$
A	$90 \leq \eta_s < 98$
B	$82 \leq \eta_s < 90$
C	$75 \leq \eta_s < 82$
D	$36 \leq \eta_s < 75$
E	$34 \leq \eta_s < 36$
F	$30 \leq \eta_s < 34$
G	$\eta_s < 30$

Tab. 2 Třídy sezonní energetické účinnosti vytápění u nízkoteplotních tepelných čerpadel a ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů s tepelným čerpadlem pro nízkoteplotní aplikaci [6]

Třída sezonní energetické účinnosti vytápění	Sezonní energetická účinnost vytápění η_s v %
A+++	$\eta_s \geq 175$
A++	$150 \leq \eta_s < 175$
A+	$123 \leq \eta_s < 150$
A	$115 \leq \eta_s < 123$
B	$107 \leq \eta_s < 115$
C	$100 \leq \eta_s < 107$
D	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$55 \leq \eta_s < 59$
G	$\eta_s < 55$

V tabulkách jsou uvedeny třídy až po A+++ , která bude dle [6] používána až od 26. 9. 2019 (současně budou zrušeny poslední tři třídy).

Přestože málo výrobců uvádí přímo hodnoty SCOP u svých produktů, energetická třída znamená, že sezonní topný faktor byl stanoven a podle zařazení do třídy by bylo možné přibližně zpětně dopočítat jeho velikost.



Obr. 2 Energetický štítek používaný od 26. 9. 2015 [6]

Při výpočtu SCOP se vychází z bilance celoroční produkce tepla TČ a krytí potřeby tepla dané budovy, určené podle návrhové tepelné ztráty a zařazení do klimatické oblasti. Otopné období je pro výpočet rozděleno na jednotlivé teplotní intervaly (tzv. biny) po 1 K. Pro některé teploty, vybrané podle ČSN EN 14825 [3], se provádí v laboratoři měření COP a výkonů TČ podle [4]. Pro zbytek intervalů jsou hodnoty interpolovány. Do SCOP se zahrnuje nejen efektivita produkce tepla tepelným čerpadlem v aktivním chodu, ale také energetické ztráty vlivem cyklování tepelného čerpadla (pokud má vyšší výkon než je uvažovaná tepelná ztráta), energetická potřeba záložního elektrokotle (pokud výkon tepelného čerpadla nestačí pro krytí tepelné ztráty), energetická spotřeba tepelného čerpadla v pohotovostním režimu, při vypnutém stavu termostatu, v režimu zahřívání skříně kompresoru a při vypnutém stavu. Podrobný postup výpočtu SCOP je obsahem následující kapitoly.

3.2 Výpočet SCOP

Princip výpočtu podle EN 14825 [3].

Při zpracování práce byly pro pochopení postupu dle normy nejprve zpracovány vývojové diagramy, obsažené v samostatné kapitole.

3.2.1 Vstupní informace

Pro správný postup výpočtu a používání příslušných tabulek z normy [3] je nutné specifikovat hodnocené TČ podle následujících parametrů:

Typ tepelného čerpadla (Type of heat pump) daný venkovní (vstupní) tekutinou, která slouží jako zdroj tepla, a vnitřní tekutinou, které je nosičem tepla na výstupu z jednotky. Možnosti jsou následující:

- Vstupní tekutina (*unit inlet*)
 - vzduch

- voda
- solanka
- Výstupní tekutina (*unit outlet*)
 - vzduch
 - voda

Způsob řízení výkonu (Capacity control):

- jednotky s neměnným výkonem (*fixed capacity*) – TČ přizpůsobuje výkon měněním doby činnosti, regulace zapínáním a vypínáním
- jednotky s proměnným a stupňovým výkonem (*variable, staged capacity*) - TČ přizpůsobuje výkon plynulou nebo stupňovitou regulací otáček kompresoru

Teplotní aplikace (HP application):

- nízkoteplotní aplikace (*low temperature application*) - je aplikace, při které výstupní teplota topného média dosahuje 35 °C
- střední teplotní aplikace (*intermediate temperature application*) - je aplikace, při které výstupní teplota topného média dosahuje 45°C
- průměrná teplotní aplikace (*medium temperature application*) - je aplikace, při které výstupní teplota topného média dosahuje 55 °C, podle [6] a [7] je tato teplotní aplikace nazývána středněteplotní
- vysokoteplotní aplikace (*high temperature application*) - je aplikace, při které výstupní teplota topného média dosahuje 65°C, ve starších normách byly tyto poslední dvě aplikace označovány jako provoz za vysokých a za velmi vysokých teplot

Protože zvolená aplikace výrazně ovlivní výslednou hodnotu SCOP, některé jednotky se podle [6] pro účely energetického štítku hodnotí pouze jako nízkoteplotní. Používaná otopná soustava tedy pro optimální použití musí pak být navržena také jako nízkoteplotní. U ostatních je udávána energetická účinnost pro 35 a 55 °C.

Výstupní teplota (HP outlet):

- ustálený výstup (*fixed outlet*) - ovládání TČ není vybaveno regulací teploty výstupní vody v závislosti na venkovní teplotě vzduchu
- proměnný výstup (*variable outlet*) - ovládání TČ je vybaveno regulací teploty výstupní vody v závislosti na venkovní teplotě vzduchu, nastavení podle ekvitermní křivky

Konfigurace TČ (HP configuration):

- monoblokové jednotky (*monoblock unit*) – výměníky tepla jsou umístěny v jedné skříni venku nebo uvnitř, jedno z teplotních médií je přivedeno
- splitové jednotky (*split unit*) – výměníky tepla jsou umístěny v oddělených skříních propojených chladivovým okruhem

Norma rozlišuje ještě regulaci výkonu jako schopnost měnit svůj výkon změnou objemového průtoku nejméně jedné z kapalin nezbytných pro chladicí cyklus. Podle toho se dělí na neměnné, stupňové (změna ve 2 krocích) a proměnné (ve 3 a více krocích). Pro zvažované jednotky vzduch-voda se jedná o vodní čerpadlo a toto rozdělení je přidáno z důvodu, že některá TČ obsahují vlastní integrované čerpadlo, které je podle normy nutné pro měření

využít. Použitý měřicí okruh nemá možnost obejít vlastní výkonného oběhového čerpadla, využití pouze čerpadla integrovaného v TČ není možné a pro měření se odstavuje. Toto rozdělení je tak pouze pro doplnění.

Pro výpočet je dále nutné specifikovat mezní provozní teplotu (TOL), což je nejnižší venkovní teplota uvedená výrobcem, při které může jednotka dodávat topný výkon. Hodnota má být maximálně $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. [7]

Jelikož se v zadané práci jedná o laboratorní měření bez zadaného požadovaného tepelného výkonu, jmenovitý tepelný výkon je určen klimatickou podmínkou (referenční topné období) a volbou bivalentního bodu.

Topná období (Heating season) jsou následující:

- chladnější – Helsinky s návrhovou venkovní teplotou $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ a trváním otopné sezóny 6446 hodin
- průměrná – Štrasburk s návrhovou venkovní teplotou $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a trváním otopné sezóny 4910 hodin
- teplejší – Atény s návrhovou venkovní teplotou $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a trváním otopné sezóny 3590 hodin

Pro zařazení do klimatu je možné použít mapu z energetických štítků. Z této grafiky se dá odhadnout, že ČR by měla spadat spíše do chladnější oblasti. Podle venkovních výpočtových teplot používaných pro vytápění, které se pohybují od -12 do $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, také nelze jednoznačně rozhodnout. Z důvodu dosažení lepších výsledků je vhodné použít průměrné topné období. Pro přiřazení energetického štítku nebo získání certifikátu je průměrné topné období rovněž považováno za základní.



Obr. 3 Mapa klimatu z energetického štítku

Volba *bivalentního bodu (bivalent temperature)* je omezena následovně:

- pro chladnější topné období je bivalentní teplota (suchý teploměr) $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo nižší
- pro průměrné topné období je bivalentní teplota (suchý teploměr) $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo nižší
- pro teplejší topné období je bivalentní teplota (suchý teploměr) $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo nižší

Bivalentní bod je nejnižší teplota, při které není pro pokrytí požadovaného částečného zatížení potřeba použít záložní elektrický dohřev - TČ zde tedy teoreticky pracuje na plný výkon. Při volbě nižší teploty, než je dovolené maximum, dojde ke snížení hodnoty jmenovitého tepelného výkonu, což může být pro výrobce nežádoucí.

Jednotlivé pojmy jsou definovány v normě [3], dále v [6] a [7]. Do SCOP rozšíření vytvořeného v praktické části jsou zadávány stejné vstupní informace, z tohoto důvodu jsou uvedeny i použité anglické výrazy.

3.2.2 Určení průtoku vody

Pro měření všech podmínek u jednotek s neměnným průtokem je nutné nejprve určit průtok vody při standardních jmenovitých podmínkách. Toto měření bylo pro účely práce nazýváno *Preparation*. Postup je daný normou [4].

3.2.3 Měření podmínek částečného zatížení

Podle normy je stanoveno 7 podmínek pro měření označených písmeny A až G. Pro výpočet hodnoty návrhového topného zatížení, která je nutná pro následný výpočet částečných zatížení, je nutné nejprve změřit podmínku F příslušící bivalentní teplotě. Teplotu výstupní vody pro tuto podmínku je u jednotek s proměnným průtokem potřeba vypočítat interpolací ze dvou nejbližších podmínek, teplota vstupní vody je dána již stanoveným průtokem. Z časových důvodů je dobré, když bivalentní teplota odpovídá jedné z podmínek A, B, C, podle povolené maximální teploty, a tuto podmínku pak již není potřeba měřit samostatně.

Určení návrhového topného zatížení P_{design}

Návrhové topné zatížení (jmenovitý tepelný výkon) je tepelná ztráta, kterou jednotka dokáže pokrýt při návrhové teplotě T_{design} . Tato teplota je podle zvoleného klimatu -22, -10, 2 °C. Výpočet se provede extrapolací ze známých hodnot podle rovnice:

$$P_{design} = DC_{biv} + \frac{T_{biv} - T_{design}}{16 - T_{biv}} \cdot DC_{biv} \quad (2)$$

Kde:

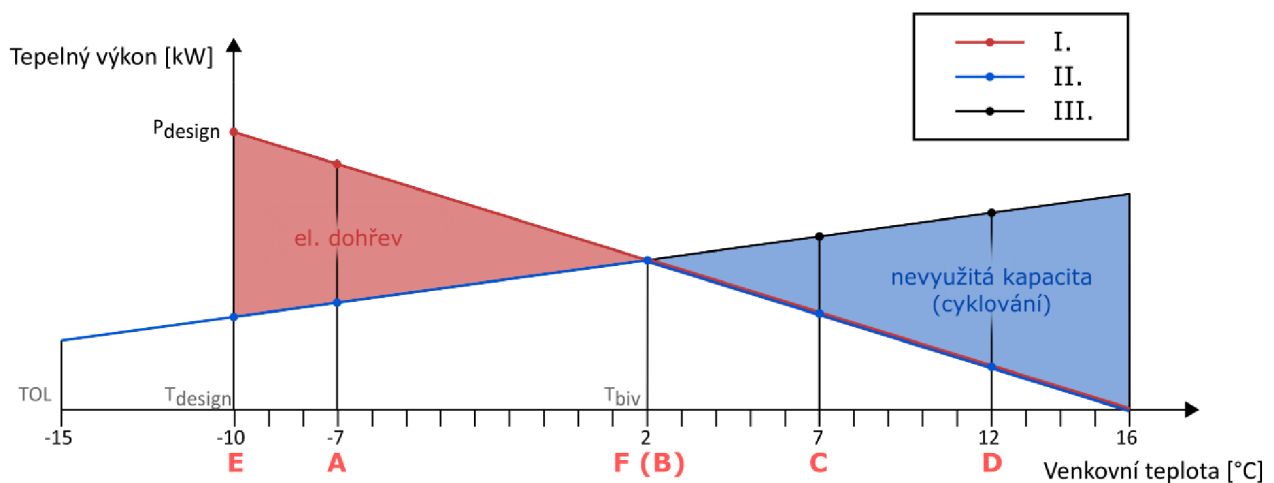
DC_{biv} je deklarovaná kapacita, které je jednotka schopna dosáhnout při bivalentním bodu, tedy hodnota maximálního výkonu určená měřením

T_{biv} je teplota bivalentního bodu

T_{design} je návrhová teplota odpovídající topné sezóny

16 °C je teplota, při které je uvažovaná nulová potřeba tepla

Grafické znázornění jmenovaných parametrů je uvedeno na obrázku níže:



Obr. 4 Podmínky částečného zatížení

Kde:

I. znázorňuje požadované topné zatížení

II. znázorňuje tepelný výkon čerpadla, nad bivalentní teplotou je regulován plynulou regulací (cyklováním) pro pokrytí pouze požadovaného částečného zatížení daného úsečkou I.

III. znázorňuje celkovou deklarovanou kapacitu TČ

Po určení hodnoty návrhového topného zatížení následuje měření jednotlivých podmínek částečného zatížení.

Podmínky částečného zatížení

Jednotlivá měření byla ve vytvořeném programu seřazena od nejvyšších teplot k nejnižším, testy jsou tedy prováděny v pořadí: D, C, B, A, (G), E. Po dokončení první podmínky D je vloženo měření pro určení spotřeby elektrické energie při vypnutém stavu termostatu, při pohotovostním režimu, v režimu zahřívání skříně kompresoru a při vypnutém stavu. Postup těchto měření je uveden v [3]. Pro chladnější topné období a pro případ, kdy hodnota TOL je nižší než -20 °C, je přidána další podmínka G. Pokud je teplota TOL, při které je měřena podmínka E, nižší než návrhová teplota odpovídající topné sezóně, měření se provádí při této teplotě T_{design} . Hodnota relativní vlhkosti je v klimakomoře nastavována podle hodnot suchého a mokrého teploměru, daných normou, kdy pro většinu podmínek je teplota mokrého teploměru o 1 K nižší než suchého.

Hodnota částečného zatížení, které má TČ pokrýt, je spočtena podle:

$$pl(T_j) = \frac{T_j - 16}{T_{design} - 16} \quad (3)$$

$$P_h(T_j) = pl(T_j) \cdot P_{design} \quad (4)$$

Kde:

$pl(T_j)$ je koeficient částečného zatížení [-]

T_j je teplota suchého teploměru venkovního vzduchu [°C]

T_{design} je návrhová teplota odpovídající topné sezóně [°C]

$P_h(T_j)$ je částečné zatížení při dané venkovní teplotě T_j [kW]

P_{design} je návrhové topné zatížení [kW]

Měřená hodnota tepelného výkonu čerpadla po ustálení se má rovnat hodnotě $P_h(T_j) \pm 10\%$, kromě následujících případů, kdy hodnoty nelze dosáhnout.

Pro podmínky pod bivalentní teplotou, kdy kapacita jednotky nedokáže pokrýt požadované částečné zatížení, by ve skutečném provozu byl aktivován elektrický (případně jiný) záložní ohřívač. Při měření podle normy pracuje jednotka na plný výkon, ale záložní ohřívač je manuálně odstaven. Potřebný dohřev je poté zohledněn početně.

Pro podmínky nad bivalentní teplotou, kdy kapacita jednotky přesahuje požadované částečné zatížení, je na ovládacím panelu TČ nastavena dostatečně vysoká teplota výstupu z jednotky, aby musela pracovat na plný výkon, a následně jsou manuálně omezeny otáčky kompresoru. Tímto způsobem bez využití vlastních regulačních možností jednotky je možné dosáhnout dostatečně stabilního výkonu jednotky pro potřeby měření. Pokud regulace neumožňuje

dostatečné snížení výkonu (minimální otáčky), je nastavena nejbližší možná hodnota a následně je upravena teplota výstupní vody. Postup navýšení teploty vody podle [3] přílohy D je dán, aby teplota výstupní vody pro jednotku s proměnným výkonem a časově zprůměrovaná střední teplota výstupní vody pro jednotku cyklující byla stejná.

Výsledkem každé z podmínek je stanovená hodnota topného faktoru COP_{bin} a pro podmínky, při kterých pracuje jednotka na maximální výkon, hodnota deklarované kapacity DC (pro ostatní podmínky je to skutečná hodnota tepelného výkonu, které je pro zjednodušení ponecháno stejné označení).

Pro uvažovaný typ jednotek se COP_{bin} v jednotlivých podmínkách stanoví:

- Pro provoz, kdy výkon TČ je nižší než požadované částečné zatížení

$$COP_{bin} = COP_d \quad (5)$$

Kde COP_d je COP určené při daném provozu, který odpovídá deklarované (maximální) kapacitě pro danou podmínku.

- Pro provoz, kdy výkon TČ odpovídá požadovanému částečnému zatížení

$$COP_{bin} = COP \quad (6)$$

Kde COP je topný faktor určený při daném provozu (pro tabulky výsledků, sjednocení s jednotkami s neměnným výkonem a další účely je obdobně jako u výkonu ponecháno označení COP_d).

- Pro případ, kdy je minimální výkon čerpadla vyšší než požadované částečné zatížení

$$COP_{bin} = COP_d \cdot \frac{CR}{Cdh \cdot CR + (1 - Cdh)} \quad (7)$$

Kde:

COP_d je COP určené při daném provozu [-]

Cdh je koeficient ztráty energie [-], kde $Cdh = 0,9$ pokud není určováno měřením

CR je poměr výkonu [-] určený podle:

$$CR = pl(T_j) \cdot \frac{P_{design}}{DC} \quad (8)$$

Kde:

$pl(T_j)$ je koeficient částečného zatížení [-]

P_{design} je návrhové topné zatížení [kW]

DC je tepelný výkon změřený při daném provozu [kW]

Okamžitý tepelný výkon tepelného čerpadla se dle normy stanoví podle kalorimetrické rovnice (metoda je také v normě nazvána jako; kalorimetrická), tento přepočít je již součástí systému GECCO a nebylo nutné jej provádět. Tento výkon je pak podle [4] navýšen o teplo vznikající v čerpadle vody, tedy o stejnou hodnotu, která je zahrnuta do výpočtu efektivního příkonu jednotky. Výsledná velikost výkonu se určí jako průměrná hodnota z okamžitých korigovaných výkonů za periodu sběru dat nebo za dobu odpovídající provedeným celým cyklům (pokud proběhl jeden nebo více). Efektivní hodnota příkonu elektrické energie se stanoví jako

průměrná hodnota z okamžitých efektivních příkonů za stejný časový úsek jako DC. Pro určení DC [W] a COP_d [-] jsou tak následující rovnice:

$$DC = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_h + \frac{q \cdot (-\Delta p_i)}{\eta} dt}{\int_{t_1}^{t_2} dt} \quad (9)$$

$$COP_d = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_h + \frac{q \cdot (-\Delta p_i)}{\eta} dt}{\int_{t_1}^{t_2} P_{el} + \frac{q \cdot (-\Delta p_i)}{\eta} dt} \quad (10)$$

Kde:

t_1 až t_2 je časový interval měřených hodnot použitých pro výpočet

P_h je měřený okamžitý tepelný výkon [W]

P_{el} je efektivní příkon tepelného čerpadla [W]

Podíl $\frac{q \cdot (-\Delta p_i)}{\eta}$ je příkon vodního čerpadla [W]

Δp_i je měřená tlaková diference mezi výstupem a vstupem do jednotky [Pa]

q je průtok vody [m^3/s]

η je účinnost vodního čerpadla [-], která se spočte:

$$\text{Do výkonu 500 W} \quad \eta = 0,0721 \cdot P_{hydrau}^{0,3183} \quad (11)$$

$$\text{Pro výkon nad 500 W} \quad \eta = 0,092 \cdot \ln(P_{hydrau}) - 0,0403 \quad (12)$$

Kde P_{hydrau} je hydraulický výkon vodního čerpadla [W], pro vodní čerpadlo, které není součástí TČ se určí podle:

$$P_{hydrau} = q \cdot (-\Delta p_i) \quad (13)$$

Kde:

q je průtok vody [m^3/s]

Δp_i je měřená tlaková diference mezi vstupem a výstupem z jednotky [Pa]

3.2.4 Průběh měření

Každé z prováděných měření probíhá podle EN 14 511 [4]. Vývojový diagram zobrazující některé z možných případů je na obr. 11. Výčet všech podmínek je obsahem normy, zde je uveden pouze základní postup. Po dosažení požadovaných podmínek v místnosti a spuštění tepelného čerpadla na požadovaný výkon probíhá 10 minut přípravné periody. Během této periody je hlídáno ustálení vybraných veličin v zadaných mezích a při jejich překročení je perioda opakována. Po této periodě má ideálně být spuštěn defrost, na čemž pak závisí další průběh testu. Následuje perioda rovnovážného stavu v délce trvání 60 minut. Pokud během této periody nastane defrost, nebo některé hodnoty přesáhnou limity následné měření, probíhá jako zkouška v neustáleném stavu, v opačném případě zůstává ve stavu ustáleném. V případě průběhu bez počátečního defrostu jsou periody opakovány a trvá zkouška v ustáleném stavu. Po periodě rovnovážného stavu následuje perioda sběru dat. Její délka je 70 min v případě zkoušky v rovnovážném stavu, během kterých nesmí dojít k defrostu, hodnoty nesmí překročit tolerance a pokles výkonu nesmí přesáhnout 2,5 % oproti výkonu během prvních 5 min sběru dat, podle:

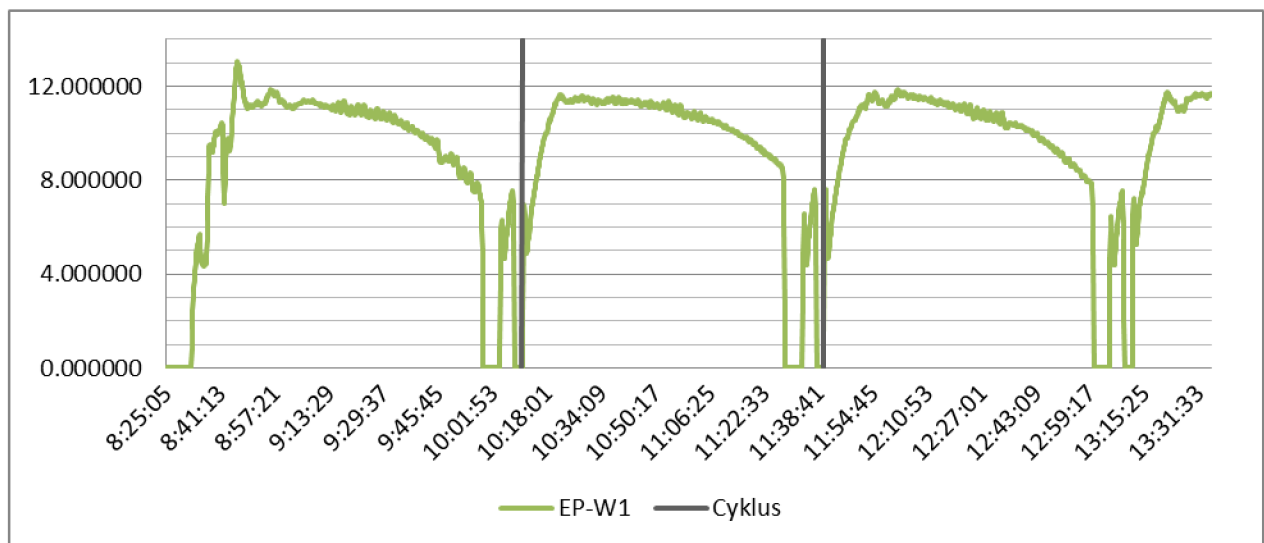
$$\Delta T(\%) = \frac{\Delta T_i(\tau=0) - \Delta T_i(\tau)}{\Delta T_i(\tau=0)} \cdot 100 \quad (14)$$

Kde:

$\Delta T_i(\tau=0)$ je střední teplotní rozdíl prvních 5 minut v periodě sběru dat [K]

$\Delta T_i(\tau)$ je střední teplotní rozdíl určovaný pro každý τ interval 5 minut [K]

V případě nedodržení některé z těchto podmínek je buď opakována perioda rovnovážného stavu, nebo měření pokračuje jako zkouška v neustáleném stavu. V tomto případě jsou rozšířeny limity tolerancí a doba sběru dat je prodloužena na 3 hod, nebo do doby, než proběhnou 3 kompletní cykly. Kompletní cyklus sestává z doby ohřívání a z periody odtávání a počítá se mezi dvěma konci odtávacích cyklů - viz graf:



Obr. 5 Znáznornění kompletního cyklu

3.2.5 Výsledný výpočet SCOP

V normě [3] je určeno 46 statistických teplotních intervalů (bin), které jsou kombinací venkovní teploty a příslušného počtu hodin. Pro otopné období s průměrnými klimatickými podmínkami jsou intervaly v tabulce.

