



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

TEPELNÉ ČERPADLO NAPÁJENÉ Z FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

HEAT PUMP SUPPLIED FROM PHOTOVOLTAIC SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Kaděra

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Jan Kaděra

ID: 173671

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Tepelné čerpadlo napájené z fotovoltaického systému

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popis funkce a možností řízení tepelných čerpadel
2. Definice energetických potřeb pro provoz tepelného čerpadla s funkcí chlazení
3. Návrh FV systému pro napájení tepelného čerpadla
4. Energeticko-ekonomické zhodnocení navrženého systému

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 1.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

KADĚRA, J. *Tepelné čerpadlo napájené z fotovoltaického systému*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2020. 91 s. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Tepelné čerpadlo napájené z fotovoltaického systému jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 1.6.2020

.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Petrovi Mastnému, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá využitím tepelného čerpadla pro topení, ohřev vody a chlazení, spolu s využitím fotovoltaické elektrárny. Cílem práce bylo navrhnout fotovoltaický systém, který napájí tepelné čerpadlo a následné energeticko-ekonomické vyhodnocení. V teoretické části jsou popsány jednotlivé komponenty a princip fungování tepelných čerpadel a fotovoltaické elektrárny. Dále jsou uvedeny otopné soustavy pro vytápění a chlazení budov, používané v kombinaci s tepelným čerpadlem. V praktické části byl proveden výpočet potřeby energie pro typový objekt. Na základě těchto dat bylo vybráno tepelné čerpadlo. Pro snížení odebíraného množství elektrické energie z distribuční sítě byla navržena hybridní fotovoltaická elektrárna s akumulací. Výpočet využití energie z navržené instalace byl proveden v hodinovém kroku pro období jednoho roku. Díky tomu je možné sledovat toky energií ve zvoleném intervalu. Výsledky a porovnání jsou shrnuty v energeticko-ekonomickém zhodnocení. Navržené řešení má využití při rekonstrukcích nebo při stavbě nových objektů, kde je kladen důraz na používání ekologických zdrojů a snižování emisí.

KLÍČOVÁ SLOVA: tepelné čerpadlo; otopná soustava; chlazení budovy; fotovoltaická elektrárna; obnovitelné zdroje; tok elektrické energie; úspora elektrické energie

ABSTRACT

This thesis provides heat pump usage in heating mode, heating of potable water or cooling mode. The heat pump is connected with photovoltaic power plant. The main aim of this study is to create photovoltaic system connected with heat pump and present the results of an energetic and economic evaluation. The theoretical part describes principle function heat pumps, photovoltaic power plants and components. The study provides as well a description of heating systems with a heat pump used for space heating or cooling. In the practical part of this thesis was performed calculation of energy consumption in a building. Based on this data, has been selected a suitable heat pump. To reduce the energy consumption was designed a hybrid photovoltaic power plant with a battery accumulation. Utilization of electric energy from photovoltaic system was calculated. Solutions provide the option of the energy flow analysis in specific interval. Results are summarized in the energetic and economic evaluation. The proposed solution can be applied for reconstruction or construction of a new building, focused on usage of renewable resources and emissions reduction.

KEY WORDS:

heat pump; heating system; building cooling; photovoltaic power plant; renewable resources; electricity flow; electricity saving

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD	14
2 TEPELNÁ ČERPADLA.....	15
2.1 HISTORIE	15
2.2 PRINCIP FUNKCE	16
2.2.1 ZÁKLADNÍ ČÁSTI.....	17
2.3 TYPY	18
2.3.1 ZEMĚ/VODA	18
2.3.2 VZDUCH/VODA.....	18
2.3.3 VODA/VODA.....	18
2.3.4 VZDUCH/VZDUCH	18
2.4 ZAPOJENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA.....	19
2.4.1 MONOVALENTNÍ ZAPOJENÍ	19
2.4.2 BIVALETNÍ ZAPOJENÍ.....	19
2.5 ZÁKLADNÍ PARAMETRY	20
2.5.1 TOPNÝ FAKTOR.....	20
2.5.2 SEZÓNŇNÍ TOPNÝ FAKTOR	20
2.5.3 TEPLOTNÍ SPÁD.....	20
2.6 TEPELNÁ ČERPADLA V ČR.....	21
3 ŘÍZENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA.....	22
3.1 EKVITERMNÍ REGULACE	22
3.2 INVERTNÍ ŘÍZENÍ.....	22
3.3 REGULACE SOUSTAV.....	23
3.3.1 REGULAČNÍ SYSTÉM XCC.....	23
4 OTOPNÉ SOUSTAVY	25
4.1 SÁLAVÉ A KONVEKČNÍ SYSTÉMY	26
4.1.1 SÁLAVÝ SYSTÉM.....	26
4.1.2 KONVEKČNÍ SYSTÉM.....	26
4.2 VELKOPLOŠNÉ VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ	27
4.2.1 PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ.....	28
4.2.2 TEPLOVODNÍ PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ	28
4.2.3 STĚNOVÉ VYTÁPĚNÍ.....	29
4.2.4 STROPNÍ VYTÁPĚNÍ	29
5 CHLAZENÍ.....	30
5.1 KLIMATIZACE	31

5.2 PASIVNÍ CHLAZENÍ	31
5.3 ALTERNATIVNÍ STROJNÍ CHLAZENÍ	31
5.3.1 RIZIKO KONDENZACE.....	32
5.3.2 REGULACE	32
5.4 CHLAZENÍ POMOCÍ TEPELNÉHO ČERPADLA	33
5.4.1 VYSOKOTEPLTNÍ CHLAZENÍ	33
5.4.2 VELKOPLOŠNÉ CHLAZENÍ	33
5.4.3 PASIVNÍ CHLAZENÍ.....	34
5.4.4 AKTIVNÍ CHLAZENÍ.....	34
5.5 PARAMETRY PRO CHLAZENÍ	36
5.5.1 CHLADÍCÍ FAKTOR	36
5.5.2 TEPELNÉ ZISKY	36
6 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	37
6.1 KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	37
6.1.1 FOTOVOLTAICKÝ PANEL	37
6.1.2 STRÍDAČ.....	37
6.1.3 REGULÁTOR	38
6.1.4 DALŠÍ PRVKY	38
6.2 DOMÁCÍ FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA	39
6.3 AKUMULACE	40
6.3.1 ELEKTRICKÁ	40
6.3.2 TEPELNÁ	40
6.4 LEGISLATIVA	41
6.5 LOKÁLNÍ VYUŽITÍ ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU	42
6.5.1 ZPŮSOB PŘIPOJENÍ FVE	42
7 POPIS OBJEKT	43
7.1 SPOTŘEBA ENERGIE ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ	43
7.2 POTŘEBA TEPLA PRO PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY	44
7.2.1 DENNÍ POTŘEBA TEPLA PRO OHŘEV TEPLÉ VODY	44
7.2.2 ROČNÍ POTŘEBA TEPLA PRO OHŘEV TEPLÉ VODY	45
7.2.3 VÝKON ZDROJE PRO OHŘEV TEPLÉ VODY	45
7.3 POTŘEBA TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ	46
7.3.1 VYTÁPĚCÍ DENOSTUPNĚ	46
7.3.2 ROČNÍ POTŘEBA TEPLA	46
7.4 CELKOVÁ POTŘEBA TEPLA	47
7.5 CHLADÍCÍ VÝKON	48
7.5.1 TEPELNÁ ZÁTĚŽ	48
7.5.2 CHLADÍCÍ VÝKON.....	48
8 NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA	49
8.1 VÝBĚR TEPELNÉHO ČERPADLA	49
8.1.1 POTŘEBNÝ VÝKON	49
8.1.2 BOD BIVALENCE.....	50
8.1.3 SESTAVA TEPELNÉHO ČERPADLA	51

8.2 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	55
8.2.1 TOPENÍ + OHŘEV	55
8.2.2 CHLAZENÍ	56
9 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	57
9.1 POPIS PROGRAMU	57
9.1.1 PROFIL SPOTŘEBY ELEKTRINY	57
9.1.2 ENERGIE Z FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	61
9.1.3 UKLÁDÁNÍ PŘEBYTKŮ DO BATERIE	61
9.1.4 PLATBA ZA SPOTŘEBOVANOU ELEKTRICKOU ENERGII	61
9.2 NÁVRH FV SYSTÉMU PRO NAPÁJENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA.....	63
9.2.1 VELIKOST FVE	63
9.2.2 SESTAVA FV SYSTÉMU	64
9.2.3 POPIS SYSTÉMU	67
10 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ	68
10.1 EKOLOGICKÉ VYHODNOCENÍ.....	70
11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	71
11.1 DISTRIBUČNÍ SAZBA	71
11.1.1 SAZBA D 57D	71
11.2 POROVNÁNÍ NÁKLADŮ	72
11.2.1 TEPELNÉ ČERPADLO.....	72
11.2.2 PLYNOVÝ KONDENZAČNÍ KOTEL	74
11.2.3 KLIMATIZACE	75
11.2.4 SHRNTÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ.....	76
11.3 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA	76
11.4 NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM	77
11.4.1 OBLAST PODPORY C	77
11.5 FINANČNÍ UKAZATELE.....	78
11.5.1 PROSTÁ DOBA NÁVRATNOSTI	78
11.5.2 DISKONTOVANÁ DOBA NÁVRATNOSTI.....	78
11.5.3 ČISTÁ SOUČASNÁ HODNOTA	78
11.5.4 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT.....	79
12 ZÁVĚR.....	82
POUŽITÁ LITERATURA	84
SEZNAM PŘÍLOH	87
PŘÍLOHA A	88
PŘÍLOHA B.....	89
PŘÍLOHA C	91

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Carnotův oběh tepelného čerpadla v T-s diagramu [3]</i>	16
<i>Obr. 2-2 Pracovní princip tepelného čerpadla [3]</i>	17
<i>Obr. 2-3 Počet prodaných tepelných čerpadel v ČR podle typu</i>	21
<i>Obr. 4-1 Průběh teploty v obytných místnostech v závislosti na výšce [7]</i>	25
<i>Obr. 4-2 Šíření tepla při konvekčním a sálavém vytápění</i>	26
<i>Obr. 5-1 Základní rozdělení způsobů chlazení budov [10]</i>	30
<i>Obr. 8-1 Bod bivalence pro TČ IVT AIR X</i>	50
<i>Obr. 8-2 Blokové schéma zapojení TČ</i>	51
<i>Obr. 8-3 Směšovací modul na topných okruzích 2, 3, 4 [20]</i>	54
<i>Obr. 8-4 Hodinová spotřeba elektřiny pro potřeby vytápění a ohřev vody</i>	55
<i>Obr. 9-1 Vývojový diagram profilu chlazení</i>	59
<i>Obr. 9-2 Spotřeba elektrické energie v průběhu roku</i>	60
<i>Obr. 9-3 Diagram spotřeby elektrické energie s akumulací</i>	62
<i>Obr. 9-4 Blokové schéma FV systému</i>	64
<i>Obr. 9-5 Schéma zapojení FV systému</i>	67
<i>Obr. 10-1 Profil spotřebované a vyrobené elektrické energie</i>	69
<i>Obr. 10-2 Přehled spotřebované a vyrobené elektrické energie po měsících</i>	69
<i>Obr. 11-1 Cash Flow varianty TČ+FVE x TČ s a bez uvažování dotací</i>	81

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Dodávka tepelných čerpadel v ČR určených primárně pro vytápění [4]</i>	21
<i>Tab. 4-1 Porovnání sálavého a konvekčního systému</i>	26
<i>Tab. 7-1 Informace o objektu</i>	43
<i>Tab. 7-2 Spotřeba elektrických spotřebičů v domácnosti</i>	43
<i>Tab. 7-3 Celková spotřeba tepla objektu</i>	47
<i>Tab. 8-1 Parametry venkovní jednotky IVT AIR X 70 [20]</i>	52
<i>Tab. 8-2 Parametry vnitřní jednotky IVT AirModul E9 [20]</i>	53
<i>Tab. 9-1 Chlazení pomocí TČ</i>	59
<i>Tab. 9-2 Spotřeba elektrické energie během roku</i>	60
<i>Tab. 9-3 Výsledky simulace velikosti FVE</i>	63
<i>Tab. 9-4 Parametry FV panelů EXE Solar 380 Wp MONO [24]</i>	65
<i>Tab. 9-5 Parametry baterie Power Battery 5.7 [25]</i>	65
<i>Tab. 9-6 Parametry střídače RCT Power Storage DC 6.0 [25]</i>	66
<i>Tab. 10-1 Přehled měsíčních toků energie</i>	68
<i>Tab. 10-2 Emisní faktory pro elektřinu [26]</i>	70
<i>Tab. 10-3 Výpočet emisí znečišťujících látek</i>	70
<i>Tab. 11-1 Ceník elektřiny sazba D 57d [27]</i>	71
<i>Tab. 11-2 Pořizovací náklady tepelného čerpadla</i>	72
<i>Tab. 11-3 Pořizovací náklady plynového kotle</i>	74
<i>Tab. 11-4 Shrnutí ročních provozních nákladů</i>	76
<i>Tab. 11-5 Pořizovací náklady FVE</i>	76
<i>Tab. 11-6 Požadované parametry v podoblasti podpory C.3.7 [30]</i>	77
<i>Tab. 11-7 Shrnutí nákladů pro navržené opatření</i>	79
<i>Tab. 11-8 Uvažované varianty</i>	79
<i>Tab. 11-9 Porovnání hodnot jednotlivých variant</i>	80
<i>Tab. 11-10 Cash Flow jednotlivých variant</i>	81

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

symbol	popis	jednotka
c	měrná tepelná kapacita	$J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$
CF	Cash flow, peněžní tok	Kč
d	délka topného období	-
D	počet denostupňů	K · den
E_{KL}	elektrická energie spotřebovaná klimatizací	kWh
E_r	roční spotřeba elektrické energie	kWh
$E_{TČ}$	elektrická energie spotřebovaná tepelným čerpadlem	kWh
h	nadmořská výška	m.n.m.
H_p	výhřevnost zemního plynu	$MJ \cdot m^{-3}$
IN	náklady na investici	Kč
N	počet pracovních dnů soustavy v roce	-
N_{02d}	roční náklady v jednotarifní sazbě D 02d	Kč
N_{57d}	roční náklady ve dvoutarifní sazbě D 57d	Kč
N_E	cena za odebranou elektrickou energii	$Kč \cdot MWh^{-1}$
N_P	cena za odebraný zemní plyn	$Kč \cdot MWh^{-1}$
N_{PLC}	roční náklady na zemní plyn	Kč
N_{POZE}	cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů	Kč
NPV	čistá současná hodnota	Kč
P_{el}	elektrický výkon	W
P_{CH}	chladicí výkon	W
P_j	hodnota odběru v j-té hodině	W
P_{max}	hodnota výkonového maxima	W
P_{tep}	tepelný výkon	W
P_{TV}	výkon zdroje pro ohřev tepla	W
Q_c	tepelná ztráta objektu	W
Q_r	roční spotřeba tepla	MWh
r	úroková míra	-
RU	roční úspora	Kč
S	plocha	m^2
ST	stálá platba	Kč
t	počet hodin	h
t_i	teplota vzduchu v místnosti	$^{\circ}C$
t_{in}	průměrná vnitřní teplota	$^{\circ}C$
T_{max}	doba využití maxima	h
t_{out}	venkovní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
t_p	střední povrchová teplota	$^{\circ}C$
T_s	prostá doba návratnosti	roky
T_{sd}	reálná doba návratnosti	roky

V_{os}	denní potřeba teplé vody na osobu	$m^3 \cdot \text{den}$
V_{PK}	spotřeba zemního plynu	m^3
VT_E	cena za odebranou elektřinu ve vysokém tarifu	$Kč \cdot MWh^{-1}$
z	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci	-
α	celkový součinitel přestupu tepla	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
ε	opravný součinitel	-
η_o	účinnost obsluhy	%
η_r	účinnost rozvodu	%
ρ	hustota vody při střední teplotě zásobníku	$kg \cdot m^{-3}$

zkratka**popis**

4Q	čtyřkvadrantový
AC	střídavá soustava
BMS	řídící systém nabíjení článků baterií
COP	topný faktor
DC	setjnosměrná soustava
DS	distribuční soustava
EER	chladicí faktor
ERÚ	Energetický regulační úřad
FVE	fotovoltaická elektrárna
NN	nízké napětí
NT	nízký tarif
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PVC	polyvinylchlorid
SCOP	sezónní topný faktor
SEER	sezónní chladicí faktor
TDD	typový denní diagram
TUV	teplá užitková voda
TV	teplá voda
VT	vysoký tarif

1 ÚVOD

Lidé hledají způsoby, jak zvýšit komfort pro bydlení a snížit výdaje za energie. U nově stavěných objektů nebo při rekonstrukcích je kladen důraz na opatření, která omezují plýtvání energií. Snaha osamostatnit se a nebýt plně závislý na velkých distributorech vede k postupnému opouštění od zaběhnutých možností zdrojů pro domácnosti. Distributoři nám poskytují kvalitní služby, ale také si za to nechávají patřičně zaplatit. Provozní náklady rostou každým rokem a zákazník je nucen tyto ceny přijmout. Lidstvo si začíná uvědomovat své činy, které vedou ke změnám v přírodě. Pomalu začíná s nápravou a snaží se přírodě pomoci. Odstavování uhelných elektráren z důvodu snižování emisí, vede k decentralizaci zdrojů a rozšiřování nových způsobů pro získávání energií. Rozšiřující trh s alternativními zdroji vede ke snižování pořizovacích nákladů.

Vytápění a ohřev vody tvoří největší složku spotřebované energie v domácnosti. Kotle na dřevo nebo na plyn jsou postupně nahrazovány novými a účinnějšími zdroji. Mnoho používaných zdrojů pro vytápění a ohřev vody jsou zařízení na elektřinu. Jedním takovým je i tepelné čerpadlo. Vyšší pořizovací náklady oproti kotlům jsou kompenzovány nízkými provozními náklady. Ohřev topné a užitkové vody na nižší teploty vede k vysokým topným faktorům, díky čemuž dochází k energetické úspoře. Sálavé teplo je předáváno do okolí plošným systémem. S měnícím se klimatem a požadavkem na tepelnou pohodu i během letních měsíců přichází otázka možnosti chlazení. Pro chlazení budovy můžeme použít stejné tepelné čerpadlo, které slouží pro ohřev teplé vody. Jedno zařízení nám tak zprostředkuje i chladicí funkce a odpadájí pořizovací náklady na dodatečné zařízení. Chlazení tepelným čerpadlem využívá vyšší teplotu chladicí vody než běžné klimatizace. Je tedy úspornější a nedochází k proudění studeného vzduchu, které může vést k onemocnění.

Elektrická zařízení při své činnosti spotřebovávají elektrickou energii. Jednou z možností, jak snížit náklady za elektrickou energii je pořízení hybridní fotovoltaické elektrárny. K odpojení od distribuční sítě nedochází, ale výrazně se snižuje množství odebrané elektrické energie z této sítě. Spotřeba je primárně kryta z vlastní vyrobené elektrické energie. Přebytková energie je akumulována v bateriích nebo probíhá její přeměna do energie v teplé vodě. Rostoucí trh s fotovoltaickými instalacemi vede, stejně jako u tepelných čerpadel, ke snižování pořizovacích nákladů. Není tak dnes problém si vytvořit na svém domě fotovoltaickou elektrárnu, která bude snižovat množství odebrané energie z distribuční sítě. Pro instalace zdrojů lze využít dotační programy a díky podpoře snížit výslednou dobu návratnosti.

2 TEPELNÁ ČERPADLA

Tepelná čerpadla jsou využívána pro vytápění budov a ohřev teplé užitkové vody. Při specifickém konstrukčním provedení je lze použít i pro chlazení. Své uplatnění nachází v dnešní době, kdy se začíná šetřit energiemi a palivy všech druhů. Za předpokladu vhodného ekonomického návrhu, výroby a provozu mohou významně přispět k hospodárnému snížení spotřeby primární energie a provozních nákladů.

2.1 Historie

Základní principy této technologie byly objeveny již v roce 1852, kdy hlavní myšlenku chodu tepelného čerpadla popsal William Thomson ve své druhé větě termodynamické na základě již dříve objeveného Carnotova cyklu. Z této věty vyplývá, že pokud nemůže teplo přejít ze studenějšího tělesa na teplejší samo, musíme mu pomoci dodáním energie. Tento problém řeší právě tepelné čerpadlo. Zpočátku veškeré snahy směřovaly k výrobě klimatizačního zařízení, které je tepelným čerpadlem běžícím v reverzním chodu. V počátcích se jako chladivo používal čpavek. Ten byl na počátku dvacátých let 20. století doplněn freonem. Právě díky freonu nastal velký rozmach chladicí a klimatizační techniky. Později se však zjistilo, že právě freon má negativní vliv na životní prostředí a ozonovou vrstvu Země, a tak se začaly hledat jiné, méně škodlivé látky, které by měly podobné termodynamické vlastnosti jako freony. [1]

Na konci čtyřicátých let 20. století americký vynálezce Robert C. Weber sestrojil první tepelné čerpadlo, které sloužilo k získávání tepla. Při svých pokusech s hloubkovým zamrazením zjistil, že kondenzátor mrazícího přístroje se zahřívá. Následně propojil výstup z mrazícího zařízení s bojlerem na teplou vodu. Tepla měl ale stále přebytek, a tak napojil horkou vodu na potrubní smyčku a pomocí malého větráku začal vhnět teplý vzduch do místnosti. Když později začal čerpat teplo ze země pomocí zemních kolektorů, svůj kotel na uhlí vyměnil právě za toto zemní tepelné čerpadlo. [1]

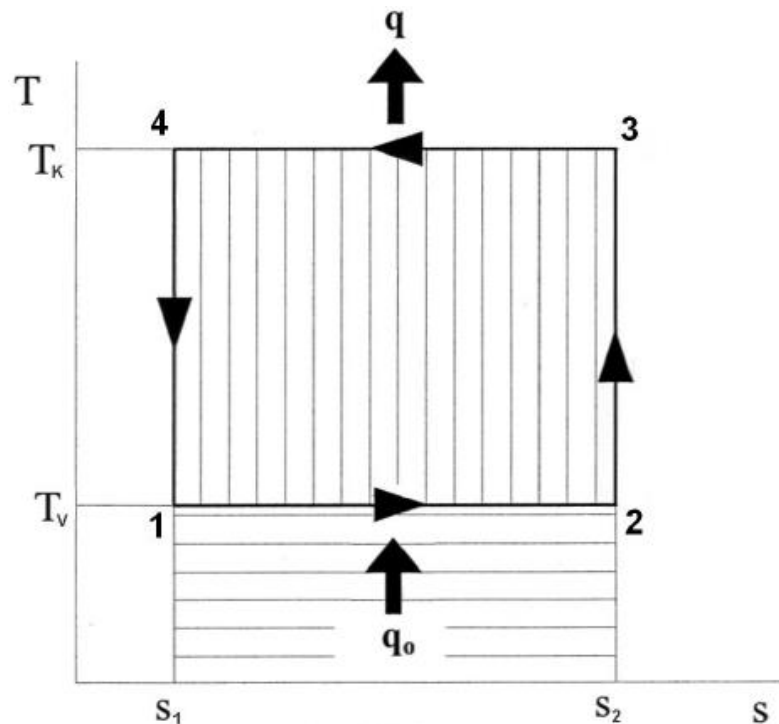
Nástup tepelných čerpadel byl spojen v 80. letech 20. století s dobou ropné krize. Lidé ustupovali od vytápění fosilními palivy nebo olejem a snažili se najít jiný způsob získání tepla. Tento nárůst byl, ale zanedlouho vystřídán poklesem a útlumem, který byl způsoben hlavně nedostatečnou odborností firem, jelikož při instalaci nebraly v potaz, zda bude tepelné čerpadlo fungovat správně s otopným systémem, který byl u zákazníka původně používán. Vysoká pořizovací cena, technická úroveň a časté poruchy vedly k tomu, že ekonomický výsledek nebyl vůbec přesvědčivý a zájem o tepelná čerpadla klesal. Na konci 20. století byl odstartován opětovný rozvoj tepelných čerpadel díky zájmu lidstva o životní prostředí a zdražování energií. V České republice začaly vznikat programy na podporu instalací, pro rodinné domy byly zavedeny speciální zvýhodněné sazby za elektřinu a stále jsou vypisovány dotační programy. V dnešní době jsou tepelná čerpadla oblíbeným zdrojem. Nízké provozní náklady, kvalita, vyšší životnost zařízení, snižující se pořizovací cena, zvyšující se cena energií a ekologický zdroj. To všechno jsou v současnosti důležité argumenty, které hrají významnou roli v rozhodování investora.

2.2 Princip funkce

V okolním prostředí je obsaženo poměrně velké množství energie. Tepelnou energii z okolí vzhledem k nízké teplotní hladině, nelze využít přímo pro ohřev vody, ale nejprve ji musíme převést na vyšší teplotní hladinu. K tomu nám slouží právě tepelné čerpadlo, které je schopno získávat teplo z okolního prostředí, jež je akumulované v zemi, ve spodní vodě nebo ve vzduchu. Převod tepla na vyšší teplotní hladinu je možný díky stlačení par chladiva v kompresoru, při kterém dojde k jeho ohřátí. Jako teplotonosná látka je využíváno chladivo, jehož nejdůležitější vlastností je nízký bod varu. [2]

Kompresorové tepelné čerpadlo využívá principu Carnotova oběhu. Carnotův cyklus je vratný kruhový děj ideálního tepelného stroje, který se skládá ze dvou izotermických a dvou izoentropických dějů. Příímý cyklus je využíván u tepelných motorů. Tepelná čerpadla pracují na principu obráceného levotočivého oběhu. Na obrázku níže můžeme vidět v T-s diagramu Carnotův oběh tepelného čerpadla. Jednotlivé pracovní cykly jsou: [3]

- 1-2 izotermické vypařování
 - jímání přírodního tepla chladivem
- 2-3 izoentropická komprese
 - stlačování chladiva kompresorem
- 3-4 izotermická kondenzace
 - předání tepla topnému systému a zkapalnění chladiva
- 4-1 izoentropická expanze
 - snížení tlaku chladiva



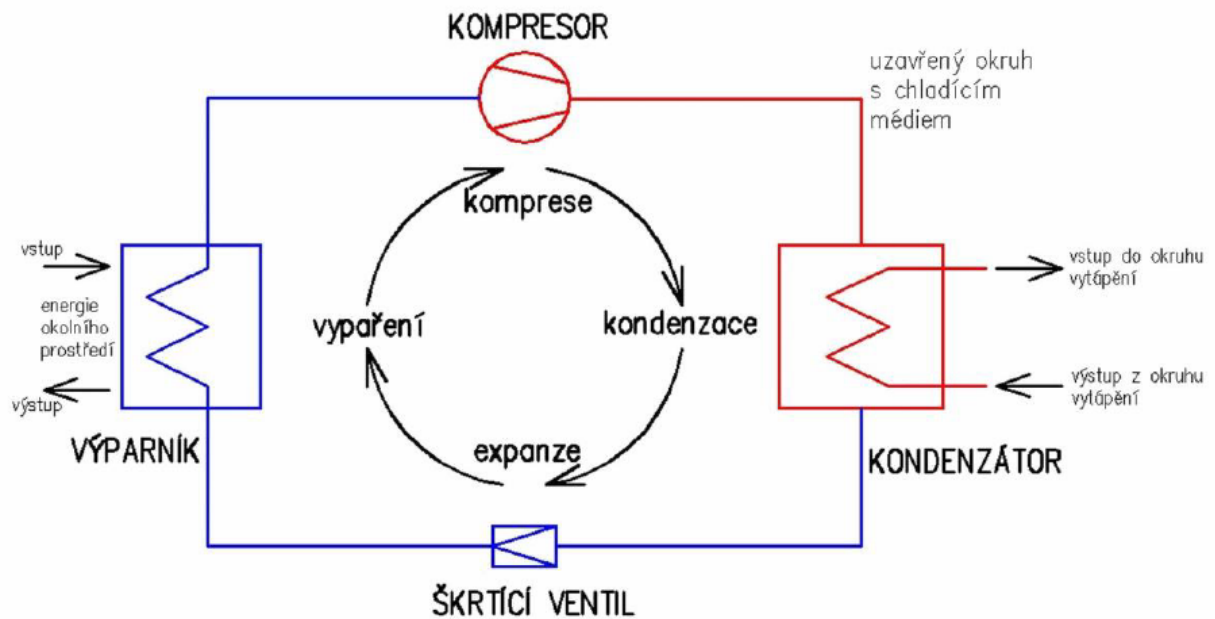
Obr. 2-1 Carnotův oběh tepelného čerpadla v T-s diagramu [3]

2.2.1 Základní části

Tepelné čerpadlo se skládá ze čtyř základních částí:

- Výparník
- Kompresor
- Kondenzátor
- Expanzní (škrťací) ventil

Nízkopotenciální teplo je do výparníku přiváděno cirkulující pracovní látkou. Chladivo při styku s okolním prostředím se ve výparníku odpařuje, čímž z něj odebírá energii. Cirkulující pracovní látka, ze které byla tepelná energie odebrána, se ochladí a musí být znovu zvýšena její teplota ve zdroji nízkopotenciálního tepla. Páry chladiva se stávají nositelem energie a jsou přivedeny do kompresoru. Zde jsou stlačeny a poté vpuštěny do kondenzátoru, ve kterém dochází k výměně tepla mezi teplonosným médiem tepelného čerpadla a topným systémem. Odvedené teplo způsobuje kondenzaci par chladiva. Zkondenzované chladivo projde skrze škrťací ventil zpátky do výparníku, kde při nižším tlaku a teplotě je připraveno znovu přijmout energii a odpařit se. [3]



Obr. 2-2 Pracovní princip tepelného čerpadla [3]

2.3 Typy

Jak již bylo uvedeno výše tepelné čerpadlo je schopno získávat teplo z okolního prostředí, které je akumulované v zemi, ve spodní vodě nebo ve vzduchu. Proto jsou podle místa čerpání tepla vyráběna v následujících provedeních.