Tab. 3 Počty hodin pro statistické teplotní intervaly

Bin	Venkovní teplota	Počet hodin za rok		
		Teplejší	Průměrné	Chladnější
-	Tj °C	hj h/rok	hj h/rok	hj h/rok
1 až 8	-30 až -23	0	0	0
9	-22	0	0	1
10	-21	0	0	6
11	-20	0	0	13
12	-19	0	0	17
13	-18	0	0	19
14	-17	0	0	26
15	-16	0	0	39
16	-15	0	0	41
17	-14	0	0	35
18	-13	0	0	52
19	-12	0	0	37
20	-11	0	0	41
21	-10	0	1	43
22	-9	0	25	54
23	-8	0	23	90
24	-7	0	24	125
25	-6	0	27	169
26	-5	0	68	195
27	-4	0	91	278
28	-3	0	89	306
29	-2	0	165	454
30	-1	0	173	385
31	0	0	240	490
32	1	0	280	533
33	2	3	320	380
34	3	22	357	228
35	4	63	356	261
36	5	63	303	279
37	6	175	330	229
38	7	162	326	269
39	8	259	348	233
40	9	360	335	230
41	10	428	315	243
42	11	430	215	191
43	12	503	169	146
44	13	444	151	150
45	14	384	105	97
46	15	294	74	61
Celkový počet hodin		3590	4910	6446

Hodnoty COP_{bin} a DC stanovené pro podmínky částečného zatížení se přiřadí odpovídajícím intervalům, pro zbytek intervalů jsou hodnoty určeny interpolací z dvou nejbližších měřených podmínek, pro intervaly nad podmínkou D pak extrapolací z podmínek C a D.

Pro další výpočty se stanoví topný faktor v aktivním režimu $SCOP_{on}$, což je průměrný topný faktor pro zařízení využívajícího elektrinu v aktivním režimu pro určené otopné období. Tomu odpovídá rovnice podle [3]:

$$SCOP_{on} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j [P_h(T_j)]}{\sum_{j=1}^n h_j \left[\frac{P_h(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{bin}(T_j)} + elbu(T_j) \right]} \quad (15)$$

Kde:

j je označení příslušného bin intervalu

n je celkový počet bin intervalů

h_j je počet hodin příslušících danému intervalu [h] (počet hodin za rok při dané teplotě [h/rok])

$P_h(T_j)$ je částečné zatížení při dané venkovní teplotě T_j [kW]

$COP_{bin}(T_j)$ je topný faktor při dané teplotě T_j [-]

$elbu(T_j)$ je výkon elektrického záložního ohřivače potřebný při dané teplotě T_j [kW], podle vztahu:

$$elbu(T_j) = P_h(T_j) - DC \quad (16)$$

Kde DC je tepelný výkon odpovídající stejné venkovní teplotě T_j [kW].

V přiložených tabulkách je suma v čitateli označována jako požadovaný roční topný výkon (*annual heating demand*) a suma ve jmenovateli jako roční příkon (*annual power input*).

Pro záložní ohřev fosilními palivy je podle normy vzorec pro výpočet $SCOP_{on}$ upravený na zohlednění účinnosti daného zdroje. Pro elektrický dohřev je tato účinnost rovna 1.

Tab. 4 Ukázkový výpočet v tabulce

Podmínka	Bin	Venkovní teplota	Počet hodin	Částečné zatížení				Roční topný výkon	Roční příkon
		Tj	hj	Ph(Tj)	elbu	COPd	COPbin	hj x Ph(Tj)	
	-	°C	h	kW	kW	-	-	kWh	kWh
E	21	-10	1	23.73	17.61	1.58	1.58	23.73	21.49
	22	-9	25	22.82	15.64	1.79	1.79	570.38	490.93
	23	-8	23	21.90	13.66	2.01	2.01	503.76	408.43
A	24	-7	24	20.99	11.68	2.23	2.23	503.76	380.63
	25	-6	27	20.08	10.38	2.32	2.32	542.09	392.88
	26	-5	68	19.16	9.07	2.42	2.42	1303.19	900.52
	27	-4	91	18.25	7.76	2.51	2.51	1660.92	1086.07
	28	-3	89	17.34	6.45	2.61	2.61	1543.17	945.79
	29	-2	165	16.43	5.15	2.70	2.70	2710.33	1537.61
	30	-1	173	15.51	3.84	2.80	2.80	2683.83	1385.89
	31	0	240	14.60	2.53	2.89	2.89	3504.17	1608.73
	32	1	280	13.69	1.23	2.99	2.99	3832.62	1510.66
Tbiv	33	2	320	12.78	0	3.08	3.08	4088.05	1326.37
	34	3	357	11.86	0	3.41	3.41	4235.03	1243.43
	35	4	356	10.95	0	3.74	3.73	3898.38	1045.45
	36	5	303	10.04	0	4.06	4.05	3041.57	750.86
	37	6	330	9.13	0	4.39	4.37	3011.54	688.95
C	38	7	326	8.21	0	4.72	4.69	2677.61	570.95
	39	8	348	7.30	0	4.99	4.90	2540.65	518.56
	40	9	335	6.39	0	5.27	5.09	2139.94	420.83
	41	10	315	5.48	0	5.54	5.24	1724.64	329.36
	42	11	215	4.56	0	5.82	5.34	980.87	183.80
D	43	12	169	3.65	0	6.09	5.36	616.74	115.17
	44	13	151	2.74	0	6.44	5.53	413.22	74.71
	45	14	105	1.82	0	6.73	5.71	191.49	33.54
	46	15	74	0.91	0	7.03	5.89	67.40	11.45
								Σ 49009.09	17983.05

Hodnota $SCOP_{on}$ by potom byla:

$$SCOP_{on} = \frac{49\,009,09}{17\,983,05} = 2,73 \quad (17)$$

Výsledná hodnota SCOP se stanoví podle:

$$SCOP = \frac{Q_H}{Q_{HE}} \quad (18)$$

Kde:

Q_H je referenční požadovaný topný výkon za rok [kWh], určený podle:

$$Q_h = P_{design} \cdot H_{HE} \quad (19)$$

Kde:

P_{design} je návrhové topné zatížení [kW]

H_{HE} je roční ekvivalentní počet hodin v aktivním režimu [h], podle normy [3] to je 2066 h pro průměrnou, 1336 h pro teplejší a 2465 h pro chladnější klimatickou oblast

Q_{HE} je roční spotřeba energie pro vytápění [kWh], určená podle:

$$Q_{HE} = \frac{Q_H}{SCOP_{on}} + H_{TO} \cdot P_{TO} + H_{SB} \cdot P_{SB} + H_{CK} \cdot P_{CK} + H_{OFF} \cdot P_{OFF} \quad (20)$$

Kde:

Q_H je referenční požadovaný topný výkon za rok [kWh]

$SCOP_{on}$ je topný faktor v aktivním režimu [-]

H_{TO} , H_{SB} , H_{CK} a H_{OFF} jsou počty hodin provozu při vypnutém stavu termostatu, při pohotovostním režimu, v režimu zahřívání skříně kompresoru a při vypnutém stavu [h], hodnoty jsou dané normou

P_{TO} , P_{SB} , P_{CK} a P_{OFF} jsou spotřeby energie při vypnutém stavu termostatu, při pohotovostním režimu, v režimu zahřívání skříně kompresoru a při vypnutém stavu [kW], hodnoty jsou určeny měřeními

3.2.6 Vývojové diagramy

Postup stanovení hodnoty SCOP, uvedený v normě a popsáný v předchozích kapitolách, byl pro potřeby vytvoření vlastního programu zpracován do podoby vývojových diagramů. Celkově bylo vytvořeno 6 vývojových diagramů. Pro potřeby práce byly plně zkompletovány pouze diagramy pro TČ vzduch/voda (A/W). Základní strukturou je diagram 1. Výpočet SCOP zobrazující celkový postup podle normy pro většinu možných typů jednotek a nastavení. Diagramy 2., 4. a 5. znázorňují postup pro konkrétní měření platný pro používanou klimakomoru s připojeným TČ. Diagram 3. obsahuje postup, jakým se z výsledků diagramů 4. a 5. podle normy stanoví hodnoty pro další výpočty. Diagram 6. je zkušební postup pro každé měření daný normou.

Odkazy na tabulky v normě platí pro [3].

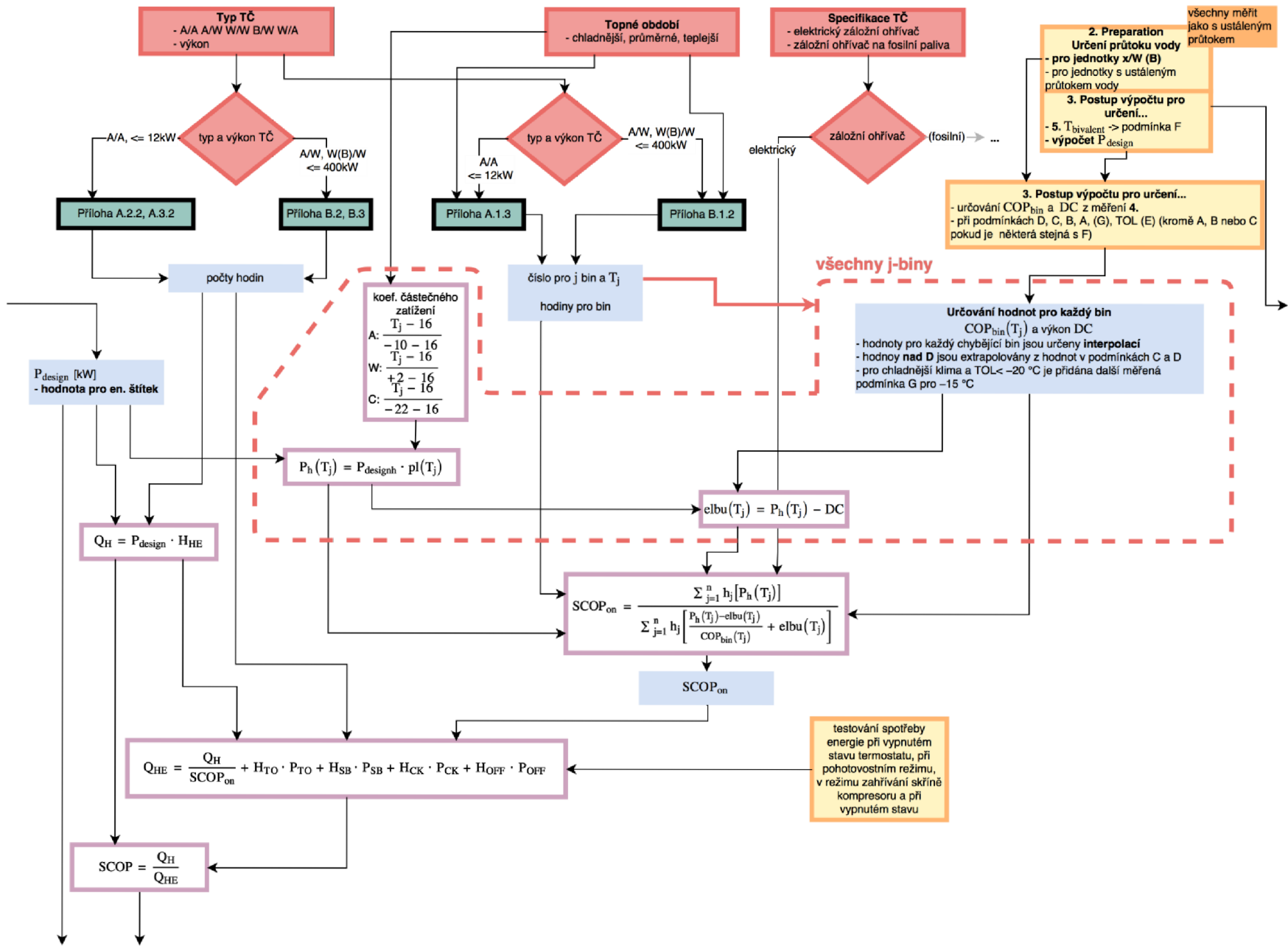
Význam jednotlivých formátů je následující:



1. Výpočet SCOP

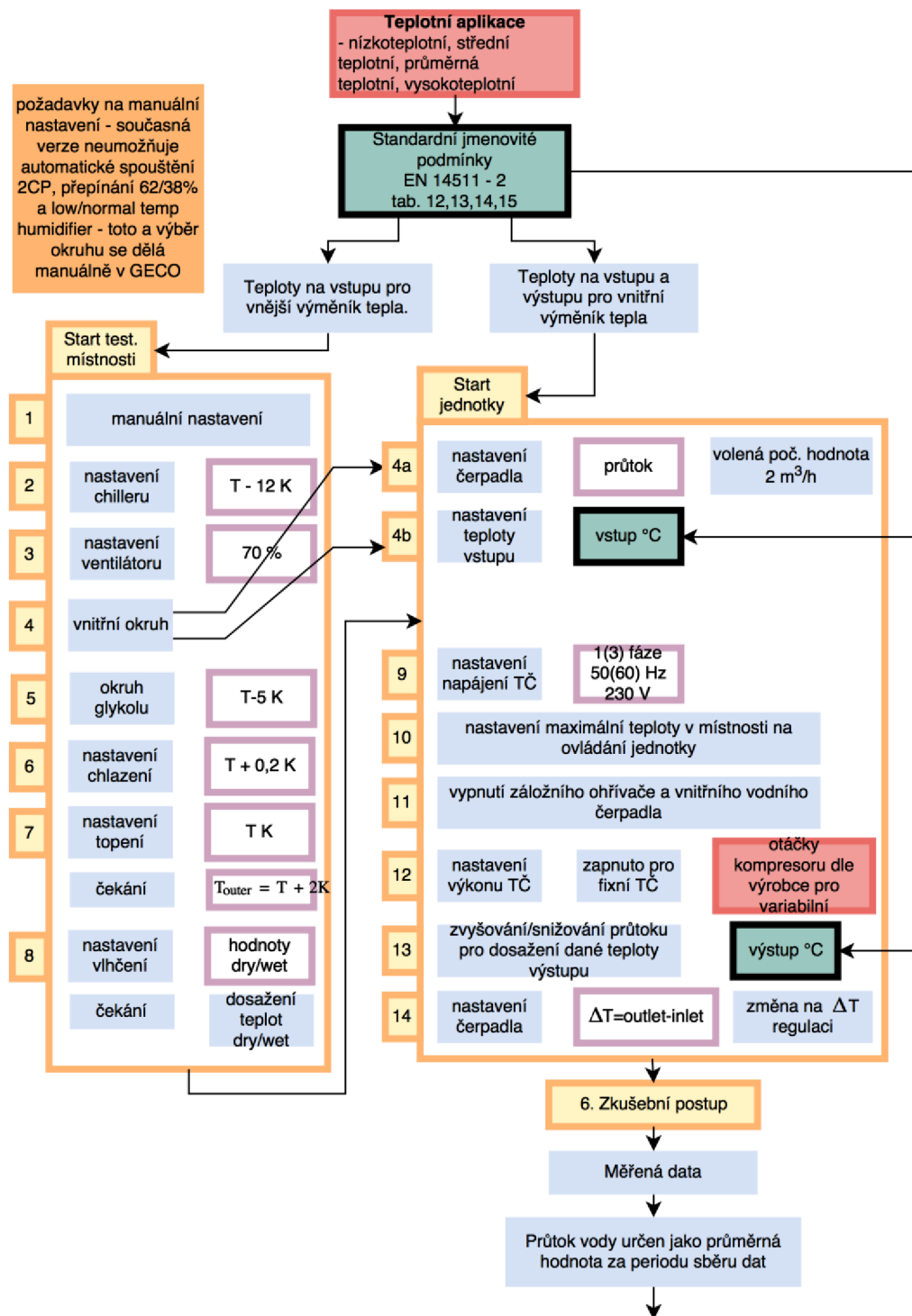
Základní diagram obsahující prvotní uživatelské vstupy, odkazy na tabulky normy, návaznosti na další testy znázorněné v dalších vývojových diagramech a logiku výpočtu SCOP.

Pro zvýšení přehlednosti byla vynechána možnost s použitím záložního ohříváče na fosilní paliva. Takový případ může nastat v konkrétní aplikaci, ale pravděpodobně nenastane pro laboratorní zkoušky. Jednotky jsou totiž klasicky dodávány s elektrickým záložním ohříváčem nebo bez ohříváče, pro ty je při měření také předpokládán elektrický dohřev.



2. Preparation

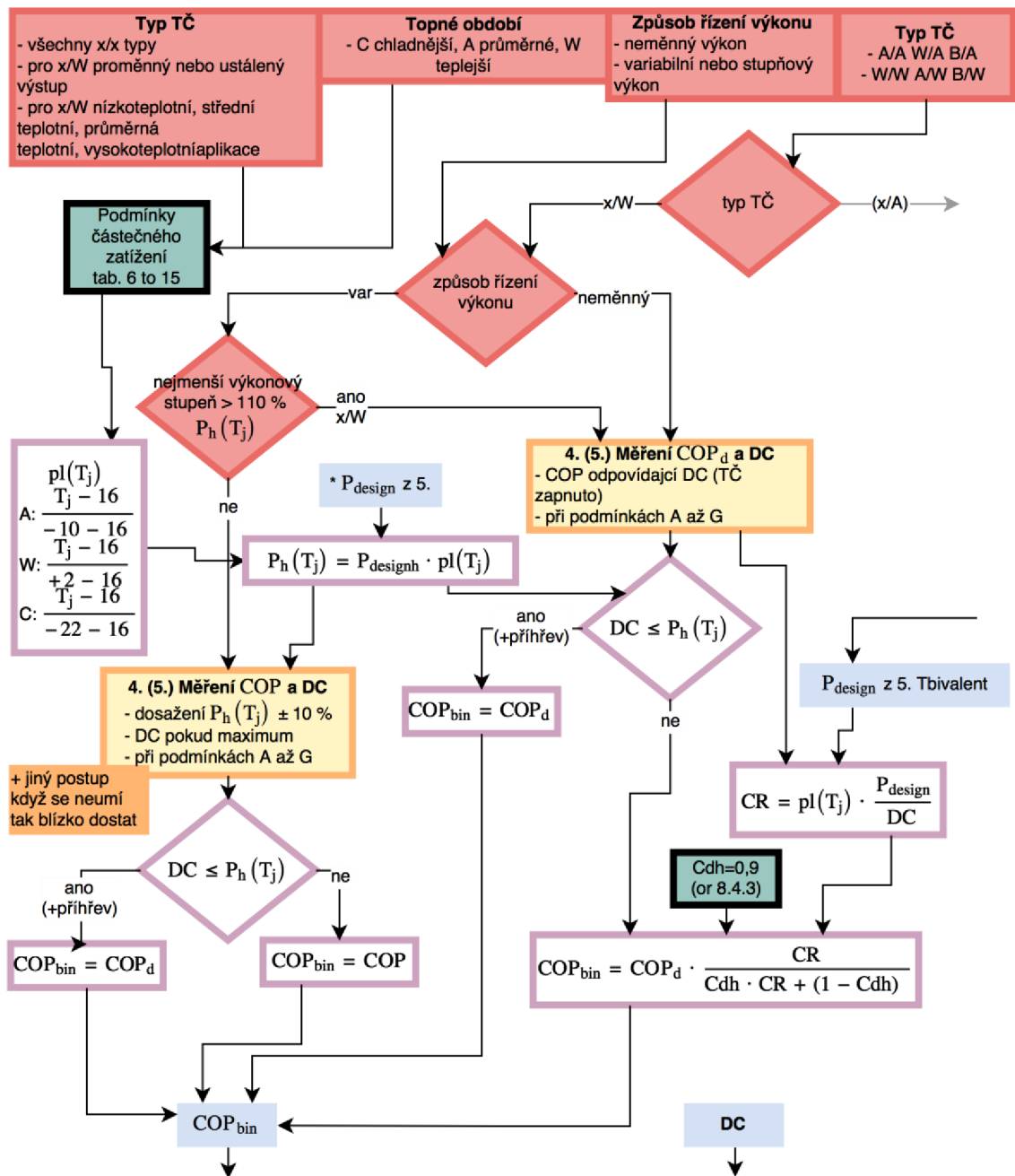
První ze zkoušek, určená pro stanovení průtoku vody, diagram je určen pouze pro TČ vzduch-voda a jednotky s ustáleným průtokem vody.



Obr. 7 Preparation

3. Postup výpočtu pro určení hodnot COP_{bin} a DC při podmínkách A až G

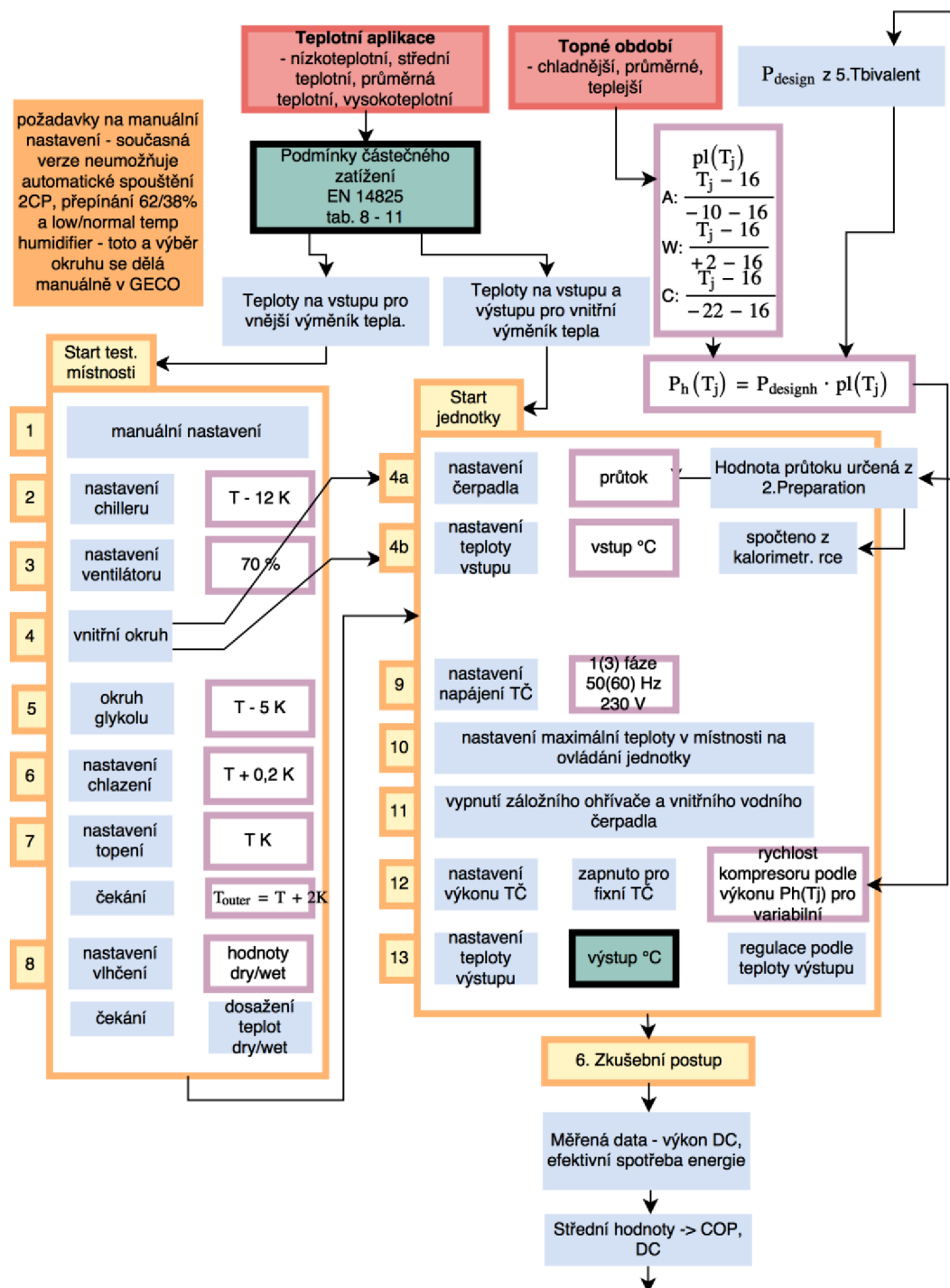
Logický postup pro stanovení hodnot COP_{bin} z naměřených COP_d a DC. Pro zvýšení přehlednosti byly ponechány pouze postupy pro jednotky, kde je vnitřním topným médiem voda (x/W).



Obr. 8 Postup výpočtu pro určení hodnot COP_{bin} a DC při podmínkách A až G

4. Měření COP a DC

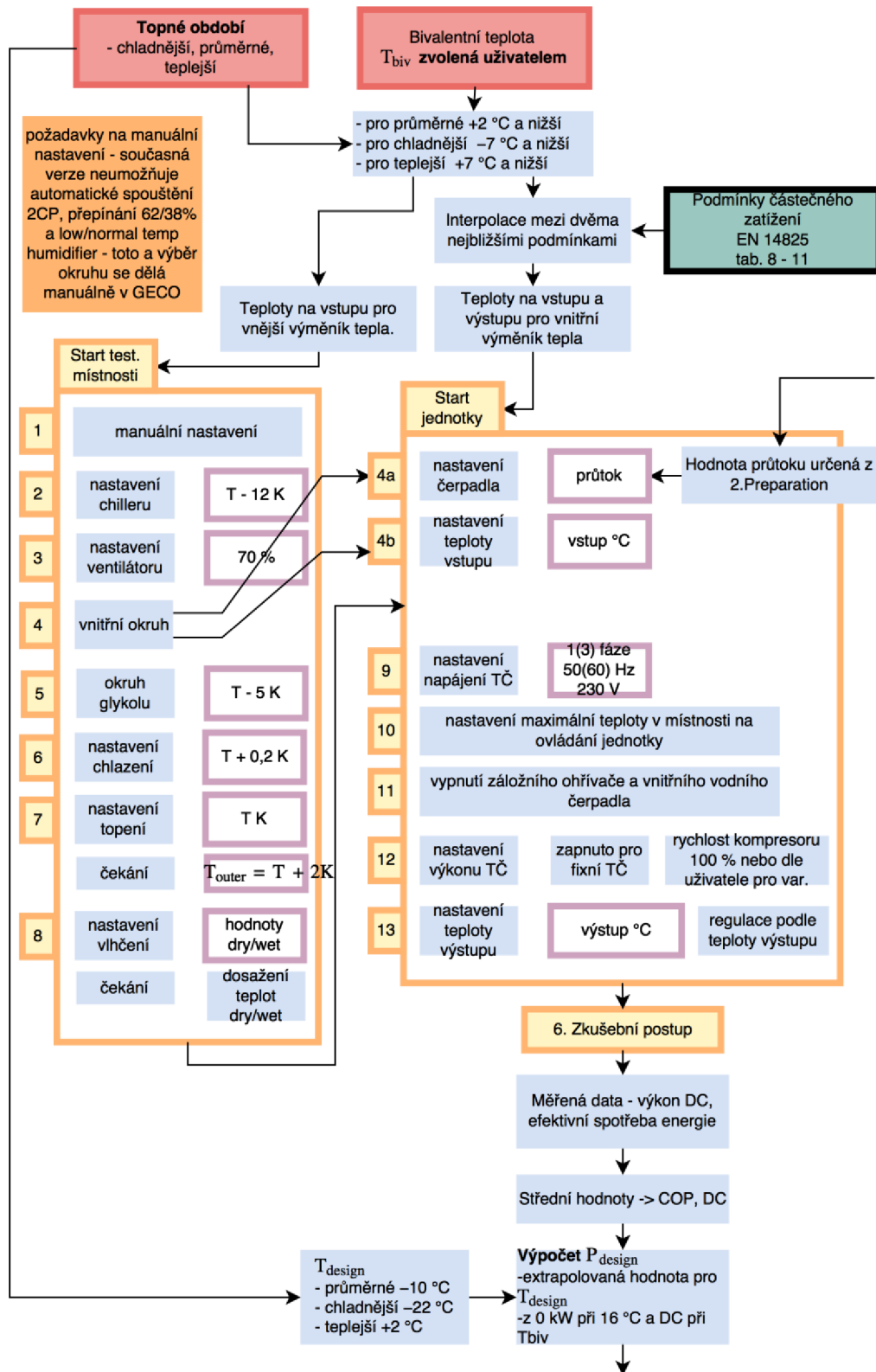
Postup pro všechny podmínky částečného zatížení. Diagram je určen pouze pro jednotky vzduch-voda.



Obr. 9 Měření COP a DC

5. Tivalent

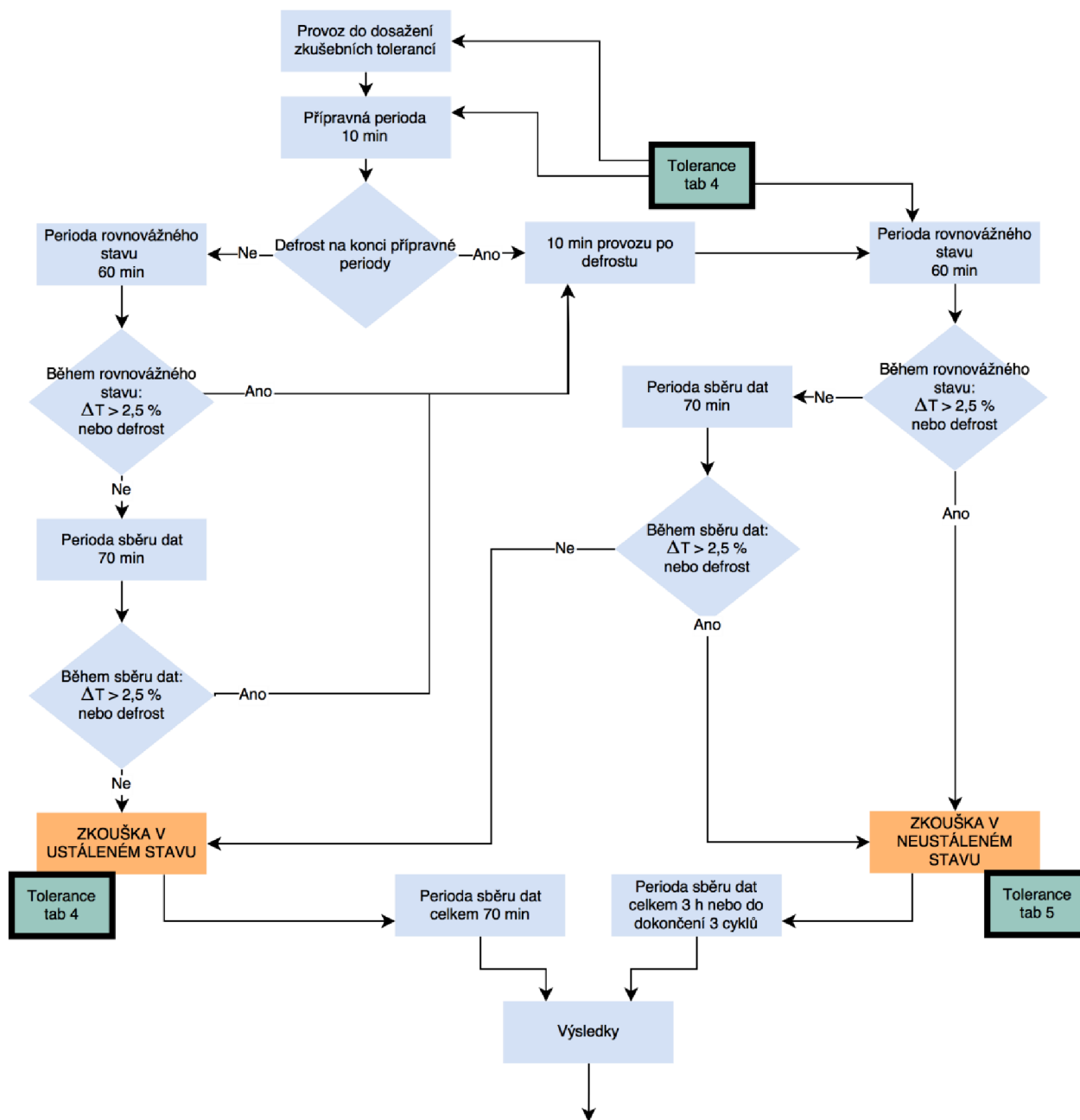
Postup pro měření COP a DC při bivalentní teplotě, pro určení hodnoty P_{design} a případné určení charakteristik odpovídající podmínky částečného zatížení. Diagram je určen pouze pro jednotky vzduch-voda.



Obr. 10 Tivalent

6. Zkušební postup

Upravený vývojový diagram z EN 14511-3 přílohy C [4] obsahuje některé zkušební postupy.



Obr. 11 Zkušební postup

4 SCOP rozšíření

Laboratorní jednotka (klimakomora) v laboratoři tepelných čerpadel firmy Honeywell je ovládána pomocí programu GECO, který umožňuje přesnou manuální regulaci všech požadovaných parametrů. Pro potřeby některých dalších uživatelských zásahů ve značně sofistikovaném GECO byl vyvinut program Connect. Connect přijímá a posílá data od GECO a umožňuje tak některé uživatelské úpravy, jako přidávání dalších analogových a digitálních kanálů, nebo další komunikaci například s programem MATLAB. Connect je vytvořen v Labview, oproti GECO je značně zjednodušen a má omezené kompetence, a je k němu zpřístupněn zdrojový soubor, takže je možné zasahovat do kódu a přidávat vlastní programové moduly. Toho bylo využito v rámci diplomové práce. Do programu Connect bylo přidáno rozšíření, které automaticky skrze GECO ovládá klimakomoru a nastavuje požadované parametry pro měření tepelných čerpadel. Mimoto obstarává komunikaci s uživatelem, sbírá potřebná data a následně je vyhodnocuje.

Základní princip fungování SCOP rozšíření je tento: Uživatel nejprve zadá základní informace o měřeném TČ a poté spustí celou proceduru. Ta se skládá se série navazujících testů, které uživatel jeden po druhém v programu spouští a při každém podnikne několik nezbytných úkonů. Po zahájení konkrétního testu je automaticky spuštěna klimakomora a nastavena na požadované podmínky dané normou. Uživatel je nejprve vyzván, aby spustil ventilátor na měřicím stojanu uvnitř místnosti, zkontroloval funkčnost senzorů a ověřil správné připojení tepelného čerpadla. Dále je zde nutné manuálně vybrat některé možnosti v GECO, připojený vodní okruh, zvolit procento využití vzduchotechnické jednotky, pro nízké teploty spustit druhý kompresor na chilleru a nízkoteplotní zvlhčovač. Komunikace mezi GECO a Connect neumožňuje programové zvolení těchto možností. Po dosažení klimatické podmínky následuje spuštění TČ, které je potřeba nastavit na určitý výkon dle instrukcí. Program dále upravuje regulační smyčky a čeká na ustálení výkonu, v kterém poté pracuje 10 minut přípravné etapy. Na konci této etapy má ideálně nastat defrost, proto je nutný ještě jeden uživatelský krok – manuální spuštění defrostu, nebo zvolení možnosti pokračování bez odtávání. Po této akci již program pracuje autonomně a po čas daný normou probíhá zaznamenávání dat. Po uplynutí potřebné doby je na uživateli, aby buď spustil další ze série testů anebo běh procedury ukončil a asistoval při vypínání TČ a celé klimakomory. Výsledná hodnota SCOP je automaticky určena po dokončení posledního testu v řadě spolu s vygenerováním zprávy z měření se všemi výsledky v prostředí MS Excel.

4.1 Použití SCOP rozšíření

Pro firmu Honeywell byl během vytváření rozšíření sepsán manuál *SCOP extension for Connect*. Obsahem manuálu je jednoduchý uživatelský průvodce, obsahující základní postup pro používání rozšíření, a detailní nápověda, která obsahuje informace k úvodnímu nastavení měření, přehled základních struktur a stručný popis funkcí jednotlivých subVI. Pro pochopení logiky postupu jsou opět využity vývojové diagramy s odkázáním na normu EN 14 825 [3]. Následuje výběr z tohoto manuálu.

SCOP rozšíření je v programu Connect pod záložkou *SCOP*.

Channels from GECO				Local channels	Status	Loop_Set	LastSetFromMTL	E546547	SCOP	Info	EXIT
Analog											
Channel	Description	Value	MU								
1Aux1	Available - Outdoor Room	-0.000	%								
1Aux2	Available - Outdoor Room	0.000	%								
1Aux3	Available - Outdoor Room	-0.000	%								
1DTG	Delta T heat exchanger (glycol) - AHU Outdoor Room	-0.708	°C								
1E_Ah1	Outdoor Room Total current phase 1	0.000	A								
1E_Ah2	Outdoor Room Total current phase 2	0.001	A								
1E_Ah3	Outdoor Room Total current phase 3	0.001	A								
1E_Wh	Total Electrical Power - Outdoor Room	-0.000	kW								
1EP	Exchanged Power by AHU - Outdoor Room	-0.009	kW								
1EP-in	Total Supplied Power - Outdoor Room	-1.000	kW								
1EP-k	Leakage Power - Outdoor Room	1.009	kW								
1EP-out	AHU + Leakage Power - Outdoor Room	1.000	kW								
1MW-cd	Condensed water scale	9.750	kg								
1MW-hu	Outdoor Room Humidifier scale	9.149	kg								
1PinCP	P. in compressor - Outdoor Room	-14.960	bar								
1PoutCD	P. out condenser - Outdoor Room	-15.201	bar								
1PoutCP	P. out compressor - Outdoor Room	-14.975	bar								
1PoutE	P. out evaporator - Outdoor Room	-14.939	bar								
1Q	Flowmeter Outdoor Room AHU	0.013	m ³ /h								
1Qair	AHU air flow - Outdoor Room	0.000	m ³ /h								
1RH	Outdoor Room RH (Capacitive Hygrometer)	29.667	%								
1RHm	Outdoor Room RH (calculated)	106.190	%								
1Sott	Subcooling - outdoor room	0.400	°C								
Digital											
Channel	Description	Status									
D101	D101 - AHU fans failure - Outdoor Room										
D102	D102 - Outdoor Room NT Humidifier Low Level										
D103	D103 - Outdoor Room NT Humidifier High Temp										
D104	D104 - Outdoor Room Heating Resistors Failure										
D105	D105 - Outdoor Room Humidificator pump protection										
D106	D106 - Outdoor Room LT Humidifier High Temp										
D107	D107 - Outdoor Room LT Humidifier Low Level										
D108	D108 - Outdoor Room 0°C thermostat										
D109	D109 - Outdoor Room Heaters Thermic protection										
D110	D110 - Outdoor Room Humidifier Thermic protection										
D111	D111 - Outdoor Room AHU Pump Thermic protection										
D112	D112 - Outdoor Room high temperature thermostat										
D113	D113 - Outdoor Room low temperature thermostat										
D114	D114 - Outdoor Room AHU 38% valve open										
D115	D115 - Outdoor Room AHU 62% valve open										
D116	D116 - Outdoor Room NT Humidifier drained										
D117	D117 - Outdoor Room LT Humidifier drained										
D118	D118 - AHU fans failure - Indoor Room										
D119	D119 - Indoor Room NT Humidifier Low Level										
D120	D120 - Indoor Room NT Humidifier High Temp										
D121	D121 - Indoor Room Heating Resistors Failure										
D122	D122 - Indoor Room Heaters Thermic protection										
D123	D123 - Indoor Room Humidifier Thermic protection										

Obr. 12 SCOP záložka

4.2 Celkové nastavení

Pod záložkou *Overall settings* je před zahájením procesu nutné vyplnit všechny informace ohledně měřeného TČ a vybraných podmínek.

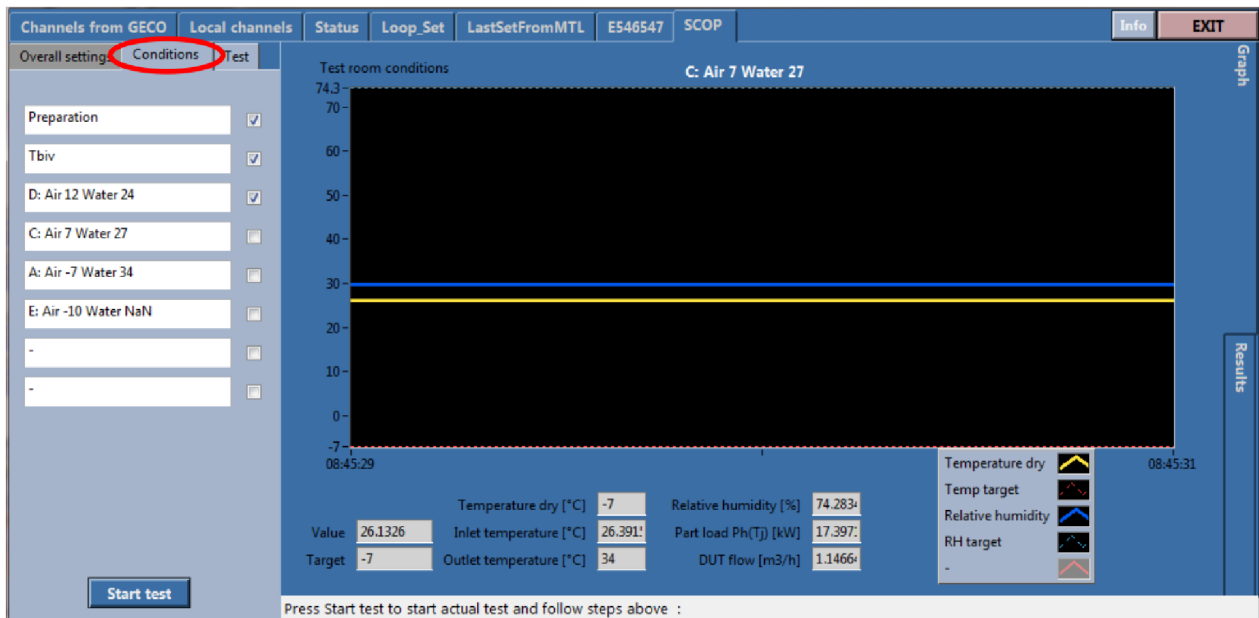
Obr. 13 Celkové nastavení

Možnosti jsou shodné s přehledem možností v kapitole Vstupní informace. V současné verzi programu není možné zahájit proceduru s nastavením pro jiný než v úvodu uvedený typ jednotek. Tyto možnosti jsou tak obsaženy pro možné budoucí doplnění.

Pro zahájení procedury se zvoleným nastavením se zaklikne tlačítko *SCOP Start*. Pro pokračování předchozí nedokončené procedury s uloženým nastavením se vybere tlačítko *Continue prev.*

4.3 Podmínky

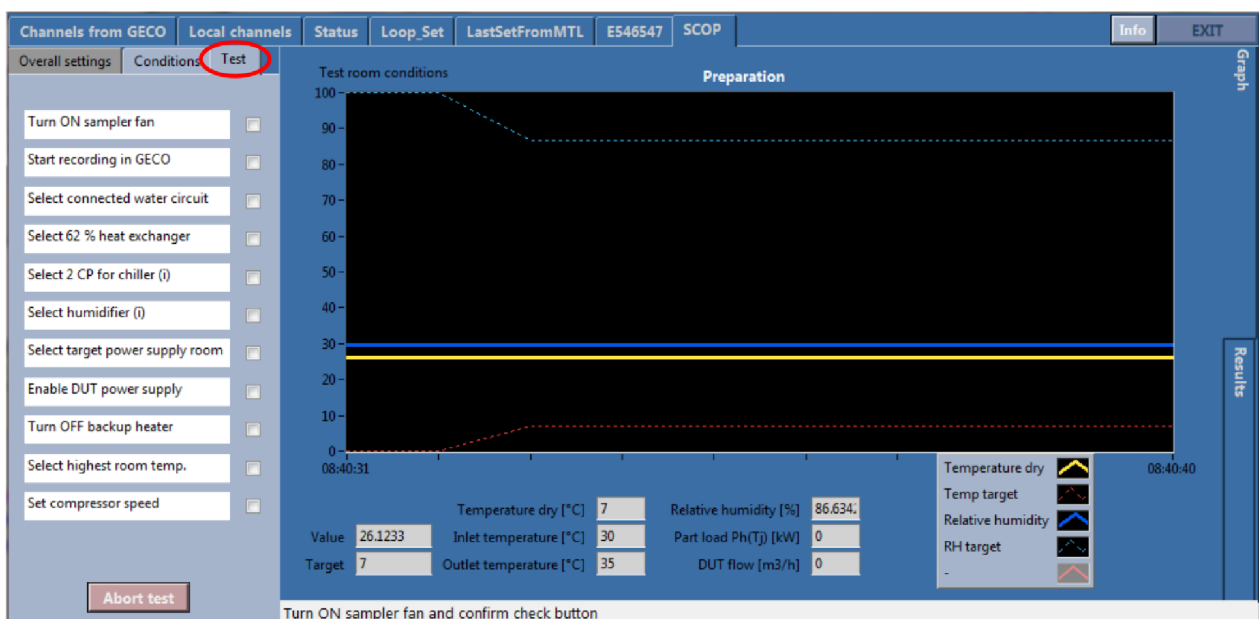
Po zakliknutí jednoho z tlačítek v *Overall settings* se otevře záložka *Conditions*. Zde se nachází seznam testů potřebných pro výpočet výsledného SCOP a zaškrťovací políčka označující již dokončené testy. Po zakliknutí tlačítka *Start test* je zahájen první nesplněný test. Pořadí testů není možné měnit, není povoleno ani vynechání některého z nich.