2.3.1 Země/voda

Tento typ tepelného čerpadla lze považovat za nejstabilnější. V našich podmínkách neklesá teplota půdy v hloubce 0,8 až 1 metr pod bod mrazu. Jímání tepla je provedeno pomocí horizontálního plošného kolektoru nebo z vertikálního vrtu umístěného v zemi. Zvolení vhodného typu jímání záleží na geologické situaci a možnostech okolí. Při dostatečném prostoru je upřednostňován systém s horizontálními kolektory, při nedostatku plochy jsou využívány vrty, kdy jejich hloubka může být až 150 metrů. V horizontálním provedení je kolektor umístěn v hloubce 0,5 – 3 metry. Mezi nevýhody tohoto typu patří právě zemní práce, které jsou spojeny s instalací jímací soustavy do země. Čerpadla pracující s tímto systémem poskytují stabilní výkon a dlouhou životnost. Díky nezávislosti na venkovních klimatických podmínkách je možné použití i v horských oblastech, kde venkovní teploty dosahují v zimě teplot i pod $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. [2]

2.3.2 Vzduch/voda

Tepelné čerpadlo tohoto typu má mnoho výhod a je velice univerzální. Tepelný zdroj v tomto případě představuje venkovní vzduch. Proměnlivá teplota vzduchu se střídajícím se počasím a ročním obdobím způsobuje také proměnlivý topný výkon tepelného čerpadla. Vzrůstá-li teplota venkovního vzduchu, roste i výkon. Z tohoto důvodu jsou tyto tepelná čerpadla provozována v bivalentním provozu. V případě poklesu venkovní teploty pod určitou hranici je připojen doplňkový zdroj a o tepelnou pohodu se starají oba zdroje současně. U tepelných čerpadel bez doplňkového zdroje je zachován topný výkon i při velmi nízkých teplotách, za cenu zvýšení elektrického příkonu. Z důvodu nízkého součinitele přestupu tepla mezi vzduchem a povrchem výměníku tepla musí výparníkem proudit velké množství vzduchu. To je zajištěno dostatečnou velikostí výparníku a nucenou cirkulací vzduchu pomocí ventilátorů. [2]

2.3.3 Voda/voda

Tento systém dosahuje nejvyšších topných faktorů, ale jejich využití je možné pouze v lokalitách s dostatkem vody. Odběr tepla je možný z povrchové vody nebo podzemní, která má poměrně stabilní teplotu (8 až $10\text{ }^{\circ}\text{C}$). K tomuto typu je potřeba mít dvě studny – čerpací a vsakovací. Voda je ze studny čerpána do výměníku a po ochlazení je vrácena zpět do země. Další možnost zisku tepla je z vody, která je použita při technologickém procesu a dále je označována jako odpadní. Výkon tepelného čerpadla závisí na odebraném množství vody. Vzhledem k náročnosti na podmínky a údržbu není tento typ čerpadel v našich podmínkách rozšířen. [2]

2.3.4 Vzduch/vzduch

Tyto systémy jsou konstruovány především jako klimatizace, která ale v zimě může pracovat obráceně. Tepelné čerpadlo chladí/ohřívá vnitřní vzduch přímo. Absencí teplotonosného média je dosahováno vyšších účinností. Tímto typem čerpadla nelze ohřívát teplou vodu. Díky cirkulaci vzduchu lze využít pro odvlhčování, čištění nebo ionizaci vzduchu v místnosti. V případě využití pro objekt s více rozsáhlými místnostmi je nutné vybavit každou místnost samostatnou jednotkou. [2]

2.4 Zapojení tepelného čerpadla

Pro bezproblémový a úsporný provoz musíme vždy volit správné zapojení tepelného čerpadla. Při neznalosti základních principů nám bude sice tepelné čerpadlo dobře topit, ale jeho spotřeba elektřiny bude vysoká. V tu chvíli ztrácí tepelné čerpadlo, jehož hlavním úkolem je topit úsporně, efektivní význam. Každý dům je svou kombinací vytápění unikátní, proto je nutné znát veškerá pravidla a možnosti, které dané řešení nabízí. Díky správnému zapojení můžeme dosáhnout nízké spotřeby elektřiny a komfortu při ohřevu teplé vody.

2.4.1 Monovalentní zapojení

V tomto zapojení je tepelné čerpadlo hlavním a jediným zdrojem tepla. Svým výkonem musí kryt tepelné ztráty i při nejnižší teplotě okolního vzduchu. V praxi to znamená, že tepelné čerpadlo je předimenzované a jeho výkon není během topné sezóny plně využit. Větší ekonomické a energetické náklady značí, že tepelná čerpadla v monovalentním zapojení jsou poměrně málo využívány. [3]

2.4.2 Bivalentní zapojení

V bivalentním zapojení pracuje tepelné čerpadlo spolu s doplňkovým zdrojem tepla. Tepelný výkon tepelného čerpadla je navržen tak, aby kryl přibližně 60–80 % tepelných ztrát vytápěného objektu. Zbylé potřebné teplo je dodáno druhým doplňkovým zdrojem. Bivalentní bod představuje hodnotu venkovní teploty, při které je výkon tepelného čerpadla dostačující pro krytí ztrát objektu. Při poklesu pod teplotu bivalence dochází k sepnutí doplňkového zdroje. Díky možnostem kombinací sepnutí tepelného čerpadla a doplňkového zdroje rozlišujeme tři kategorie bivalentního zapojení: [3]

2.4.2.1 Alternativně-bivalentní

V tomto provozu tepelné čerpadlo pokrývá tepelné potřeby objektu až do teploty venkovního vzduchu, která právě odpovídá teplotě bivalence. Pokud venkovní teplota klesne pod tuto hodnotu, je tepelné čerpadlo odstaveno a tepelné potřeby objektu jsou zajištěny doplňkovým tepelným zdrojem. Tepelné čerpadlo je dimenzováno na 25–50 % tepelných ztrát objektu. Na jmenovitý výkon pracuje delší dobu, čímž se zkracuje doba návratnosti. V přechodném období pracuje s vysokým topným faktorem. Takovéto zapojení je vhodné pro systém pracující s teplotou topné vody až 90 °C. [3]

2.4.2.2 Paralelně-bivalentní

V tomto systému zapojení pracují oba zdroje, tedy tepelné čerpadlo a doplňkový zdroj, při nízkých teplotách současně. Systém v paralelně-bivalentním zapojení dosahuje maximální teploty topné vody až 60 °C. Je vhodný pro podlahové a radiátorové vytápění. [3]

2.4.2.3 Částečně paralelně-bivalentní

V tomto pracovním provozu je až do určené venkovní teploty využíváno pouze tepelné čerpadlo. V případě poklesu teploty pod tuto hodnotu se přiřadí k tepelnému čerpadlu další tepelný zdroj. V případě, že tepelné čerpadlo není schopno dodat topnou vodu o požadované teplotě, je odstaveno a bivalentní energetický zdroj přebírá celé pokrytí energetických potřeb. Je tak vhodný pro soustavy s teplotou topné vody vyšší než 60 °C. [3]

2.5 Základní parametry

2.5.1 Topný faktor

Jedním ze základních parametrů tepelných čerpadel je energetický topný faktor COP (Coefficient of Performance). Jedná se o bezrozměrové číslo vypovídající o energetické efektivitě tepelného čerpadla. V podstatě to je teoretický poměr mezi teplem na výstupu tepelného čerpadla a spotřebovanou elektrickou energií pro jeho výrobu. V čitateli je tedy tepelný výkon P_{tep} a ve jmenovateli elektrický příkon P_{el} .

$$COP = \frac{P_{tep}}{P_{el}} (-, W, W) \quad (2.1)$$

Čím vyšší topný faktor, tím je tepelné čerpadlo lepší. Hodnota se obvykle pohybuje mezi hodnotami 2,5 – 5 a je závislá na provozních podmínkách. Pro porovnání tepelných čerpadel se proto hodnota měří v exaktních podmínkách dle metodiky normy. [2]

2.5.2 Sezónní topný faktor

Sezónní topný faktor SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) vyjadřuje provozní efektivitu tepelného čerpadla pro definované provozní a klimatické podmínky. Hodnota je získávána výpočtovým postupem podle normy. Každé tepelné čerpadlo prochází zkouškou a na základě naměřených hodnot je stanoven sezónní topný faktor. SCOP mnohem více vypovídá o reálné provozní efektivitě pro srovnání různých druhů tepelných čerpadel a typů od jednotlivých výrobců než hodnota jmenovitého topného faktoru za standardních podmínek. Výpočet je dán podílem celkově vyrobeným množstvím tepla Q_t a celkové spotřeby elektřiny za topné období Q_e . Stanovuje se za hodnocený časový úsek (měsíc, rok). Hodnota SCOP se nejčastěji pohybuje v rozmezí 2,5 – 4,5. Čím je hodnota vyšší, tím je tepelná soustava efektivnější. [2]

$$SCOP = \frac{Q_t}{Q_e} (-, Wh, Wh) \quad (2.2)$$

2.5.3 Teplotní spád

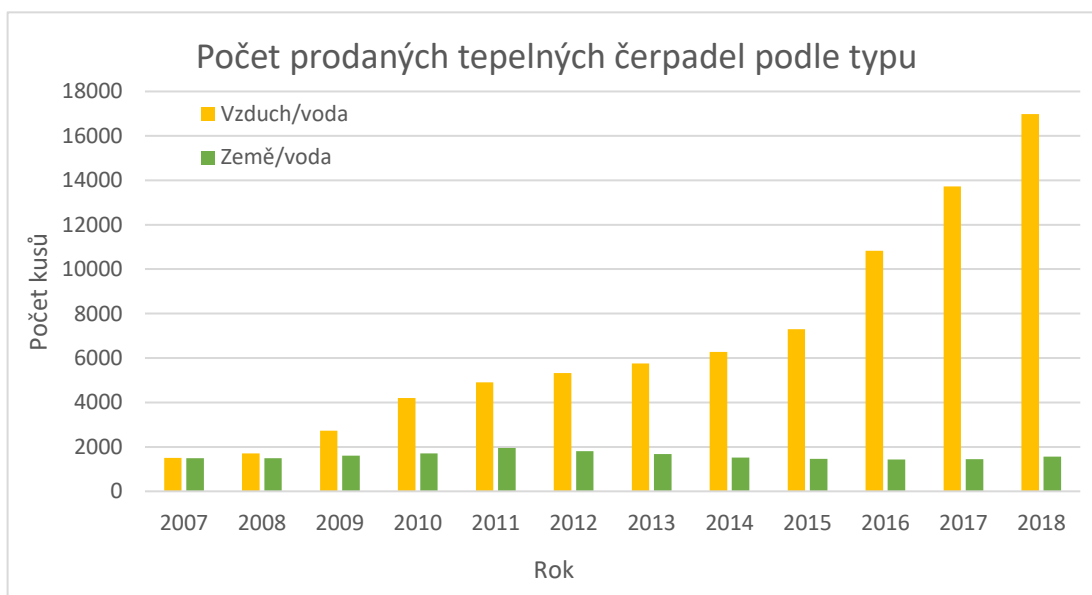
Teplotní spád je rozdíl teplot mezi dvěma místy. Ve specifikacích tepelných čerpadel jsou uváděny teplotní spády pro určité teploty ve formě dvou čísel oddělených lomítkem. První číslo značí teplotu na vstupu, druhé teplotu na výstupu. Pro teplotní spád je dán výrobcem topný faktor a výkon tepelného čerpadla. V praxi se můžeme s teplotním spádem setkat také u otopných těles nebo jiných zdrojů.

2.6 Tepelná čerpadla v ČR

Tepelná čerpadla pro použití v domácnostech se na českém trhu začala objevovat po roce 1990. V předchozích letech se tepelná čerpadla používala především v průmyslu. Instalace v devadesátých letech narážely na problémy, které představovaly levná paliva a malá informovanost veřejnosti. Nízká úroveň cen energií pro domácnosti způsobila, že návratnost investičních prostředků do instalace tepelných čerpadel byla vysoká. V devadesátých letech převažovaly instalace země/voda. Se zlepšujícími vlastnostmi systému vzduch/voda se započaly právě tyto instalace využívat na začátku nového tisíciletí. V roce 2002 díky zavedení speciálních sazeb elektřiny a dotacím na instalace, které zlepšovaly ekonomickou návratnost, se zvyšoval zájem o instalace. S rostoucím trhem rostla také nabídka jednotlivých typů. V dnešní době narůstá počet novostaveb vybavených tepelným čerpadlem. To je dáno i podílem elektrického vytápění, který stále roste. Z hlediska budoucnosti se předpokládá trojnásobné navýšení výroby energie z tepelných čerpadel. V následující tabulce můžeme vidět počet dodaných tepelných čerpadel v České republice určených k vytápění. [4]

Tab. 2-1 Dodávka tepelných čerpadel v ČR určených primárně pro vytápění [4]

Rok	Vzduch/voda	Země/voda	Voda/voda	Celkem
2007	1499	1493	66	3058
2008	1703	1491	51	3245
2009	2734	1611	59	4404
2010	4199	1707	53	5959
2011	4908	1951	50	6909
2012	5323	1808	44	7175
2013	5752	1679	49	7480
2014	6267	1512	46	7825
2015	7304	1463	107	8874
2016	10827	1437	84	12348
2017	13718	1440	121	15279
2018	16977	1566	81	18624



Obr. 2-3 Počet prodaných tepelných čerpadel v ČR podle typu

3 ŘÍZENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA

Efektivita fungování každé otopné soustavy je dána řízením jak na straně spotřebičů tepla, tak na straně zdrojů tepla. Je nutné zabránit plýtvání energií už při její výrobě. Přetápění místností nebo zbytečný provoz tepelného čerpadla spolu s dalším zdrojem tepla zároveň, je plýtvání energií. U tepelných čerpadel je regulace oproti jiným zdrojům tepla důležitá, protože čím nižší je teplota otopné vody, tím je provoz tepelného čerpadla levnější. Dříve jsme se mohli setkat s variantou manuálního řízení, kdy kohouty byly přepínány ručně a regulace teplot byla spravována obsluhou. Komfortnější cestou je systém nadstavbového řídicího systému, který se v rámci svých možností a vazeb stará o teplotní komfort s vyšší účinností.

3.1 Ekvitermní regulace

Tento typ regulace upravuje teplotu topné vody vstupující do topného systému v závislosti na venkovní teplotě. V praxi to znamená, že když je venku - 15 °C, regulace pouští do domu vodu o teplotě 45 °C, když je venku + 10 °C, regulace pouští do domu vodu o teplotě 30 °C. Závislost teploty topné vody na venkovní teplotě se nazývá ekvitermní křivka. Na základě požadované teploty se volí křivka a teplota topné vody je regulována podle venkovní teploty. Dům není přetápěn a díky nižší teplotě topného média je provoz tepelného čerpadla levnější. Doplněním ekvitermní regulace čidlem vnitřní teploty, dochází k zpřesnění regulace. Čidlo dokáže korigovat vnější i vnitřní tepelné zisky, které samostatná ekvitermní regulace není schopna plně zohlednit. Díky ekvitermní regulaci pracuje tepelné čerpadlo vždy s co nejnižší teplotou topné vody a jeho provoz je tak maximálně ekonomický. [5]

3.2 Invertní řízení

Tato technologie umožňuje regulovat topný výkon tepelného čerpadla podle aktuální potřeby. Toho lze využít v obdobích s velkým počtem teplých dní. Zejména v létě, kdy hrozí velký přebytek výkonu, ale také v teplých dnech na jaře a na podzim. Na rozdíl od spínaných systémů on/off, které v případě dosažené cílové teploty čerpadlo vypínají, umožňuje měnit plynule výkon zařízení. Je tak schopno pružně reagovat na změny počasí i momentální požadavky spotřeby. V praxi to znamená, že pokud potřebuje topná soustava menší výkon, venkovní jednotka se přizpůsobí a dodá jen potřebné množství tepelného výkonu. Je tak snižována spotřeba energie, zvyšuje se spolehlivost a životnost čerpadla. Tepelná čerpadla s invertním řízením jsou výhodné pro maximální využití vyrobené energie ve spojení s fotovoltaikou. [5]

3.3 Regulace soustav

Díky regulačnímu systému topných soustav je možné snížit náklady za topení a zvýšit komfort objektu. Regulace je zařízení, na jehož impuls se mění jeden nebo více provozních parametrů otopné soustavy. Regulaci výkonu otopného systému lze provést změnou teploty nebo změnou objemového průtoku topného média. Hlavní části regulace jsou měřicí zařízení, regulátor a akční člen. Akční člen na základě předem nastavených pokynů a dat z měření upravuje regulovanou soustavu. V dnešní době je mnoho metod vytápění, a ne každý systém regulace si umí poradit se všemi zdroji a spotřebiči. Na trhu je mnoho výrobců, kteří se specializují na problematiku regulace soustav. Jedním z nich je firma AC Heating, která si vyvíjí svůj vlastní regulační systém xCC.

3.3.1 Regulační systém xCC

Systém x Cascade Control je výkonná programovatelná regulace, která slouží k řízení jednotlivých prvků topné soustavy. Jejím použitím je možné výrazně zefektivnit provoz celé topné soustavy a dosáhnout maximální účinnosti. Je vhodná jak pro regulaci velkých objektů, tak i pro oblast rodinných domů. Je přesná a má komfortní ovládání. Jedná se o produkt české firmy AC Heating, který je dodáván ve 4 základních variantách. Ty jsou rozděleny podle možností ohřevu a typů spotřebičů. [6]

Pomocí xCC je možné regulovat celý topný systém, který má na jedné straně zdroje tepla a na straně druhé spotřebiče tepla. Zdroje i spotřebiče smí být řazeny do kaskád. V kaskádě zdrojů to může být – tepelné čerpadlo, elektrokotel, plynový kotel, kotel na tuhá paliva, krbová vložka nebo solární systém. V případě spotřebičů to mohou být – radiátory, podlahové vytápění, vzduchotechnika, zásobník s TUV nebo bazén. Regulační systém se nastavuje a ovládá přes panel ve vnitřní jednotce, přes počítač skrz webové rozhraní nebo dotykovým LCD displejem. Díky možnosti vybavení regulace síťovým modulem, si pak můžeme regulaci a ovládání nastavovat komfortně skrze mobilní zařízení.

3.3.1.1 Topný okruh

Základní nástroj pro řízení spotřeby objektu je rozdělení topného systému na jednotlivé topné okruhy. Ty jsou rozčleněny z pohledu spotřebičů (radiátory, podlahové topení, chlazení) nebo z pohledu využití (kanceláře, sklady a další). Každý topný okruh potom funguje na základě vlastní ekvitermní křivky. Ta upravuje teplotu topné vody ve vztahu k venkovní teplotě. Přesná regulace topné soustavy může přinést další úspory nákladů v řádu 10 až 30 %. [6]

3.3.1.2 Multizónové řízení

Zónové řízení je výhodné řešení pro větší objekty, kdy nám řízení umožňuje regulovat teplotu v jednotlivých místnostech. Každý topný okruh je možné osadit osmi zónami, kdy zónou je myšlena místnost nebo několik místností se stejnou teplotou vzduchu. Výhodou tohoto řešení je centrální přístup k nastaveným teplotám v daných zónách.

Soustavy v praxi často obsahují oba dva prvky pro řízení tepla. Větší množství topných okruhů a zónové řízení současně vede ke komplexnímu řízení topného zdroje s přesahem do přesného řízení na straně spotřebičů tepla. Například v hotelovém komplexu je možno regulovat vzdáleně teplotu v neobsazených pokojích.

Díky variabilitě není nutné adaptovat topný okruh na doporučené schéma, protože se adaptuje regulační systém. V praxi to znamená, že můžeme jednotlivě upravovat a regulovat jednotlivé prvky topné soustavy i když jejich realizace byla provedena v odlišnou dobu. Toho je využíváno při rekonstrukcích starších objektů, kdy nedochází k výměně celého topného systému, ale pouze přidání zdroje např. tepelného čerpadla. Do regulace jsou zavedeny všechny zdroje a spotřebiče topné soustavy a díky nastavení a spolupráci skrze regulační systém je dosahováno efektivnějšího provozu s maximální účinností. Regulační systém také počítá s neřízenými zdroji tepla. Zaznamená-li například aktivitu solárního systému nebo krbové vložky, xCC automaticky vyhodnotí, zda je nutné, aby tepelné čerpadlo běželo. Pokud ano, běží na snížený výkon v součinnosti s neřízeným zdrojem, případně může dojít k jeho odstavení. Po skončení dodávky tepla z neřízeného zdroje se opět jeho činnost automaticky obnoví. Díky velkým možnostem a celé řadě funkcí je vždy nutné posoudit a najít nejvhodnější řešení pro daný objekt. [6]

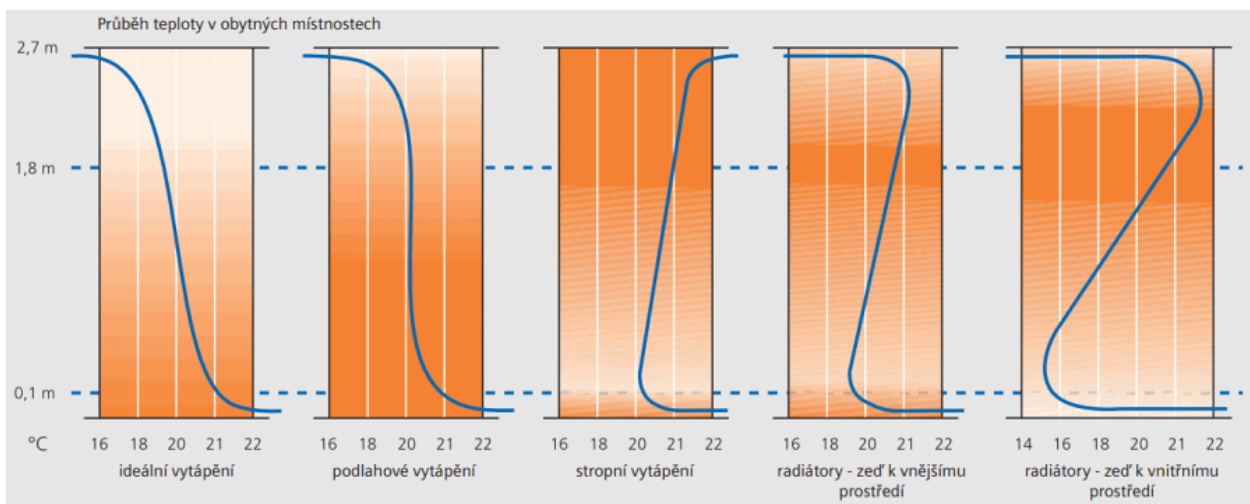
4 OTOPNÉ SOUSTAVY

V dnešní době se používá několik druhů vytápěcích soustav. Každá soustava má své výhody i nevýhody. V nově stavěných rodinných domech začíná převažovat podlahové vytápění nebo kombinace podlahového a konvekčního vytápění. O zvolení způsobu vytápění si rozhoduje každý stavitel sám. Při rozhodování je nutné zahrnout faktory jako je například zdroj tepla, možnosti regulace a toto řešení v průběhu stavby neměnit.

Otopná soustava musí dodat do místnosti takové množství tepla, které uniká stavebními konstrukcemi. Dobrá tepelná izolace budovy snižuje tepelné ztráty, a tím také nároky na výkon vytápěcí soustavy. Ve špatně izolovaném domě může být spotřeba na vytápění až 75 %, na ohřev vody 15 % a ostatní spotřebiče spotřebují zbývajících 10 % energie. [7]

Obecně platí, že součet teploty vzduchu a teploty stěny má být nejméně 38 °C. Pokud je rozdíl mezi teplotou vzduchu a stěny vyšší než 4 °C, člověk ho cítí jako nepříjemný.

Na tepelnou pohodu má značný vliv rozložení teploty ve vzduchu v různých výškách od podlahy. Rozložení teploty vzduchu by mělo být takové, aby u nohou bylo tepleji a pod stropem spíše chladněji. Z obrázku *Obr. 4-1* je zřejmé, že pro splnění této skutečnosti je podlahové vytápění výhodnější než radiátorové.



Obr. 4-1 Průběh teploty v obytných místnostech v závislosti na výšce [7]

4.1 Sálavé a konvekční systémy

Zdroje vytápění využívají dva základní způsoby předávání tepla – konvekci a sálání. Konstrukcí zdroje je možné ovlivnit, který z těchto způsobů bude převažovat.

4.1.1 Sálavý systém

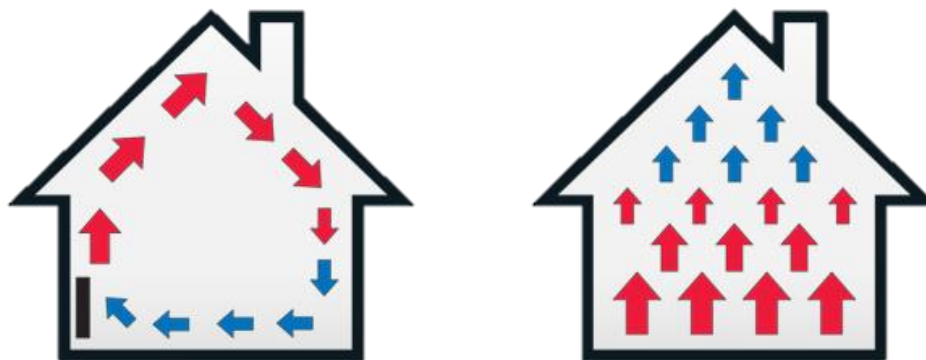
Sálavé topení je založené na systému, kde není ohříván vzduch v místnosti pomocí cirkulace vnitřním pláštěm, ale jsou ohřívány materiály. Ze zdroje dochází k vyzařování a ukládání energie do prostoru. Čím je povrch teplejší, tím je teplo vydané do místnosti větší. Nevýhodou tohoto typu může být, že teplo se drží v blízkosti zdroje.

4.1.2 Konvekční systém

Konvekční systém je založen na přirozené cirkulaci vzduchu. Studený vzduch má větší objemovou hmotnost než teplý, proto se drží ve spodní části místnosti. Teplý vzduch s menší objemovou hmotností je vytlačován studeným vzduchem ke stropu. Díky tepelnému zdroji začne tento vzduch proudit v kruhovém směru. Čím je větší přestupní plocha, tím dokáže vzduch odvést více tepla.

Tab. 4-1 Porovnání sálavého a konvekčního systému

Konvekční systém	Sálavý systém
+ rychlý náběh ze studeného stavu	+ rovnoměrné rozložení teploty v místnosti
+ rychlá montáž	+ nevysušuje vzduch, nevíří prach
+ prostorová nenáročnost	+ zdravý a přirozený přísun tepelné energie
+ transport horkého vzduchu do vzdálenějších místností	+ akumulace velkého množství tepelné energie
- vysoušení vzduchu	- pomalý náběh ze studeného stavu
- víření prachu	- větší prostorová náročnost
- rozdílná teplota u stropu a u podlahy	- složitá montáž
- velice malá akumulace tepla	- pořizovací cena
- snadné přetopení	



Obr. 4-2 Šíření tepla při konvekčním a sálavém vytápění

4.2 Velkoplošné vytápění a chlazení

V posledních letech se plošné systémy vytápění a chlazení stále více dostávají do pozornosti při rekonstrukcích a stavbě nových budov. Z hlediska vytápění se neustále vylepšují tepelně-technické parametry objektů, které vedou ke snižování potřebného topného výkonu a nízkoteplotní systém je tak zcela dostačující. Díky vysokému podílu sálání a nízkému teplotnímu profilu jsou pro plošné systémy využívány kondenzační plynové kotle, tepelná čerpadla nebo tepelný solární systém jako zdroje tepla. Toto teplo je dále předáváno do prostoru skrz podlahu strop nebo stěnu. V důsledku klimatických změn, které vedou k nárustu teploty vnitřního vzduchu přichází potřeba chlazení. Sálavé plošné chlazení disponuje mnoha výhodami, které hovoří v jeho prospěch v porovnání s klasickými systémy klimatizace. Při použití vodního rozvodu, dokážeme v zimě pomocí kolující teplé vody vytápět, a naopak v létě, kdy koluje soustavou studená voda, chladit.

U velkoplošného vytápění tvoří otopnou plochu obvykle některá ze stěn ohraničující vytápěný prostor – strop, podlaha nebo stěna. Povrchová teplota otopné plochy je poměrně nízká. U stropního 40 – 45 °C, stěnové 55 – 60 °C a podlahové 25 – 34 °C. Z těchto teplot vyplývá, že i teplota teplotonosné látky je nízká.

Podle způsobu zahřívání otopné plochy rozlišujeme zahřívání:

- teplou vodou
- teplým vzduchem
- elektricky

Podle použité plochy, rozdělujeme velkoplošné otopné soustavy:

- podlahové
- stropní
- stěnové

Podlahové vytápění se ve velkoplošném provedení postará o teplo od nohou. U stropního maximálně využíváme plochu beze ztrát způsobených přídavnými materiály, jako může být u podlahového například položený koberec. Možnost stěnového vytápění je vhodná pro nízkoenergetické domy. Vyzařování tepla si můžeme určit podle umístění zdroje, který většinou tvoří některá z vnitřních stěn.

4.2.1 Podlahové vytápění

Podlahové vytápění se začalo používat už po 2. světové válce. V 90. letech se začalo tento způsob vytápění prosazovat v rodinných domech a vzhledem ke kvalitě materiálů a prováděných prací začíná dnes, v nově stavěných objektech, postupně vytlačovat původní zaběhlé typy vytápění. Nejvyšší hodnota teploty podlahy daná normou ČSN EN 1264-2+A1, pro obytnou místnost je 29 °C a v koupelně 33 °C. Topná spirála je umístěna v podlaze, z důvodu hospodárného provozu se na podlahu pokládá materiál, který dobře propouští teplo. [8]

4.2.1.1 Sálavé podlahové soustavy

Teplo do místnosti se předává velkou plochou podlahy sáláním. Sálavé soustavy se dále rozdělují na teplovodní a elektrické. V podlaze jsou zabetonovány trubky s teplou vodou nebo topné elektrické kabely. Teplovodní podlahové sálavé vytápění má mnoho stejných znaků jako vytápění konvekčními soustavami. Zdrojem tepla může být plynový kotel, elektrokotel, tepelné čerpadlo, solární panely nebo kombinace těchto zdrojů. K dalším prvkům teplovodní soustavy patří expanzní nádoba, oběhové čerpadlo, rozvaděč tepla, odvzdušňovací systém a další. Elektrické podlahové vytápění zastupují topné rohože nebo pásy, které jsou sestaveny z elektricky topných odporových drátů. V tomto případě elektrická soustava zahrnuje elektrický rozvaděč s pojistkami, připojovací kabel a teplotní podlahovou sondu.

4.2.1.2 Konvekční podlahové soustavy

U konvekční podlahové soustavy je teplo předáváno do vytápěné místnosti prouděním. V podlaze jsou zabudované podlahové konvektory nebo topná tělesa – fan-coil. Jejich uložení je v podlaze nebo v plechových vaničkách, překryté pevnou mříží. Díky uložení v podlaze je jejich výhoda, že nezabírají prostor v místnosti, jinak jejich vlastnosti jsou podobné jako u klasických nástěnných soustav.

4.2.2 Teplovodní podlahové vytápění

Vzhledem k možnosti použití tepelného čerpadla pro ohřev topné vody bude dále popsáno jen teplovodní vytápění. Elektrické vytápění, kvůli možnosti co největšího využití tepelného čerpadla, uvažujeme jako doplňkové.

U teplovodního podlahového vytápění proudí teplá voda v trubkách, od kterých se ohřívá beton. Aby byl umožněn dobrý přenos tepla do betonové desky, je zde menší rychlost proudění vody v trubkách než u radiátorového vytápění. Instalace teplovodního podlahového vytápění má několik částí. Začíná se u přípravy podlahy a položení hydroizolace. Následuje instalace dilatačních pásů a položení desek tepelné izolace. Na položenou odrazovou reflexní fólii se instalují topné trubky. Než se celá podlaha vylije betonem, provede se tlaková zkouška. Voda pro vytápění koluje v měděných nebo plastových trubkách. Vzájemná vzdálenost mezi trubkami závisí na požadovaném výkonu. Čím má být vyšší výkon, tím jsou trubky blíže u sebe. Uvedení topné soustavy do provozu se provádí podle normy, kdy se musí počkat na vytvrdnutí betonu a teplota se postupně zvyšuje. Rozdělovač topných okruhů musí být vybavený na stejný počet okruhů jako je vytápěných okruhů v objektu. [8]

Podlahová krytina musí vyhovovat požadavku na tepelný odpor. Ten musí být menší než 0,15 m²K/W. Tomuto odpovídají téměř všechny běžné podlahové krytiny. Nedoporučují se textilní krytiny s vyšší délkou vlasu, PVC s pryžovou podložkou a parkety z měkkého dřeva. Nejvhodnější jsou keramické nebo kamenné dlaždice.

4.2.3 Stěnové vytápění

U stěnového vytápění jde o uložení otopného hadu na stěnu pod omítku. Teplotní spád okruhu, tedy i vychlazování může být podstatně větší než u podlahové otopné soustavy. Podle způsobu instalace rozlišujeme stěnové otopné plochy na mokré a suché systémy. Mokré jsou vhodné pro zděné stavby a rekonstrukce. Otopný had se upevňuje do stěny a je následně překryt omítkou. U suchých systémů, které jsou vhodné pro nízkoenergetické domy, podkroví a rekonstrukce je otopný had uložen v sádrovláknitých deskách. Ty se montují přímo na sádrokartonové stěny nebo na pomocné konstrukce zděných stěn. Pro povrchovou úpravu je využita vrstva stěrky nebo omítky. Stěnová otopná plocha by se měla montovat na vnitřní stranu obvodového pláště a v případě nutnosti zajištění požadovaného tepelného výkonu se instaluje i na vnitřní příčky. Soustava by se nikdy neměla instalovat proti průteplivé konstrukci – oknu. [8]

4.2.4 Stropní vytápění

U stropního vytápění rozlišujeme následující provedení:

- otopná plocha s trubkami zalitými ve stropě
- otopná plocha tvořená lamelami
- otopná plocha vytvořena sálavými panely a pásy
- otopná plocha v dutém podhledu

Při instalaci s trubkami zalitými ve stropě jsou využívány akumulční schopnosti betonového jádra jak pro vytápění, tak pro letní chlazení. Povrchová teplota otopné plochy by neměla být příliš vysoká, aby nezpůsobovala nadměrné osálení temene hlavy a výraznou tepelnou nepohodu. Použití lamel umožňuje rovnoměrnější rozprostření tepelného toku a zvětšení přestupní plochy trubek. [8]

5 CHLAZENÍ

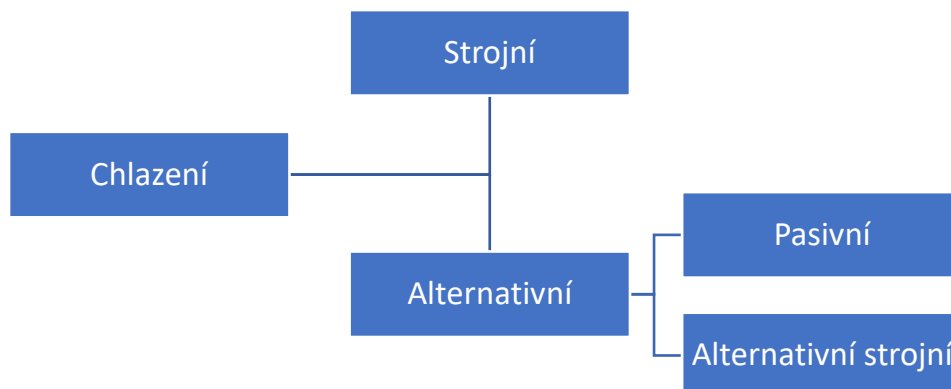
Pro dosažení celoroční tepelné pohody v objektech je v dnešní době chlazení místností důležitější a náročnější než jejich vytápění. Snížení teploty v místnosti je proces náročnější na energii, technologii a návrh než zvýšení teploty pomocí vytápění. Proto jsou pro dosažení žádaného komfortu kladeny vysoké nároky na inovativní techniku budovy s ohledem na šetrné zdroje energie, které se snaží snižovat zatížení životního prostředí. S ohledem na rostoucí počet využívaných přístrojových technologií v domácnosti, společně se ziskem tepla z velkých prosklených ploch, může být tepelná zátěž odváděna během dne pouze pomocí vhodných ochlazovacích opatření.

Pokud potřebujeme odvést tepelnou zátěž z vychlazovaného prostoru, máme dvě možnosti. Chladit nízkou teplotou chladicí vody (cca 7 °C) s využitím relativně malé přestupní plochy, nebo chladit vyšší teplotou chladicí vody (cca 16 °C), kde je zapotřebí velká přestupní plocha.

Mezi vysoce komfortní možnosti pro odstraňování tepla z místností je považován systém aktivace betonového jádra. Rozvody chladu jsou umístěny v betonové konstrukci a její teplota se pohybuje okolo 20 °C. Díky tomuto řešení je dosaženo vysokých standardů z hlediska tepelné pohody, hluku, rychlosti proudění vzduchu a nízké spotřeby energie. Dalšími distribučními prvky, které vyhovují těmto nárokům, jsou chladicí stropy, indukční jednotky nebo aktivní chladicí trámce. Každý z těchto vysokoteplotních systémů chlazení má svá specifika s klady i zápory, ale stále je jeho výhodou, že se jedná o nízkoenergetické způsoby distribuce chlazení. [9]

V případě, že tepelná zátěž představuje vážné riziko přehřívání objektu, je nutné ji předcházet, popřípadě ji pasivně likvidovat. V současnosti lze alternativní chlazení, tzn. chlazení nevyužívající žádnou strojní technologii, spotřebovávající energii, a strojní chlazení rozdělit následujícím způsobem:

- Strojní – lokální klimatizační zařízení sloužící k úpravě parametrů vzduchu obývaných místností
- Pasivní – využití vlastností a konceptu budovy bez využití jakýchkoliv strojních technologií
- Alternativní strojní – využití alternativních technologií a obnovitelných zdrojů nebo solární energie a jejich kombinace



Obr. 5-1 Základní rozdělení způsobů chlazení budov [10]

5.1 Klimatizace

Díky strojním klimatizačním zařízením je odebírána tepelná energie vzduchu uvnitř budovy a předána do vnějšího prostředí. V domácnostech převažují lokální jednotky, které jsou umístěny v každém pokoji. V letních měsících je nasáván teplý vzduch, který se nachází v místnosti a zpět je vrácen proud vzduchu o požadované teplotě a vlhkosti.

5.2 Pasivní chlazení

Architektonické metody:

- tvary a plocha zastřešení budov
- zapuštění do terénu
- zónování budov
- použité materiály a barvy

Stavební metody:

- využití zeleně
- omezení sluneční radiace
- parametrická optimalizace pláště budovy

5.3 Alternativní strojní chlazení

Alternativní způsoby chlazení využívají kolísání teplot, relativní vlhkost venkovního vzduchu nebo akumulaci tepla do budovy nebo chladu ze zemského masivu. S alternativním chlazením jsou spojovány principy umožňující distribuci chladu nebo využití zdrojů chladu s nižším potenciálem. Chlad je předáván sáláním pomocí stropních panelů nebo podlahy či stěny. Jako zdroje pro alternativní chlazení jsou využívány solární panely nebo tepelná čerpadla s funkcí chlazení.

Absorpční a adsorpční chlazení umožňuje využití tepelné energie jako zdroje pro chlazení. Tato technologie přináší provozní a technické úspory oproti klasickým systémům výroby chladu. Absorpce je fyzikální děj, při němž se rozpouští plynná fáze v kapalině. Kapalina se nazývá absorbent a plyn absorbát. Princip chlazení adsorpcí je založen na snížení tlaku nad hladinou vody, čímž se voda začne vypařovat při nízkých teplotách a hromadit se. V současnosti se absorpční zařízení používají především pro velké chladicí výkony. Vhodné jsou na výrobu chladu v průmyslových centrech, kde je možnost využít k jejich provozu odpadní teplo vznikající při výrobě. Díky tomu jsou chladicí zařízení s vysokými výkony energeticky i ekonomicky efektivní. Adsorpční zařízení dosahují nižší hodnoty energetické efektivnosti a jejich použití je zatím výhodné jen pro menší výkony. Vzhledem k ekologickému provozu zařízení by sorpční zařízení měla mít prostor na uplatnění mezi progresivními metodami technických zařízení budov. Kromě použití environmentálně vhodných látek a materiálů, zabezpečí i možnost snížení energetické náročnosti moderních staveb. [10]

5.3.1 Riziko kondenzace

V klimatizovaných místnostech dochází technologickými procesy a přítomností lidí k produkci vodní páry, kterou je nutné odvádět. Kondenzace vodních par na jakémkoliv povrchu je nežádoucí. Vysokoteplotní klimatizační systémy nejsou určeny k tomu, aby odváděly z prostoru vázané teplo. Pro odvod vodní páry z prostoru slouží větrací vzduch. Riziko kondenzace je tak u klimatizačních systémů hlavním omezujícím faktorem. Teplota přívodní vody do chladicího systému se volí tak, aby nedocházelo k žádnému orosování povrchu. Chladicí výkon závisí na rozdílu mezi teplotou vzduchu v místnosti a povrchovou teplotou chladicí vody. Důležitým prvkem při provozu vysokoteplotních chladicích systémů je systém měření a regulace. Ten obsahuje čidlo rosného bodu a v případě, že dojde k nebezpečí vzniku kondenzace, teplota chladicí vody se zvýší. Čidlo snímá relativní vlhkost a teplotu vzduchu v místnosti a je umístěno vždy tak, aby k němu byl přisun vzduchu. [11]

Vzhledem k tomu, že tepelná čerpadla jsou pro chlazení využívána většinou pro vysokoteplotní chlazení, je v tomto případě vznik kondenzátu na plochách v chlazených místnostech velice nepravděpodobný.

5.3.2 Regulace

Existují dva základní způsoby regulace vysokoteplotních klimatizačních systémů – kvantitativní a kvalitativní. Kvantitativní regulace představuje změnu výkonu průtokem chladicí vody, kvalitativní pak změnu teploty přívodní vody. Z technického hlediska je vhodné vybavit systém kombinací obou způsobů regulace. Chladicí voda je upravována centrálně na určitou teplotu (kvalitativně) a na odbočkách do jednotlivých místností se instalují uzavírací armatury (kvantitativní regulace). Systém měření vyhodnotí potřebu chladu (popř. riziko kondenzace) a na základě aktuálního požadavku dané zóny se reguluje teplota vstupní chladicí vody. Uzavírací ventily pak mohou v případě rizika kondenzace zcela uzavřít přívod vody do příslušné místnosti. [11]

5.4 Chlazení pomocí tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo nemusí být jen spolehlivým zdrojem tepla pro vytápění a přípravu teplé vody, ale také dokáže v budově udržovat příjemné klima díky chlazení. Tepelné čerpadlo s reverzačním cyklem představuje další možné řešení, jak chladit budovy bez dalšího přídavného systému. Pokud v domě využíváme teplovodní rozvod pro vytápění, nic nám nebrání využít tento rozvod pro chlazení budovy v létě. Místo teplé vody koluje v trubkách topného systému studená voda, která prostřednictvím plošných soustav odebírá místnostem teplo. Chlazení tepelným čerpadlem využívá vyšší teplotu chladicí vody než běžné klimatizace. Tento způsob se nazývá vysokoteplotní chlazení a prostřednictvím velkoplošných systémů (podlahové, stropní, stěnové) dokáže čerpadlo dosáhnout vysoké efektivity a chladit velmi úspěšně.

Běžné klimatizační jednotky zvyšují platbu za elektřinu, jsou velmi hlučné a intenzivním chlazením vedou spíše ke zdravotním problémům než k užítku a komfortu. Využití tepelného čerpadla pro klimatizování dokáže snížit celkovou investici do systému chlazení a vytápění až o polovinu.

5.4.1 Vysokoteplotní chlazení

U vysokoteplotního chlazení pracujeme s vysokými chladicími teplotními spády 16/20 °C, proto je vhodná kombinace s alternativními zdroji energie jako je například tepelné čerpadlo nebo volné chlazení. U těchto systémů se snažíme maximálně využít akumulaci tepelné energie do stavebních konstrukcí. Systém aktivace betonového jádra je na tomto principu přímo založen, chladicí stropy využívají akumulaci prostoru a u chladicích trámů se snažíme o pasivní akumulaci do veškerých konstrukcí. [9]

5.4.2 Velkoplošné chlazení

Na rozdíl od klimatizačních zařízení, která jsou zaměřena na chlazení vzduchu v místnosti, velkoplošné chlazení pracuje na principu pohlcování tepla – infračerveného záření, takže ochlazuje místnost včetně objektů, které se v ní nacházejí. Nedochozí tak k nepříjemnému proudění a průvanu chladného vzduchu z výdechů jako u klimatizace a člověk pociťuje větší tepelnou pohodu. Čistý design a neviditelný systém chlazení ukrytý v podlaze, ve stropě nebo ve zdi jsou přednosti plošného chlazení. [8]

Klady a zápory velkoplošného chlazení:

- + možnost využití vodní soustavy určené pro vytápění
- + minimální výměna vzduchu v místnosti
- + rozložení chladicího výkonu po celé ploše
- + možnost využití alternativních systémů zdrojů studené vody
- + nižší a energeticky výhodnější teplota vody na přívodu
- okamžitá regulace výkonu
- změna chladicího okruhu
- složitější instalace
- omezený maximální výkon chlazení

V oblasti chlazení jsou podlahové plochy vzhledem k nízkému součiniteli přestupu méně vhodné. Mají nižší výkon a chlad není rovnoměrně rozložen v objemu místnosti, ale drží se jen u podlahy. Přesto jsou ale podlahové systémy výrazně komfortnější než standardní systémy využívající nucené proudy vzduchu. Pomocí chladících stropů je dosaženo nejvhodnějšího teplotního rozložení při chlazení. Chlad přestupuje do prostoru a rovnoměrně padá dolů. Stropní chlazení vychází ze stejných konstrukčních principů jako stropní vytápění.

Vzhledem k výše uvedenému popisu vlastností stropů a podlah je nejideálnější kombinace stropní chlazení a podlahové vytápění. Z hlediska komfortu dochází při vytápění i při chlazení k dokonalému rozložení teplot a nevznikají chladné ani teplé proudy. V případě vyšších tepelných ztrát, či vyšších tepelných zátěží lze systémy spustit v kombinaci a dosáhnout tak maximálního komfortu i v oblastech mimo navrhované stavy.

Výhody plošného vytápění/chlazení:

- tepelná pohoda – příjemné sálavé teplo
- energetická účinnost – nízkoteplotní systém
- šetrné k životnímu prostředí – alternativní zdroje energie
- obestavěný prostor
- zdraví – hygienický komfort bez víření prachu
- účelnost – topení a chlazení v jednom

5.4.3 Pasivní chlazení

Pasivní režim neboli volné chlazení představuje méně efektivní, ale také ekonomicky méně náročný proces výroby chladu. Tepelné čerpadlo je odstaveno a je využíván přirozený tok tepla z teplejšího zdroje do studenějšího. Tento způsob je využíván u tepelných čerpadel typu země-voda. V provozu je jen oběhové čerpadlo, které cirkuluje vodu, jako teplotnosné médium mezi chlazeným prostorem s vyšší teplotou a plošným kolektorem nebo zemním vrtem, který má nižší teplotu. Voda se v zemním vrtu přirozeně ochladí a směřuje k chlazenému prostoru, kde přijme teplo z okolí, a tím prostor ochlazuje. Díky stálé teplotě půdy v hloubce, ve které se nachází kolektor, dochází ke zpětnému ukládání energie zpátky do zemního kolektoru a dochází k regeneraci primárního okruhu. [12]

5.4.4 Aktivní chlazení

V případě aktivního chlazení se jedná o režim reverzního chodu tepelného čerpadla, kdy je v provozu oběhové čerpadlo, kompresor i kondenzátor. Teplo není odváděno ze zemního vrtu, vody nebo venkovního vzduchu, ale z obytného prostoru. Ve srovnání s pasivním režimem lze dosáhnout nižší teploty, což představuje vyšší chladicí výkon, takže požadavky na velikost teplosměnné plochy klesají. Provozní náklady jsou ale z důvodu provozu kompresoru a dalších součástí vyšší než u pasivního.

V režimu aktivního chlazení se prohodí funkce výparníku a kondenzátoru tepelného čerpadla. Chladicí výkon je dostatečný v průběhu celého léta. Podle teploty chladicí vody rozlišujeme kompresorové chlazení na kondenzační a bezkondenzační. [12]

5.4.4.1 Kondenzační

Kondenzační chlazení pracuje s nízkou teplotou chladicí vody a v kombinaci s nástěnnými nebo podstropními konvektory poskytuje rychlý nástup chladicího účinku proudem vychlazeného vzduchu, podobně jako běžná klimatizace. Při aktivním kondenzačním chlazení se nevyhneme teplotám pod rosným bodem. Jak již bylo naznačeno dříve, rosný bod představuje takovou teplotu, kdy páry obsažené ve vzduchu začnou kondenzovat a srážejí se v kapalinu. Parotěsná izolace veškerých rozvodů a odvod vzniklého kondenzátu je tak při této variantě nezbytný.

5.4.4.2 Bezkonzenzační

Bezkonzenzační, neboli vysokoteplotní chlazení má vyšší teplotu chladicí vody, je energeticky výhodnější a méně zatěžuje lidský organismus. Chladicí energie bývá obvykle přiváděna do podlahového nebo stěnového systému a postupně vychladí nosnou konstrukci domu. Výhodou podlahového chlazení je komfortní sálavé chlazení bez průvanu a hluku. Naopak nevýhodou může být omezený výkon, zvláště v případě, pokud je místo dlažby použit koberec nebo plovoucí podlaha. Při podlahovém chlazení se nemusíme bát omrzlin, protože teplota podlahy neklesne až na tak nízkou teplotu.

5.4.4.3 Fan-coil jednotky

Jiným způsobem chlazení v aktivním režimu je chlazení pomocí fan-coil jednotek. Je to zařízení připomínající klasické vertikální nástěnné radiátory, které ale obsahuje ventilátor. Tento ventilátor vhání vyrobený chlad tepelným čerpadlem do prostoru a účinně jej ochlazuje. Systém je nejefektivnější, nicméně složitější a nákladnější. Ke každé jednotce, na kterou připadá jedna místnost, je potřeba natáhnout měděné potrubí pro oběh chladicí vody, okruh opatřit samostatným oběhovým čerpadlem, a také je nutné zajistit odvod vzniklého kondenzátu.

5.5 Parametry pro chlazení

5.5.1 Chladicí faktor

Chladicí faktor EER (Energy Efficiency Ratio) je stejně jako topný faktor COP bezrozměrové číslo a vyjadřuje energetickou účinnost. EER udává poměr mezi množstvím tepla odebraným z vnitřního prostředí P_{chl} k příkonu elektrické energie vydané na tento výkon P_{el} za určitých podmínek. Čím je chladicí faktor vyšší, tím lepší je tepelné čerpadlo a jeho provoz efektivnější a levnější. Chladicí faktor také závisí na rozdílu teplot v primárním a sekundárním okruhu. S klesajícím rozdílem teplot faktor roste.

Stejně jako u tepelných čerpadel pro vytápění je i zde sezónní chladicí faktor. Nese označení SEER a udává průměrný chladicí faktor za chladicí sezónu, tedy poměr vyrobeného chladu k dodané energii.

$$EER = \frac{P_{chl}}{P_{el}} (-, W, W) \quad (5.1)$$

5.5.2 Tepelné zisky

Každá budova je svou charakteristikou a stavební konstrukcí odlišná. Při energetickém hodnocení je nezbytné správně určit energetickou bilanci. Klíčovými hodnotami jsou tepelné ztráty a tepelné zisky, které jsou výchozí pro stanovení potřeby a spotřeby energie na vytápění a chlazení. Rozlišujeme dva typy tepelných zisků – solární a vnitřní.

5.5.2.1 Solární/vnější

Největší příspěvek solárních zisků nám do budovy vstupuje skrze okna, která slouží jako sluneční kolektor. Tyto zisky slouží pro krytí tepelných ztrát objektu. Okna jsou konstruována tak, aby více energie přijmula, než touto konstrukcí unikne. Významnou roli hraje propustnost použité skleněné výplně a její orientace ke světovým stranám. Solární zisky nám v topném období pomáhají krýt tepelné ztráty budovy, ale naopak v horkých letních dnech jsou výraznými přispěvateli vysoké teploty uvnitř objektu. Proto je vhodné mít okna vybavena stínící technikou, kterou dle potřeby můžeme regulovat solární zisky.

5.5.2.2 Vnitřní

Tepelné zisky od vnitřních zdrojů jsou dány součtem jednotlivých vnitřních zdrojů tepla. Mezi tyto zdroje se řadí např. produkce tepla od lidí, svítidel, zařízení a technologie.

6 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

Fotovoltaika je technologie pro přímou přeměnu slunečního záření na elektřinu. Díky využívání nejdostupnějšího obnovitelného zdroje na Zemi – slunečního záření je považována za trvale udržitelnou technologii. V dnešní době, kdy si lidé začínají uvědomovat zanechávání ekologických stop při získávání elektrické energie z neobnovitelných zdrojů, se tak fotovoltaické elektrárny stávají stále více využívaným zdrojem elektrické energie v domácnostech. Abychom mohli získávat elektrickou energii ze slunce a využívat tak obnovitelnou energii, musí fotovoltaický systém být složen z panelů, střídače, podpůrných a jistících prvků, kabeláže a případně akumulace.