Obr. 14 Podmínky

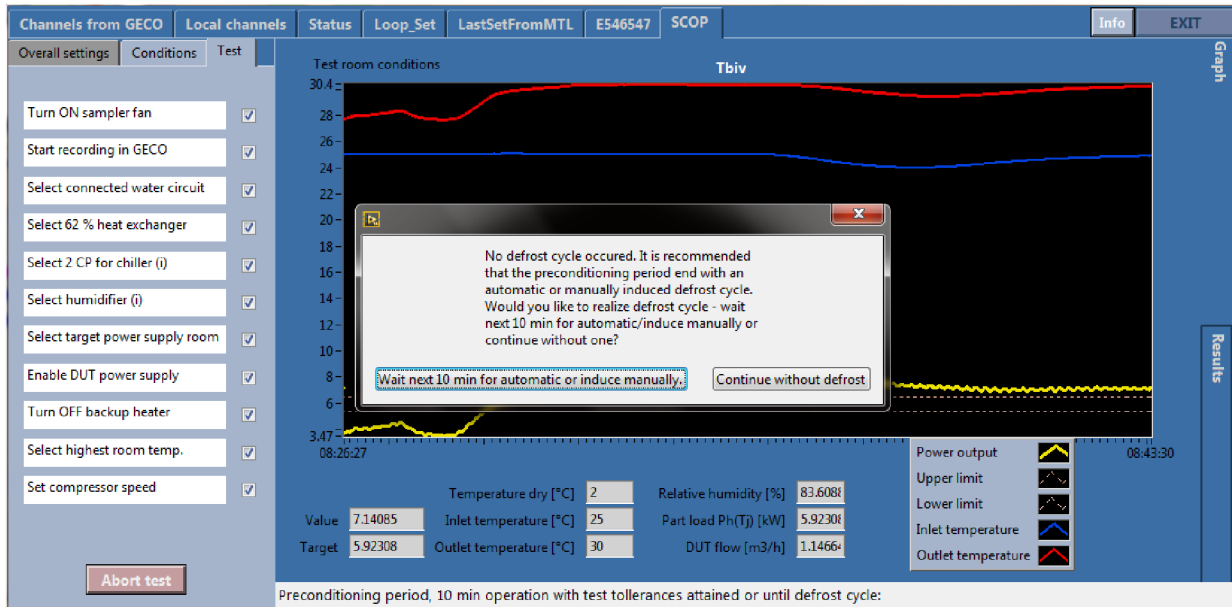
4.4 Test

Na záložce *Test*, která se otevře, je seznam úkonů, které vyžadují uživatelský zásah, pokud již nejsou provedeny z předchozího měření. Informace o potřebné činnosti jsou zobrazeny v textovém poli na spodním okraji okna programu.



Obr. 15 Test

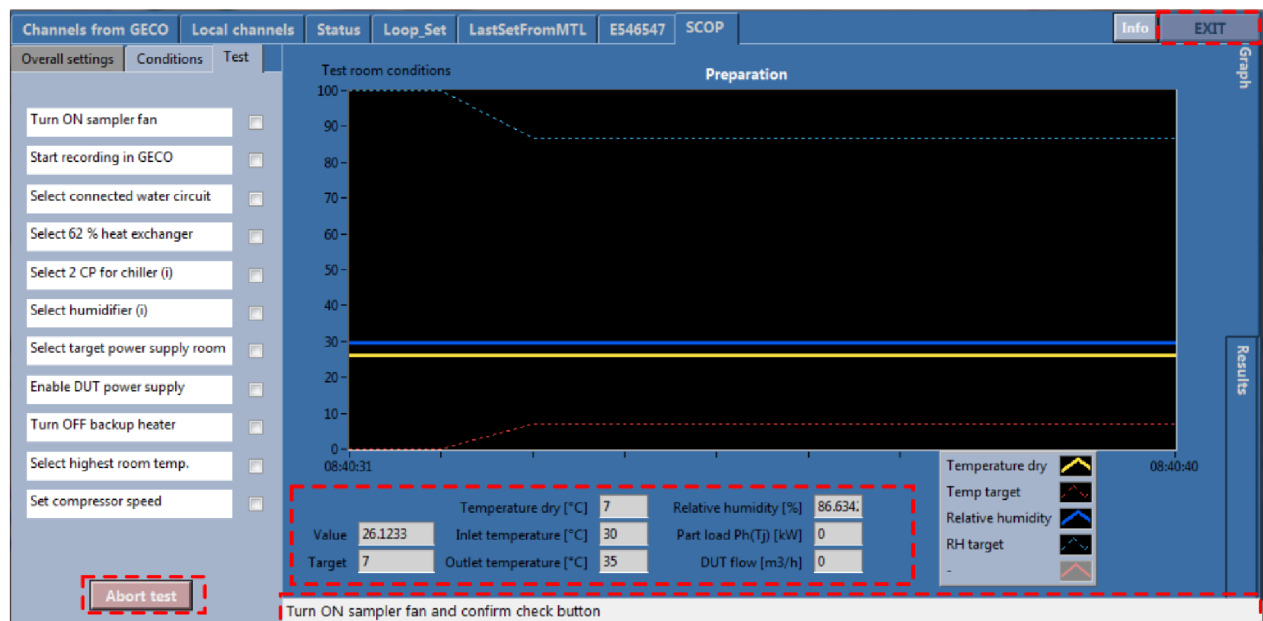
Po dokončení všech úkolů je test zahájen přípravnou periodou. Pokud během ní neproběhl odtávací cyklus, je po skončení nutné zvolit, zda uživatel spustí defrost manuálně (čekání dalších 10 minut), nebo zda má program pokračovat bez defrostu. Po tomto uživatelském zásahu již program pracuje až do ukončení testu samostatně.



Obr. 16 Uživatelský dialog

4.5 Rozložení a další funkce

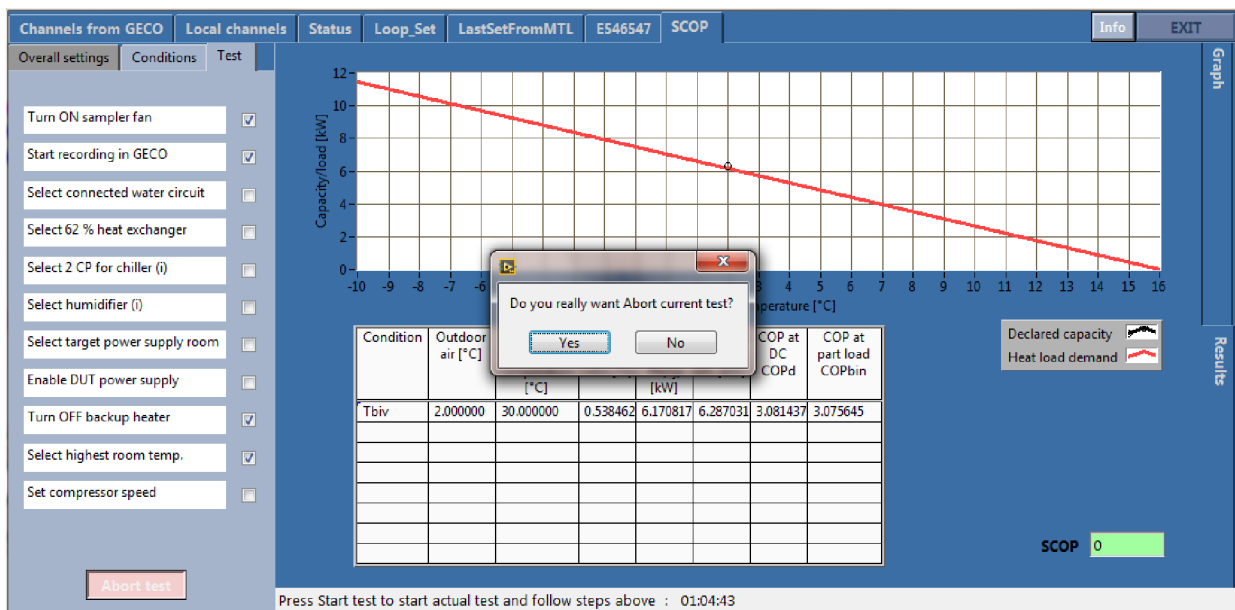
Informace o průběhu testu a zbývající čas jsou zobrazeny v textovém poli na spodním okraji okna programu označeném jako *Process state*. Po ukončení aktuálního testu se opět objeví záložka *Conditions* a uživatel může příslušným tlačítkem začít další test nebo použít tlačítko *Abort*. To slouží k přerušení procedury a uložení všech potřebných výsledků pro následné navázání.



Obr. 17 Rozložení a další funkce

Graf uprostřed ukazuje během inicializace testovací komory aktuální hodnoty teploty a relativní vlhkosti a jejich cílové hodnoty. Během následujícího testu zde jsou hodnoty tepelného výkonu čerpadla a jeho cílová oblast, a teploty vstupu a výstupu z jednotky. Pod grafem jsou podmínky nastavené pro test.

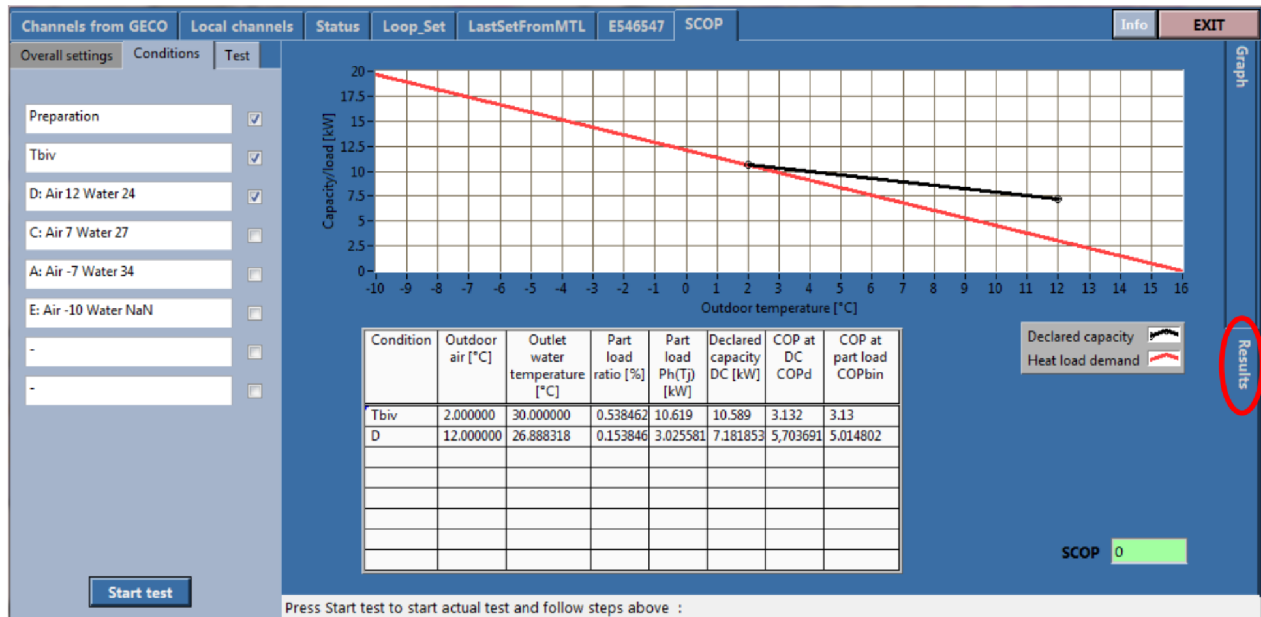
Během testu jsou všechny možnosti v základním nastavení uzamčeny stejně jako tlačítko *Exit* pro ukončování celého programu Connect. Pro zastavení procesu je nutné nejprve využít tlačítko *Abort*, které má ochranu proti nechtěnému zvolení. Při přerušení procesu během průběhu testu jsou výsledky rovněž uloženy, ale aktuálně probíhající nedokončený test je nutné zopakovat. Po ukončení SCOP procesu je odemčeno tlačítko *Exit*.



Obr. 18 Potvrzení přerušení

4.6 Výsledky

Jednotlivé mezivýsledky i finální hodnota jsou zobrazeny v záložce *Results* po dokončení každého z testů.



Obr. 19 Výsledky

Během periody sběru dat jsou pro další výpočty s periodou 10 s ukládány následující veličiny:

QW1 [m³/h] průtok vody sekundárním okruhem (odpovídá q)

EP-W1 [kW] topný výkon testovaného TČ (odpovídá P_h)

E_{Wt} [kW] elektrický příkon testovaného TČ (odpovídá P_{e1})

DP [mmH₂O] tlaková ztráta sekundárního okruhu na TČ (po přepočtu odpovídá Δp_i)

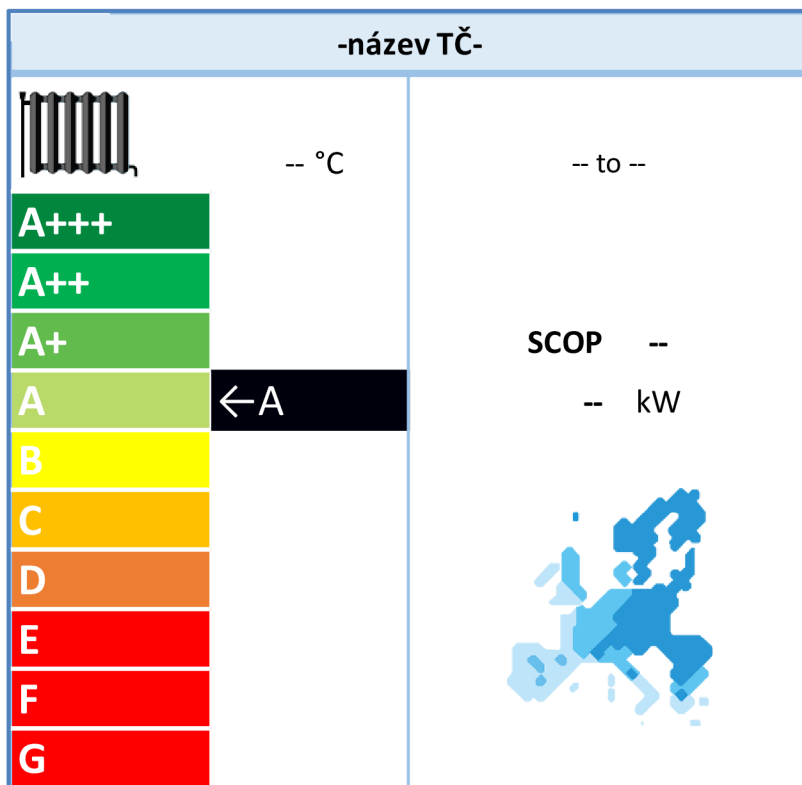
Pro tyto účely je při každém měření ve složce *SCOP data* v adresáři programu automaticky vytvořen textový soubor s názvem odkazujícím na konkrétní podmínku, s datem a časem měření. Obdobně je během měření vytvářen další textový soubor se stejným názvem doplněný *_process*, obsahující informace o časovém průběhu testu a případná varování. Tento průběh je v práci uveden u každé z podmínek.

4.7 Výsledná zpráva

Po dokončení všech potřebných testů je automaticky spočtena hodnota SCOP a zobrazena v záložce výsledků. Další podrobnější výsledky jsou obsaženy ve zprávě v prostředí MS Excel, která je automaticky vytvořena. Tato zpráva obsahuje následující listy:

Test results

Výběr základních informací a výsledků stylizovaný do podoby energetického štítku.



Obr. 20 Základní výsledky

Technical data

Tab. 5 List s technickými údaji podle vzoru z normy [3]

Model			
Heat pump			
Design load		P_{design}	kW
Capacity control			
Declared capacity for heating at indoor conditions 20 °C and outdoor temperature T_j	climate	$T_j = -7\text{ °C}$	kW
		$T_j = 2\text{ °C}$	kW
		$T_j = 7\text{ °C}$	kW
		$T_j = 12\text{ °C}$	kW
		$T_j = T_{biv}$	kW
		$T_j = TOL$	kW
		$T_j = -15\text{ °C}$	kW
Bivalent temperature		T_{biv}	°C
Operation limit temperature		TOL	°C
Degradation coefficient		Cdh	0,9 -
Declared coefficient of performance for heating at indoor conditions 20 °C and outdoor temperature T_j	$T_j = -7\text{ °C}$	COPd	-
	$T_j = 2\text{ °C}$	COPd	-
	$T_j = 7\text{ °C}$	COPd	-
	$T_j = 12\text{ °C}$	COPd	-
	$T_j = T_{biv}$	COPd	-
	$T_j = TOL$	COPd	-
	$T_j = -15\text{ °C}$	COPd	-
Power consumption in modes other than active mode	Off mode	P_{OFF}	W
	Thermostat-off mode	P_{TO}	W
	Standby mode	P_{SB}	W
	Crankcase heater mode	P_{CK}	W
Sum of bin annual heating demand	$h_j \times P_h(T_j)$		kWh
Sum of bin annual energy input including backup heater			kWh
Active mode seasonal coefficient of performance	$SCOP_{on}$		-
Reference annual heating demand	Q_H		kWh
Annual electricity consumption	Q_{HE}		kWh
Seasonal coefficient of performance	SCOP		-

SCOP data

Tab. 6 Výsledky měřených podmínek a základní příslušné výpočty

Condition	Outdoor air	Outlet water temperature	Part load ratio	Part load	Declared capacity	COP at DC	COP at part load
	T_{dry}		plr	Ph(Tj)	DC	COP_d	COP_{bin}
-	°C	°C	%	kW	kW	-	-
Tbiv	2.00	30.00	0.54	12.78	12.86	3.08	3.08
D	12.00	25.73	0.15	3.65	8.68	6.09	5.36
C	7.00	27.00	0.35	8.21	8.67	4.72	4.69
A	-7.00	34.00	0.88	20.99	9.31	2.23	2.23
E	-10.00	35.33	1.00	23.73	6.11	1.58	1.58

Bin calculation

Tab. 7 Rozšíření tabulky SCOP data pro zbývající bin intervaly a základní výpočty pro výsledné stanovení SCOP

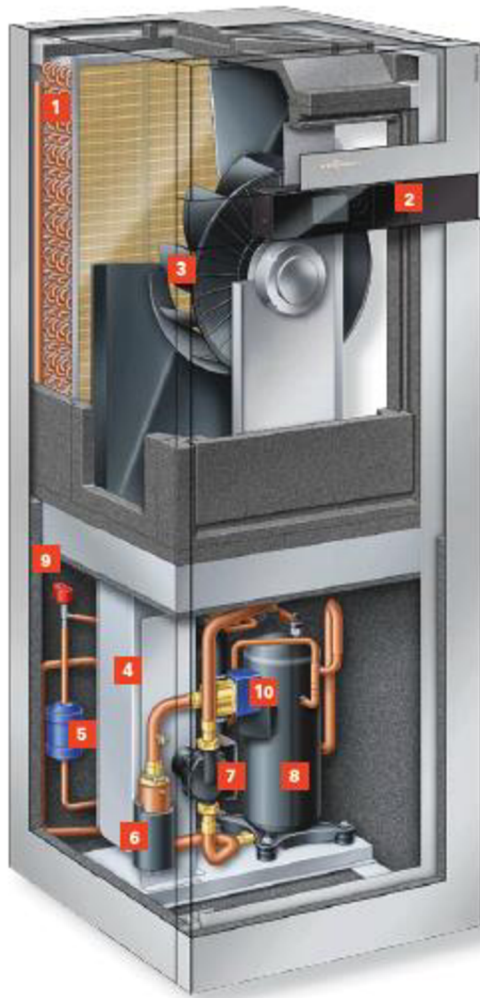
Bin	Outdoor temp	Hours	Heat load	Capacity	COPbin	Electric backup	Annual el. Backup	Annual heating demand	Annual power input
j	Tj	hj	Ph(Tj)	DC		elbu(Tj)	hj x elbu	hj x Ph(Tj)	
-	°C	h	kW	kW	-	kW	kWh	kWh	kWh
21	-10	1	23.73	6.11	1.58	17.61	17.61	23.73	21.49
22	-9	25	22.82	7.18	1.79	15.64	390.94	570.4	490.95
23	-8	23	21.9	8.24	2.01	13.66	314.2	503.78	408.44
24	-7	24	20.99	9.31	2.23	11.68	280.42	503.78	380.64
25	-6	27	20.08	9.7	2.32	10.38	280.17	542.1	392.91
26	-5	68	19.17	10.1	2.42	9.07	616.73	1303.23	900.61
27	-4	91	18.25	10.49	2.51	7.76	706.36	1660.95	1086.21
28	-3	89	17.34	10.88	2.61	6.45	574.49	1543.21	945.94
29	-2	165	16.43	11.28	2.7	5.15	849.38	2710.38	1537.93
30	-1	173	15.51	11.67	2.8	3.84	664.41	2683.87	1386.26
31	0	240	14.6	12.07	2.89	2.53	607.98	3504.2	1609.29
32	1	280	13.69	12.46	2.99	1.23	343.29	3832.64	1511.36
33	2	320	12.78	12.86	3.08	0	0	4088.05	1326.37
34	3	357	11.86	12.02	3.4	0	0	4235.05	1244.26
35	4	356	10.95	11.18	3.73	0	0	3898.42	1046.5
36	5	303	10.04	10.34	4.05	0	0	3041.61	751.62
37	6	330	9.13	9.51	4.37	0	0	3011.6	689.43
38	7	326	8.21	8.67	4.69	0	0	2677.69	570.96
39	8	348	7.3	8.67	4.82	0	0	2540.71	526.8
40	9	335	6.39	8.67	4.96	0	0	2139.99	431.8
41	10	315	5.48	8.68	5.09	0	0	1724.67	338.9
42	11	215	4.56	8.68	5.22	0	0	980.88	187.83
43	12	169	3.65	8.68	5.36	0	0	616.74	115.17
44	13	151	2.74	8.69	5.49	0	0	413.21	75.29
45	14	105	1.82	8.69	5.62	0	0	191.48	34.06
46	15	74	0.91	8.69	5.75	0	0	67.39	11.71

5 Výsledky měření

5.1 Tepelné čerpadlo

Pro testování správného fungování SCOP rozšíření bylo použito tepelné čerpadlo zahraničního výrobce, které v ČR nebylo uvedeno na trh a které firma Honeywell používá na testování v rámci dalších projektů.