6.1 Komponenty fotovoltaické elektrárny

6.1.1 Fotovoltaický panel

Fotovoltaický panel je složen z článků, které tvoří fotodiody. Základním principem fotovoltaického článku je fotoelektrický jev, při kterém jsou elektrony uvolňovány z látky v důsledku absorpce elektromagnetického záření látkou. Nejvyužívanějším materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík. V dnešní době neustále probíhá vývoj a výzkum nových technologií pro zlepšení účinnosti a snížení ceny fotovoltaických článků. Z dlouhodobého hlediska můžeme fotovoltaické články rozdělit do čtyř generací, které se liší použitou technologií, množstvím křemíku a také účinností. V instalacích jsou panely propojovány a skládány vedle sebe a zajišťují přeměnu slunečního záření na elektrickou energii.

6.1.2 Střídač

Fotovoltaické panely vyrábí stejnosměrný proud, který je nutné přeměnit na střídavé napětí rozvodné sítě. K tomu nám slouží střídač tzv. invertor či měnič. Rozlišujeme střídače pro použití v ostrovních systémech, síťové a hybridní střídače. Síťové synchronizují svůj kmitočet a napětí s aktuálními parametry rozvodné sítě. Hybridní měniče upřednostňují použití energie z FV panelů nebo z baterií a pokud není z těchto zdrojů k dispozici potřebný výkon, přepnou se na AC síť, ze které pak čerpají potřebnou energii. Zařízení by mělo dodávat co nejvyšší výkon s minimem ztrát. Základní parametry střídače jsou účinnost, nominální výkon na AC a DC straně, maximální vstupní napětí, rozsah napětí, ve kterém by měl být střídač schopen optimálně pracovat a maximální vstupní proud. [13]

6.1.2.1 Hybridní střídač

Hybridní solární elektrárna je označení pro solární elektrárnu, která funguje v ostrovním provozu, ale dům je zároveň připojen k distribuční síti a v případě potřeby z ní elektřinu odebírá. Klíčovým zařízením u tohoto typu instalace je hybridní střídač, který řídí všechny toky energie v domě. Samotná elektrárna je od distribuční sítě galvanicky oddělena a veškerá vyrobená elektřina se spotřebovává přímo v místě výroby.

Díky proměnlivému osvětlení fotovoltaických panelů není jejich výkon konstantní. Výroba tedy kolísá a téměř nikdy není v souladu s aktuální spotřebou. Základní funkcí hybridních střídačů je možnost výběru energie z obnovitelného zdroje, změna orientace toku, ukládání v akumulátorech nebo její přímá spotřeba založená na celkové energetické bilanci objektu. Hybridní měniče ukládají energii do akumulátorů jen, když je to nutné – výroba je větší než spotřeba. Pracují ve třech režimech: on-grid (na síti), grid-tie (přifázováním k síti) nebo v režimu off-grid (ostrovním režimu). Hybridním provozem se rozumí především schopnost hybridního měniče pracovat současně v on-grid (grid-tie) a zároveň v off-grid režimu. Na rozdíl od ostrovního měniče, který jen přepíná mezi akumulátory a sítí, je hybridní schopen plynule a současně v reálném čase regulovat množství energie odebírané ze sítě nebo z akumulátorů, což je jeho nejpodstatnější a nejvíce využívaná funkce. [14]

Do určitého výkonu fotovoltaické elektrárny, který je určen distributorem, je možné použít jednofázové zapojení. V případě třífázových zapojení jdou dvě filozofie hybridních měničů – symetrické a nesymetrické. Symetrický dodává do všech tří fází stejnoměrně, bez ohledu na to, jaký máme v domě skutečný odběr. Pro domácnosti, kde převládá jednofázový odběr, je vhodnější volit nesymetrický hybridní měnič, který dokáže upravovat dodávku do jednotlivých fází dle aktuální skutečné spotřeby a využívat tak hospodárněji vyrobenou energii v místě. Toto je také hlavní myšlenka aktuálně podporovaných instalací fotovoltaických elektráren.

6.1.3 Regulátor

Solární regulátor je zapojen mezi solárním panelem a akumulátorem. Jeho úkolem je vytěžit maximum energie ze solárního panelu. Regulátor nabíjení chrání baterii před nadměrným nabitím a hlubokým vybitím. Regulátor nabíjení je navíc vybaven mnoha nepostradatelnými bezpečnostními funkcemi a může být součástí střídače.

6.1.4 Další prvky

Mezi další prvky patří propojovací a ochranné prvky. K ochraně před zkratem se používají jističe a k ochraně proti úderu bleskem se používají napěťové svodiče. Součástí fotovoltaické elektrárny je také hliníková konstrukce, na které jsou panely nejčastěji instalovány.

6.2 Domácí fotovoltaická elektrárna

Dnes je fotovoltaika v domácnostech využívána především pro napájení spotřebičů a ohřev vody. Její specifickou vlastností je, že elektrickou energii vyrábí, když to jde, a ne když je zrovna potřeba. Snahou majitelů domácích elektráren je, aby vyrobená elektrická energie byla v co největší míře spotřebována a využita právě v místě její výroby. Největší výroba je přes poledne, kdy ve většině domácností ve všední dny není nikdo doma. Naopak odpoledne a večer, když jsou velké potřeby na elektrickou energii, nám fotovoltaika už tolik energie nedodává. Proto domácnosti vybavené fotovoltaikou bývají doplněné akumulátorem, který slouží pro akumulaci vyrobené a nespotřebované energie přes den. Přebytky elektrické energie jsou ukládány do baterií, ze kterých jsou čerpány v době, kdy není dostatek energie ze slunce. Další možností, jak akumulovat elektrickou energii je její přeměna na teplou vodu. V tomto případě jsou přebytky elektrické energie směřovány do bojleru, ve kterém se elektrická energie mění v topných spirálách na teplou vodu. Ta je následně využívána v domácnosti. V případě, že není domácnost vybavena možností akumulace, jsou přebytky z výroby, pokud je to legislativně možné, posílány do distribuční sítě. Toto řešení je velice neekonomické, protože uživatel si pořídil elektrárnu, aby ušetřil na nákladech za elektřinu a místo toho svoji vyrobenou elektřinu posílá do sítě, odkud ji v případě potřeby zase draze nakupuje.

6.3 Akumulace

Pokud vyrobená elektrická energie ve fotovoltaické elektrárně převyšuje aktuální spotřebu, je vhodné přebytečnou energii akumulovat a následně, v době nedostatku, ji využívat. Když už domácnost investovala do fotovoltaické elektrárny, jejím hlavním cílem je využít co nejvíce množství vyrobené energie pro vlastní spotřebu. Spotřeba domácnosti kolísá, stejně jako kolísá její výroba v závislosti na intenzitě slunečního svitu. Elektřinu nelze přímo uchovávat, proto se využívají procesy vratné přeměny elektřiny na jinou formu energie. Nejčastěji na chemickou, tepelnou nebo mechanickou. Přebytky elektrické energie jsou v domácnostech akumulovány v bateriích nebo jsou přeměněny na teplou vodu, která se akumuluje v zásobníku teplé vody pro pozdější použití.

6.3.1 Elektrická

Jeden ze způsobů přímého skladování elektrické energie je uskladnění energie v elektrické akumulátorové baterii. V době přebytků si tak schováváme přebytečnou, námi vyrobenou energii pro pozdější využití. Regulátor nabíjení nám zajistí optimální nabití akumulátoru se všemi požadovanými parametry tak, aby byla zajištěna maximální životnost akumulátorů. Kapacita akumulátoru je hlavní ukazatel toho, jak velké množství energie je možné v akumulátoru uložit. Velkou nevýhodou je životnost akumulátorů, která závisí na typu použitého akumulátoru, dobíjení a okolních podmínkách ve kterých je akumulátor umístěn. Čím je akumulátor starší, tím se jeho kapacita snižuje.

6.3.2 Tepelná

Akumulace elektrické energie v tepelných zásobnících je možnost nepřímého uskladnění. Přebytečná elektrická energie, kterou nelze využít v rámci okamžité spotřeby, je automaticky přeměrována do zásobníku, kde je prostřednictvím elektrické odporové spirály přeměněna na tepelnou energii a akumulována ve formě teplé vody v zásobníku. Elektrická spirála může být konstruována na napájení přímo stejnosměrným nebo standardně střídavým elektrickým proudem. Díky přeměně elektrické energie na tepelnou není možná zpětná přeměna. Ohřátá voda je využívána jako užitková nebo pro potřeby vytápění.

6.4 Legislativa

Základní pravidla, kterými se musejí řídit všichni provozovatelé a účastníci v rámci distribuční soustavy, jsou definována v Pravidlech provozování distribuční soustavy (PPDS). Jsou schvalovány Energetickým regulačním úřadem a navazují na Pravidla provozování přenosové soustavy.

Pravidla provozování distribuční soustavy:

- stanovují minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro připojení uživatelů k DS
- poskytují komplexní informace bez nutnosti pracovat s mnoha souvisejícími právními, technickými a dalšími podklady
- stanovují základní pravidla, zajišťující spolupráci a koordinaci mezi jednotlivými účastníky trhu s elektřinou

V příloze 4 PPDS, která stanovuje pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy je definován mikrozdroy jako: „Jednofázový nebo třífázový zdroj (výrobna) včetně jejich souvisejících zařízení pro výrobu elektřiny, určený pro paralelní provoz s DS nn; se jmenovitým střídavým fázovým proudem do 16 A na fázi včetně a celkovým maximálním instalovaným výkonem do 10 kW včetně.“ [15]

Pokud si tedy pořídíme fotovoltaickou elektrárnu o výkonu do 10 kW, jsme provozovateli mikrozdroye. Díky novele energetického zákona č. 131/2015 Sb. není vyžadována licence na výrobu elektřiny mikrozdroyem. Podmínkou ale je, že výrobna bude sloužit primárně pro vlastní spotřebu a v daném místě není připojena jiná výrobna elektřiny.

Podmínky pro připojování zdrojů do 10 kW jsou upraveny vyhláškou ERÚ o podmínkách připojení k elektrizační soustavě č. 16/2016 Sb. Zde je uveden postup pro zjednodušené připojení mikrozdroyů. To může být provedeno dvěma způsoby:

- Standardní režim, který umožňuje zpeněžit přetoky elektřiny do DS
- Zjednodušený režim pro připojování mikrozdroyů, který prodej přetoků neumožňuje

V případě připojení standardním režimem je zapotřebí vyřízení žádosti a následné uzavření smlouvy s provozovatelem DS. Pokud bude k přetokům u zjednodušeného připojení docházet, je provozovatel DS nucen naúčtovat provozovateli mikrozdroye pokutu. Na možnosti podpory mikrozdroyů navazuje program Nová zelená úsporám. V oblasti podpory C – efektivní využívání zdrojů energie jsou v rámci programu poskytovány dotace na výměnu neekologického zdroje tepla, výměnu elektrického vytápění za systém s tepelným čerpadlem, instalaci solárních termických a fotovoltaických zdrojů a instalaci systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu.

6.5 Lokální využití energetického potenciálu

V případě instalace FV systému v rámci objektu máme tyto možnosti provozu:

- Ostrovní
- Paralelní
- Hybridní

V ostrovním režimu nejsme spojeni s DS a máme jen tolik energie, kolik si sami vyrobíme. U paralelního provozu jsme spojeni s DS a přebytky, které nevyužíváme, prodáváme do sítě za dohodnutou cenu s distributorem. Díky nízkým výkupním cenám a omezené možnosti zisku dotací se toto řešení často nepoužívá. V hybridním provozu máme nainstalované zařízení zamezující přetokům do DS a veškerou námi vyrobenou energii si spotřebováváme a akumulujeme sami. V případě nedostatku z vlastních zdrojů je elektrická energie dokupována z DS. Tímto provozem snižujeme objem nakupované elektřiny a plně využíváme námi vyrobenou energii.

6.5.1 Způsob připojení FVE

Fotovoltaickou elektrárnu můžeme mít připojenou jako 1 nebo 3fázovou. Jednofázové střídače umožňují připojení FV zdrojů až do výkonu 5 kW, legislativně je ale tato hodnota omezena na 3,7 kW. Jednofázový střídač o výkonu 3 kW do jedné fáze tento výkon dodá. Symetrický třífázový střídač o stejném výkonu rozdělí rovnoměrně výkon do každé fáze po 1 kW. Pokud tak budeme mít na 1 fázi připojen spotřebič o výkonu 2 kW, 1f střídač dodá plný výkon a pokryje tak celou jeho spotřebu a do DS dodá 1 kW. Naopak 3 f asymetrický střídač pokryje pouze 1 kW a zbylou 1 kW musí odebrat z DS. Zbylé dvě fáze jsou bez zátěže a do DS dodají 2 kW. V případě použití nesymetrického 3f střídače je v první fázi zcela pokryt odběr a do zbylých dvou jde v součtu 1 kW.

V případě připojení FVE do DS je nutné mít instalován čtyřkvadrantový 4Q elektroměr. Název je odvozen od 4 složek, které měří – vyrobený/spotřebovaný činný výkon a kladnou/zápornou složku jalového výkonu. Jalový výkon není potřeba ve většině domácností uvažovat, takže nás zajímá především jen činná složka. Činný výkon může být měřeny dvěma způsoby:

- Vyráběný a spotřebovaný výkon jednotlivých fází je sečten, a pokud spotřeba přesahuje výrobu, odebíráme energii za poplatek z DS. Výkony jednotlivých fází jsou sčítány.
- Vyhodnocení každé fáze probíhá zvlášť. Při tomto způsobu je důležité, do jaké fáze je výkon dodáván, a z které je odebírán. Může tak nastat situace, že vyrobené energie mám na jedné fázi dostatek, ale na ostatních je mi účtována odebraná energie u DS.

Z uvedených způsobů měření distributorem je patrné, že sčítání výkonů jednotlivých fází a následné celkové vyhodnocení je lepší než vyhodnocování po fázích. Ke sčítání a vyhodnocování celkové bilance dochází u všech evropských zemí. Výjimku tvoří ale Česká republika a Slovensko, kde probíhá měření po fázích a každá fáze je vyhodnocována zvlášť. Proto je nutné domovní rozvod upravit tak, aby jednotlivé spotřebiče byly rozloženy rovnoměrně na jednotlivých fázích nebo použit asymetrický střídač. Tyto opatření sice zvyšují celkovou cenu instalace, ale odebírané množství elektřiny z DS je menší.

7 POPIS OBJEKTU

Pro praktickou část této diplomové byl použit typový objekt, jehož parametry prezentují nově stavěné domy. Podlahová plocha domu je 150 m², vnitřní prostor 318 m³ a tepelná ztráta 6 kW. Jedná se o rodinný dům, který se nachází v lokalitě Brna. V domě bydlí 4 osoby. V následující tabulce je přehled důležitých dat o budově pro nadcházející výpočty:

Tab. 7-1 Informace o objektu

Lokalita		Brno	
Nadmořská výška	h	227	m.n.m
Venkovní výpočtová teplota	t_{out}	4,4	°C
Délka topného období	d	232	dnů
Průměrná teplota během topného období	t_{outm}	-12	°C
Tepelná ztráta objektu	Q_c	6	kW

7.1 Spotřeba energie elektrických spotřebičů

Pro pozdější výpočet je nutné znát spotřebu elektrické energie spotřebičů v objektu. Vzhledem k situaci, že se jedná o typový objekt, byl seznam vytvořen také z běžně používaných spotřebičů v domácnostech. Vybírány byly energeticky úsporné spotřebiče, které odpovídají úsporné třídě A++. Roční spotřeba elektřiny, která se počítá podle doby provozu spotřebičů, byla stanovena podle zdroje [16], který na základě zadaných příkonů počítá spotřeby s obvyklou dobou provozu během roku.

Tab. 7-2 Spotřeba elektrických spotřebičů v domácnosti

Název spotřebiče	Roční spotřeba elektrické energie [kWh/rok]
Televize	89
Elektronika - PC, rádio, nabíječka	400
Elektrická trouba	118
Kombinovaná lednička s mrazničkou	245
Indukční varná deska	260
Myčka A++	197
Mikrovlnná trouba	60
Kávovar	57
Varná konvice	164
Ostatní kuchyňské spotřebiče	30
Pračka	148
Osvětlení	300
Vysavač	30
Žehlička	40
Celkem	2138

7.2 Potřeba tepla pro přípravu teplé vody

Potřeba tepla pro přípravu teplé vody byla počítána podle normy ČSN 06 0320. Výpočet v sobě zahrnuje tepelné ztráty, které představují teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV a dále teoretické teplo odebrané z ohřivače TV. [17]

7.2.1 Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TVd} = Q_{TVz} + Q_{TVt} = (1 + z) \cdot Q_{TVt} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot n \cdot V_{os} \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \text{ (kWh/den)} \quad (7.1)$$

Q_{TVd}	kWh/den	teplo potřebné k ohřátí TV na den
Q_{TVz}	kWh/den	teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV
Q_{TVt}	kWh/den	teoretické teplo odebrané z ohřivače TV
z	-	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci
ρ	kg/m ³	hustota vody při střední teplotě zásobníku
c	J/(kg.K)	měrná tepelná kapacita
n	ks	počet osob
V_{os}	m ³ /den	denní potřeba teplé vody na osobu
t_2	°C	teplota teplé vody
t_1	°C	teplota studené vody

Ve výpočtu je uvažováno, že v objektu bydlí 4 osoby a denní potřeba teplé vody pro každou osobu je 0,082 m³. Skutečné množství potřeby teplé vody na mytí osob závisí na individuálním chování každého uživatele. Pro tento případ bude dále počítáno s hodnotou, kterou doporučuje norma, nicméně v praxi je tato hodnota menší a pohybuje se od 0,04 do 0,05 m³ na osobu denně. Hodnota poměrných ztrát tepla při ohřevu a distribuci tepla je závislá na kvalitě tepelné izolace rozvodů TV nebo tepelné izolaci zásobníku tepla. V novostavbách by tato hodnota neměla přesáhnout 0,5.

$$Q_{TVd} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 4 \cdot 0,082 \cdot (50 - 10)}{3600 \cdot 1000} = 22,88 \text{ (kWh/den)} \quad (7.2)$$

7.2.2 Roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TVr} = Q_{TVd} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TVd} \cdot \frac{(t_2 - t_{1l})}{(t_2 - t_{1z})} \cdot (N - d) \quad (\text{kWh/rok}) \quad (7.3)$$

Q_{TVr}	kWh/rok	teplo potřebné k ohřátí TV za rok
Q_{TVd}	kWh/den	teplo potřebné k ohřátí TV na den
d	dnů	délka topného období
t_2	°C	teplota teplé vody
t_{1l}	°C	teplota studené vody v létě
t_{1z}	°C	teplota studené vody v zimě
N	dnů	počet pracovních dnů soustavy v roce

$$Q_{TVr} = 22,88 \cdot 232 + 0,8 \cdot 22,88 \cdot \frac{(50 - 15)}{(50 - 5)} \cdot (365 - 232) = 7203 \quad (\text{kWh/rok}) \quad (7.4)$$

7.2.3 Výkon zdroje pro ohřev teplé vody

$$P_{TV} = \frac{Q_{TVd}}{t} \quad (\text{kW}) \quad (7.5)$$

P_{TV}	kW	výkon zdroje pro ohřev tepla
Q_{TVd}	kWh/den	teplo odebrané z ohříváče TV
t	hod	počet hodin

$$P_{TV} = \frac{22,88}{24} = 0,953 \quad (\text{kW}) \quad (7.6)$$

7.3 Potřeba tepla pro vytápění

7.3.1 Vytápěcí denostupně

$$D = d \cdot (t_{in} - t_{out}) \text{ (K} \cdot \text{den)} \quad (7.7)$$

D	K·den	počet denostupňů
d	dnů	délka topného období
t_{in}	°C	průměrná vnitřní teplota
t_{out}	°C	průměrná venkovní teplota

$$D = 232 \cdot (19 - 4,4) = 3387 \text{ (K} \cdot \text{den)} \quad (7.8)$$

7.3.2 Roční potřeba tepla

$$Q_{VYTr} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{in} - t_{outm})} \text{ (kWh/rok)} \quad (7.9)$$

Q_{VYTr}	kWh/rok	teplo potřebné pro vytápění na rok
ε	-	opravný součinitel
η_o	-	účinnost obsluhy
η_r	-	účinnost rozvodu
Q_c	kW	tepelná ztráta domu
D	K·den	počet denostupňů
t_{in}	°C	průměrná vnitřní teplota
t_{outm}	°C	venkovní výpočtová teplota

$$Q_{VYTr} = \frac{0,85}{0,95 \cdot 0,97} \cdot \frac{24 \cdot 6 \cdot 3387}{(19 - (-12))} = 14513 \text{ (kWh/rok)} \quad (7.10)$$

Opravný součinitel v sobě zahrnuje koeficienty vlivu režimu vytápění, zvýšení teploty nebo také vliv regulace.

7.4 Celková potřeba tepla

Tab. 7-3 Celková spotřeba tepla objektu

Q_{TVr}	7,203	MWh/rok	Teplo potřebné k ohřátí TV na rok
	25,930	GJ/rok	
Q_{VYTr}	14,513	MWh/rok	Teplo potřebné pro vytápění
	52,248	GJ/rok	
Q_r	21,716	MWh/rok	Celková roční potřeba energie
	78,177	GJ/rok	

$$Q_{TVr} = Q_{TVr} \cdot 3,6 = 7203 \cdot 3,6 = 25,930 \text{ (GJ/rok)} \quad (7.11)$$

$$Q_r = Q_{TVr} + Q_{VYTr} = 7,203 + 14,513 = 21,716 \text{ (kWh/rok)} \quad (7.12)$$

7.5 Chladicí výkon

7.5.1 Tepelná zátěž

Tepelnou zátěž lze charakterizovat jako množství tepla, které vstupuje z vnějšího nebo vnitřního prostředí do klimatizované místnosti. Velikost tohoto tepla závisí na klimatických podmínkách, nejvíce na slunečním záření a také na stavebním řešení místnosti. Tyto podmínky umožňují menší či větší mírou, aby záření proniklo do budovy. Vnější tepelná zátěž je teplo, které do klimatizovaného prostoru proniká zvenku, hlavně díky působení slunečního záření a teploty vzduchu. Vnitřní představuje teplo, které vzniká přímo v klimatizovaném prostoru.

Přesná tepelná zátěž není pro tento objekt definovaná. Její hodnota byla spočítána na základě plochy, která se bude chladit. Jako zdroje vnitřních tepelných zisků jsou uvažována zařízení o tepelném výkonu 500 W. Tepelná zátěž byla spočítána podle [18] a její výsledná hodnota je 4,5 kW.

7.5.2 Chladicí výkon

Celkový součinitel přestupu tepla je určen podle [19]:

$$\alpha = 8,92 \cdot (t_i - t_p)^{0,1} = 8,92 \cdot (25 - 18)^{0,1} = 10,84 \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{)} \quad (7.13)$$

$$P_{CH} = \alpha \cdot S \cdot (t_i - t_p) = 10,84 \cdot 75 \cdot (25 - 18) = 5689 \text{ (W)} \quad (7.14)$$

P_{CH}	W	chladicí výkon
α	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	celkový součinitel přestupu tepla
t_i	$^{\circ}\text{C}$	teplota vzduchu v místnosti
t_p	$^{\circ}\text{C}$	střední povrchová teplota
S	m^2	plocha

Objekt má obytnou plochu 150 m^2 . Do této plochy jsou započítány všechny místnosti v domě. Není nutnost snižovat teplotu ve všech místnostech, proto bylo pro výpočet chladicího výkonu počítáno s poloviční plochou 75 m^2 . V tomto případě vyšel chladicí výkon 5,69 kW. Pro srovnání byl použit také zjednodušený výpočet, který orientačně používají výrobci klimatizací, kdy na 1 m^3 připadá 30 W chladicího výkonu. V tomto případě vyšel chladicí výkon 5,63 kW. Výsledky se liší o 64 W.

$$P_{CHz} = 30 \cdot S \cdot v = 30 \cdot 75 \cdot 2,5 = 5625 \text{ (W)} \quad (7.15)$$

Pro správně fungující chod chlazení je nutná podmínka, aby hodnota chladicího výkonu byla vyšší, než je hodnota tepelné zátěže. V případě, že je hodnota tepelné zátěže větší je nutné odvést teplo jiným způsobem. Tepelná zátěž byla v první části orientačně spočítána. V práci bude dále počítáno s hodnotou chladicího výkonu 5,69 kW.

8 NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA

Jako hlavní zdroj pro vytápění a ohřev teplé vody v objektu bude sloužit tepelné čerpadlo. Pořizovací náklady tohoto typu zdroje jsou vyšší, ale díky nízkým provozním nákladům dokáží přinést úspory. Dimenzování závisí na typu a způsobu využití. V tomto případě bude použito tepelné čerpadlo vzduch – voda. Instalace tohoto typu je nejjednodušší oproti ostatním. Odpadají nám výkopové a další práce spojené s instalací ostatních typů. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.6, množství instalací zařízení typu vzduch – voda stále stoupá a dá se předpokládat, že tento trend se bude držet i v dalších letech. Výkon tepelného čerpadla vzduch – voda bez modulace výkonu kompresoru se obvykle pohybuje v rozmezí 70–80 % tepelné ztráty objektu. Tepelná čerpadla s modulací výkonu kompresoru se navrhuje na 100 % tepelné ztráty. Pro případ výpadku nebo poruchy tepelného čerpadla se doporučuje instalace elektrokotle nebo elektrické topné spirály s odpovídajícím výkonem, která dokáže plně nahradit tepelné čerpadlo.

8.1 Výběr tepelného čerpadla

V domě bude tepelné čerpadlo sloužit pro vytápění a ohřev teplé vody. V letních měsících bude čerpadlo využíváno také pro vysokoteplotní chlazení. Tímto se zbavíme nákladů za klimatizaci a v domě bude vytvořena příjemná tepelná pohoda během celého roku. Předpokládá se, že na domě bude instalována fotovoltaická elektrárna, která bude pomáhat krýt spotřebu tepelného čerpadla a ostatních spotřebičů v objektu.

Pro tuto práci bylo vybráno tepelné čerpadlo od švédského výrobce IVT. Značka IVT je na trhu více než 40 let a díky velkým zkušenostem se drží na špičce v oboru. Dlouhodobě vítězí ve spotřebitelských testech a jejich výrobky jsou nejvíce instalovanými produkty i na českém trhu. Tepelná čerpadla řady AIR X vzduch/voda jsou vyráběna ve výkonech 5, 7, 9, 13 a 17 kW. Jsou tak vhodné do maximální tepelné ztráty budovy 35 kW. Výkon kompresoru je plynule říditelný. Díky funkci klimatizace, jej lze využívat pro chlazení v letních měsících. Jejich tichý, odolný a spolehlivý provoz řadí tyto čerpadla mezi oblíbené produkty na trhu. [20]

8.1.1 Potřebný výkon

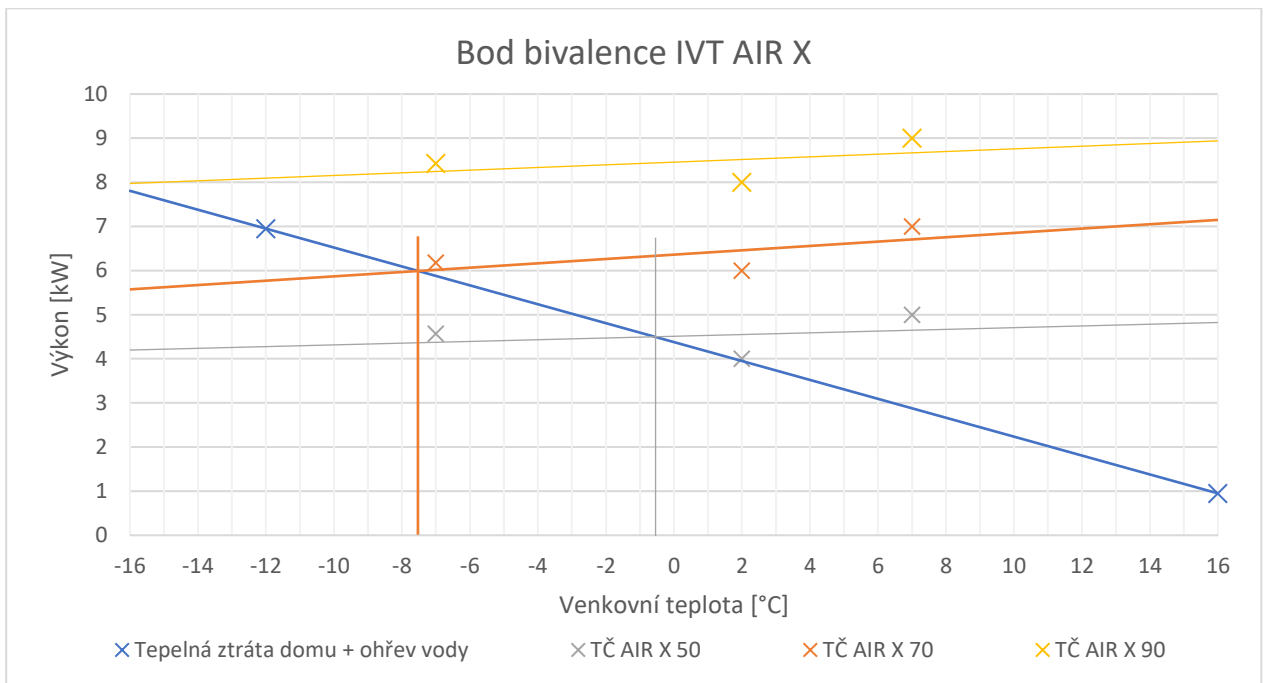
Pro stanovení potřebného výkonu tepelného čerpadla P_{TC} je sečtena tepelná ztráta objektu a dříve vypočtený výkon zdroje pro ohřev teplé vody.

$$P_{TC} = Q_c + P_{TV} = 6 + 0,95 = 6,95 \text{ (kW)} \quad (8.1)$$

Z výsledné hodnoty potřebného výkonu, která vyšla 6,95 kW, bylo vybráno tepelné čerpadlo IVT AIR X 70 o výkonu 7 kW. Vynesením hodnot topných výkonů daných výrobcem do grafu, byl ověřen bod bivalence.