Jednotka je typu vzduch-voda, monoblokového uspořádání, s možností ekvitermní regulace a s proměnnou regulací otáček kompresoru – pro bezpečné testování v rozmezí 30 až 95 rps.



Obr. 21 Schéma jednotky z katalogu [10], 1 výparník, 2 ovládací panel, 3 radiální ventilátor, 4 kondenzátor, 5 filtr-dehydrátor, 6 průtokový ohřev teplé vody, 7 oběhové čerpadlo, 8 kompresor s regulovatelným výkonem, 9 elektronický expanzní ventil, 10 třičestný ventil

Dostupné informace o jednotce [10]:

A2W35 nominální výkon 7 kW a COP 3,55

A-7W35 provozní výkon 10,12 kW a COP 2,6

$P_{\text{design}} = 11 \text{ kW}$ (průměrné klimatické otopné období, nízkoteplotní aplikace)

Energetická třída A++ (nízkoteplotní aplikace)

Není známa zvolená bivalentní teplota ani není známé nastavení jednotky při měření pro SCOP.

Jednotka je navržena pro umístění ve vnitřních prostorech s přívodem venkovního vzduchu pomocí vzduchovodu viz obr. 22. Na toto zapojení by bylo nutné využít kapacit obou místností klimakomory a tyto místnosti vhodně propojit, což v rámci projektu nebylo možné.



Obr. 22 Správné umístění opláštěné jednotky ve vnitřních prostorech

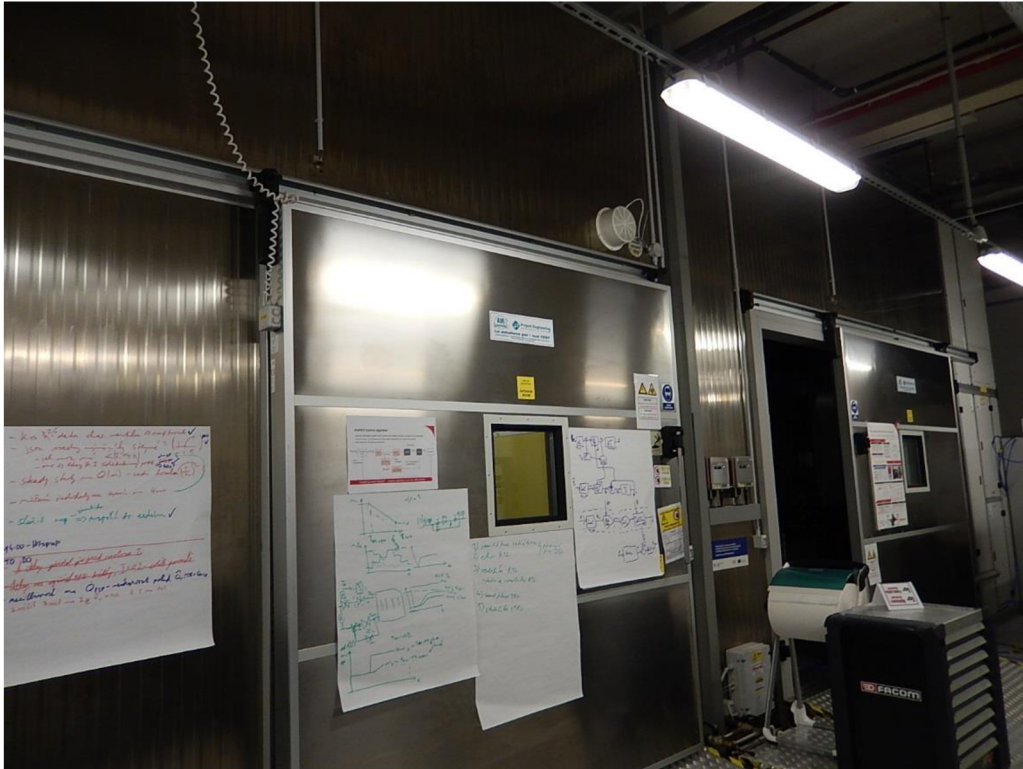
Použité umístění jednotky může vést k odchylce výsledků oproti hodnotám udávaným výrobcem. Podobně může výsledky ovlivnit odstranění opláštění, které bylo nutné kvůli připojení senzorů a dalším projektům. Práce při nižších teplotách ve vnitřní skříni TČ může pomoci při chlazení kompresoru a zvýšení jeho účinnosti, a může negativně ovlivnit teploty chladivového i vodního okruhu. Proti tomuto vlivu je většina potrubí izolována.



Obr. 23 TČ bez opláštění umístěné v klimakomoře

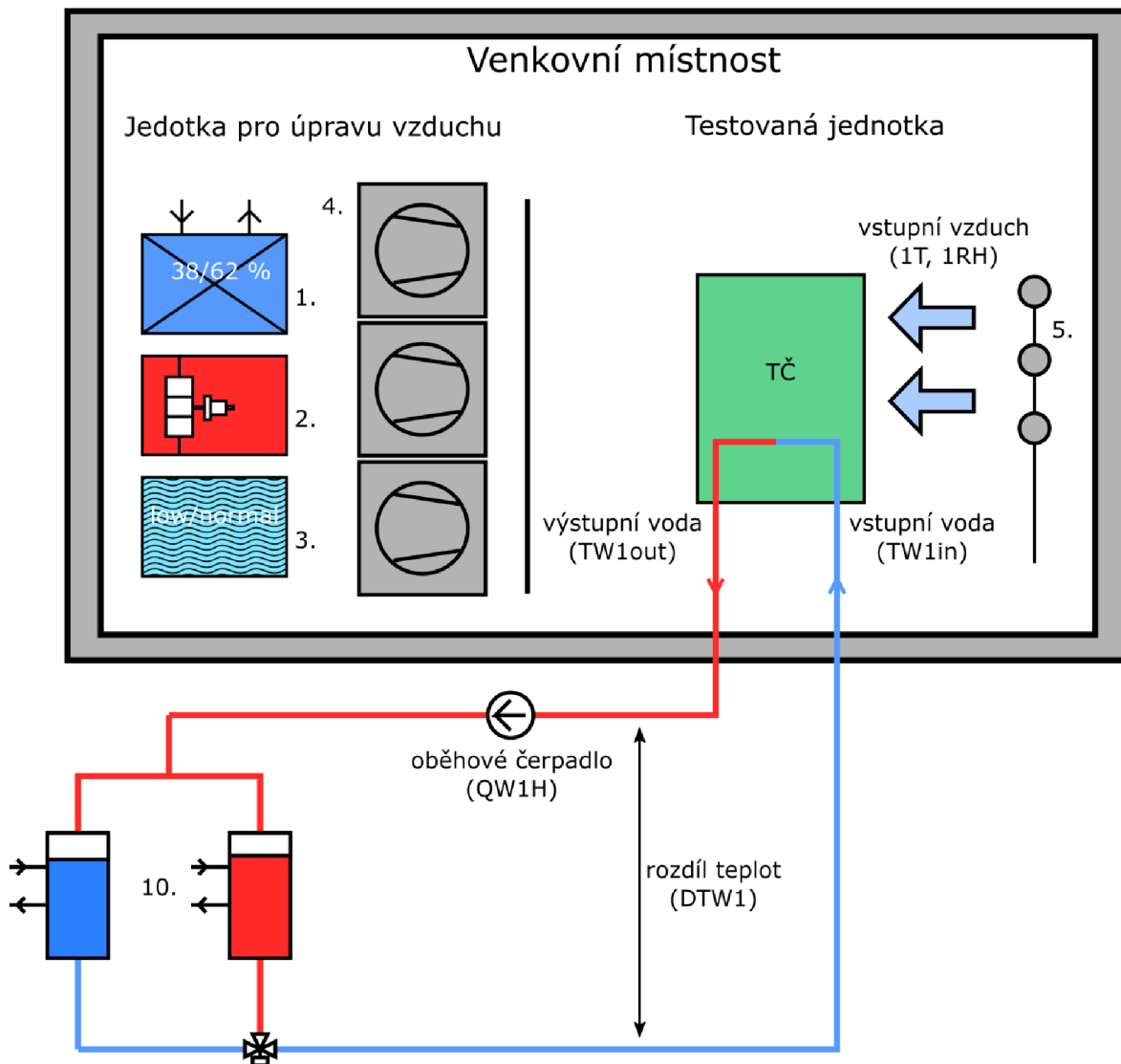
5.2 Měřicí komora

Praktická část byla uskutečňována v laboratoři tepelných čerpadel firmy Honeywell. Tato laboratoř obsahuje klimakomoru schopnou modelovat teplotně vlhkostní podmínky od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ a od $+2$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dvou oddělených místnostech. Uvnitř místností jsou dále zabudovány ohřívané nebo vychlazované vodní okruhy a průchody pro vzduchovody mezi místnostmi. Klimakomora tak umožňuje simulovat provoz všech typů tepelných čerpadel, kdy oddělené místnosti slouží jako venkovní a vnitřní prostředí pro split jednotky a vodní okruhy (případně glykolové) jsou používány jako simulace zdroje tepla nebo vnitřního topného systému. Celá laboratorní jednotka je ovládána pomocí programu GECO, který umožňuje přesnou manuální regulaci všech požadovaných parametrů.



Obr. 24 Klimakomora

Během testování tepelných čerpadel je nutné udržovat konstantní podmínky na straně zdroje tepla (primární okruh) i na straně topného systému (sekundární okruh). Pro jednotku vzduch-voda tomu odpovídá následující uspořádání:



Obr. 25 Schéma klimakomory

Konstantní parametry jsou ve venkovní místnosti komory udržovány pomocí jednotky pro úpravu vzduchu (AHU). Ta se skládá z chladiče (1.), ohřivače (2.), zvlhčovače (3.) a ventilátorů (4.). Stav vzduchu je snímán měřicím stojanem (5.) v blízkosti nasávání vzduchu do jednotky. Konstantní teploty jsou v topném okruhu udržovány použitím kompenzačního systému (10.). Mísení vody z teplého a studeného tanku je regulováno pro udržení konstantní vstupní (TW1in) nebo konstantní výstupní teploty (TW1out). Průtok sekundárním okruhem je nastaven na konstantní hodnotu nebo je regulován pro udržení konstantního teplotního rozdílu (DTW1). [11]

5.3 Nastavení měření

Pro měření byla zvolena nízkoteplotní aplikace a otopné období průměrného klimatu. Bivalentní teplota byla zvolena na horní povolené hranici a odpovídá tak současně podmínce částečného zatížení B. Minimální provozní teplota byla zadána podle štítkové hodnoty na jednotce.

The screenshot shows the 'Conditions' tab of the SCOP software. It is divided into two main sections: 'Heat pump' and 'Heating season'.
Heat pump section:
 - A text input field is empty.
 - 'Type:' is set to 'Air' to 'Water'.
 - 'Capacity control:' is set to 'Variable'.
 - 'HP application:' is set to 'Low'.
 - 'HP outlet:' is set to 'Variable'.
 - 'HP configuration:' is set to 'Monoblock'.
Heating season section:
 - 'Average' is selected from a dropdown menu.
 - 'Bivalent:' is set to '2' with up/down arrows.
 - 'TOL:' is set to '-15' with up/down arrows.
 - At the bottom, there are two buttons: 'SCOP Start' and 'Continue prev.'.

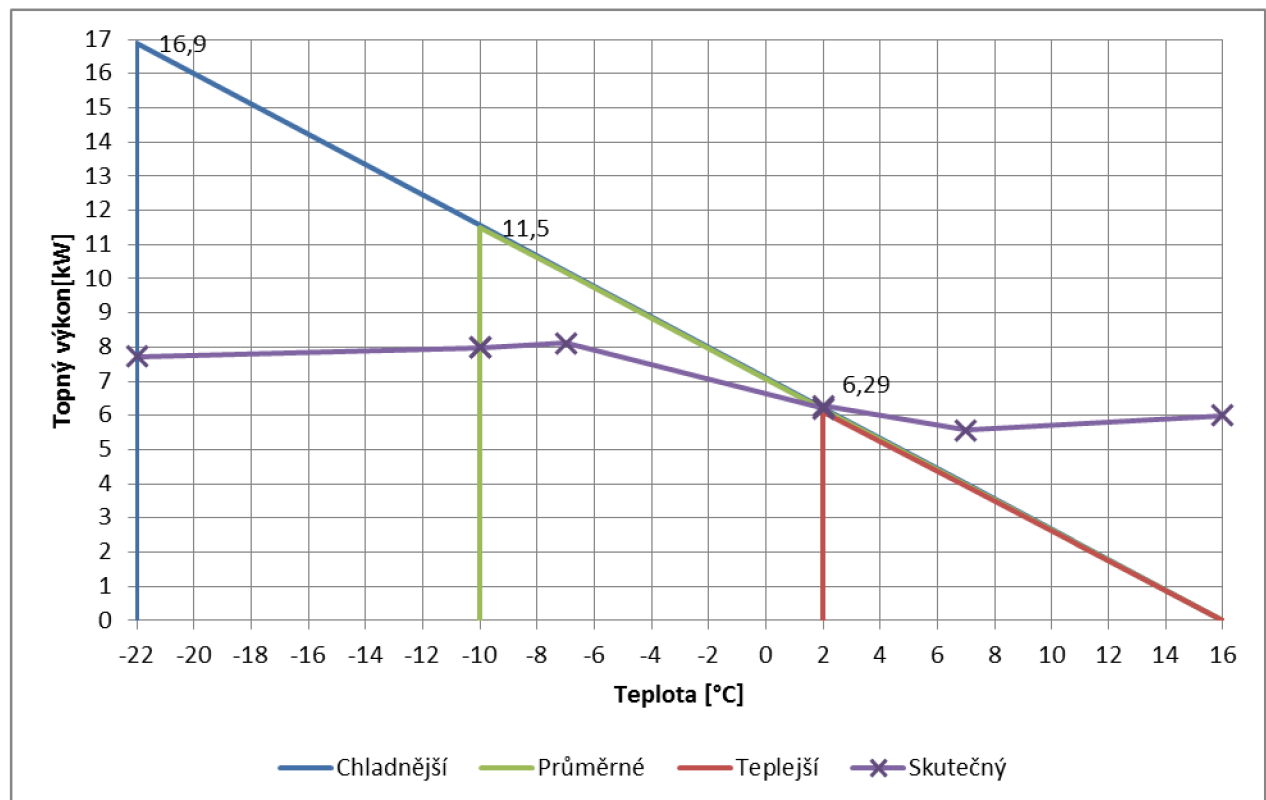
Obr. 26 Zadání parametrů TČ do SCOP rozšíření programu Connect

Ze zpětného posouzení naměřených výkonů zobrazeného na obr. 27, s ohledem na optimální využití kapacity jednotky, na použitelnost při dostatečném rozsahu venkovních teplot a na poskytnutí co největšího výkonu v tomto rozsahu, se zdá volba otopného období průměrného klimatu vhodná. Při volbě otopného období jiného klimatu by při zachování hodnot výkonů pro jednotlivé teploty vyšly teoretické hodnoty návrhového topného zatížení $P_{\text{design}} = 16,9$ kW pro chladnější a 6,1 kW pro teplejší klima. Skutečné měřené hodnoty (pod -10 °C a nad 7 °C extrapolované) tak ukazují základní nevýhodu využití TČ vzduch-voda, která se výrazně projevuje ve výsledné hodnotě SCOP, tedy pokles výkonu jednotky při vyšším požadavku na topení v nízkých teplotách a nárůst možného výkonu při malém požadavku ve vyšších teplotách.

Při měření byl pro teplotu -7 °C, což je maximální hodnota bivalentní teploty pro chladnější klima, naměřen výkon pouze 8,12 kW a z něho by byla pro chladnější klima určená hodnota $P_{\text{design}} = 13,4$ kW. Pro tuto hodnotu a při optimistickém lineárním poklesu topného výkonu s klesající teplotou je při návrhové teplotě -22 °C nutný záložní přívěv minimálně 5 kW. Jednotka by tak mohla být provozována v otopném období chladnějšího klimatu pouze při výrazném snížení hodnoty P_{design} , čím by se ale snížila i potřeba tepla pro vyšší teploty a jednotka by zde byla nucena více cyklovat.

Obdobný charakter lze sledovat i pro průměrné klima, křivka topného výkonu zde však lépe kopíruje křivku požadavku. Použití pro toto klima se proto zdá vhodnější.

Pro použití v teplejším klimatu by naopak bylo ideální navýšit tepelnou ztrátu budovy, tedy hodnotu P_{design} , aby byla využita větší část kapacity jednotky.



Obr. 27 Porovnání výběru klimatu

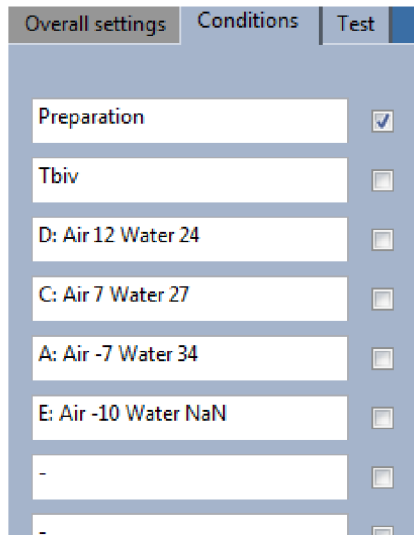
Pro vybraná nastavení je potřebné měření podmínek, které jsou uvedené na obr. 28. Hodnoty teplot na vstupu venkovního výměníku tepla a výstupu vnitřního jsou v normě [3] zpracovány do řady tabulek pro jednotlivé typy TČ a jejich teplotních aplikací. Používaná tabulka je zpracována jako tab. 8, kde zeleně jsou vyznačeny měřené podmínky a hodnoty příslušící měřené jednotce a vybranému otopnému období. Hodnota koeficientu částečného zatížení je v tabulce uvedena pouze informativně, pro výpočty je vždy využívána nezaokrouhlená hodnota určená podle rovnice (3). Poznámky v tabulce mají pro tuto práci následující význam:

^a Pro jednotky s ustáleným průtokem vody je teplota na vstupu dána tímto průtokem, který je určen při standardní podmínce pro hodnocení A7W35 (viz kapitola Preparation).

^b Proměnný výstup má být spočítán interpolací nebo extrapolací ze dvou podmínek nejbližších teplotě TOL.

^c Proměnný výstup má být spočítán interpolací mezi hodnotami podmínek při nejbližší vyšší a nejbližší nižší teplotě od teploty T_{biv} , zde odpovídá podmínce B a není proto nutné interpolovat.

^d Pokud je některá hodnota proměnného výstupu pod minimální hodnotou operačního rozsahu použije se toto minimum.



Obr. 28 Měření potřebná pro vybraná nastavení

Teplota výstupní vody pro podmínku E není určena tabulkou z normy, a proto je zde zobrazeno NaN. Používaná hodnota je pak stanovena extrapolací z ostatních podmínek až bezprostředně před testem.

Tab. 8 Podmínky částečného zatížení pro jednotky vzduch-voda s nízkoteplotní aplikací pro referenční otopná období klimatu: "A" = průměrný, "W" = teplejší a "C" = chladnější [3]

podmínka	Koeficient částečného zatížení [%]			Venkovní výměník tepla	Vnitřní výměník tepla			
				Vstupní teplota naměřená suchým (mokrým) teploměrem °C	Ustálený výstup °C	Proměnný výstup °C		
	A	W	C	Venkovní vzduch	všechny	A	W	C
A	88	n/a	61	-7 (-8)	^a /35	^a /34	n/a	^a /30
B	54	100	37	2 (1)	^a /35	^a /30	^a /35	^a /27
C	35	64	24	7 (6)	^a /35	^a /27	^a /31	^a /25
D	15	29	11	12 (11)	^a /35	^a /24	^a /26	^a /24
E	$(TOL-16)/(T_{design}-16)$			TOL	^a /35	^a / ^b	^a / ^b	^a / ^b
F	$(T_{biv}-16)/(T_{design}-16)$			Tbiv	^a /35	^a / ^c	^a / ^c	^a / ^c
G	n/a	n/a	82	-15	^a /35	n/a	n/a	^a /32

Pro všechna měření byl vypnutý záložní elektrický ohřev a odstavené vodní čerpadlo uvnitř jednotky. Požadovaná hodnota výkonu byla získávána nastavením dostatečně vysoké teploty výstupní vody tak, aby jednotka byla nucena pracovat na maximum, a následně manuálním omezením maximálních otáček v servisním nastavení 2. úrovně.

5.4 Jednotlivé podmínky

5.4.1 Preparation

Měření pro určení průtoku vody je při standardních podmínkách pro hodnocení.

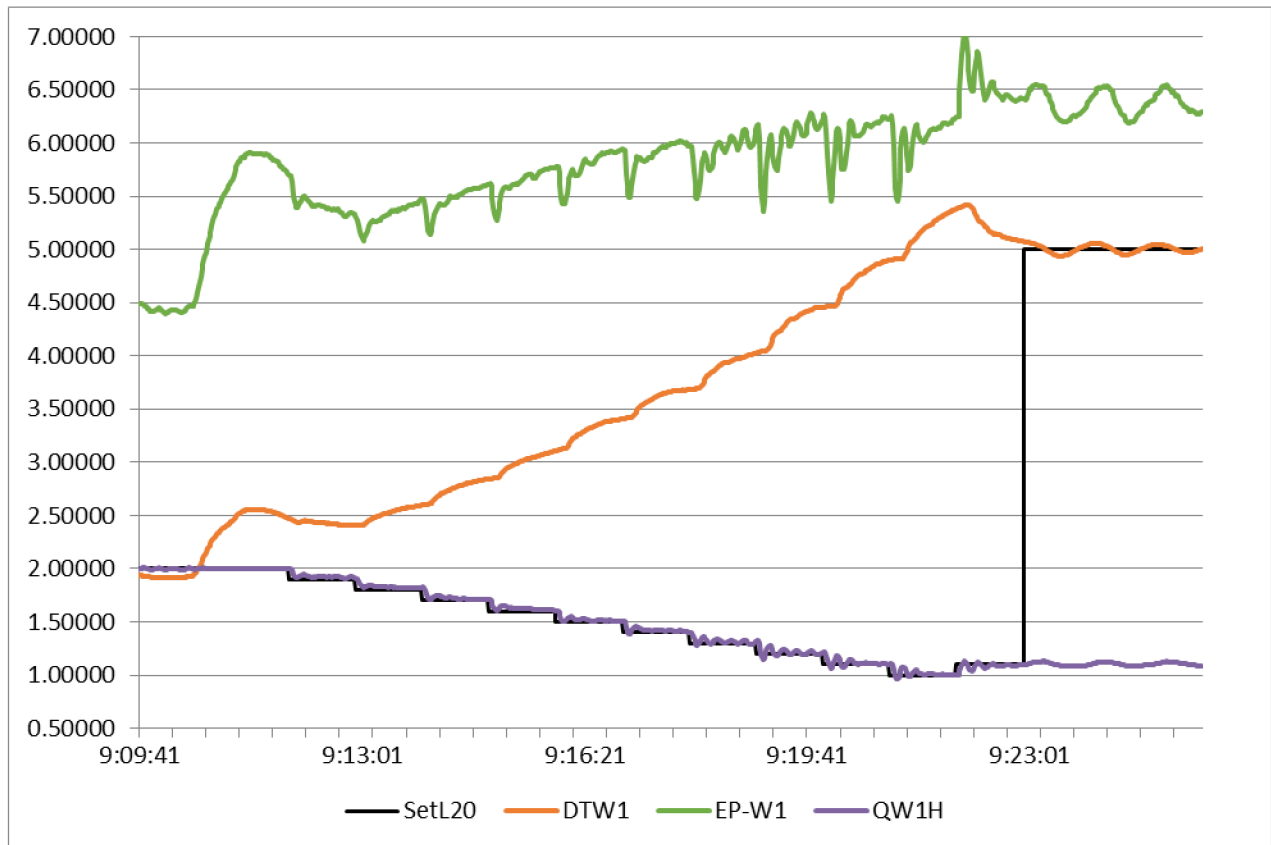
Tab. 9 Standardní podmínky pro hodnocení

	Venkovní výměník tepla		Vnitřní výměník tepla Aplikace s nízkými teplotami	
	Vstupní teplota suchého teploměru °C	Vstupní teplota mokrého teploměru °C	Vstupní teplota °C	Výstupní teplota °C
Venkovní vzduch	7	6	30	35

Tab. 10 Preparation

Nastavení místnosti			
Venkovní teplota	Tj	7	°C
Relativní vlhkost	RH	87	%
Teplota vstupní vody	Tin	30	°C
Teplota výstupní vody	Tout	35	°C
Průtok jednotkou	QW	2	m ³ /h
Nastavení jednotky			
Koeficient částečného zatížení	pl(Tj)	-	-
Částečné zatížení	Ph(Tj)	-	kW
Otáčky kompresoru	n	40	rps
Výsledky měření podmínky			
Topný výkon stand. podm.	DC	6,62	kW
Průtok jednotkou	QW	1,15	m ³ /h
Celková doba testu		2 h 30 min	

Po dosažení teplotně vlhkostních podmínek uvnitř místnosti bylo spuštěno tepelné čerpadlo s kompresorem nastaveným na 40 rps, což je hodnota dodaná výrobcem čerpadla. Pro určení průtoku vody při jmenovitých podmínkách je poté nejprve nastavena teplota vstupní vody podle tabulky. Inicializační průtok vody byl zvolen 2 m³/h. Tato hodnota je poté postupně snižována (zvyšována) do dosažení požadovaného teplotního rozdílu vstupu a výstupu. Po dostatečně přesném dosažení teplot je regulační smyčka řídicí průtok změněna na regulaci podle tohoto rozdílu pro udržení požadovaných hodnot během celé zkoušky. Zmíněný postup prováděný vytvořeným programem je na následujícím grafu.



Obr. 29 Regulace průtoku vody

Kde:

SetL20 je hodnota nastavená pro regulační smyčku L20, nejprve přímo zadávaná hodnota průtoku [m^3/h], poté změna řízení podle rozdílu $\Delta T = 5 \text{ K}$

DTW1 je měřený rozdíl teplot vody na vstupu a výstupu z TČ [K]

EP-W1 je měřený tepelný výkon TČ [kW]

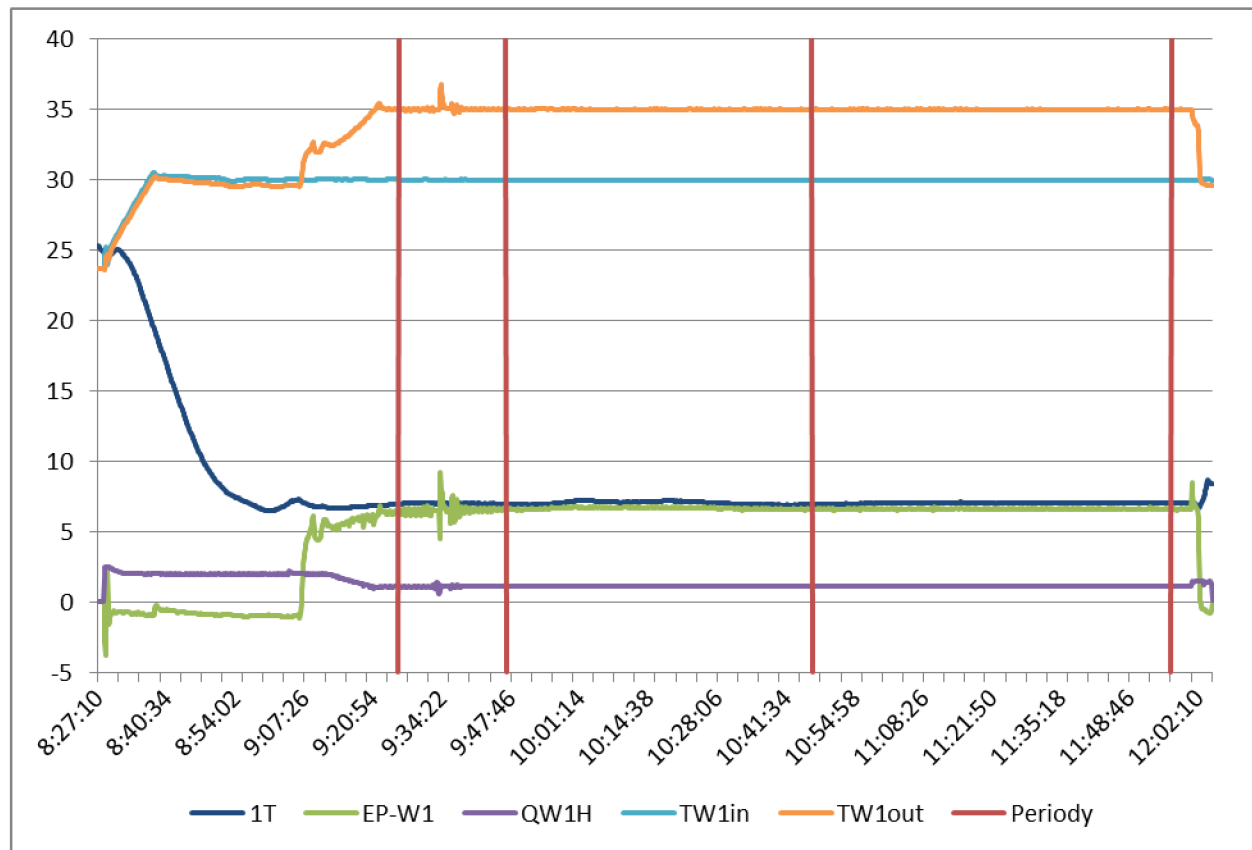
QW1H je měřený průtok otopné vody [m^3/h]

Průběh:

08:28:23	Test START
09:01:02	Test conditions reached
09:25:57	Preconditioning period start
09:46:40	Preconditioning period finish
09:46:40	Equilibrium period start
10:46:40	Equilibrium period finish
10:46:40	Data collection period start - steady state test
11:57:00	Data collection period finish
11:57:00	Test FINISH

Perioda rovnovážného stavu následovala po přípravné periodě bez odtávacího cyklu, v daných teplotách nedochází k namrzání výparníku. Přípravná perioda trvala 20 min z důvodu velkých výkyvů hodnot výkonu po změnách průtoku a obtížné regulace. Sběr dat proběhl podle měření v ustáleném stavu, požadovaným výsledkem je ustálená průměrná hodnota průtoku vody.

Topný výkon při standardní podmínce je používán při navyšování teploty výstupní vody při dosažení minimální možné kapacity, proto je tato hodnota také uložena ($DC_{s,p}$).



Obr. 30 Preparation

5.4.2 Podmínka T_{biv}

Otáčky kompresoru byly omezeny na 50 rps pro získání hodnoty P_{design} co nejlíže hodnotě na energetickém štítku výrobce. Průtok vody je fixní hodnota z předchozího testu. Teplota v místnosti byla na začátku 15 °C z předchozího měření.

Tab. 11 Podmínka Tbiv

Nastavení místnosti			
Venkovní teplota	Tj	2	°C
Relativní vlhkost	RH	84	%
Teplota vstupní vody	Tin	25	°C
Teplota výstupní vody	Tout	30	°C
Průtok jednotkou	QW	1,15	m ³ /h
Nastavení jednotky			
Koeficient částečného zatížení	pl(Tj)	-	-
Částečné zatížení	Ph(Tj)	-	kW
Otáčky kompresoru	n	50,00	rps
Výsledky měření podmínky			
Topný výkon při Tbiv	DCbiv	6,17	kW
COP při DC	COPd	3,1	-
COP při částečném zatížení	COPbin	3,1	-
Návrhové top. zatížení	Pdesign	11,46	kW
Celková doba testu		6 h	
Začátek prvního defrostu		po 1 h 45 min	
Prům. délka defrostu		12 min	
Čas mezi defrosty		2 h 30 min	

Průběh:

07:52:15 Test START
 08:16:59 Test conditions reached
 08:33:25 Preconditioning period start
 08:43:43 Preconditioning period finish
 08:43:43 Equilibrium period start
 09:43:43 Equilibrium period finish
 09:43:43 Data collection period start - steady state test
 09:53:43 Test restart
 09:54:03 Data collection period finish
 09:54:03 Equilibrium period start
 10:19:23 Defrost start
 10:24:53 Defrost finish
 10:34:57 Equilibrium period restart
 10:40:42
 to 10:45:32 ! outlet temp value out of tolerance range, test results could be impacted
 11:35:12 Equilibrium period finish
 11:35:12 Data collection period start - transient state test
 12:45:23 Defrost start
 12:50:02 Defrost finish
 12:54:15 Defrost start
 12:57:15 Defrost finish

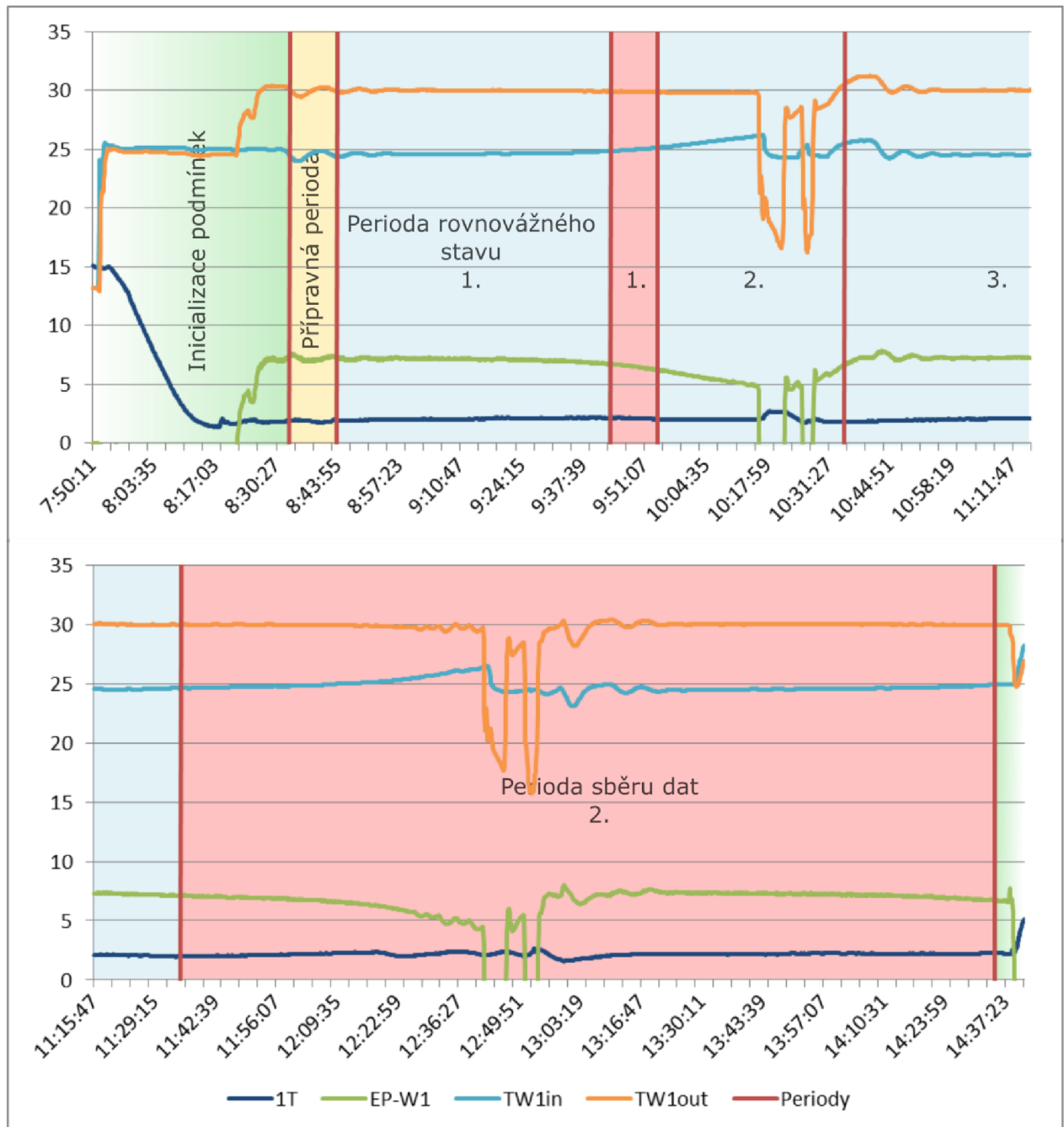
14:35:08 Data collection period finish

14:35:08 Test FINISH

Přípravná perioda proběhla bez odtávacího cyklu, protože měřená jednotka neumožňuje jeho přímé manuální spuštění (pouze nastavení parametrů spínání). Následně proběhla celá perioda rovnovážného stavu označená číslem 1 a po ní byla zahájena perioda sběru dat v ustáleném stavu. Z důvodu výrazného poklesu teplotního rozdílu na vstupu a výstupu jednotky byla perioda po uplynutí 10 minut ukončena a kvůli absenci úvodního defrostu byla opakována perioda rovnovážného stavu označená 2. Během této periody byl automaticky inicializován odtávací cyklus a tato perioda byla proto po jeho ukončení zahájena znovu, jak je určeno normou, a označena číslem 3. Teplota výstupní vody během 5 min po dokončení defrostu přesahovala dovolené tolerance pro měření v neustáleném stavu z důvodu změny regulace teploty během ještě ne zcela ustáleného výkonu a bylo proto vytvořeno varování ohledně možného ovlivnění výsledků testu. Následovala 3 hodinová perioda sběru dat odpovídající měření v neustáleném stavu. Výsledný topný výkon je průměrná hodnota za tuto periodu. Hodnoty COP_d , COP_{bin} a P_{design} jsou určeny z příslušných vztahů s použitím dalších průměrných hodnot z měření.

Ukázka výpočtu P_{design} :

$$P_{design} = DC_{biv} + \frac{T_{biv} - T_{design}}{16 - T_{biv}} \cdot DC_{biv} = 6,17 + \frac{2 - (-10)}{16 - 2} \cdot 6,17 = 11,46 \text{ kW} \quad (21)$$



Obr. 31 Podmínka Tbiv

Provedené měření postupem podle normy dosáhlo jednoho z nejdelších možných průběhů. Kontrolou snížení teplotního rozdílu je zde detekováno namrzání výparníku a opakovaním period je poté vynuceno dosažení odtávacího cyklu, který výrazně ovlivňuje výsledky měření.

5.4.3 Podmínka D

Otáčky kompresoru byly nastaveny na minimální dovolenou hodnotu. Protože topná kapacita při těchto otáčkách překračovala požadované částečné zatížení, teplota výstupní vody byla navýšena podle rovnice 22. Ta byla odvozena z rovnice uvedené v normě [3] a z příkladů přepočtu v příloze D této normy. Použití rovnice je iterativní do dosažení konvergence 0,1 K.

$$T_{out,nová} = T_{out,pův} + \frac{DC_{měř}}{DC_{s,p}} \cdot 5 - \frac{P_h(T_j)}{DC_{s,p}} \cdot 5 \quad (22)$$

Kde:

$T_{out,nová}$ je navýšená teplota výstupní vody [°C]

$T_{out,pův}$ je původní teplota výstupní vody [°C]

$DC_{měř}$ je měřená ustálená hodnota výkonu při nastavených otáčkách [kW]

$DC_{s,p}$ je hodnota tepelného výkonu při standardních podmínkách pro hodnocení z testu Preparation [kW]

$P_h(T_j)$ je požadované částečné zatížení [kW]

Koeficient 5 odpovídá rozdílu teplot vstupu a výstupu při příslušné standardní podmínce

Použitá hodnota je pak stanovena:

$$T_{out,nová} = 24 + \frac{6,38}{6,62} \cdot 5 - \frac{1,75}{6,62} \cdot 5 = 27,5 \text{ °C} \quad (23)$$

Tab. 12 Podmínka D

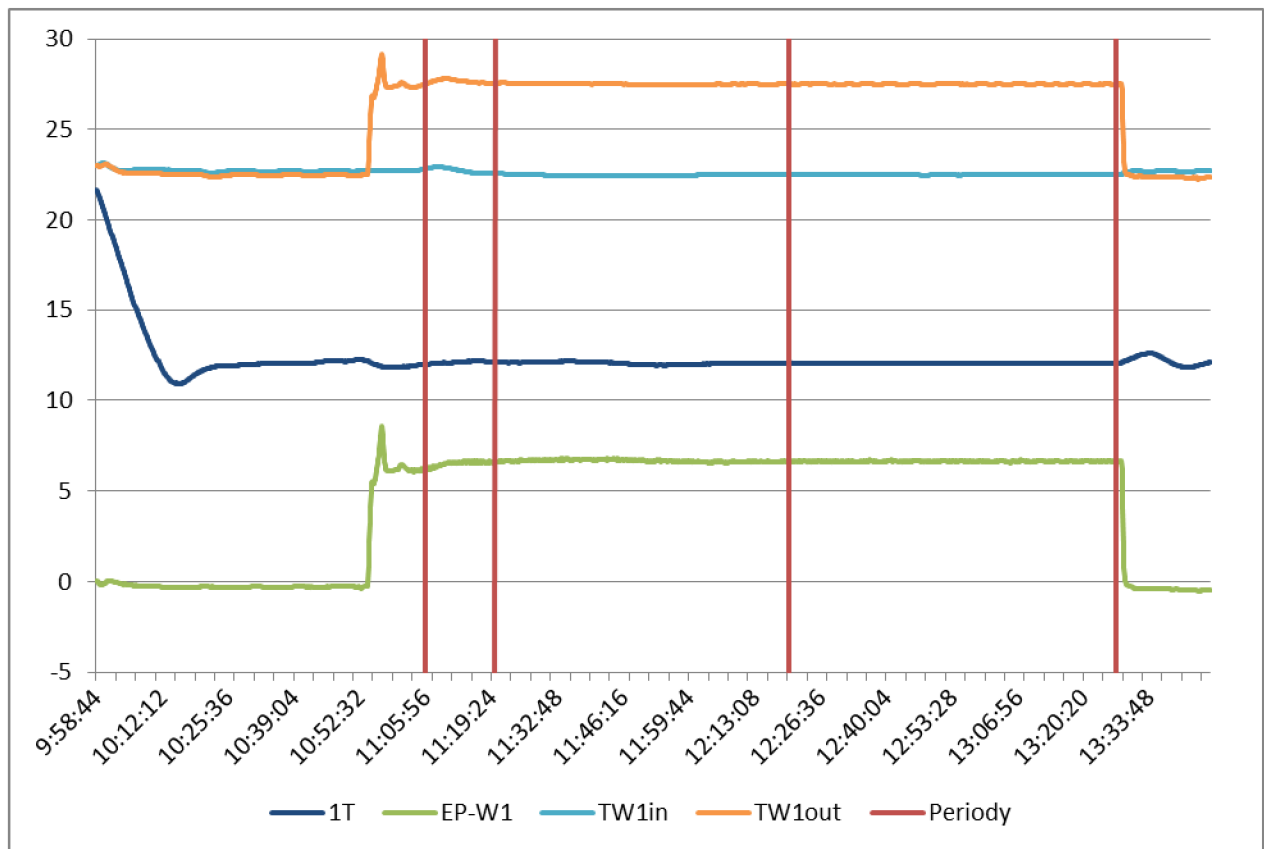
Nastavení místnosti			
Venkovní teplota	T _j	12	°C
Relativní vlhkost	RH	89	%
Teplota vstupní vody	T _{in}	22,7	°C
Teplota výstupní vody	T _{out}	24	°C
Navýšená teplota výstup. vody	T _{out}	27,5	°C
Průtok jednotkou	QW	1,15	m ³ /h
Nastavení jednotky			
Koeficient částečného zatížení	pl(T _j)	0,15	-
Částečné zatížení	Ph(T _j)	1,76	kW
Otáčky kompresoru	n	30	rps
Výsledky měření podmínky			
Topný výkon	DC	6,76	kW
COP při DC	COP _d	5,57	-
COP při částečném zatížení	COP _{bin}	4,34	-
Celková doba testu		2 h 25 min	

Průběh:

09:55:31 Test START
 10:49:56 Test conditions reached
 11:05:53 Preconditioning period start
 11:20:11 Preconditioning period finish

11:20:11	Equilibrium period start
12:20:11	Equilibrium period finish
12:20:11	Data collection period start - steady state test
13:30:21	Data collection period finish
13:30:21	Test FINISH

Perioda rovnovážného stavu následovala po přípravné periodě bez odtávacího cyklu, v daných teplotách nedochází k namrzání výparníku. Přípravná perioda trvala 15 min z důvodu ještě neustáleného výkonu TČ po navýšování teploty výstupu. Sběr dat proběhl podle měření v ustáleném stavu a žádné z hodnot během měření nepřekročily povolené tolerance. Výsledný topný výkon je průměrná hodnota za periodu 70 min. Hodnoty COP_d a COP_{bin} jsou určeny z příslušných vztahů s použitím dalších průměrných hodnot z měření.



Obr. 32 Podmínka D

5.4.4 Měření elektrické spotřeby

Po dokončení první podmínky D je vloženo měření pro určení spotřeby elektrické energie při vypnutém stavu termostatu, při pohotovostním režimu, v režimu zahřívání skříně kompresoru a při vypnutém stavu, které má probíhat při stejné teplotní podmínce 12 °C. Postup těchto měření je uveden v [3] a je dostatečně zřejmý, proto jej nebylo nutné zpracovávat do podoby vývojového diagramu.