8.1.2 Bod bivalence

V níže uvedeném grafu můžeme vidět výkonové křivky tepelných čerpadel IVT o různém výkonu a křivku tepelné ztráty domu. Tam, kde se přímky tepelné ztráty domu a výkonu protínají je bod bivalence. Pro teploty nalevo od přímky je spínán elektrokotel, který v paralelním chodu s tepelným čerpadlem dodává potřebný tepelný výkon. Pro srovnání jsou v grafu vyneseny výkonové křivky tepelných čerpadel o různém výkonu. Můžeme tak vyčíst, že v případě TČ AIR X 90 by bylo tepelné čerpadlo pro zvolený objekt předimenzované. V případě AIR X 50 se bod bivalence nachází při teplotě $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento provoz by byl přijatelný, ale díky častému provozu bivalentního zdroje by úspora, kvůli které je tepelné čerpadlo pořizováno, byla malá. Tepelná čerpadla dimenzovaná na plnou tepelnou ztrátu jsou drahá a jejich plný výkon je využíván velice zřídka. Proto se většinou volí kombinace tepelného čerpadla a bivalentního/záložního zdroje. Z literatury a zkušeností výrobce by se bivalentní bod měl nacházet v rozmezí $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jedná se o teploty, které se trvale v topné sezóně nevyskytují dlouhodobě, ale také nejsou ani výjimečné. Tepelné čerpadlo AIR X 70 má hodnotu bivalence při teplotě $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

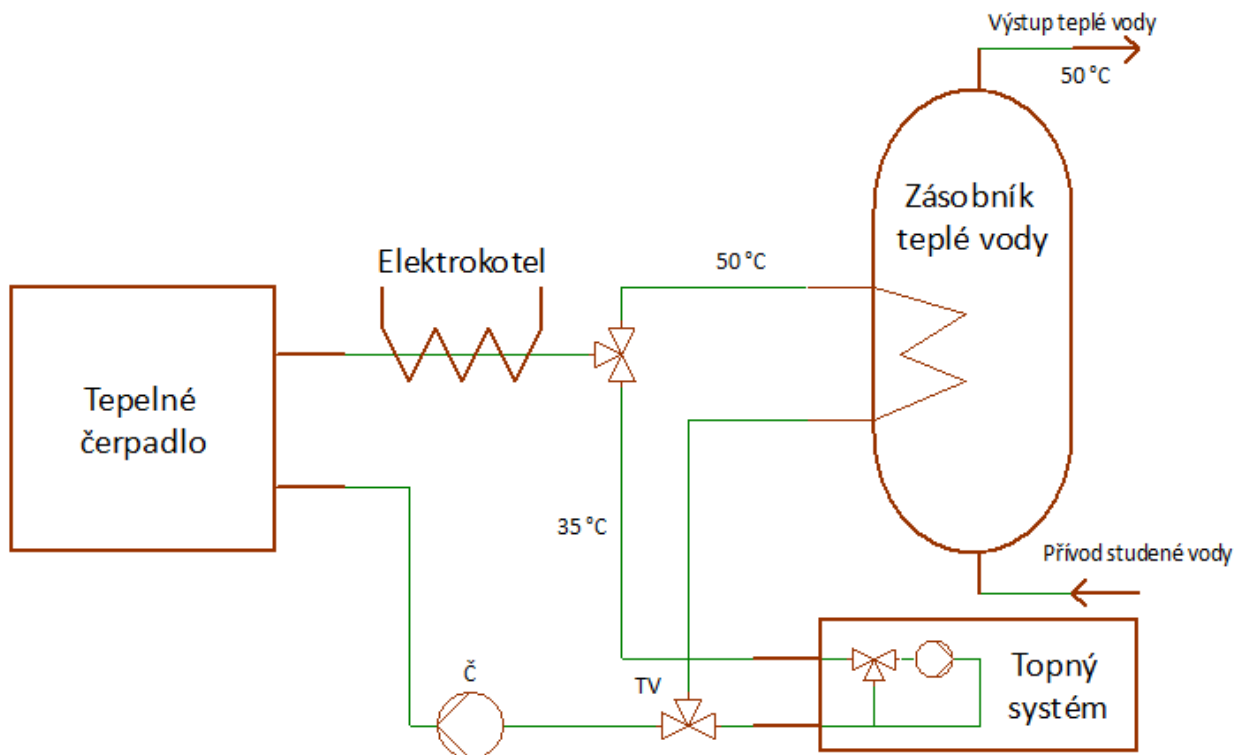


Obr. 8-1 Bod bivalence pro TČ IVT AIR X

8.1.3 Sestava tepelného čerpadla

Sestava tepelného čerpadla určená pro vytápění a ohřev teplé vody v objektu vychází z doporučeného schéma od výrobce. Venkovní jednotka je propojena s vnitřní jednotkou, která obsahuje zásobník teplé vody, dohřevový elektrokotel a další součásti nutné pro provoz. Celkové schéma zapojení okruhů tepelného čerpadla se nachází v příloze A.

Na obrázku *Obr. 8-2* můžeme vidět blokové schéma zapojení tepelného čerpadla. V případě nedostatečného výkonu tepelného čerpadla je spínán bivalentní zdroj – elektrokotel. Jedná se o paralelně bivalentní provoz tepelného čerpadla. Pro potřeby domácnosti je teplá voda ohřívána a skladována v zásobníku teplé vody při teplotě 50 °C. Z hygienického hlediska je nutné udržovat teplotu užitkové vody aspoň na 50 °C. Nízkoteplotní topný systém pracuje s teplotou topné vody 35 °C. Přepínání mezi ohřevem užitkové vody a vytápěním je zajištěno trojcestným ventilem. Díky ventilu je zaručeno, že tepelné čerpadlo pracuje vždy s nejvyšším faktorem, a navíc není třeba další investice do akumulací nádrže. Elektrokotel v případě nedostatečného výkonu tepelného čerpadla spíná a dohřívá vodu. Tepelné čerpadlo ohřívá topnou vodu na 50 °C, ta prochází výměníkem bojleru a ohřívá užitkovou vodu. V režimu vytápění je topná voda ohřívána na 35 °C. Každý topný okruh je navíc vybaven zpětným ventilem, který zabraňuje přirozené cirkulaci v topném systému v letním režimu. V případě nedostatečného výkonu nebo při poruše tepelného čerpadla je topná voda pro vytápění nebo ohřev dohřívána elektrokotlem, který je součástí vnitřní jednotky tepelného čerpadla.



Obr. 8-2 Blokové schéma zapojení TČ

8.1.3.1 IVT AIR X 70

Úkolem venkovní jednotky tepelného čerpadla je získat energii z venkovního vzduchu a předat ji do vnitřního modulu. Venkovní jednotka je propojena s vnitřní izolovaným propojovacím potrubím. Provoz venkovní jednotky způsobuje mírný hluk, se kterým je nutné počítat již při návrhu umístění stejně jako se vznikem kondenzátu, který se musí odvézt do kanalizace nebo do šterkového lože.

Tab. 8-1 Parametry venkovní jednotky IVT AIR X 70 [20]

TČ AIR X 70		
Energetická třída		A++
Topný výkon při 7 °C/35 °C ¹⁾ 100 %	kW	7
Topný výkon při 7 °C/35 °C ¹⁾ 40 %	kW	2,96
Topný faktor při 7 °C/35 °C ¹⁾ 40 %		4,84
Topný výkon při 2 °C/35 °C ¹⁾ 100 %	kW	6
Topný výkon při 2 °C/35 °C ¹⁾ 60 %	kW	3,9
Topný faktor při 2 °C/35 °C ¹⁾		4,13
Topný výkon při -7 °C/35 °C ¹⁾ 100 %	kW	6,18
Topný faktor při -7 °C/35 °C ¹⁾		2,82
SCOP ²⁾		4,72
Chladicí výkon při 35/18 °C	kW	6,7
EER		3,65
Elektronické napájení		230 V, 1N, AC, 50 Hz
Jistič pro tepelné čerpadlo	A	16
Max. el. příkon	kW	3,2
Množství chladiva R 410A	kg	1,75
Nominální průtok topným systémem	l/s	0,33
Interní tlaková ztráta TČ	kPa	7,8
Ventilátor (DC inventer), max. příkon	W	180
Maximální průtok vzduchu	m ³ /h	4500
Hladina akustického výkonu	dB	53
Elektrické krytí		IP X4
Maximální teplota topné vody	°C	60 (do-5), 52 (do -15)
Rozměry (š x v x h)	mm	930 x 1370 x 440
Hmotnost	kg	71
Odtávání		Horkým plynem přes čtyřcestný ventil
Kompresor		Dvojitý rotační frekvenčně řízený, Mitsubishi Electric
Provozní rozsah teplot	°C	-20/+30
Funkce chlazení		ANO

8.1.3.2 Vnitřní jednotka IVT AirModul E9

Úkolem vnitřního modulu je rozvádět teplo z tepelného čerpadla do systému vytápění a zásobníku teplé vody. Ve vnitřní jednotce je umístěn elektrokotel a nerezový zásobník teplé vody. V AirModulu je vestavěno také nízkoenergetické oběhové čerpadlo, které zajišťuje oběh topné vody mezi TČ a vnitřní jednotkou. Elektrokotel slouží pro dohřev v případě nedostatku tepla nebo při výpadku TČ. Elektrokotel je spínán kaskádně. Ke svému provozu používá většinou pouze dvě fáze. Třetí se spíná, jen když není v provozu kompresor. Tímto je omezen maximální odebíraný příkon. Maximální příkon je hlídán také regulací, která při zapnutí více spotřebičů v domě odpojí elektrokotel nebo kompresor.

Tab. 8-2 Parametry vnitřní jednotky IVT AirModul E9 [20]

IVT AirModul E9		
Elektrické napájení		400 V, 3N, AC, 50 Hz
Jistič pro vnitřní jednotku	A	16
Vestavěný kaskádně spínaný elektrokotel	kW	3-6-9
Max. dovolený tlak topné vody	bar	2,5
Min. dovolený tlak topné vody	bar	0,5
Expanzní nádoba	l	11
Minimální průtok	l/s	0,36
Oběhové čerpadlo		Grundfos UPM2 25-75 PWM
Max. teplota topné vody	°C	85 °C
Objem zásobníku teplé vody	l	185
Max. tlak na teplé vodě	bar	10
Materiál zásobníku teplé vody		Nerezová ocel
Rozměry (š x h x v)	mm	600 x 645 x 1800
Hmotnost	kg	135

8.1.3.3 Řídící jednotka HMC300

Díky ovládací jednotce HMC 300 je ovládání tepelného čerpadla jednoduché a uživatelsky srozumitelné. Do řídicí jednotky jsou připojeny senzory venkovní a vnitřní teploty. Topení a chlazení jsou řízeny tak, aby zajišťovaly maximální pohodlí při minimální spotřebě energie. Tepelné čerpadlo AIR X 70 je připraveno pro inteligentní spojení s fotovoltaickým zařízením. Abychom mohli využívat elektřinu z fotovoltaiky naplno, je nutné mít v regulační jednotce tepelného čerpadla aktivován FV režim a dále musí být zajištěno elektrické propojení měniče a tepelného čerpadla. Díky tomu má jednotka přehled o solárním systému a jeho spolupráci s tepelným čerpadlem.

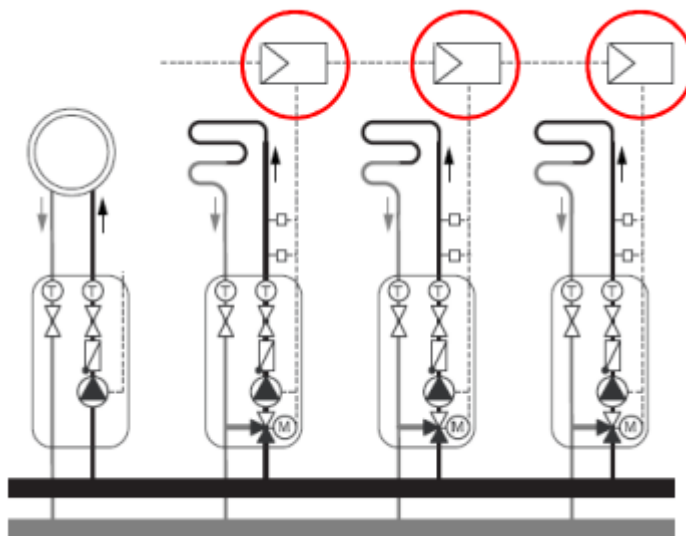
8.1.3.4 Příslušenství

Čidlo pokojové teploty s čidlem vlhkosti RC100H

Čidlo ukazuje aktuální a nastavenou vnitřní teplotu. Je propojeno s řídicí jednotkou, která na základě přijatých dat reguluje výkon čerpadla. Jeho další schopností je měření vlhkosti a v případě blížící se teploty rosného bodu zastaví funkci chlazení.

Směšovací modul MM100

Modul pro řízení směšovacích ventilů na maximálně třech topných/chladicích okruzích. Díky datovému propojení komunikuje s vnitřní jednotkou a upravuje teplotu vody v okruzích.



Obr. 8-3 Směšovací modul na topných okruzích 2, 3, 4 [20]

Oběhové čerpadlo YONOS PICO 25/1-6

Toto elektronicky řízené oběhové čerpadlo je součástí topného okruhu. Elektronická regulace výkonu slouží pro plynulou regulaci rozdílu tlaku. Používá se pro topná a klimatizační zařízení.

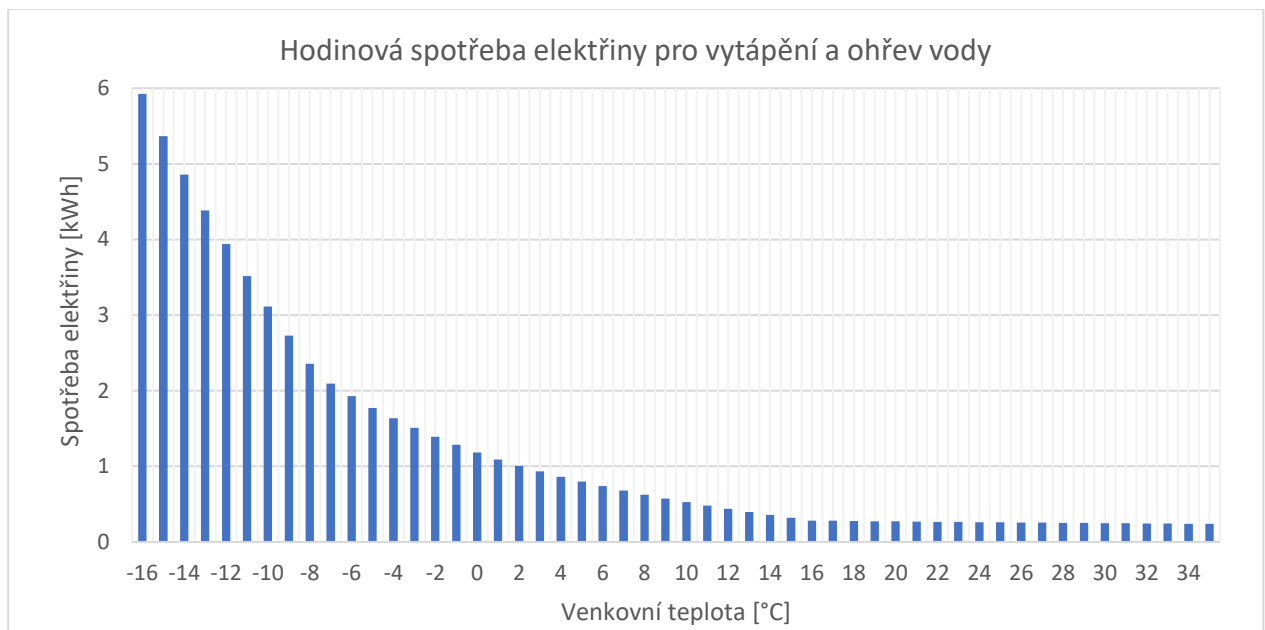
8.2 Spotřeba elektrické energie

8.2.1 Topení + ohřev

V kapitole 7.4 je teoreticky spočítána celková potřeba tepla objektu. Její hodnota je 21,72 MWh/rok. Z online dostupného programu PVGIS byla získána roční data průměrných teplot v hodinovém kroku. Teploty byly měřeny meteorologickou stanicí v Brně, tedy v lokalitě, kde se objekt nachází. Díky těmto teplotám byly podle [21] spočítány hodnoty potřeb tepelné energie a celkové spotřeby elektrické energie pro každou teplotu. Ve zvoleném případě vyšla roční potřeba tepla 22,71 MWh/rok. Rozdíl této hodnoty a teoreticky spočítané je 0,99 MWh/rok. V dalším postupu je počítáno s hodnotou 22,71 MWh/rok. Díky znalosti parametrů tepelného čerpadla byla vypočtena spotřeba elektrické energie, která je v tomto případě 6409 kWh. Níže můžeme vidět graf, který znázorňuje spotřebu elektřiny pro vytápění a ohřev teplé vody v závislosti na venkovní teplotě. Celá tabulka s vypočtenými hodnotami pro každou teplotu je součástí přílohy B. Sezónní topný faktor je podle výrobce 4,72. To je, ale pro teplotu výstupní vody 35°C. Vzhledem k tomu, že je uvažováno také s ohřevem teplé vody, která musí být z hygienických důvodů zahřívána aspoň na teplotu 50 °C nelze použít tuto hodnotu pro stanovení spotřeby čerpadla. Díky datům a výpočtu spotřeby tepla při dané teplotě můžeme ale určit naši hodnotu topného faktoru.

$$SCOP = \frac{Q_r}{E_r} = \frac{22,712}{6,409} = 3,54 (-) \quad (8.2)$$

<i>SCOP</i>	-	sezónní topný faktor
Q_r	MWh	roční spotřeba tepla
E_r	MWh	roční spotřeba elektrické energie



Obr. 8-4 Hodinová spotřeba elektřiny pro potřeby vytápění a ohřev vody

8.2.2 Chlazení

V kapitole 7.5 byl spočítán chladicí výkon o hodnotě 5,689 kW. Hodnota chladicího faktoru pro vybrané tepelné čerpadlo je 3,65. Z těchto dvou hodnot je vypočítána spotřeba elektrická energie pro provoz chlazení pomocí tepelného čerpadla.

$$E_{elCH} = \frac{P_{ch}}{EER} = \frac{5689}{3,65} = 1559 \text{ (W)} \quad (8.3)$$

E_{elCH}	W	elektrická energie spotřebovaná na chlazení
P_{CH}	W	chladicí výkon
EER	-	chladicí faktor

9 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Pro výpočet toků energie z fotovoltaického systému bylo vytvořeno výpočtové schéma v tabulkovém programu Microsoft Excel, který na základě zadaných údajů spotřeby elektrické energie domácnosti, tepelného čerpadla, špičkového výkonu FVE, velikost baterie a dalších parametrů počítá využitelnost energie v hodinovém kroku během celého roku.

9.1 Popis programu

Výpočtový program pro využitelnost energie fotovoltaického systému je vytvořen v tabulkovém programu Microsoft Excel. Pracuje v hodinovém kroku, celý rok tak tvoří 8760 hodnot. Díky tomu máme přehled o výrobě, spotřebě a využití energie v každé hodině, měsíci a roce. Výpočet je součástí přílohy C.

Z online dostupného internetového výpočetního modelu PVGIS byla stažena data potřebná pro výpočet. PVGIS je výpočetní model zaměřený na využití fotovoltaické aplikace, který využívá údaje ze satelitních měření a lokálních pozemních stanic pro kalkulaci výroby elektřiny v konkrétním místě v Evropě. V tomto případě se jednalo o údaje z lokality Brno, kde se řešený objekt nachází. Díky dlouhodobému záznamu měřících stanic byly použity hodnoty venkovní teploty a výroby FVE pro typický meteorologický rok. Tato data jsou vybírána z průměrných hodinových dat za dlouhé časové období ve stejném okamžiku.

9.1.1 Profil spotřeby elektřiny

Pro definici spotřeb elektřiny byly použity profily vycházející z typových diagramů dodávek (TDD) za rok 2019. Metoda typových diagramů dodávek elektřiny je náhradní postup pro stanovení velikosti hodinového odběru skupiny zákazníků, kteří nemají k dispozici průběhové měření. Pro řešení je použita náhradní metoda zátěžových profilů, kterou reprezentují typové diagramy dodávek elektřiny pro jednotlivé vybrané skupiny zákazníků se srovnatelným charakterem odběru elektřiny. Na základě statistických dat z měření vzorků těchto typů odběratelů je zvoleno 8 charakteristických odběrů skupin zákazníků. Normalizovaný typový diagram dodávky je součet 8760 relativních hodnot průměrných hodinových odběrů v roce, vztažených k hodnotě ročního maxima průměrných hodinových odběrů, určeného z měření vzorků TDD. Hodnoty TDD se pohybují v rozmezí 0 až 1 a definují tvar diagramu zatížení dané skupiny konečných zákazníků za normálních klimatických podmínek. Celkový součet relativních hodnot průměrných hodinových odběrů TDD vyjadřuje dobu využití maxima. [22]

Hodnota odběru v j -té hodině lze zjistit na základě předpokládané roční spotřeby elektrické energie podle vzorce:

$$P_j = P_{max} \cdot TDD_j = \frac{E_{rok}}{T_{max}} \cdot TDD_j \text{ (W)} \quad (9.1)$$

P_j	W	hodnota odběru v j -té hodině
P_{max}	W	hodnota výkonového maxima
TDD_j	-	relativní hodnota pro j -tou hodinu v roce
E_{rok}	Wh	předpokládaná roční spotřeba elektrické energie
T_{max}	hod	doba využití maxima

9.1.1.1 Profil spotřeby domácnosti

Soupis spotřebičů s roční spotřebou je uveden v kapitole 7.1. Celková uvažovaná roční spotřeba domácích spotřebičů je 2138 kWh. Pro stanovení profilu spotřeby domácnosti byl použit model TDD 4, který charakterizuje odběr domácnosti bez tepelného využití elektřiny. TDD použité v této práci odpovídají odběrnému místu, jehož zákazník je připojen k distribuční soustavě s napětím mezi fázemi do 1 kV a elektřina slouží k uspokojování osobních potřeb členů domácnosti.

9.1.1.2 Profil spotřeby tepelného čerpadla

Pro stanovení profilu spotřeby tepelného čerpadla, sloužícího v objektu pro ohřev teplé vody a vytápění, byl použit model TDD 7. Číslo 7 značí charakter odběru, v tomto případě odběr s přímotopným systémem vytápění nebo odběr s tepelným čerpadlem. Celková roční spotřeba elektrické energie pro ohřev v j-té hodině byla spočítána v kapitole 8.2.1 a její hodnota je 6409 kWh.

9.1.1.3 Profil spotřeby pro chlazení

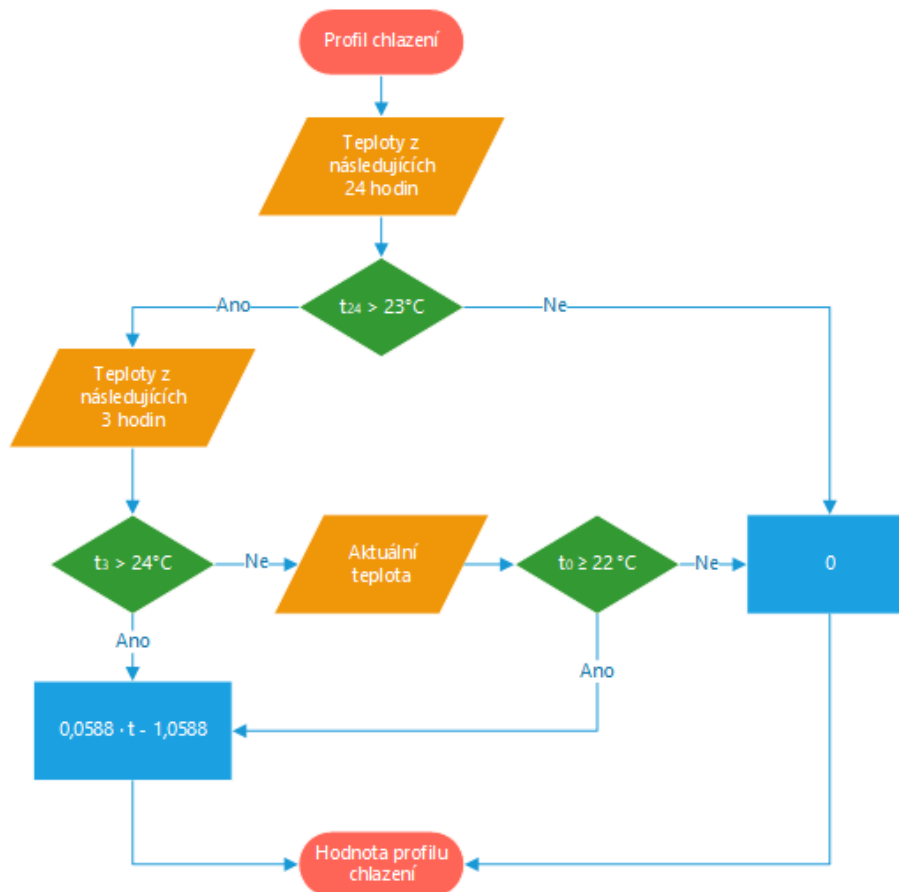
Typové denní diagramy nepočítají s využitím tepelných čerpadel pro chlazení. Proto je nutné si vytvořit vlastní profil spotřeby. Dá se předpokládat, že s rostoucí venkovní teplotou roste také vnitřní teplota. V našem případě se předpokládá s vysokoteplotním chlazením, kdy teplota chladicí vody neklesne pod 18 °C. Chladicí výkon vybraného tepelného čerpadla při venkovní teplotě 35 °C a 18 °C v podlahovém chlazení je 6,7 kW. Pro stanovení profilu budeme předpokládat hodnotu maxima při 35 °C a při 18 °C není třeba chladit, proto je profil 0. Proložení těchto bodů lineární závislostí, kde za x je dosazována venkovní teplota, vyjde přímka chladicího profilu:

$$y = 0,0588 \cdot x - 1,0588 \quad (9.2)$$

Tento profil závislosti chladicího výkonu tepelného čerpadla na venkovní teplotě je dále upraven logickými funkcemi pro využití ve vytvořené aplikaci. Díky znalosti venkovní teploty je profil stanoven následovně: V případě, že v průběhu 24 hodin není maximální venkovní teplota vyšší než 23 °C, chlazení je vypnuto, v opačném případě, pokud je v průběhu 24 hodin teplota vyšší než 23 °C, chlazení bude zapnuto. Při zapnutí je zde dále upravující podmínka – pokud v nadcházejících 3 hodinách bude teplota vyšší než 24 °C nebo aktuální teplota je vyšší nebo rovna 22 °C, tak je profil spotřeby chlazení definován podle rovnice 9.2, kdy za x je dosazována venkovní teplota. Díky tomuto kroku je vyřešena delší akumulární vlastnost vysokoteplotního chlazení. V ostatních případech je profil 0, což představuje vypnuté chlazení. Vývojový diagram profilu chlazení je na obrázku *Obr 9-1*. V praxi má dům akumulární schopnost a chlazení je spouštěno a regulováno na základě venkovní i vnitřní teploty. V této práci je použit objekt, jehož přesná stavební specifikace a akumulární schopnost není známa, proto je profil chlazení určen jen podle venkovní teploty.

Tab. 9-1 Chlazení pomocí TČ

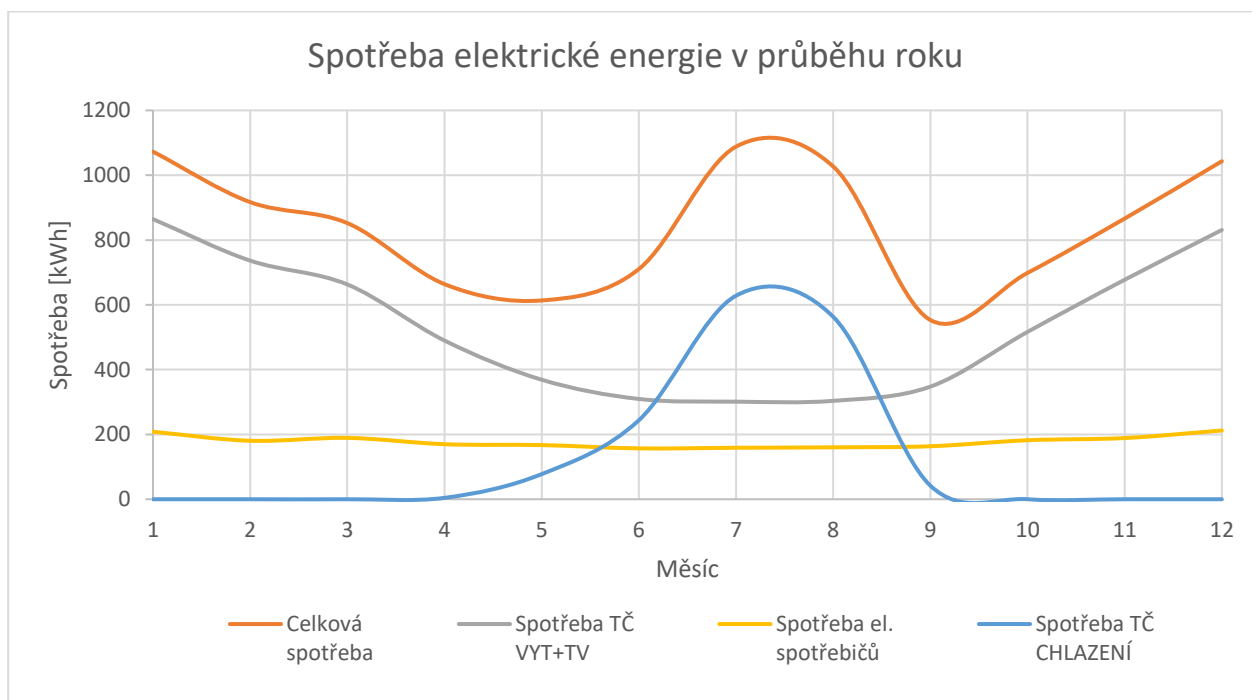
Teplota venku	Chladicí výkon TČ	Profil spotřeby
[°C]	[kW]	[-]
35	6,70	1,00
34	6,31	0,94
33	5,91	0,88
32	5,52	0,82
31	5,12	0,76
30	4,73	0,71
29	4,33	0,65
28	3,94	0,59
27	3,55	0,53
26	3,15	0,47
25	2,76	0,41
24	2,36	0,35
23	1,97	0,29
22	1,58	0,23
21	1,18	0,18
20	0,79	0,12
19	0,39	0,06
18	0,00	0,00



Obr. 9-1 Vývojový diagram profilu chlazení

Tab. 9-2 Spotřeba elektrické energie během roku

Měsíc	Průměrná teplota	Spotřeba TČ VYT+TV	Spotřeba TČ CHLAZENÍ	Spotřeba el. spotřebičů	Celková spotřeba	
	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	
1	Leden	-0,86	864,54	0,00	208,22	1072,77
2	Únor	0,40	736,41	0,00	180,49	916,89
3	Březen	2,05	662,86	0,00	189,37	852,23
4	Duben	10,25	489,68	4,32	169,84	663,85
5	Květen	15,05	368,86	77,58	167,10	613,54
6	Červen	18,51	309,50	243,77	157,05	710,31
7	Červenec	22,04	301,16	628,16	158,88	1088,20
8	Srpen	21,40	303,68	563,13	160,26	1027,07
9	Září	15,99	347,52	42,03	163,55	553,11
10	Říjen	11,11	516,45	0,00	182,13	698,58
11	Listopad	5,60	677,39	0,00	188,91	866,30
12	Prosinec	-3,68	830,96	0,00	212,20	1043,15
Celkem		10	6409	1559	2138	10106



Obr. 9-2 Spotřeba elektrické energie v průběhu roku

9.1.2 Energie z fotovoltaické elektrárny

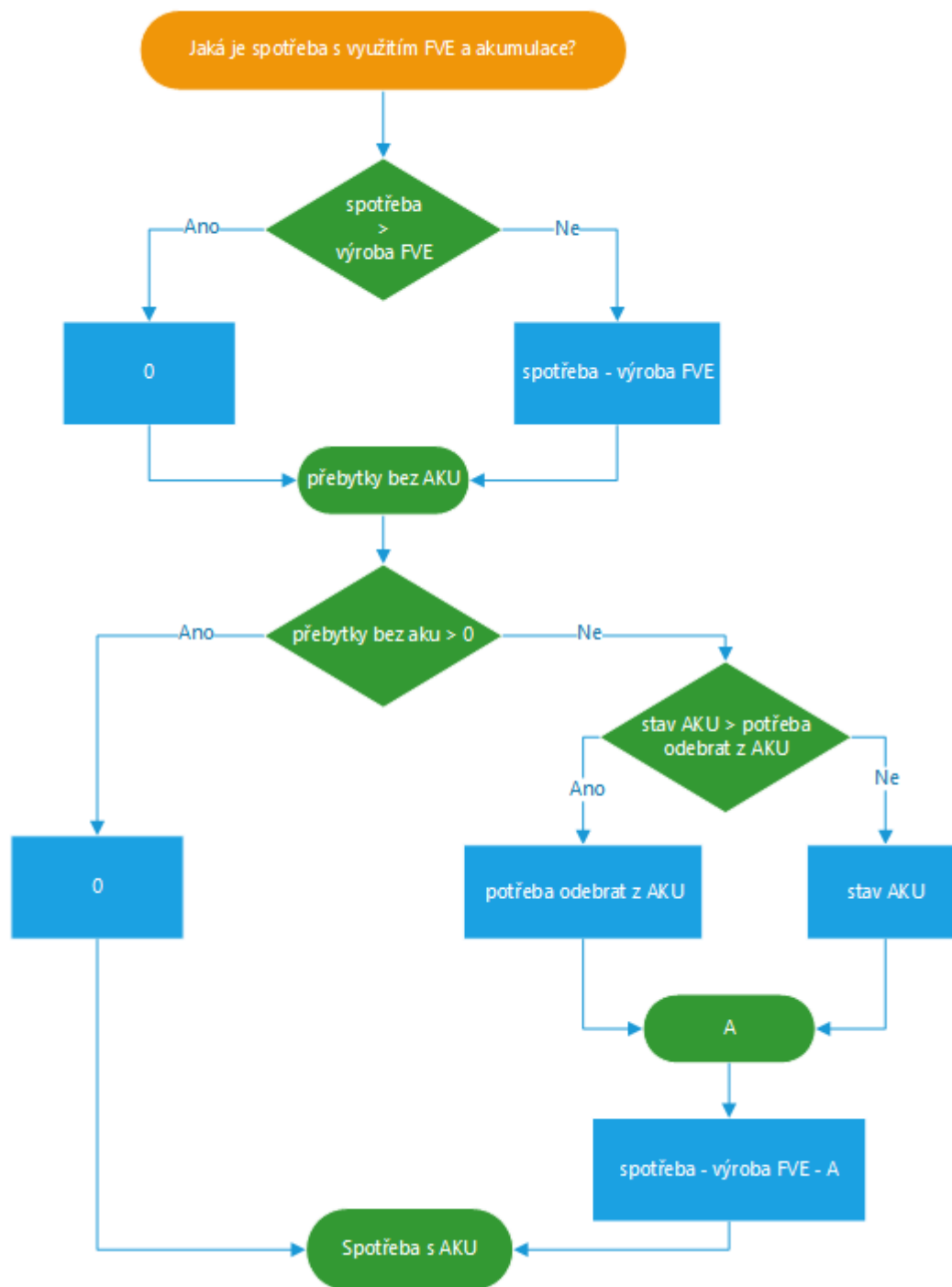
Data pro stanovení výroby fotovoltaického systému jsou stažena také z online dostupného internetového modelu PVGIS. Výpočet výroby ve vytvořeném programu je přepočítán podle zadaného špičkového výkonu FVE. Předpokládá se, že panely budou instalovány se sklonem 35° a jejich orientace bude směřovat na jih. Pro lokalitu Brno, kde se objekt nachází je dosahováno roční výroby 1041 kWh z 1 kWp instalovaného výkonu. Výroba elektrické energie je závislá na slunečním záření. V zimních měsících fotovoltaické panely vyrábí elektrickou energii od 8 do 15 hodin. V letních měsících je doba výroby od 6 hodin do 19 hodin.

9.1.3 Ukládání přebytků do baterie

Pokud je výroba fotovoltaické elektrárny větší než celková spotřeba, vznikají přebytky elektrické energie, kterými je nabíjena baterie. Fotovoltaika vyrábí nejvíce přes den a největší spotřeba je ve všední dny až odpoledne. Proto jsou přebytky elektrické energie ukládány do baterií pro využití v době, kdy fotovoltaika nestíhá vykryvat spotřebu. Pro vytvořený program a výpočet je nutné znát celkovou využitelnou kapacitu baterie a její maximální nabíjecí a vybíjecí výkon. Na základě logických funkcí a porovnávání hodnot počítá vytvořený program nabíjení/vybíjení baterie, přebytky a odběr z distribuční sítě. Na níže uvedeném obrázku *Obr. 9-3* je naznačen vývojový diagram finální části výpočtu, kdy výsledkem je odebraná elektrická energie z DS pro danou hodinu při použití FVE s akumulací.

9.1.4 Platba za spotřebovanou elektrickou energii

Díky znalosti intervalu nízkého tarifu NT a vysokého tarifu VT a následnou cenou za odebranou kWh v dané hodině, jsme schopni určit náklady za spotřebovanou elektřinu. V tomto případě je uvažováno s dvoutarifní sazbou D 57d, která má platnost nízkého tarifu 20 hodin. Vysoký tarif je dle [23] v čase 9-10, 12-13, 16-17 a 20-21. Rozdílem dvou částek za platbu s FVE a bez FVE vidíme ihned částku, která je za odebranou elektrickou energii, díky fotovoltaické elektrárně, ušetřena.



Obr. 9-3 Diagram spotřeby elektrické energie s akumulací

9.2 Návrh FV systému pro napájení tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo a výroba elektřiny ze slunečního záření se řadí mezi ekologické zdroje energie. Jejich hlavní výhodou je výroba tepla nebo chladu a elektrické energie při nízkých provozních nákladech. Tepelné čerpadlo dokáže ohřívat teplou vodu tři až pět krát efektivněji než přímým ohřevem vody pomocí fotovoltaiky. Kombinace spojení ekologických zdrojů pro získání energie je v dnešní době populární a pro budoucnost velice důležitá.

9.2.1 Velikost FVE

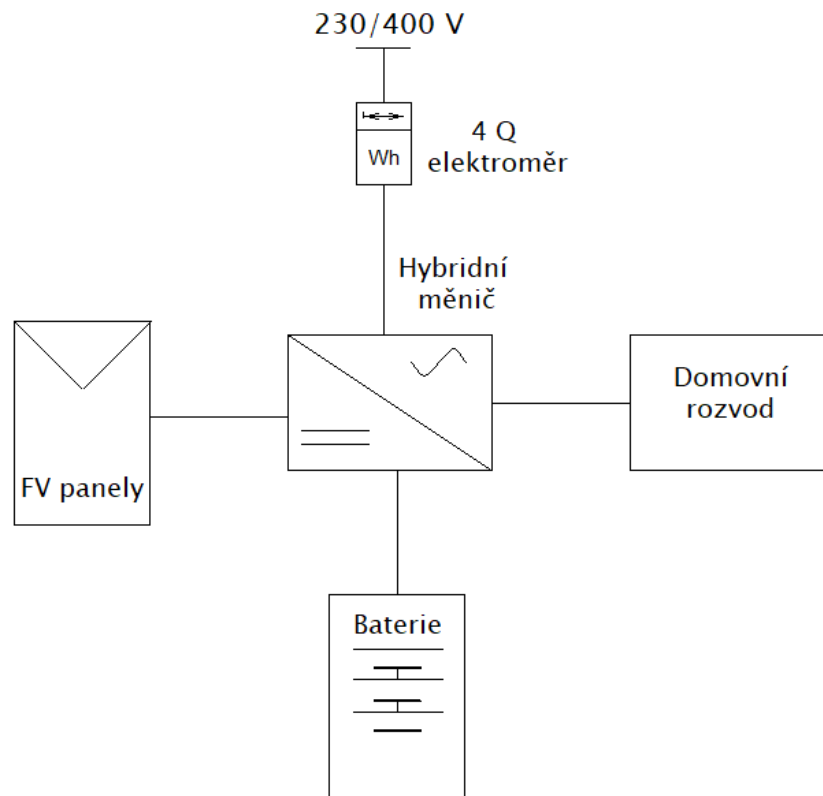
Pro zjištění vhodné velikosti FV elektrárny použijeme vytvořený program, díky kterému zjistíme množství využitelné energie a úsporu. Neměnné parametry jsou roční spotřeba TČ a domácnosti, která dohromady je 10,1 MWh. Ve sloupcích platba je uvedena cena za odebranou a spotřebovanou elektrickou energii, která je počítána podle ceníku E.ON sazba D 57d. Procentní výpočet přetoků je vztažen k celkové roční spotřebě. Při rozhodování o velikosti systému musíme brát v potaz, že celková cena za instalovaný kWp klesá s velikostí a případné využití přebytků pro ohřev vody nám také snižuje náklady pro ohřev vody. Pokud je v zájmu investora žádat o dotace je nutné dodržet podmínky dotací.

Tab. 9-3 Výsledky simulace velikosti FVE

Instal. výkon	Jmen. kapacita AKU	Roční výroba	Přetoky bez AKU		Přetoky s AKU		Spotřeba s AKU	Platba s FVE	Platba bez FVE	Úspora
			[kwh]	[%]	[kwh]	[%]				
[kWp]	[kWh]	[kWh]	[kwh]	[%]	[kwh]	[%]	[kwh]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
2	3,84	2082	227	2,2	22	0,2	8129	20 030	28 050	8 020
2,5		2602	424	4,2	106	1,1	7729	19 001		9 049
3		3123	663	6,6	251	2,5	7384	18 112		9 939
3,5		3643	943	9,3	447	4,4	7085	17 343		10 707
3,5	5,76	3643	943	9,3	296	2,9	6931	16 951		11 099
4		4164	1261	12,5	497	4,9	6644	16 224		11 826
4,5		4684	1615	16	737	7,3	6391	15 581		12 469
4,5	7,68	4684	1615	16	556	5,5	6185	15 092		12 958
5		5205	1999	19,8	804	8	5931	14 450		13 600
5,5		5725	2404	23,8	1093	10,8	5714	13 907		14 142
6		6246	2825	27,9	1419	14	5532	13 448	14 602	

9.2.2 Sestava FV systému

Fotovoltaický systém je navrhnut jako 3f hybridní systém, který je vybaven asymetrickým střídačem. Přebytná elektrická energie je skladována pro pozdější použití v bateriích. Jedná se o DC-coupling kdy baterie a fotovoltaické panely jsou připojeny ke stejnému měniči. Střídač a baterie jsou od německé firmy RCT. Díky jednomu výrobcí jsou tyto klíčové komponenty ideálně sladěny a dosahují maximální možné účinnosti pro využití vyrobené elektřiny. Vysoká účinnost a bezhlučný provoz jsou přednosti těchto komponent. Díky asymetrické dodávce výkonu do jednotlivých fází podle skutečné spotřeby je tato sestava vhodná pro použití v České republice, kde probíhá měření distributorem pro každou fázi zvlášť. Střídač obsahuje několik unikátních řešení pro řízení nabíjecího algoritmu baterií. Baterie jsou během zimního období balancovány, díky čemuž se jejich životnost prodlužuje. Pokud okamžitá spotřeba domu překročí maximální dostupný výkon, střídač automaticky sníží výkon řízených tepelných spotřebičů, v tomto případě tepelného čerpadla. Systém je navrhnutý tak, aby splňoval podmínky dotace, jak je uvedeno v ekonomické kapitole v této práci.



Obr. 9-4 Blokové schéma FV systému

9.2.2.1 FV panely

Pro fotovoltaickou elektrárnu byly vybrány monokrystalické panely od společnosti EXE. Tento monokrystalický panel se 72 články dosahuje účinnosti 19,6 %. Pro instalaci je použito 12 těchto panelů.

Tab. 9-4 Parametry FV panelů EXE Solar 380 Wp MONO [24]

EXE Solar 380 Wp MONO		
Jmenovitý výkon	Wp	380
Jmenovité napětí U_{mpp}	V	40,4
Jmenovitý proud I_{mpp}	A	9,42
Zkratový proud I_{sc}	A	10
Napětí naprázdno U_{oc}	V	49
Maximální systémové napětí	V	1000
Účinnost	%	19,6
NOCT	°C	
Hmotnost	kg	23
Rozměry (š x v x h)	mm	992 x 1956 x 40

9.2.2.2 Baterie RCT Power Battery 5.7

Pro využití přebytků energie je instalována vysokonapěťová baterie. Jeden bateriový modul RCT o kapacitě 1,9 kWh obsahuje 24 LiFePo článků po 3,2 V. Bateriový systém je modulární. Minimální počet spojených modulů je 2 a maximální je 6 modulů na jeden střídač. V tomto případě je kapacita baterie 5,7, takže je tvořena třemi moduly. RCT baterie mají minimální živostnost 5000 cyklů a je na ně poskytována 10letá záruka. Výrobce dále uvádí, že po uplynutí 5000 cyklů baterie ztratí maximálně 20 % účinnosti. Vysoká účinnost, monitoring skrz aplikaci a modulární koncepce řadí tyto baterie do popředí trhu. Součástí je také kvalitní a vyladěný BMS (Battery Management System), který se stará o správnou hladinu napětí v článcích, díky čemuž se prodlužuje životnost baterie.

Tab. 9-5 Parametry baterie Power Battery 5.7 [25]

RCT Power Battery 5.7		
Jmenovitá kapacita	kWh	5,76
Využitelná kapacita (90 %)	kWh	5,18
Počet cyklů (při zbytkové kapacitě 80%)		5000
Rozsah napětí	V	180 - 260
Jmenovité napětí	V	230
Maximální nabíjecí/vybíjecí výkon	W	4600/4600
Maximální nabíjecí/vybíjecí proud	A	20/20
Spotřeba energie	W	<5
Technologie baterie		LiFePo4
Počet modulů		3
IP krytí		IP42
Rozsah provozní teploty	°C	+5 - +40
Rozměry (v x š x h)	m	0,87x0,34x0,34
Hmotnost	kg	78

9.2.2.3 Střídač RCT Power Storage DC 6.0

Jedná se o třífázový hybridní asymetrický střídač od německé firmy RCT. Díky hybridnímu provedení si střídač sám podle aktuální situace určuje, odkud se bude čerpat elektřina. Prioritou je vždy čerpat elektřinu z vlastního zdroje – FV panely, baterie. Pokud není dostatek výkonu k dispozici, odebírá elektřinu z distribuční sítě. Pro domácí použití se vyrábí ve třech variantách výkonu – 4, 5, 6 kW. V navrženém případě bude použita verze střídače s nejvyšším výkonem 6 kW. Je to z důvodu nízkého nárůstu ceny u vyšších verzí a v budoucnu je možno zvýšit instalovaný výkon FV panelů bez nutnosti výměny měniče. Další předností je vysoká účinnost, která splňuje požadavky dotací. Střídač je vybaven komunikačním rozhraním, které obsahuje také multifunkční relé, jehož spínání je možno nastavit při stanovené dosažené výrobě. Střídač má mnoho funkcí a jeho nastavování probíhá skrz aplikaci. Pro zamezení přetoků do distribuční sítě je zde možnost bezpřetokového nastavení a v případě přebytků elektrické energie střídač utlumí výkon panelů.

Tab. 9-6 Parametry střídače RCT Power Storage DC 6.0 [25]

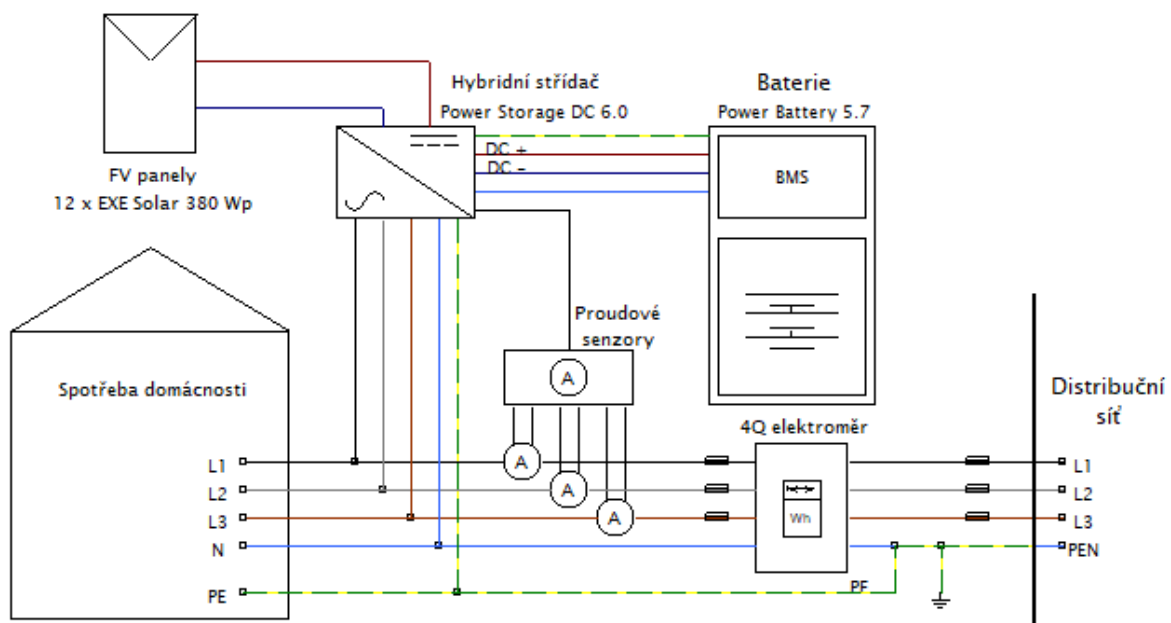
RCT Power Storage DC 6.0		
DC vstup		
Max. doporučený DC výkon	W	9900
MPPT	ks	2
Maximální DC proud na MPPT	A	12
Zapínací DC napětí/výkon	V/W	150/40
Rozsah DC napětí	V	140 - 1000
Maximální DC napětí	V	1000
Bateriový vstup		
Rozsah napěťový DC	V	150 - 600
Maximální nabíjecí/vybíjecí proud	A	20/20
Maximální nabíjecí/vybíjecí výkon	W	9220/6000
Výstup AC		
Jmenovitý výkon AC	W	6000
Maximální činný výkon	W	6000
Maximální zdánlivý výkon	VA	6300
Jmenovitý proud AC na fázi	A	8,7
Maximální proud AC na fázi	A	9,1
Jmenovitá frekvence	Hz	50/60
Jmenovité napětí AC	V	230/400
Faktor zkreslení		<2% při Pn
Počet fází s dodávkou	ks	3
Výkonové parametry		
Spotřeba energie	W	<4
Maximální účinnost (FV - síť)	%	98,16
Evropská účinnost (FV - síť)	%	97,6
Maximální účinnost (FV - baterie - síť)	%	94,4
Technologie		beztransformátorová

9.2.2.4 Proudový senzor

Proudový senzor RCT Power Sensor 50 se používá ke zjišťování dodávky energie do sítě nebo spotřeby elektrické energie ze sítě. Současně je tak stanovována spotřeba domácnosti. Výrobce senzorů je stejný jako výrobce střídače, takže systémy dokáží vzájemně komunikovat. Měnič tak reaguje podle měřených hodnot a nastavení.

9.2.3 Popis systému

Díky rozsáhlým možnostem nastavení hybridního střídače je možné vyráběnou energii spotřebovávat s co největší účinností. Protože distributor měří spotřebovávanou elektrickou energii po fázích, je dodávka výkonu podle potřeby asymetricky směřována do jednotlivých fází. Prioritou je vždy čerpat elektřinu z vlastního zdroje. Pokud není dostatek výkon z panelů nebo baterie, je elektrická energie odebírána z distribuční sítě. Protože jsou v sestavě použity lithiové baterie, kterým škodí přebíjení a dlouhodobé podbití, je součástí baterie BMS – Battery Management System. V zimě pro nedostatek přebytečného vyráběného výkonu, kterým by byly baterie nabíjeny je tak nutné balancovat baterie z distribuční sítě. Díky nabíjení baterií v době nízkého tarifu jsme schopni snížit na minimum množství odebírané elektřiny ze sítě v době vysokého tarifu. Zamezení dodávky do distribuční sítě je zajištěno bezpřetokovým nastavením střídače. Střídač díky proudovým senzorům má okamžitý přehled o výrobě a spotřebě. V případě vyšší výroby, než je spotřeba, střídač utlumí výkon FV panelů. Tímto se dosáhne, že panely sice nepracují na plný výkon, ale nejsme pokutováni distributorem za dodávku energie do sítě. Přetoky jsou u FV elektráren využívány nejčastěji pro ohřev teplé vody. Do zapojení je pak přidán regulátor, nejčastěji wattrouter, který přebytky směřuje právě do topné spirály v bojleru. Topná soustava musí být pro toto zapojení připravena. Regulátor funguje na principu pulzní regulace, kdy střídá stavy zapnuto a vypnuto. Tím jsou vyvolávány skokové změny v proudovém odběru, které vedou ke změnám úbytku napětí na přírodním vedení. Při spínání větších zátěží je výsledkem kolísání napětí sítě, projevující se flikem i v okolí takto provozované fotovoltaické elektrárny. Pro omezení tohoto jevu je využíváno rozložení výkonu do více spotřebičů nebo zvýšení frekvence spínání. Systém pro využití přebytků je investice, která se nám vrátí, ale vzhledem ke zhoršování kvality napětí není v tomto případě využita.