Tab. 13 Měření elektrické spotřeby

Výsledky měření podmínky			
Vypnutý stav termostatu	(Thermostat-off)	20,94	W
Pohotovostní režim	(Standby)	0,00	W
Zahřívání skříně	(Crankcase)	20,94	W
Vypnutý stav	(Off mode)	20,94	W

5.4.5 Podmínka C

Otáčky kompresoru byly nastaveny na minimální dovolenou hodnotu. Protože topná kapacita při těchto otáčkách překračovala požadované částečné zatížení, teplota výstupní vody byla navýšena podle příslušného vztahu o 1 °C.

Tab. 14 Podmínka C

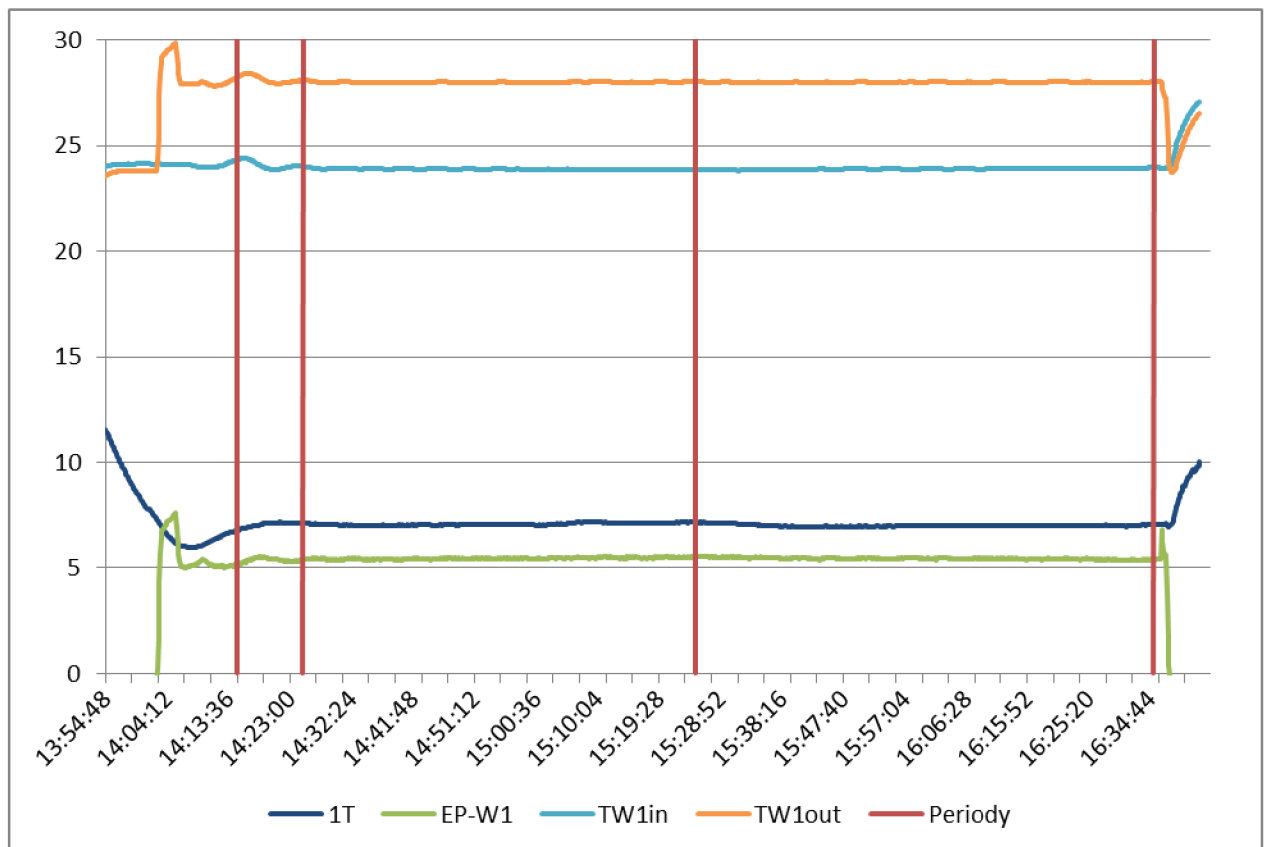
Nastavení místnosti			
Venkovní teplota	Tj	7	°C
Relativní vlhkost	RH	87	%
Teplota vstupní vody	Tin	24	°C
Teplota výstupní vody	Tout	27	°C
Navýšená teplota výstup. vody	Tout	28	°C
Průtok jednotkou	QW	1,15	m ³ /h
Nastavení jednotky			
Koeficient částečného zatížení	pl(Tj)	0,35	-
Částečné zatížení	Ph(Tj)	3,97	kW
Otáčky kompresoru	n	30	rps
Výsledky měření podmínky			
Topný výkon	DC	5,56	kW
COP při DC	COPd	4,39	-
COP při částečném zatížení	COPbin	4,22	-
Celková doba testu		2 h 20 min	

Průběh:

13:54:42 Test START
 14:04:00 Test conditions reached
 14:14:58 Preconditioning period start
 14:25:03 Preconditioning period finish
 14:25:03 Equilibrium period start

15:25:03 Equilibrium period finish
 15:25:03 Data collection period start - steady state test
 16:35:13 Data collection period finish
 16:35:13 Test FINISH

Perioda rovnovážného stavu následovala po přípravné periodě bez odtávacího cyklu, v daných teplotách nedochází k namrzání výparníku. Sběr dat proběhl podle měření v ustáleném stavu a žádné z hodnot během měření nepřekročily povolené tolerance. Výsledný topný výkon je průměrná hodnota periodu 70 min. Hodnoty COP_d a COP_{bin} jsou určeny z příslušných vztahů s použitím dalších průměrných hodnot z měření. Měření proběhlo podle nejkratšího možného scénáře.



Obr. 33 Podmínka C

5.4.6 Podmínka A

Otáčky kompresoru byly nastaveny na maximální možnou hodnotu. Topný výkon jednotky při nich nedosahoval požadovaného částečného zatížení. Dodatečný potřebný výkon elektrického záložního ohřívače, který je během testu vypnutý, je zohledněn ve výpočtech.

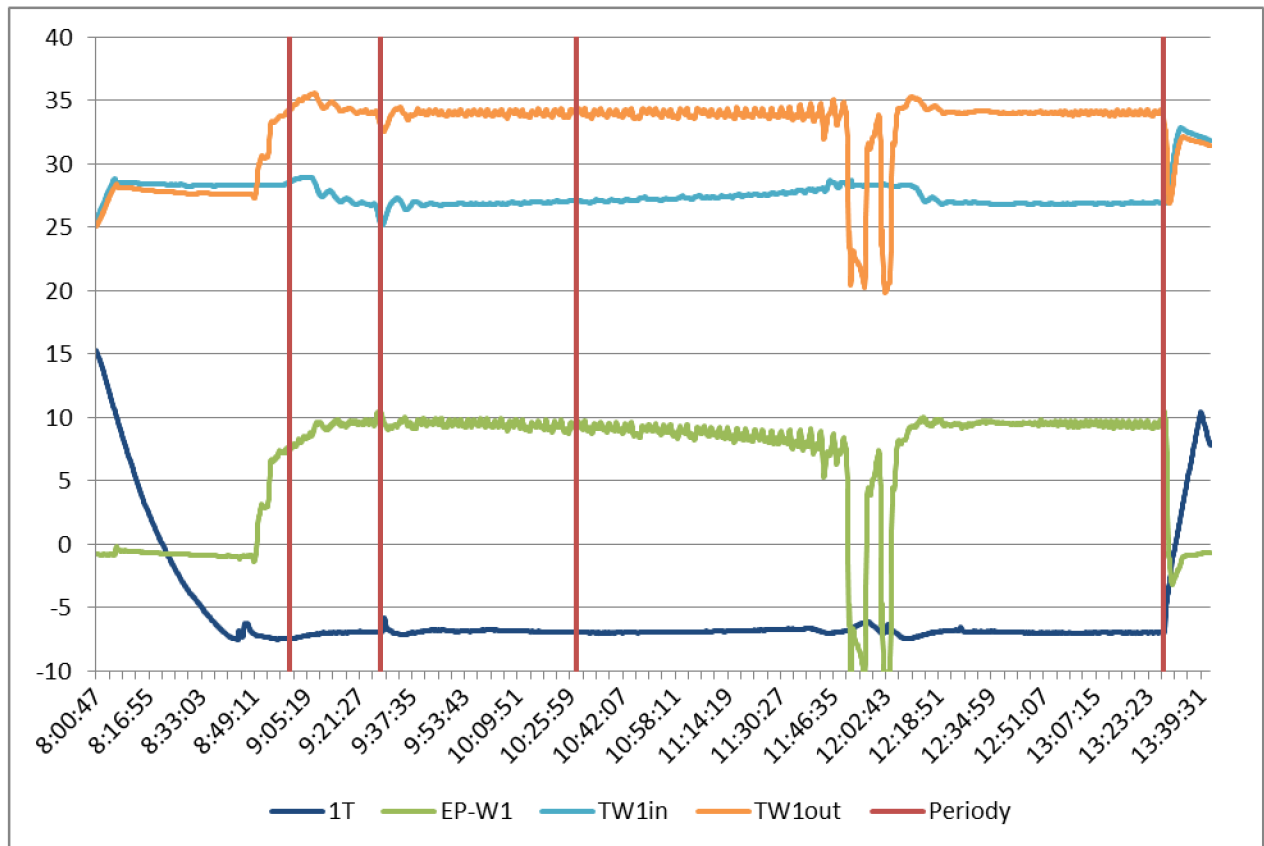
Tab. 15 Podmínka A

Nastavení místnosti			
Venkovní teplota	Tj	-7	°C
Relativní vlhkost	RH	87	%
Teplota vstupní vody	Tin	28,3	°C
Teplota výstupní vody	Tout	34	°C
Průtok jednotkou	QW	1,15	m ³ /h
Nastavení jednotky			
Koeficient částečného zatížení	pl(Tj)	0,88	-
Částečné zatížení	Ph(Tj)	10,14	kW
Otáčky kompresoru	n	95	rps
Výsledky měření podmínky			
Topný výkon	DC	8,12	kW
COP při DC	COPd	1,99	-
COP při částečném zatížení	COPbin	1,99	-
Celková doba testu		4 h 30 min	
Začátek prvního defrostu		po 2 h 50 min	
Délka defrostu		13 min	

Průběh:

07:56:24 Test START
 08:39:23 Test conditions reached
 09:00:03 Preconditioning period start
 09:27:54 Preconditioning period finish
 09:27:54 Equilibrium period start
 09:31:44
 to 09:33:04 ! outlet temp value out of tolerance range, test results could be impacted
 10:27:54 Equilibrium period finish
 10:27:54 Data collection period start - transient state test
 11:54:24 Defrost start
 11:59:44 Defrost finish
 13:27:57 Data collection period finish
 13:27:57 Test FINISH

Přípravná perioda trvala 27 minut z důvodu ještě neustáleného výkonu jednotky. I po ustálení docházelo ke kolísání výkonu, zřejmě způsobenému vnitřním řízením jednotky. Kvůli náhodnému překročení povolených tolerancí během periody rovnovážného stavu probíhal sběr dat jako měření v neustáleném stavu po dobu 3 hodin. Výsledný topný výkon je průměrná hodnota za tuto periodu. Hodnoty COP_d a COP_{bin} jsou určeny z příslušných vztahů s použitím dalších průměrných hodnot z měření.



Obr. 34 Podmínka A

5.4.7 Podmínka E

Otáčky kompresoru byly nastaveny na maximální možnou hodnotu. Topný výkon jednotky při nich nedosahoval požadovaného částečného zatížení. Dodatečný potřebný výkon elektrického záložního ohřívače, který je během testu vypnutý, je zohledněn ve výpočtech.

Tab. 16 Podmínka E

Nastavení místnosti			
Venkovní teplota	Tj	-10	°C
Relativní vlhkost	RH	69	%
Teplota vstupní vody	Tin	29,7	°C
Teplota výstupní vody	Tout	35,3	°C
Průtok jednotkou	QW	1,15	m ³ /h
Nastavení jednotky			
Koeficient částečného zatížení	pl(Tj)	1	-
Částečné zatížení	Ph(Tj)	11,46	kW
Otáčky kompresoru	n	95	rps
Výsledky měření podmínky			
Topný výkon	DC	7,99	kW
COP při DC	COPd	1,88	-
COP při částečném zatížení	COPbin	1,88	-
Celková doba testu	4 h 30 min		
Začátek prvního defrostu	po 2 h 30 min		
Délka defrostu	6 min		

Průběh:

12:25:32 Test START
 12:56:57 Test conditions reached
 12:58:56 Preconditioning period start
 13:23:21 Preconditioning period finish
 13:23:21 Equilibrium period start
 13:30:31
 to 13:35:31 ! outlet temp value out of tolerance range, test results could be impacted
 14:23:22 Equilibrium period finish
 14:23:22 Data collection period start - transient state test
 15:25:52 Defrost start
 15:31:42 Defrost finish
 17:30:53 Data collection period finish
 17:30:53 Test FINISH

Přípravná perioda trvala 25 minut z důvodu ještě neustáleného výkonu jednotky. Kvůli výkyvu teploty na začátku periody rovnovážného stavu bylo celé následné měření provedeno v neustáleném stavu. V důsledku vnitřního řízení jednotky docházelo k neustálému kolísání výkonu. Perioda sběru dat trvala 3 hodiny. Výsledný topný výkon je průměrná hodnota za tuto

periodu. Hodnoty COP_d a COP_{bin} jsou určeny z příslušných vztahů s použitím dalších průměrných hodnot z měření.

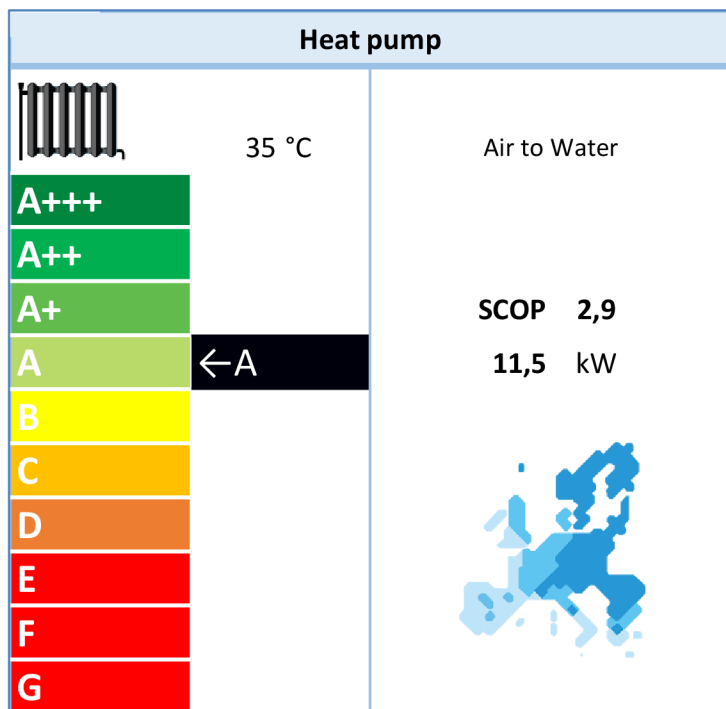
Vnitřní ochrany TČ nedovolovaly spuštění jednotky až při nastavených podmínkách, bylo proto nutné jednotku nejprve spustit při kladných teplotách a až poté místnost vychladit. Tyto ochrany by v reálném provozu, kdy je jednotka umístěna v interiéru, neměly bránit v provozu.

Defrost při této jediné podmínce neměl dvojitý průběh. Měření z časových důvodů nebylo možné opakovat, proto nelze z tohoto vyvozovat žádné závěry.



Obr. 35 Podmínka E

5.5 Výsledky



Obr. 36 Základní výsledky

Výsledná hodnota SCOP je pro zařazení do energetické třídy přepočítána na energetickou účinnost vytápění podle:

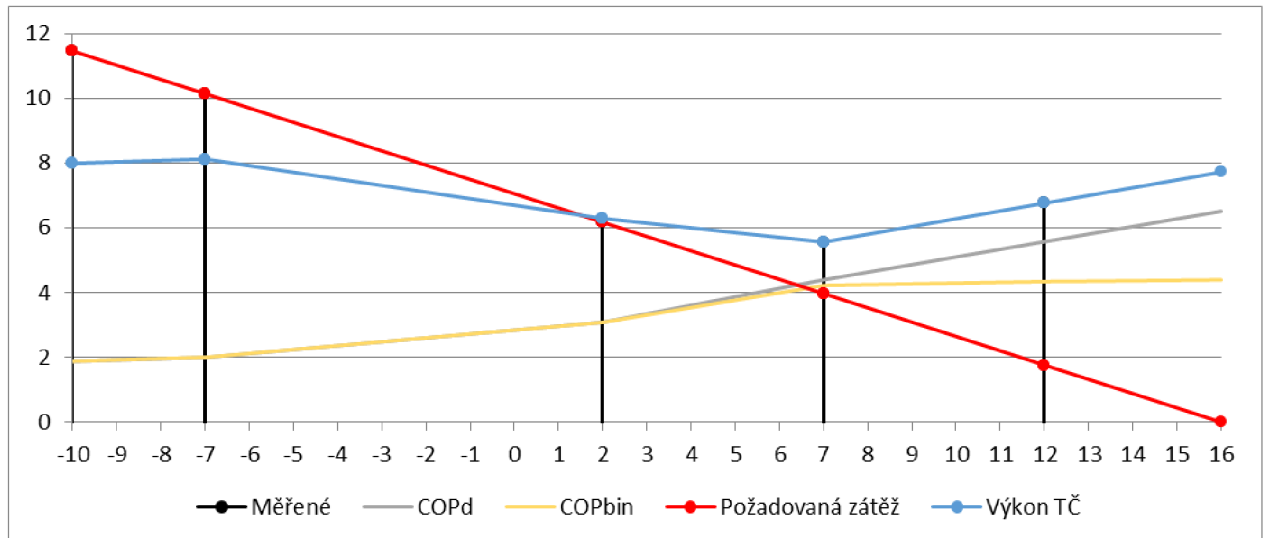
$$\eta_s = \frac{SCOP}{CC} = \frac{2,93}{2,5} = 1,172 \quad (24)$$

Tato hodnota pak určuje zařazení do třídy sezónní energetické účinnosti vytápění u nízkoteplotních tepelných čerpadel a ohříváčů pro vytápění vnitřních prostorů s tepelným čerpadlem pro nízkoteplotní aplikaci (6), kde určená hodnota přepočtená na % se zařadí do třídy A s rozsahem:

$$115 \leq \eta_s < 123$$

Pro zařazení do třídy A++ dle informací výrobce by se účinnost musela pohybovat v rozmezí $150 \leq \eta_s < 175$ a tomu odpovídající hodnota SCOP minimálně 3,75. Z popisu ve spodní části štítku výrobce vyplývá, že štítkování proběhlo podle stejné příslušné normy a stejná by měla být i hodnota převodního koeficientu. Vliv na horší výsledky může mít – vyšší hodnota návrhového zatížení a tedy vyšší potřeba tepla ve všech pomínkách částečného zatížení, umístění jednotky ve venkovním prostředí a její částečné odkrytování, nebo odlišné nastavení samotné jednotky, zejména nejnižších pracovních otáček kompresoru.

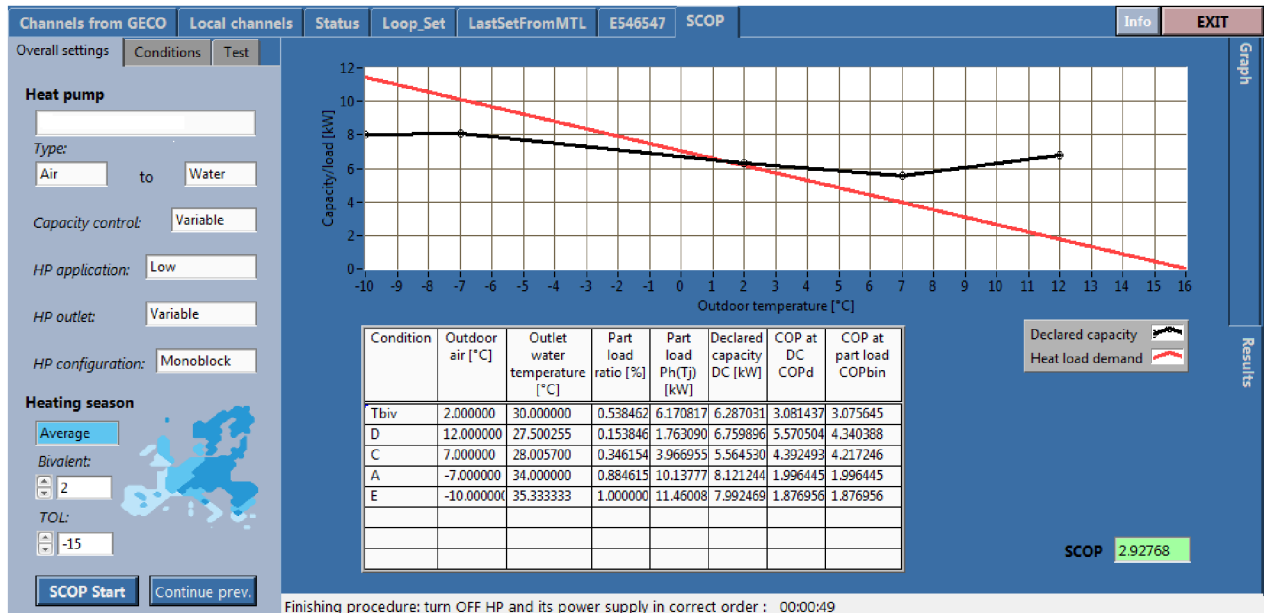
Výrobce má použitý nižší návrhový výkon měření, což znamená menší potřebu elektrického příhrěvu při nízkých teplotách, ale vyšší potřebu cyklování při vyšších teplotách. Při přepočtu s hodnotou P_{design} odpovídající výrobci 11 kW vzrostla hodnota SCOP na 3. Přepočet je však pouze teoretický, změna návrhového zatížení ovlivňuje i samotný průběh měření.



Obr. 37 Grafické znázornění výsledků zkoušek

V obr. 37: požadovaná zátěž a výkon TČ jsou výkony [kW], COPd a COPbin jsou bezrozměrné charakteristiky [-] a měřené podmínky jsou vyznačeny černými úsečkami. Hodnoty nad 12 °C jsou lineárně extrapolované. Deklarované topné faktory COP_d při teplotách nad 7 °C, kdy by ve skutečném provozu byla jednotka nucena stále častěji cyklovat, rychle rostou, pro následné výpočty je tento příliš pozitivní vliv omezen přepočtem na hodnotu COP_{bin} .