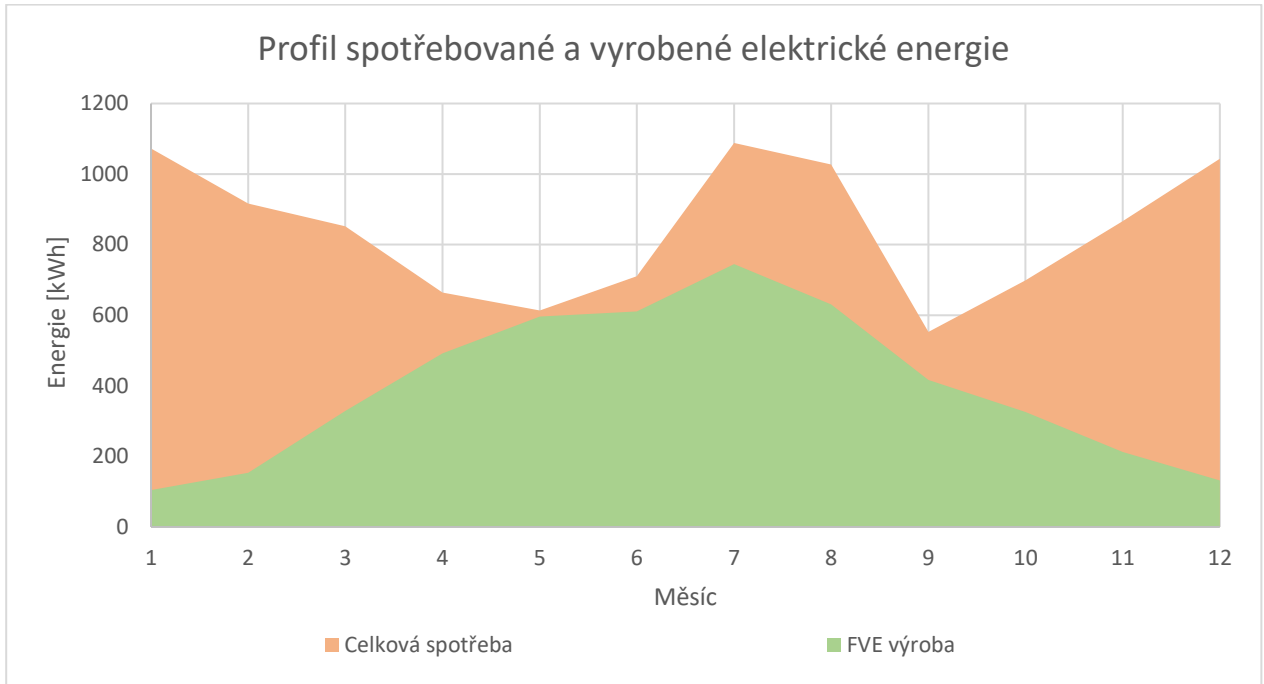
Obr. 9-5 Schéma zapojení FV systému

10 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ

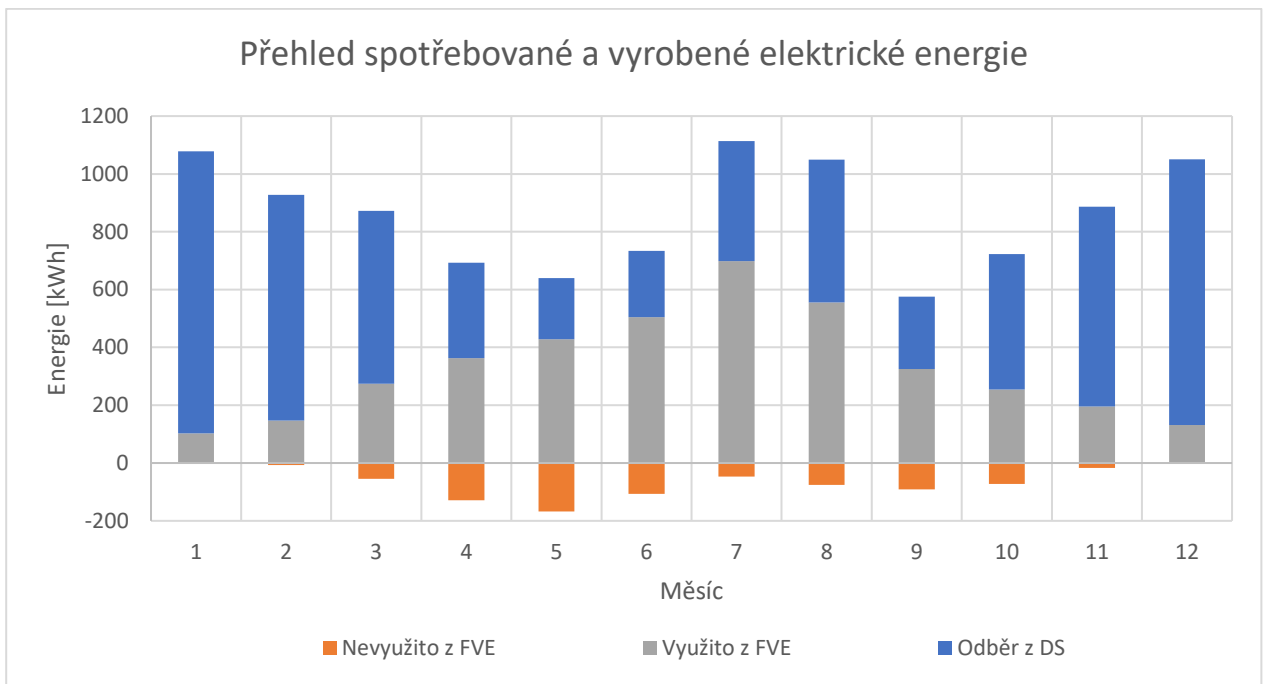
Výsledky energetického zhodnocení vychází z výpočtů ve vytvořeném programu, který počítá v ročních hodinových krocích. Jedná se tedy o 8760 hodnot. V níže uvedené tabulce jsou shrnuty výsledné měsíční hodnoty ze kterých jsou dále sestrojeny grafy. Celková spotřeba elektrické energie je součtem spotřeby tepelného čerpadla pro topení, ohřev vody, chlazení a spotřeby elektrických spotřebičů. Přebytná vyrobená a nespotebovaná elektrická energie není využívána, proto jsou tyto přebytky odečteny od vyrobené elektrické energie pomocí fotovoltaické elektrárny. Poslední řádek tabulky je součet měsíčních hodnot.

Tab. 10-1 Přehled měsíčních toků energie

Měsíc	Průměrná teplota	TČ VYT+TV	TČ CHLAZENÍ	EL. SPOTŘEBIČ.	Celková spotřeba	FVE výroba	Přebytky s AKU	Využito z FVE	Odběr z DS
	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
1	-0,86	865	0	208	1073	104	1	103	975
2	0,40	736	0	180	917	153	7	147	781
3	2,05	663	0	189	852	329	55	274	598
4	10,25	490	4	170	664	491	129	362	330
5	15,05	369	78	167	614	596	168	428	212
6	18,51	309	244	157	710	610	106	504	229
7	22,04	301	628	159	1088	745	47	698	416
8	21,40	304	563	160	1027	631	75	555	494
9	15,99	348	42	164	553	416	92	325	251
10	11,11	516	0	182	699	326	72	254	469
11	5,60	677	0	189	866	213	17	195	691
12	-3,68	831	0	212	1043	132	0	132	918
Σ	9,82	6409	1559	2138	10106	4747	769	3978	6364



Obr. 10-1 Profil spotřebované a vyrobené elektrické energie



Obr. 10-2 Přehled spotřebované a vyrobené elektrické energie po měsících

10.1 Ekologické vyhodnocení

V ekologickém vyhodnocení je porovnána varianta tepelného čerpadla spolupracující s fotovoltaickou elektrárnou s variantou tepelného čerpadla napájeného z distribuční sítě. Ekologické vyhodnocení je provedeno v souladu s vyhláškou 309/2016 Sb. Roční úspora 3,779 tun CO₂ se rovná počtu stromů, které by bylo každý rok třeba vysadit, aby spotřebovaly stejné množství CO₂. Pro stanovení množství znečišťujících látek na jednotku vyrobené nebo spotřebované elektrické energie byly použity následující emisní faktory podle vyhlášky:

Tab. 10-2 Emisní faktory pro elektřinu [26]

Znečišťující látka	CO ₂	TZL	PM ₂₅	SO ₂	NO _x	NH ₃	VOC
Emisní faktor [kg/MWh]	1010	0,0368	0,02208	0,84124	0,56764	0	0,00249

Tab. 10-3 Výpočet emisí znečišťujících látek

			TČ	TČ + FVE	Rozdíl	[%]
Palivo	Elektřina	[MWh/rok]	10,106	6,364	3,742	37,03
Znečišťující látka	CO ₂	[kg/rok]	10207	6428	3779	37,03
	TZL	[kg/rok]	0,372	0,234	0,138	37,03
	PM ₁₀	[kg/rok]	0,149	0,094	0,055	37,03
	PM ₂₅	[kg/rok]	0,223	0,141	0,083	37,03
	SO ₂	[kg/rok]	8,502	5,354	3,148	37,03
	NO _x	[kg/rok]	5,737	3,612	2,124	37,03
	NH ₃	[kg/rok]	0,000	0,000	0,000	0,00
	VOC	[kg/rok]	0,025	0,016	0,009	37,03

11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

11.1 Distribuční sazba

Elektrinu jde v domácnosti využívat různými způsoby. Podle toho je také volena distribuční sazba. Správná distribuční sazba je základem, abychom nepřepláceli za elektrinu. Na trhu existují jednotarifové sazby, kdy elektrina je odebírána po celý den za stejnou cenu nebo dvoutarifní, ve kterých se účtuje různá cena – ve vysokém tarifu VT vyšší, v nízkém tarifu NT nižší. Pro přiznání jednotlivých sazeb musí zákazník splňovat jednotlivé podmínky. Dnes je na trhu pro domácnosti celkem devět sazeb – dvě jednotarifové a sedm dvoutarifových.

11.1.1 Sazba D 57d

Dvoutarifová sazba D 57d s dobou platnosti nízkého tarifu 20 hodin je určena pro odběrná místa vytápěná topným elektrickým spotřebičem. Pro udělení sazby je nutné využívat hybridní nebo přímotopné elektrické spotřebiče pro vytápění objektu nebo systém vytápění s tepelným čerpadlem. Maximální souvislá délka platnosti vysokého tarifu je jedna hodina. Díky využívání dvoutarifní sazby se nám snižuje návratnost vložené investice do tepelného čerpadla oproti využívání jednotarifní sazby. Celková cena elektřiny se skládá z ceny za odebranou elektrinu a ze stálých měsíčních platů. V tabulce níže můžeme vidět jednotkovou cenu elektrické energie společnosti E.ON v tarifní sazbě D 57d pro rok 2020. Uvedené ceny jsou bez DPH.

Tab. 11-1 Ceník elektřiny sazba D 57d [27]

Dodávka elektřiny		
Cena ve vysokém tarifu	[Kč/MWh]	2479,00
Cena v nízkém tarifu	[Kč/MWh]	1887,00
Stálý měsíční plat	[Kč/měsíc]	86,00
Distribuované množství elektřiny		
Cena ve vysokém tarifu	[Kč/MWh]	210,63
Cena v nízkém tarifu	[Kč/MWh]	176,79
Měsíční plat za příkon dle proudové hodnoty hlavního jističe		
Jistič	[Kč/měsíc]	dle ceníku
Ostatní regulované služby a daně		
Daň z elektřiny	[Kč/MWh]	28,30
Cena za systémové služby	[Kč/MWh]	77,12
Cena za činnost OTE	[Kč/odběrné místo/měsíc]	5,08
Cena na podporu elektřiny z POZE	[Kč/A/měsíc nebo Kč/MWh]	13,27/495,00
Celková jednotková cena elektřiny		
Cena ve vysokém tarifu		2795,05
Cena v nízkém tarifu		2169,21
Měsíční platby		86 + jistič + 5,08
Cena na podporu elektřiny z POZE		jistič · 13,27 nebo spotřeba · 495

11.2 Porovnání nákladů

Pro porovnání nákladů jsou provozní a pořizovací náklady dále srovnávány s plynovým kondenzačním kotlem s akumulací nádobou. V práci je počítáno, že tepelné čerpadlo slouží v létě i pro chlazení, proto jsou zde uvedeny také náklady na klimatizační zařízení. Jednotlivé náklady jsou srovnány vzhledem k pořizovacím a provozním nákladům za rok. Náklady na provoz jsou uvedeny včetně DPH, podle aktuálních ceníků společnosti E.ON. Celkové roční náklady se skládají z ceny spotřeby, ke které jsou přičítány stálé měsíční platby distributorovi.

11.2.1 Tepelné čerpadlo

Cena pořizovacích nákladů vychází z aktuálního ceníku firmy IVT, ve kterém je uvedena konečná cena za celou sestavu včetně montáže tepelného čerpadla (venkovní a vnitřní jednotka, regulátor, čidla teplot, ventily, čerpadlo, expanzní nádoba). Na celé tepelné čerpadlo je poskytována záruka 5 let. Na kompresor je záruka prodloužena o dalších 5 let. [20]

Tab. 11-2 Pořizovací náklady tepelného čerpadla

Název	Cena [Kč]
IVT AIR X 70	198 000
AIR Modul E9	
Montáž a příslušenství	
Celkem s DPH	240 000

Spotřeba elektrické energie

Jak bylo výše uvedeno při využívání tepelného čerpadla je vhodné využívat dvoutarifní distribuční sazbu, kdy nízký tarif je k dispozici 20 hodin denně. Výpočet spotřebované elektrické energie při sazbě D 57d je zahrnut ve vytvořeném programu v aplikaci MS Excel, který je součástí přílohy C. Celková spotřeba TČ pro topení, ohřev vody a chlazení je podle výpočtu 7,968 MWh. Pro výpočet stálé měsíční platby je počítáno s jističem 3x25 A. Pro porovnání nákladů je zde uveden výpočet celkové roční platby za elektrickou energii v jednotarifní a dvoutarifní sazbě.

Spotřeba elektrické energie – jednotarif

$$N_{02d} = N_E \cdot E_{TČ} + 12 \cdot ST + N_{POZE} \text{ (Kč)} \quad (11.1)$$

N_{02d}	Kč	roční náklady v jednotarifní sazbě D 02d
N_E	Kč/MWh	cena za odebranou elektřinu
$E_{TČ}$	MWh	množství energie spotřebované TČ
ST	Kč/měsíc	stálý měsíční plat
N_{POZE}	Kč	cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů

$$N_{02d} = 4684 \cdot 7,968 + 12 \cdot 230 + 4772 = 44\,854 \text{ (Kč)} \quad (11.2)$$

Spotřeba elektrické energie – dvoutarif

$$N_{57d} = NT_E \cdot E_{NT_T\check{C}} + VT_E \cdot E_{VT_T\check{C}} + 12 \cdot ST + N_{POZE} \text{ (K\check{C})} \quad (11.3)$$

N_{57d}	K\check{C}	roční náklady ve dvoutarifní sazbě D 57d
NT_E	K\check{C}/MWh	cena za odebranou elektřinu v nízkém tarifu
$E_{NT_T\check{C}}$	MWh	množství energie spotřebované T\check{C} v NT
VT_E	K\check{C}/MWh	cena za odebranou elektřinu ve vysokém tarifu
$E_{VT_T\check{C}}$	MWh	množství energie spotřebované T\check{C} ve VT
ST	K\check{C}/měsíc	stálý měsíční plat
N_{POZE}	K\check{C}	cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů

$$N_{57d} = 2625 \cdot 6,396 + 3382 \cdot 1,572 + 12 \cdot 452 + 4772 = 32\,302 \text{ (K\check{C})} \quad (11.4)$$

Rozdíl ročních nákladů - jednotarif a dvoutarif

Porovnáním výsledných částek provozních nákladů v jednotarifní a dvoutarifní sazbě vidíme, že roční úspora v tomto případě dosahuje 12 552 K\check{C}. Proto je správné nastavení distribuční sazby důležitým krokem ke snížení provozních nákladů.

$$N_{02d-57d} = 44854 - 32302 = 12\,552 \text{ (K\check{C})} \quad (11.5)$$

11.2.2 Plynový kondenzační kotel

Kondenzační kotel a externí zásobník je využíván u rodinných domů nebo větších bytů, kde je kladen důraz na maximální úsporu, vysokou ekologičnost provozu a vysoký komfort dodávky teplé vody. Vybranou sestavu tvoří nástěnný kondenzační plynový kotel THERM 14 KDZN a stacionární nepřímotopný zásobník OKH 125 NTR/HV od firmy Thermona. Provozní náklady jsou součtem nákladů za plyn a elektřinu. [28]

Tab. 11-3 Pořizovací náklady plynového kotle

Název	Cena [Kč]
Kotel THERM 14 KDZN 3,2 – 14,8 kW, max 80 °C, třída A	30 900
Zásobník OKH 125 NTR/HV 115 l, třída B	11 900
Separátor nečistot s magnetem	2 790
Ekvitermní set	2 290
Termostat	2 290
Odvod spalin	5 000
Montáž a příslušenství	13 000
Celkem	68 170
Celkem s DPH	82 486

Spotřeba zemního plynu

$$V_{PK} = \frac{Q_r}{H_p} = \frac{78177}{33,48} = 2335 \text{ (m}^3\text{)} \quad (11.6)$$

V_{PK}	m^3	spotřeba zemního plynu
Q_r	MJ	roční potřeba tepla
H_p	MJ/m^3	výhřevnost zemního plynu

Přepočítání objemu plynu

Plynoměr měří spotřebu v m^3 , vyúčtování však probíhá v MWh. Proto je spotřeba vynásobena převodním koeficientem k_P a výsledkem je spotřebované množství plynu v MWh.

$$V_{PK} = V_{PK} \cdot k_P = 2335 \cdot 0,01055 = 24,63 \text{ (MWh)} \quad (11.7)$$

Roční náklady za plyn

Celkové roční náklady na zemní plyn jsou složeny z ceny za odebrané množství, ke kterému jsou připočten stálé měsíční platby za distribuci zemního plynu.

$$N_{PLC} = N_P \cdot V_{PK} + 12 \cdot SP_p = 1218,14 \cdot 24,63 + 12 \cdot 514,19 = 36\,173 \text{ (Kč)} \quad (11.8)$$

N_{PLC}	Kč	celkové roční náklady na zemní plyn
N_P	Kč/MWh	cena za odebraný plyn
V_{PK}	MWh	spotřebované množství plynu
SP_p	Kč/měsíc	stálý plat

11.2.3 Klimatizace

Protože tepelné čerpadlo bude využíváno v letních měsících také pro chlazení, jsou zde uvedeny pořizovací a provozní náklady klimatizační jednotky. V tomto případě se jedná o mobilní klimatizační jednotku Sinclair AMC-14P. Její chladicí výkon je 4 kW a je vhodná pro chlazení místností o ploše do 40 m². Jedná se o nízko-teplotní klimatizaci, která fouká studený vzduch do místnosti. Její pořizovací náklady jsou 10 000 Kč. Hodnota chladicího faktoru je podle výrobce 2,6 a pro výpočet spotřebované energie pro chlazení je použit stejný chladicí výkon jako při výpočtu tepelného čerpadla.

$$E_{KL} = \frac{P_{ch}}{EER} = \frac{5689}{2,6} = 2188 \text{ (kW)} \quad (11.9)$$

E_{KL}	kW	elektrická energie spotřebovaná klimatizací
P_{CH}	kW	chladicí výkon
EER	-	chladicí faktor

Spotřeba elektrické energie

Protože spotřeba klimatizace bude dále přičítána ke spotřebě elektřiny elektrických zařízení je zde informativně uvedena cena pouze za odebranou elektrickou energii v jednotarifní sazbě.

$$N_{KL} = N_E \cdot E_{KL} \text{ (Kč)} \quad (11.10)$$

N_{KL}	Kč	roční náklady za odebranou energii klimatizací
N_E	Kč/MWh	cena za odebranou elektřinu
E_{KL}	MWh	množství energie spotřebované klimatizací

$$N_{KL} = 4684 \cdot 2,188 = 10\,249 \text{ (Kč)} \quad (11.11)$$

11.2.4 Shrnutí provozních nákladů

V následující tabulce jsou shrnuty roční náklady za provoz jednotlivých variant spotřebičů, zdrojů tepla a elektřiny. Výsledná cena je počítána podle aktuálních ceníků. Skládá se z ceny za odebrané množství a měsíčních platů včetně DPH. Spotřeba elektřiny v kombinaci s tepelným čerpadlem je vypočítána ve vytvořeném programu. Následně jsou vypočítány celkové roční náklady. V tomto případě je pro stálou platbu počítáno s jističem 3x25 A, v kombinaci s plynovým kotlem je použit jistič 3x16 A. Při kombinaci spotřebičů a fotovoltaické elektrárny s akumulací je díky platnosti nízkého tarifu po dobu 20 hodin využívána akumulace pro překlenutí doby vysokého tarifu. Baterie jsou tak nabíjeny z fotovoltaických panelů, případně z distribuční sítě v době nízkého tarifu a v době vysokého tarifu je z nich energie čerpána. Protože se počítá s využitím TČ i pro chlazení, je i zde v případě využití plynového kotle připočtena spotřebovaná elektrická energie mobilní klimatizace.

Tab. 11-4 Shrnutí ročních provozních nákladů

Kombinace zdrojů a spotřebičů	Spotřeba plynu	Náklady za plyn	Spotřeba elektřiny	Náklady za elektřinu	Celkové náklady
	[MWh]	[Kč]	[MWh]	[Kč]	[Kč]
TČ + spotřebiče	0	0	10,106	39 529	39 529
TČ + spotřebiče + FVE	0	0	6,364	25 941	25 941
Plynový kotel + spotřebiče + klimatizace	24,630	36 173	4,326	25 326	61 499

11.3 Fotovoltaická elektrárna

Pořizovací náklady navržené hybridní fotovoltaické elektrárny o výkonu 4,56 kWp s 3f asymetrickým střídačem a bateriemi o kapacitě 5,76 kWh jsou převzaty z ceníku firmy S-POWER, která se zabývá instalací FVE. [29]

Tab. 11-5 Pořizovací náklady FVE

Název	Množství [ks]	Cena [Kč]
FV panely EXE Solar 380 Wp	12	44 000
Měnič RCT Power Storage DC 6.0	1	53 000
Baterie RCT Power Battery 5,7	1	140 000
Smart Meter RCT Power	1	6 000
Montáž a příslušenství	-	20 000
Celkem	-	263 000
Celkem s DPH	-	318 000

11.4 Nová zelená úsporám

Dotační program Nová zelená úsporám je program Ministerstva životního prostředí a je zaměřen na podporu opatření ke snížení energetické náročnosti budov, efektivního využití zdrojů energie a na podporu výstavby budov s velmi nízkou energetickou náročností. Ze strany Ministerstva životního prostředí, které vypisuje tento program, je snaha probudit v lidech zájem o postupné snižování potřeb energie z neobnovitelných zdrojů. Díky dotačním programům se doba návratnosti výrazně snižuje. [30]

11.4.1 Oblast podpory C

V oblasti podpory C – Efektivní využití zdrojů energie jsou podporována opatření pro zajištění efektivního využití energie v rodinných domech. Maximální výše podpory na jeden rodinný dům je stanovena na 350 000 Kč za dobu trvání programu.

11.4.1.1 Výměna zdrojů tepla

Podpora se poskytuje na pořízení a instalaci nového hlavního zdroje tepla na vytápění s přípravou teplé vody včetně příslušenství a jeho zapojení do otopné soustavy výměnou za stávající hlavní zdroj tepla na vytápění. V této oblasti jsou tak podporovány zdroje na biomasu, tepelná čerpadla nebo plynové kondenzační kotle. Při rekonstrukci domu je v současné době pro typ zdroje tepelné čerpadlo vzduch-voda výše podpory 75 000 Kč, pokud se jedná o novou stavbu je výše podpory 60 000 Kč. Při použití plynového kondenzačního kotle se jedná o snížení nákladů o 35 000 Kč, příp. 25 000Kč.

11.4.1.2 Instalace solárních termických a fotovoltaických systémů

V této podoblasti je podporována instalace solárních termických a fotovoltaických systémů do dokončených rodinných domů a do novostaveb rodinných domů. Pro fotovoltaické systémy s akumulací elektrické energie s celkovým využitelným ziskem $\geq 4000 \text{ kWh.rok}^{-1}$ je zde podoblast podpory s označením C.3.7. Díky výše podpory až 150 000 Kč se může doba návratnosti výrazně snížit. Jednou z podmínek této podoblasti je, že systém musí být propojený s distribuční soustavou a maximální instalovaný výkon FVE nesmí být vyšší než 10 kWp. Další podmínky pro získání dotace jsou hodnoty účinností použitých prvků a dosažení hodnot sledovaných parametrů. Ty jsou spolu s parametry navrženého systému uvedeny v tabulce.

Tab. 11-6 Požadované parametry v podoblasti podpory C.3.7 [30]

Sledovaný parametr	Jednotka	Podoblast C.3.7	Navržený systém FVE	
Celkový využitelný zisk	[kWh.rok ⁻¹]	≥ 4000	4747	✓
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	[%]	70	92	✓
Akumulace přebytků energie do teplé vody	-	možná	ne	✓
Akumulace přebytků energie do elektrických akumulátorů	-	povinná	ano	✓
Minimální měrná kapacita akumulátorů	[kWh.kWp ⁻¹]	1,25	1,26	✓
Výše podpory	[Kč]	150 000	-	✓

11.5 Finanční ukazatelé

11.5.1 Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti je nejjednodušší ekonomické kritérium, které odpovídá na otázku za jak dlouho se investice vrátí bez ohledu na vliv jakékoli úrokové míry. Vzorec neumožňuje počítat s rozdílnými peněžními toky v jednotlivých letech.

$$Ts = \frac{IN}{CF} \text{ (roky)} \quad (11.12)$$

Ts	roky	prostá doba návratnosti
IN	Kč	náklady na investici
CF	Kč	roční peněžní toky

11.5.2 Diskontovaná doba návratnosti

Oproti prosté době návratnosti je tento ukazatel založen na peněžním toku diskontovaném. Na investičním projektu je zohledňován vliv času. Výsledkem je doba za jak dlouho se investice vrátí s ohledem na úrokovou míru. Při výpočtu se položí rovnice rovno 0 a dosazuje se čas, až do doby, kdy se obě strany rovnice rovnají.

$$\sum_0^{Tsd} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \quad (11.13)$$

Tsd	roky	reálná doba návratnosti
t	roky	doba
CF_t	Kč	peněžní tok v roce t
r	-	úroková míra
IN	Kč	náklady na investici

11.5.3 Čistá současná hodnota

Jedná se o finanční veličinu vyjadřující celkovou současnou hodnotu všech peněžních toků související s investičním projektem. Výsledná hodnota udává, kolik peněz realizace investice podniku přinese. Pokud vyjde NPV kladné, je projekt přípustný. V případě, že vyjde NPV záporná, projekt je buď nepřijatelný anebo je doba hodnocení kratší než doba životnosti projektu.

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t} \text{ (Kč)} \quad (11.14)$$

NPV	Kč	čistá současná hodnota
t	roky	doba životnosti projektu
CF_t	Kč	peněžní tok v roce t
r	-	úroková míra

11.5.4 Porovnání jednotlivých variant

V této kapitole jsou spočítány rozdíly mezi pořizovacími náklady jednotlivých variant. Pro ekonomickou efektivnost investice jsou vypočteny finanční ukazatelé, které umožňují porovnání. Pro výpočet bylo uvažováno s kombinací zařízení, které jsou uvedené v tabulce *Tab. 11-8*.