Výstupy z programu



Obr. 40 Grafické zobrazení konečných výsledků v SCOP rozšíření

Podrobné výsledky v prostředí MS Excel:

Tab. 17 Výsledky měřených podmínek a základní příslušné výpočty

Condition	Outdoor air	Outlet water temperature	Part load ratio	Part load	Declared capacity	COP at DC	COP at part load
	T_{dry}		plr	Ph(Tj)	DC	COP_d	COP_{bin}
-	°C	°C	%	kW	kW	-	-
Tbiv	2,00	30,00	0,54	6,17	6,29	3,08	3,08
D	12,00	27,50	0,15	1,76	6,76	5,57	4,34
C	7,00	28,01	0,35	3,97	5,56	4,39	4,22
A	-7,00	34,00	0,88	10,14	8,12	2,00	2,00
E	-10,00	35,33	1,00	11,46	7,99	1,88	1,88

Tab. 18 Rozšíření tab. 17 pro zbývající bin intervaly a základní výpočty pro výsledné stanovení SCOP

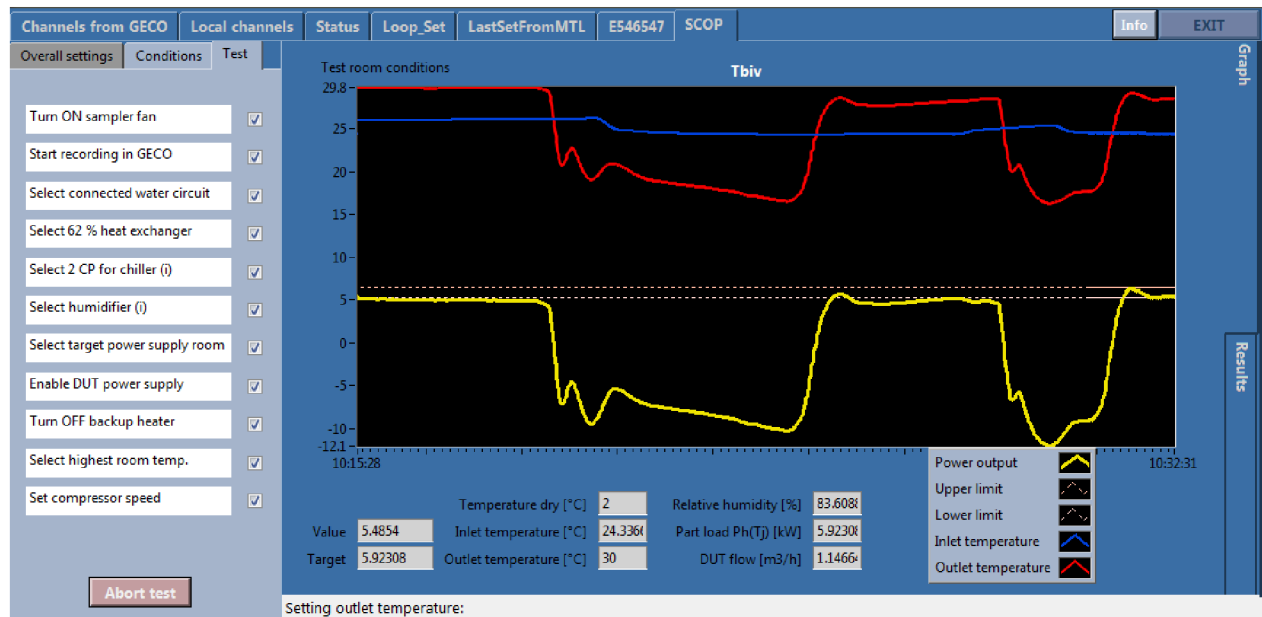
Bin	Outdoor temp	Hours	Heat load	Capacity	COPbin	Electric backup	Annual el. Backup	Annual heating demand	Annual power input
j	T_j	h _j	Ph(Tj)	DC		elbu(Tj)	h _j x elbu	h _j x Ph(Tj)	
-	°C	h	kW	kW	-	kW	kWh	kWh	kWh
21	-10	1	11,46	7,99	1,88	3,47	3,47	11,46	7,73
22	-9	25	11,02	8,04	1,92	2,98	74,6	275,48	179,4
23	-8	23	10,58	8,08	1,96	2,5	57,51	243,31	152,47
24	-7	24	10,14	8,12	2	2,02	48,4	243,31	146,03
25	-6	27	9,7	7,92	2,12	1,78	48,05	261,82	149,06
26	-5	68	9,26	7,71	2,24	1,54	104,9	629,42	339,45
27	-4	91	8,82	7,51	2,36	1,31	118,81	802,21	408,85
28	-3	89	8,37	7,31	2,48	1,07	95,11	745,35	357,72
29	-2	165	7,93	7,1	2,6	0,83	137,23	1309,09	588,64
30	-1	173	7,49	6,9	2,72	0,59	102,88	1296,31	542,3
31	0	240	7,05	6,69	2,84	0,36	85,85	1692,57	652,43
32	1	280	6,61	6,49	2,96	0,12	33,81	1851,24	648,7
33	2	320	6,17	6,29	3,08	0	0	1974,66	642,03
34	3	357	5,73	6,14	3,3	0	0	2045,63	619,14
35	4	356	5,29	6	3,53	0	0	1882,98	533,08
36	5	303	4,85	5,85	3,76	0	0	1469,1	390,65
37	6	330	4,41	5,71	3,99	0	0	1454,55	364,65
38	7	326	3,97	5,56	4,22	0	0	1293,23	306,65
39	8	348	3,53	5,8	4,24	0	0	1227,11	289,29
40	9	335	3,09	6,04	4,27	0	0	1033,61	242,26
41	10	315	2,64	6,28	4,29	0	0	833,06	194,14
42	11	215	2,2	6,52	4,32	0	0	473,83	109,79
43	12	169	1,76	6,76	4,34	0	0	297,96	68,65
44	13	151	1,32	7	4,37	0	0	199,67	45,74
45	14	105	0,88	7,24	4,39	0	0	92,56	21,09
46	15	74	0,44	7,48	4,41	0	0	32,62	7,39

Tab. 19 List s technickými údaji podle vzoru z normy

Model		Heat pump		
Heat pump		Air to Water		
Design load		P_{design}	11,46	kW
Capacity control		Variable		
Declared capacity for heating at indoor conditions 20 °C and outdoor temperature T_j	Average	$T_j = -7\text{ °C}$	8,12	kW
		$T_j = 2\text{ °C}$	6,29	kW
		$T_j = 7\text{ °C}$	5,56	kW
		$T_j = 12\text{ °C}$	6,76	kW
		$T_j = T_{\text{biv}}$	6,29	kW
		$T_j = \text{TOL}$	7,99	kW
		$T_j = -15\text{ °C}$		kW
Bivalent temperature		T_{biv}	2,00	°C
Operation limit temperature		TOL	-15,00	°C
Degradation coefficient		C_{dh}	0,9	-
Declared coefficient of performance for heating at indoor conditions 20 °C and outdoor temperature T_j	$T_j = -7\text{ °C}$	COPd	2,00	-
	$T_j = 2\text{ °C}$	COPd	3,08	-
	$T_j = 7\text{ °C}$	COPd	4,39	-
	$T_j = 12\text{ °C}$	COPd	5,57	-
	$T_j = T_{\text{biv}}$	COPd	3,08	-
	$T_j = \text{TOL}$	COPd	1,88	-
	$T_j = -15\text{ °C}$	COPd		-
Power consumption in modes other than active mode	Off mode	P_{OFF}	20,935	W
	Thermostat-off mode	P_{TO}	20,935	W
	Standby mode	P_{SB}	20,935	W
	Crankcase heater mode	P_{CK}	0	W
Sum of bin annual heating demand	$h_j \times P_h(T_j)$		23672,14	kWh
Sum of bin annual energy input including backup heater			8007,31	kWh
Active mode seasonal coefficient of performance	SCOP_{on}		2,96	-
Reference annual heating demand	Q_H		23676,54	kWh
Annual electricity consumption	Q_{HE}		8087,14	kWh
Seasonal coefficient of performance	SCOP		2,93	-

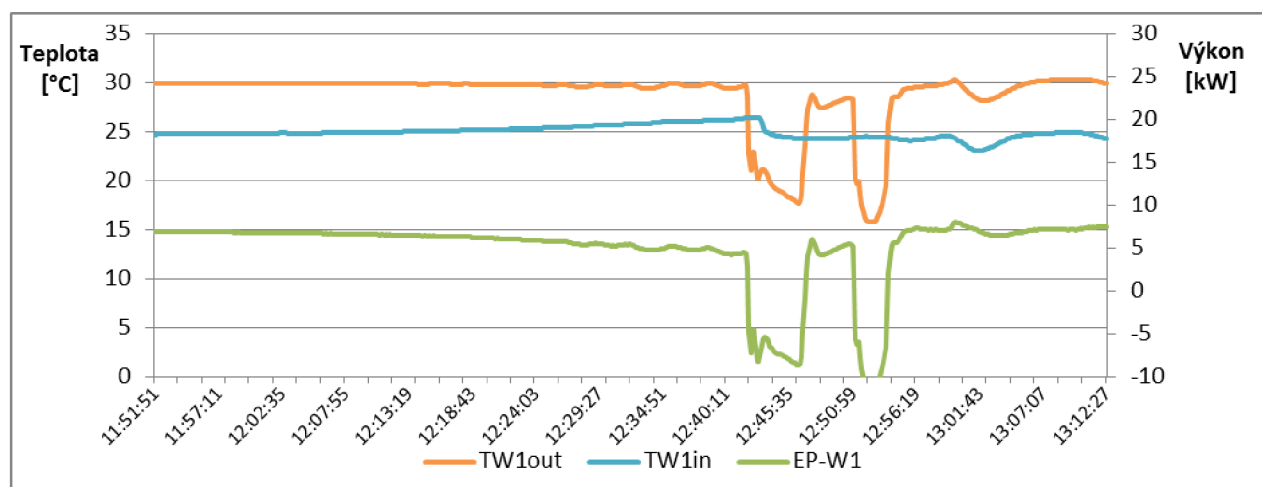
Odtávací cykly

Během měření bylo zjištěno, že odtávací cykly spuštěné jednotkou jsou zdvojené, pro tento průběh musel být chod programu upraven.



Obr. 38 Zdvojený odtávací cyklus během podmínky Tbiv v okně programu

Na obr. 39 druhý automaticky spuštěný odtávací cyklus při měření stejné podmínky. Z porovnání je zřejmý prakticky stejný průběh. Před zahájením defrostu dochází k výraznému snižování výkonu jednotky. Pro udržení konstantní teploty výstupní vody je tak nutné neustálé zvyšování teploty vstupní vody, funguje regulace mísení v kompenzačním systému pro stálou teplotu na výstupu. Po zahájení defrostu dojde k poklesu teploty výstupní vody až pod teplotu vstupu, teplo z otopné soustavy je využíváno k odmrazení výparníku a výkon jednotky je proto záporný. Regulace mísení je nezbytně změněna na udržování konstantní teploty na vstupu. Po ukončení defrostu výkon jednotky vzroste na původní hodnoty a po dostatečné stabilizaci je obnovena regulace na výstupní teplotu. Při těchto změnách regulace docházelo k rozkmitávání systému a bylo nutné v průběhu upravovat některé parametry.



Obr. 39 Zdvojený odtávací cyklus

6 Závěr

V první části této diplomové práce je popsán postup k určení sezonního topného faktoru SCOP. Vychází se při něm ze dvou norem: EN 14 511 (části 1 až 4) popisující postup měření jednotlivých výkonových parametrů při daných podmínkách a z EN 14 825 popisující, které podmínky je nutné měřit a dávající způsob stanovení výsledné hodnoty SCOP z naměřených hodnot. Celý postup byl nejprve pro účely porozumění a zobrazení všech návazností zpracován do formy vývojových diagramů, které jsou součástí textu.

Hlavnímu výsledku této práce, tedy vytvořenému programovému SCOP rozšíření, je věnována druhá část textu. Zde jsou popsány základní části programu a jeho funkce, z hlediska přístupu uživatele, s velkou podporou zachycených záběrů z jeho používání. Popis zdrojového kódu a jeho struktury není pro značnou složitost obsahem této práce, pro pochopení základní logiky jsou uvedeny vývojové diagramy.

Výsledky z reálného používání programu jsou obsahem poslední části. Byl uskutečněn celý proces k určení SCOP: umístění a zapojení testovaného tepelného čerpadla do měřicí komory, spuštění procesu ve vytvořeném rozšíření, vyplnění potřebných vstupních údajů a spouštění jednotlivých testů s potřebnými instruovanými uživatelskými zásahy před každým z nich.

Pro všechny měřené podmínky jsou v práci doložena provedená nastavení a zpracovány dosažené mezivýsledky. Primárním účelem těchto testů byla zkouška funkčnosti rozšíření v celém rozsahu podmínek podle normy. Z těchto mezivýsledků program určil výslednou hodnotu SCOP 2,9. Současně vytvořil závěrečnou zprávu v MS Excel a vrátil se do stavu před spuštěním celého procesu. Tím byla ověřena funkčnost celého rozšíření. Pro ověření správnosti výsledku by bylo nutné provést další testy ve spolupráci s výrobcem tepelného čerpadla. Tak by se zajistilo, aby se testovalo při stejných uživatelských nastaveních na jednotce, jaké si výrobce vyžádal při měření v akreditované laboratoři, ve které mu byla stanovena hodnota pro energetický štítek a prováděny testy pro EHPA. Současné odchýlení výsledku od hodnoty udávané výrobcem tak nedokazuje správnost ani špatnost výsledků. Určená hodnota SCOP se nicméně pohybuje v očekávaných mezích a oproti hodnotě výrobce, který pro své testy tedy zvolil optimální nastavení pro maximální účinnost, je podle očekávání nižší.

Pro další vývoj programu by bylo vhodné provést test pro ověření správnosti výsledků a další test tepelného čerpadla se stejnou konfigurací, jakou měla testovaná jednotka, pro vyzkoušení aplikace na jiném výrobku, který má odlišnou vlastní logiku řízení a odlišné možnosti nastavení. V programu již byla částečně vytvořena struktura pro zacházení s chybovými stavy a jsou nachystány bloky pro indikaci základních z nich. Bylo by proto nutné program doplnit o další takové stavy, zvážit jejich důležitost pro nakládání s nimi a následně všechny krizové stavy otestovat. Takto zajištěnou stabilní aplikaci by pak bylo možné dále rozšiřovat pro použití se všemi typy tepelných čerpadel. Současná struktura je částečně připravená na toto budoucí rozšiřování například dostupnými možnostmi u zadávání vstupních informací o jednotce.

7 Seznam použitých zkratk a symbolů

1RH	(outdoor room Relative Humidity)	měřená relativní vlhkost v klimakomoře	[%]
1T	(outdoor room dry bulb temperature)	měřená teplota v klimakomoře	[°C]
A	(Average)	otopné období průměrného klimatu	
A/A	(Air to Air)	TČ vzduch-vzduch	
A/W	(Air to Water)	TČ vzduch-voda	
AHU	(Air Handle Unit)	jednotka pro úpravu vzduchu	
B/A	(Brine to Air)	TČ země-vzduch	
B/W	(Brine to Water)	TČ země-voda	
bin	(= j)	statistický teplotní interval	
C	(Colder)	otopné období chladnějšího klimatu	
CC	(Conversion Coefficient)	převodní koeficient	[-]
Cdh	(Degradation Coefficient in heating mode)	koeficient ztráty energie	[-]
COP	(Coefficient of Performance)	topný faktor	[-]
COP _{bin}	(Coefficient of Performance at Part Load)	topný faktor pro statistický teplotní interval	[-]
COP _d	(COP at declared capacity)	topný faktor při deklarovaném výkonu	[-]
CR	(Capacity Ratio)	poměr výkonu	[-]
DC	(Declared Capacity)	deklarovaný výkon	[kW]
DC _{biv}	(Declared Capacity at Part Load)	deklarovaná kapacita při bivalentním bodu	[kW]
DC _{měř}		měřená ustálená hodnota výkonu	[kW]
DC _{s.p}		tepelný výkon při standardních podmínkách	[kW]
DP	(Delta P water/brine)	měřená tlaková ztráta na TČ	[mmH ₂ O]
DTW1	(DUT delta T - Water Circuit 1)	měřený rozdíl teplot vody na TČ	[K]
DUT	(Device Under Testing)	testovaná jednotka	
E _{Wt}	(Total Power)	měřený elektrický příkon testovaného TČ	[kW]
EER	(Energy Efficiency Ratio)	chladič faktor	[-]
EHPA	(European Heat Pump Association)	Evropská asociace pro tepelná čerpadla	
elbu(T _j)	(electric back up heater capacity)	výkon elektrického záložního ohřívače	[kW]
EP-W1	(DUT Exchanged Power - Water Circuit 1)	měřený tepelný výkon TČ	[kW]
H _{CK}	(Crankcase heater mode operating hours)	hodin v režimu zahřívání skříně kompresoru	[h]
H _{HE}	(Equivalent active mode hours for heating)	počet hodin v aktivním režimu	[h]
h _j	(bin hours)	hodin pro statistický teplotní interval	[h/rok]
H _{OFF}	(Off mode operating hours)	hodin při vypnutém stavu	[h]
H _{SB}	(Standby mode operating hours)	hodin při pohotovostním režimu	[h]
H _{TO}	(Thermostat-off mode operating hours)	hodin při vypnutém stavu termostatu	[h]
NaN	(Not a Number)	Zástupný symbol neznámé hodnoty	
P _{CK}	(Crankcase heater mode power consumption)	spotřeba v režimu zahřívání skříně kompresoru	[W]
P _{design}	(full load/design load)	jmenovitý tepelný výkon	[kW]

P_{el}	(effective power input)	efektivní příkon tepelného čerpadla	[W]
P_h	(heating capacity)	okamžitý tepelný výkon	[W]
$P_h(T_j)$	(Part load for heating)	částečné zatížení	[kW]
P_{hydrau}	(hydraulic power of liquid pump)	hydraulický výkon vodního čerpadla	[W]
$pl(T_j)$	(= plr, part load ratio)	koeficient částečného zatížení	[-]
$pl(T_j)$	(Part Load ratio)	koeficient částečného zatížení	
P_{OFF}	(Off mode power consumption)	spotřeba při vypnutém stavu	[W]
P_{SB}	(Standby mode power consumption)	spotřeba při pohotovostním režimu	[W]
P_{TO}	(Thermostat-off mode power consumption)	spotřeba při vypnutém stavu termostatu	[W]
q	(nominal liquid flow rate)	průtok vody jednotkou	[m ³ /s]
Q_H	(reference annual heating demand)	referenční požadovaný topný výkon za rok	[kWh]
Q_{HE}	(annual energy consumption for heating)	roční spotřeba energie pro vytápění	[kWh]
$QW1H$	(Flowmeter Water Circuit 1 High Flow)	měřený průtok otopné vody	[m ³ /h]
rps	(round per second)	otáček za vteřinu	[1/s]
$SCOP$	(Seasonal Coefficient of Performance)	sezónní topný faktor	[-]
$SCOP_{on}$	(active mode SCOP)	topný faktor v aktivním režimu	[-]
$SEER$	(Seasonal Energy Efficiency Ratio)	sezónní chladicí faktor	[-]
$SetL20$	(setpoint)	nastavení pro regulační smyčku L20	[m ³ /h],[,-]
$subVI$	(sub Virtual Instrument)	jednotlivé podprogramy základního VI	
T_{biv}	(bivalent temperature)	bivalentní teplota	[°C]
$T\check{C}$	(HP - Heat Pump)	tepelné čerpadlo	
T_{design}	(reference design temperature conditions)	návrhová teplota	[°C]
T_j	(= Tdry, dry bulb temperature)	teplota suchého teploměru	[°C]
TOL	(Operation Limit Temperature)	mezní provozní teplota	[°C]
$T_{out,nová}$		navýšená teplota výstupní vody	[°C]
$T_{out,pův}$		původní teplota výstupní vody	[°C]
$TW1in$	(water inlet temperature)	měřená vstupní teplota do TČ	[°C]
$TW1out$	(water outlet temperature)	měřená výstupní teplota z TČ	[°C]
W	(Warmer)	otopné období teplejšího klimatu	
W/A	(Water to Air)	TČ voda-vzduch	
W/W	(Water to Water)	TČ voda-voda	
Δp_i	(internal static pressure difference)	tlaková diference na TČ	[Pa]
$\Delta T_i(\tau)$	(average temperature difference)	střední teplotní rozdíl pro τ interval	[K]
$\Delta T_i(\tau=0)$	(av. temp. difference for the first 5 min)	střední teplotní rozdíl prvních 5 minut	[K]
η	(efficiency of liquid pump)	účinnost vodního čerpadla	[-]
η_s	(seasonal space heating energy efficiency)	sezónní energetická účinnost vytápění	[-]

8 Zdroje

- [1] *Asociace pro využití tepelných čerpadel* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.avtc.cz/>.
- [2] Firemní článek Asociace pro využití tepelných čerpadel. V ČR je v provozu více než 70 000 tepelných čerpadel různých výkonů a systémů. *TZBinfo* [online]. 2016 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13898-v-cr-je-v-provozu-vice-nez-70-000-tepelnych-cerpadel-ruznych-vykonu-a-systemu>.
- [3] EN 14825 Draft. EN 14 825: Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling - Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance. Draft. Brusel: CEN-CENELEC, June 2015.
- [4] EN 14 511. EN 14 511: Air conditioners, liquid chilling packages and heat pump with electrically driven compressors for space heating and cooling. Brusel, September 2013.
- [5] Matuška, doc. Ing. Tomáš, Ph.D. Tepelná čerpadla: Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP. *TZBinfo* [online]. [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivite-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>.
- [6] Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) č. 811/2013 ze dne 18. února 2013, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/30/EU, pokud jde o uvádění spotřeby energie na energetických štítcích ohříváčů pro vytápění vnitřních prostorů, kombinovaných ohříváčů, souprav sestávajících z ohříváče pro vytápění vnitřních prostorů, regulátoru teploty a solárního zařízení a souprav sestávajících z kombinovaného ohříváče, regulátoru teploty a solárního zařízení (Úř. věst. L 239, 6.9.2013, s. 1-82).
- [7] Nařízení Komise (EU) č. 813/2013 ze dne 2. srpna 2013, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign ohříváčů pro vytápění vnitřních prostorů a kombinovaných ohříváčů (Úř. věst. L 239, 6.9.2013, s. 136-160).
- [8] Sdělení Komise 2014/C 207/02 k nařízení komise EU č. 811/2013, Brusel 2014.
- [9] Sedlář, Ing. Jan. Hodnocení SCOP tepelných čerpadel pro vytápění. *TZBinfo* [online]. 2015 [cit. 2016-11-25] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13507-hodnoceni-scop-tepelnych-cerpadel-pro-vytapani>.
- [10] Katalog výrobce
- [11] KOSTKA, V. Hodnocení topného faktoru tepelných čerpadel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojínského inženýrství, 2014. 107 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.