Tab. 11-7 Shrnutí nákladů pro navržené opatření

Opatření	Pořizovací náklady	Dotace NZÚ	Cena po odečtení dotace
Tepelné čerpadlo	240 000 Kč	75 000 Kč	165 000 Kč
Fotovoltaická elektrárna	318 000 Kč	150 000 Kč	168 000 Kč
Plynový kondenzační kotel	82 500 Kč	35 000 Kč	47 500 Kč
Mobilní klimatizace	10 000 Kč	-	10 000 Kč

Tab. 11-8 Uvažované varianty

Varianta	Pořizovací náklady	Dotace NZÚ	Investice	Provozní náklady
	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
TČ	240 000	75 000	165 000	39 529
TČ + FVE	558 000	225 000	333 000	25 941
PLYN + KLIMA	92 500	35 000	57 500	61 499

V následující tabulce *Tab. 11-9* jsou porovnány jednotlivé varianty. Rozdíl pořizovacích nákladů je vztažen k variantě s tepelným čerpadlem. IN_1 značí rozdíl pořizovacích nákladů pro variantu s dotací, IN_2 je pro variantu bez dotace. Ve sloupci RU jsou uspořené roční náklady, které jsou postupně sčítány ve sloupci RU_c . Pro roční úsporu je počítáno s 5 % růstem cen energií každý rok. Na konci tabulky jsou spočítány finanční ukazatelé. Ve sloupci 1 jsou ukazatelé spočteny pro variantu s dotací, ve sloupci 2 bez podpory dotace. Pro hodnotu NPV je počítáno s dobou životnosti projektu 20 let.

V tabulce *Tab. 11-10* je spočítáno cash flow pro jednotlivé varianty. V prvním řádku (rok 0) jsou hodnoty rozdílů investičních nákladů. V dalších řádcích jsou k této hodnotě přičítány roční úspory. Zde je také počítáno s předpokladem 5 % růstu cen každý rok. Ve sloupcích s indexem 1 je započtena dotace. Hodnoty cash flow pro variantu TČ + FVE x TČ jsou vyneseny do grafu.

Tab. 11-9 Porovnání hodnot jednotlivých variant

	TČ + FVE x TČ		TČ x Plyn		TČ + FVE x Plyn	
IN_1	168 000		107 500		275 500	
IN_2	318 000		147 500		465 500	
rok	RU	RU_c	RU	RU_c	RU	RU_c
1	13 588	13 588	21 970	21 970	35 558	35 558
2	14 267	27 855	23 069	45 039	37 336	72 894
3	14 981	42 836	24 222	69 260	39 203	112 097
4	15 730	58 566	25 433	94 693	41 163	153 259
5	16 516	75 082	26 705	121 398	43 221	196 480
6	17 342	92 424	28 040	149 438	45 382	241 862
7	18 209	110 634	29 442	178 880	47 651	289 514
8	19 120	129 753	30 914	209 794	50 034	339 547
9	20 076	149 829	32 460	242 254	52 535	392 083
10	21 079	170 908	34 083	276 336	55 162	447 245
11	22 133	193 042	35 787	312 123	57 920	505 165
12	23 240	216 282	37 576	349 699	60 816	565 981
13	24 402	240 684	39 455	389 154	63 857	629 838
14	25 622	266 306	41 428	430 582	67 050	696 888
15	26 903	293 210	43 499	474 081	70 402	767 291
16	28 248	321 458	45 674	519 755	73 923	841 213
17	29 661	351 119	47 958	567 713	77 619	918 832
18	31 144	382 263	50 356	618 068	81 500	1 000 331
19	32 701	414 964	52 873	670 942	85 575	1 085 906
20	34 336	449 300	55 517	726 459	89 853	1 175 759
	1	2	1	2	1	2
T_s	12,36	23,40	4,89	6,71	7,75	13,09
T_{sd}	9,83	15,83	4,54	5,92	6,66	10,41
NPV	281 300	131 300	618 959	578 959	900 259	710 259

Příklad výpočtu:

- Rozdíl pořizovacích nákladů s dotacemi

$$IN_1 = 333000 - 165000 = 168\,000 \text{ (Kč)} \quad (11.15)$$

- Roční úspora

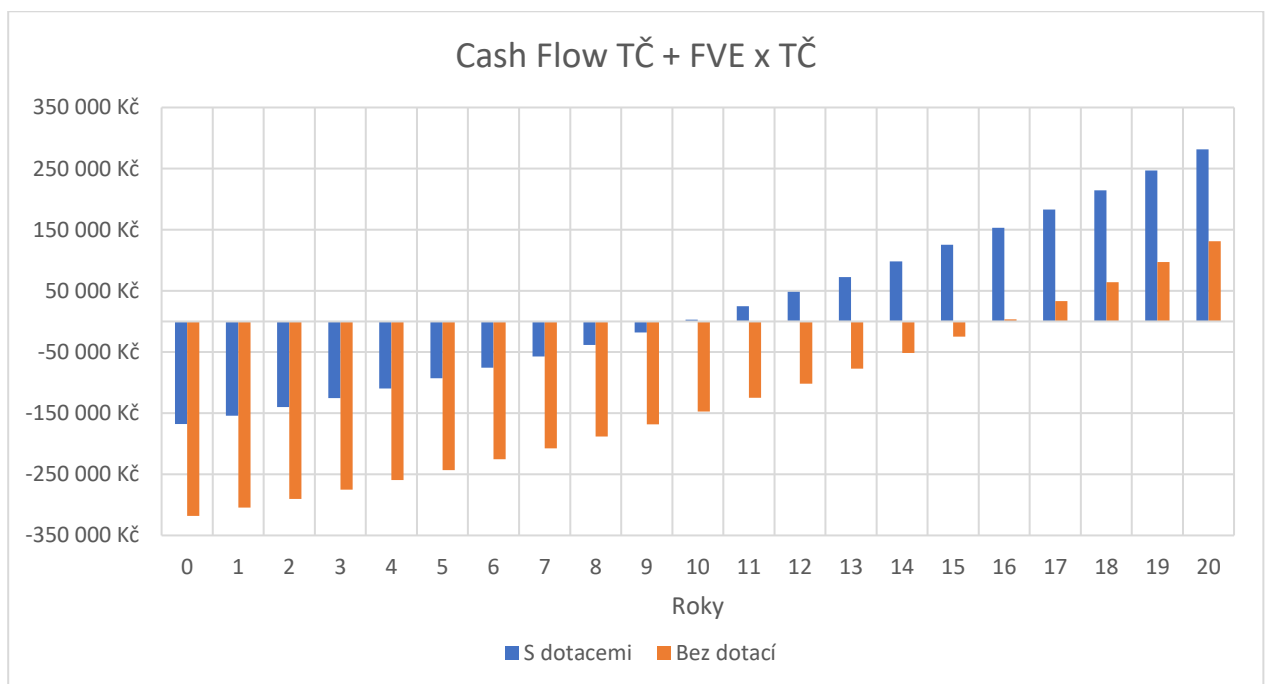
$$RU = 39529 - 25941 = 13\,588 \text{ (Kč)} \quad (11.16)$$

- Prostá doba návratnosti

$$T_s = \frac{168000}{13588} = 12,36 \text{ (roků)} \quad (11.17)$$

Tab. 11-10 Cash Flow jednotlivých variant

rok	TČ + FVE x TČ		TČ x Plyn		TČ + FVE x Plyn	
	CF ₁	CF ₂	CF ₁	CF ₂	CF ₁	CF ₂
0	-168 000	-318 000	-107 500	-147 500	-275 500	-465 500
1	-154 412	-304 412	-85 530	-125 530	-239 942	-429 942
2	-140 145	-290 145	-62 462	-102 462	-202 606	-392 606
3	-125 164	-275 164	-38 240	-78 240	-163 403	-353 403
4	-109 434	-259 434	-12 807	-52 807	-122 241	-312 241
5	-92 918	-242 918	13 898	-26 102	-79 020	-269 020
6	-75 576	-225 576	41 938	1 938	-33 638	-223 638
7	-57 366	-207 366	71 380	31 380	14 014	-175 986
8	-38 247	-188 247	102 294	62 294	64 047	-125 953
9	-18 171	-168 171	134 754	94 754	116 583	-73 417
10	2 908	-147 092	168 836	128 836	171 745	-18 255
11	25 042	-124 958	204 623	164 623	229 665	39 665
12	48 282	-101 718	242 199	202 199	290 481	100 481
13	72 684	-77 316	281 654	241 654	354 338	164 338
14	98 306	-51 694	323 082	283 082	421 388	231 388
15	125 210	-24 790	366 581	326 581	491 791	301 791
16	153 458	3 458	412 255	372 255	565 713	375 713
17	183 119	33 119	460 213	420 213	643 332	453 332
18	214 263	64 263	510 568	470 568	724 831	534 831
19	246 964	96 964	563 442	523 442	810 406	620 406
20	281 300	131 300	618 959	578 959	900 259	710 259



Obr. 11-1 Cash Flow varianty TČ+FVE x TČ s a bez uvažování dotací

12 ZÁVĚR

Tato diplomová práce je zaměřena na využití tepelného čerpadla pro vytápění, ohřev vody a chlazení budovy. Pro snížení provozních nákladů je k tepelnému čerpadlu navržena fotovoltaická elektrárna.

Nejrozšířenějším typem instalovaných tepelných čerpadel je typ vzduch/voda. Díky jejich univerzálnosti a méně pracné instalaci oproti ostatním, je evidován každoroční nárůst v počtu nově provozovaných čerpadel tohoto typu. Vysokých topných faktorů je u tepelných čerpadel dosahováno při ohřevu vody na nižší teploty oproti kotlům. Proto jsou u těchto instalací využívány velkoplošné topné soustavy. Díky invertnímu řízení tepelného čerpadla je snižována spotřeba elektrické energie. Ekvitermní regulace zvyšuje topný výkon změnou teploty topné vody. Díky reverznímu chodu je tepelné čerpadlo schopné v létě chladit. Komfortní teplota je tak v objektu udržována během celého roku jedním systémem. Jedná se o vysokoteplotní chlazení, kdy v plošném systému, který v zimě slouží pro vytápění, koluje v létě chladící voda. Výhodou je, že její teplota není tak nízká jako u klimatizačních jednotek, takže nevzniká nepříjemné proudění chladného vzduchu, které často vede ke zdravotním problémům.

Nejvíce využívaným obnovitelným zdrojem elektrické energie pro domácnosti jsou fotovoltaické elektrárny. Problémem u fotovoltaických zdrojů je, že dodávaný výkon závisí na intenzitě slunečního záření. Pro dosažení nejvyšší úspory je nutné spotřebovávat vyráběnou energii přímo v místě výroby. Aby se využila i přebytečná elektrická energie jsou instalace vybaveny elektrickými nebo tepelnými akumulacími prvky.

Návrh systému byl vytvořen pro typový objekt rodinného domu. Výpočtem byla zjištěna potřeba tepla pro přípravu teplé vody a vytápění. Na základě těchto hodnot bylo vybráno tepelné čerpadlo. Sestava je tvořena venkovní jednotkou a vnitřní jednotkou doplněnou o zásobník teplé vody a elektrický kotel. Tepelné čerpadlo s doplňkovým zdrojem pracuje v paralelně bivalentním provozu. Spotřeba elektrické energie byla vypočtena podle štítkových hodnot. Pro snížení provozních nákladů byla navržena hybridní fotovoltaická elektrárna s akumulací přebytečné energie do baterií. V sestavě je použit 3f hybridní střídač, který díky asymetrické dodávce do jednotlivých fází podle skutečné spotřeby využívá vyráběnou energii s co největším užitekem a úsporou. Baterie jsou využívány během celého roku. Jejich nabíjení probíhá z přebytků fotovoltaické elektrárny nebo z distribuční sítě v době nízkého tarifu. Tímto je možné překlenout dobu vysokého tarifu. Tok elektrické energie je řízen tak, aby byla energie využívána s co nejvyšší úsporou a účinností. Zamezení přetoků do distribuční sítě je zajištěno bezpřetokovým nastavením střídače, který díky připojeným proudovým sensorům za elektroměrem měří toky energií v aktuálním čase.

Využití elektrické energie z fotovoltaické elektrárny je simulováno výpočtem v hodinovém kroku. Díky tomu je možné sledovat toky energií po dobu jednoho roku. Profily spotřeb tepelného čerpadla a elektrických spotřebičů vycházejí z typových denních diagramů. Profil spotřeby pro chlazení pomocí tepelného čerpadla byl určen na základě venkovní teploty. Z výsledků výpočtů je vidět, že díky fotovoltaické elektrárně je snížena roční energetická spotřeba domu. Tomuto snížení odpovídá i snížení emisí znečišťujících látek.

V ekonomickém zhodnocení byly porovnány provozní a pořizovací náklady. Navržený systém byl porovnán s provozem tepelného čerpadla bez fotovoltaické elektrárny a s plynovým kondenzačním kotlem. Provozní náklady při využívání tepelného čerpadla mohou být snižovány

dvoutarifními sazbami. S využíváním kotle spalujícím zemní plyn klesá spotřeba elektrické energie, ale pro srovnatelnou tepelnou pohodu s navrženým řešením je instalace doplněna mobilní klimatizací. Z provedeného výpočtu vyplývá, že nejnižší provozní náklady jsou při spojení tepelného čerpadla s fotovoltaikou, nejvyšší má plynový kotel v provozu s klimatizací. Z pohledu investičních nákladů jsou významným zkracovatelem doby návratnosti dotace, kterými jsou podporovány instalace tepelných čerpadel, fotovoltaických systémů i kondenzačních kotlů. Diskontovaná doba návratnosti navrženého tepelného čerpadla s fotovoltaickou elektrárnou v porovnání s provozem bez fotovoltaické elektrárny je 9,8 let s podporou dotací. Při srovnání navrženého systému a varianty plynového kotle v provozu s klimatizací je diskontovaná doba návratnosti už po necelých 7 letech. Byla vypočítána i prostá doba návratnosti, která nepočítá s každoročním růstem cen. Oproti diskontované době návratnosti dvou uvedených variant se doba návratnosti zvýšila z 9,8 let na 12,4 let a z 6,7 let na 7,8 let. Z výsledku čisté současné hodnoty porovnávaných variant je vidět, že za dobu životnosti (20 let), finanční zisk značně převyšuje investiční náklady u varianty navrženého tepelného čerpadla s fotovoltaickou elektrárnou oproti variantě s plynovým kotlem.

Tepelné čerpadlo provozované spolu s fotovoltaickým systémem je vhodným řešením při rekonstrukcích nebo při stavbě nových objektů v dnešní době, kdy je kladen důraz na používání ekologických zdrojů a snižování emisí.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Historie tepelného čerpadla. *Blue team, s.r.o.* [online]. Černošice: Blue team, s.r.o., 2013 [cit. 2019-11-05]. Dostupné z: <http://www.blueteam.cz/>
- [2] *ABECEDA: Nikde se o tepelných čerpadlech nedozvíte víc...* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/>
- [3] MASTNÝ, Petr, Jan MORÁVEK a Jiří PITRON. *Malé zdroje elektrické energie: Skriptum*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2015.
- [4] *Tepelná čerpadla v letech 1981–2018: Výsledky statistického zjišťování*. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019.
- [5] Tepelná čerpadla vzduch/voda s invertním řízením. Jasná volba pro novostavby. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9072-tepelna-cerpadla-vzduch-voda-s-invertnim-rizenim-jasna-volba-pro-novostavby>
- [6] *AC HEATING: absolutely clever heating* [online]. Plzeň: KUFÍ INT, s.r.o., 2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.ac-heating.cz/>
- [7] Tepelná čerpadla se systémy plošného vytápění a chlazení. *TZB-info: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2020 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13026-tepelna-cerpadla-se-systemy-plosneho-vytapani-a-chlazení>
- [8] BAŠTA, Jiří. *Velkoplošné sálavé vytápění: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3524-5.
- [9] Systém vysokoteplotního chlazení. *ASB* [online]. Praha: Jaga Media s.r.o., 2020 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vetrani-a-klimatizace/system-vysokoteplotniho-chlazení>
- [10] *NÍZKOENERGETICKÉ A PASIVNÍ DOMY: CHLAZENÍ BUDOV* [online]. Verlag Dashöfer, 2010, 2010(719) [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: https://www.dashofer.cz/download/ukazky/npe/NPE_7_1_9.pdf
- [11] ZMRHAL, Vladimír. Riziko kondenzace u vysokoteplotních klimatizačních systémů. *Větrání a klimatizace* [online]. Praha: ČVUT Praha, 2014, 2014(1), 76-80 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Publikace/VVI_Zmrhal_ko04sch.pdf
- [12] Modifikace stávajících systémů s tepelnými čerpadly potřebné pro provoz chlazení. In: *TZB-info: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13170-modifikace-stavajicich-systemu-s-tepelnymi-cerpadly-potrebne-pro-provoz-chlazení>

- [13] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [14] THOUBBORON, Kerry. Hybrid inverters. *EnergySage: Smarter energy decisions* [online]. EnergySage, 2020 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://news.energysage.com/hybrid-inverters-what-you-need-to-know/>
- [15] ČESKÁ REPUBLIKA. *Pravidla provozování distribučních soustav: Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy*. In: . Jihlava: Energetický regulační úřad, 2018, příloha 4.
- [16] *Elektrina.cz* [online]. Praha: Ušetřeno.cz s.r.o., 2020 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/>
- [17] REINBERK, Zdeněk. Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2020 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [18] Výpočet chladicího výkonu. *PENTABELL* [online]. Praha 4: PENTABELL, 2013 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <http://www.pentabell.cz/vypocet-chladiciho-vykonu/>
- [19] SCHRAMEK, Ernst-Rudolf. *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik: einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik*. 67. Aufl. München: R. Oldenbourg, 1995. Recknagel-Sprenger-Schramek. ISBN 34-862-6213-0.
- [20] *IVT Tepelná čerpadla s.r.o.* [online]. Praha 4: Topinfo CMS, 2020 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/>
- [21] SEDLÁŘ, Jan. Hodnocení SCOP tepelných čerpadel pro vytápění. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13507-hodnoceni-scop-tepelných-cerpadel-pro-vytapani>
- [22] *OTE* [online]. Praha: OTE, a.s., 2018 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/>
- [23] Platnost nízkého tarifu: elektroměry. *E.ON* [online]. České Budějovice: e.on, 2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/kontakty-podpora/poruchy-a-technicke-dotazy/cas-nizkeho-tarifu/platnost-nizkeho-tarifu-elektromery>
- [24] *IF TECH* [online]. Horní Moštěnice: IFTECH S.R.O., 2020 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/>
- [25] *RCT-Power* [online]. Germany: RCT-Power, 2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.rct-power.com/>
- [26] *Vyhláška č. 309/2016 Sb.* 11.10.2016. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2016.

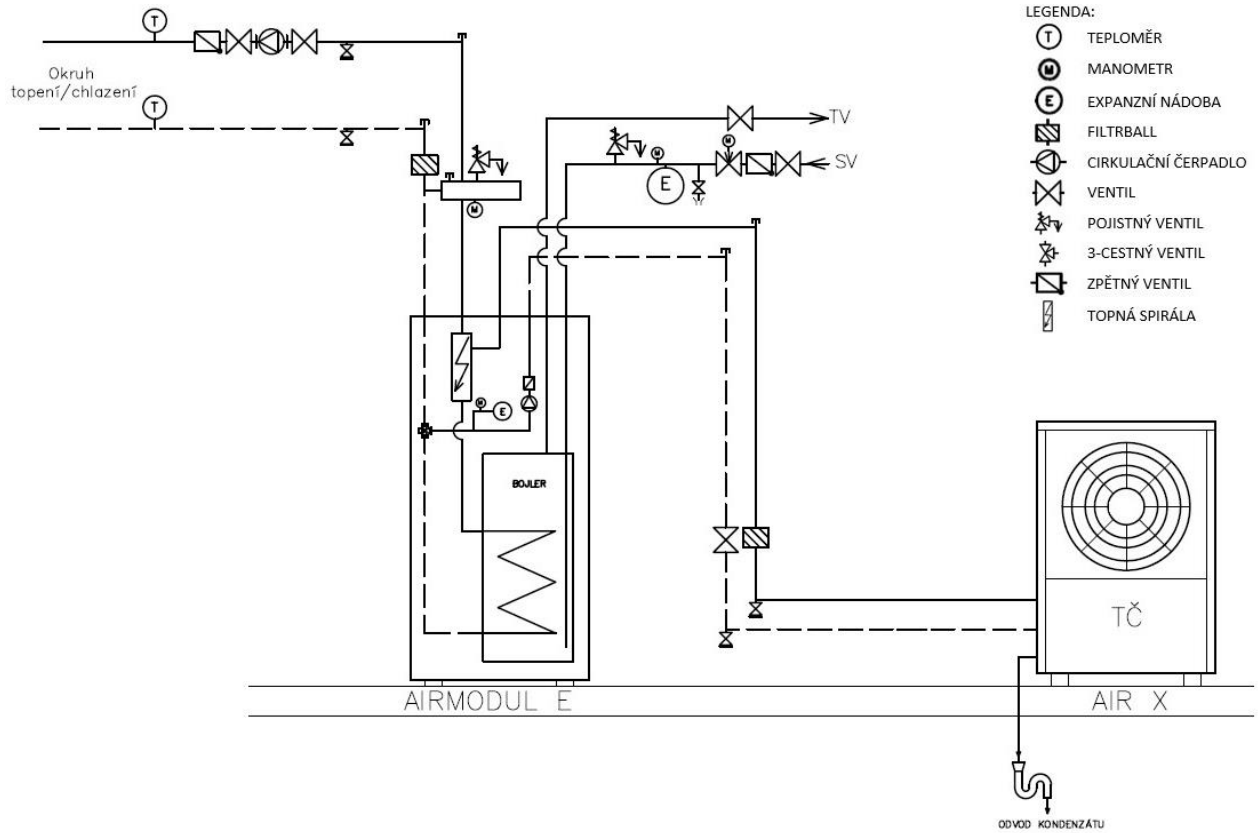
-
- [27] Ceník Komplet elektřina II. *E.ON* [online]. České Budějovice: e.on, 2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a188849---pCsQ9Zvq/cenik-komplet-elektrina-ii-distribucni-uzemi-e-on-pdf>
- [28] *Thermona* [online]. Brno: THERMONA, spol. s r.o., 2017 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/>
- [29] *S-POWER: Čistá energie pro každého* [online]. Rýmařov: S-Power Energies, s.r.o., 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/>
- [30] *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám: RODINNÉ DOMY* [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2018, 2018(4) [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=591>

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA A Schéma zapojení tepelného čerpadla
- PŘÍLOHA B Hodnoty energie vytápění a ohřevu teplé vody pro řešený objekt
- PŘÍLOHA C Výpočet toků a využitelnosti elektrické energie

PŘÍLOHA A

Schéma zapojení tepelného čerpadla



PŘÍLOHA B

Hodnoty energie vytápění a ohřevu teplé vody pro řešený objekt

Tab B-1: Hodnoty energie pro vytápění a ohřev vody pro venkovní teplotu -16 °C až 10 °C

IVT AIR X 70 VYT + TV										
Venkovní teplota	Počet hodin	Tepelná ztráta	Topný výkon TČ	El. dohřev	Součinitel částečného zatížení	COP při plném výkonu	COP při částečném zatížení	Celková spotřeba el. za hodinu	Celková potřeba tepla	Celková spotřeba el. en
[°C]	[h]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
-16	4	7,81	5,57	2,23	1,00	1,51	1,51	5,93	31	24
-15	7	7,59	5,62	1,97	1,00	1,65	1,65	5,37	53	38
-14	7	7,38	5,67	1,71	1,00	1,80	1,80	4,86	52	34
-13	9	7,16	5,72	1,44	1,00	1,95	1,95	4,38	64	39
-12	15	6,95	5,77	1,18	1,00	2,09	2,09	3,94	104	59
-11	18	6,74	5,82	0,92	1,00	2,24	2,24	3,52	121	63
-10	25	6,52	5,87	0,65	1,00	2,38	2,38	3,12	163	78
-9	30	6,31	5,92	0,39	1,00	2,53	2,53	2,73	189	82
-8	43	6,09	5,97	0,13	1,00	2,67	2,67	2,36	262	101
-7	77	5,88	6,18	0,00	0,95	2,82	2,81	2,10	453	161
-6	121	5,66	6,16	0,00	0,92	2,97	2,94	1,93	685	233
-5	131	5,45	6,14	0,00	0,89	3,11	3,07	1,77	714	232
-4	211	5,24	6,12	0,00	0,86	3,26	3,20	1,63	1105	345
-3	274	5,02	6,10	0,00	0,82	3,40	3,33	1,51	1376	413
-2	309	4,81	6,08	0,00	0,79	3,55	3,46	1,39	1485	430
-1	272	4,59	6,06	0,00	0,76	3,69	3,58	1,28	1249	349
0	278	4,38	6,04	0,00	0,72	3,84	3,70	1,18	1217	329
1	292	4,16	6,02	0,00	0,69	3,98	3,81	1,09	1216	319
2	250	3,95	6,00	0,00	0,66	4,13	3,93	1,01	988	252
3	239	3,74	6,20	0,00	0,60	4,27	4,01	0,93	893	223
4	234	3,52	6,40	0,00	0,55	4,41	4,08	0,86	824	202
5	258	3,31	6,60	0,00	0,50	4,56	4,14	0,80	853	206
6	279	3,09	6,80	0,00	0,45	4,70	4,20	0,74	863	206
7	279	2,88	7,00	0,00	0,41	4,84	4,23	0,68	803	190
8	247	2,66	7,20	0,00	0,37	4,98	4,26	0,63	658	155
9	266	2,45	7,40	0,00	0,33	5,12	4,26	0,57	652	153
10	285	2,24	7,60	0,00	0,29	5,27	4,25	0,53	637	150

Tab B-2: Hodnoty energie pro vytápění a ohřev vody pro venkovní teplotu 10 °C až 35 °C

IVT AIR X 70 VYT + TV										
Venkovní teplota	Počet hodin	Tepelná ztráta	Topný výkon TČ	El. dohřev	Součinitel částečného zatížení	COP při plném výkonu	COP při částečném zatížení	Celková spotřeba el. za hodinu	Celková potřeba tepla	Celková spotřeba el. en
[°C]	[h]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
11	275	2,02	7,80	0,00	0,26	5,41	4,21	0,48	556	132
12	239	1,81	8,00	0,00	0,23	5,55	4,13	0,44	432	104
13	313	1,59	8,20	0,00	0,19	5,69	4,02	0,40	499	124
14	325	1,38	8,40	0,00	0,16	5,83	3,87	0,36	448	116
15	353	1,16	8,60	0,00	0,14	5,98	3,65	0,32	411	113
16	352	0,95	8,80	0,00	0,11	6,12	3,35	0,28	334	100
17	331	0,95	9,00	0,00	0,11	6,26	3,39	0,28	314	93
18	300	0,95	9,20	0,00	0,10	6,40	3,43	0,28	285	83
19	290	0,95	9,40	0,00	0,10	6,54	3,46	0,27	276	80
20	238	0,95	9,60	0,00	0,10	6,69	3,50	0,27	226	65
21	245	0,95	9,80	0,00	0,10	6,83	3,53	0,27	233	66
22	203	0,95	10,00	0,00	0,10	6,97	3,57	0,27	193	54
23	188	0,95	10,20	0,00	0,09	7,11	3,60	0,26	179	50
24	122	0,95	10,40	0,00	0,09	7,25	3,64	0,26	116	32
25	126	0,95	10,60	0,00	0,09	7,40	3,67	0,26	120	33
26	102	0,95	10,80	0,00	0,09	7,54	3,70	0,26	97	26
27	94	0,95	11,00	0,00	0,09	7,68	3,73	0,25	89	24
28	65	0,95	11,20	0,00	0,08	7,82	3,76	0,25	62	16
29	39	0,95	11,40	0,00	0,08	7,96	3,79	0,25	37	10
30	39	0,95	11,60	0,00	0,08	8,11	3,82	0,25	37	10
31	23	0,95	11,80	0,00	0,08	8,25	3,85	0,25	22	6
32	18	0,95	12,00	0,00	0,08	8,39	3,88	0,24	17	4
33	10	0,95	12,20	0,00	0,08	8,53	3,91	0,24	10	2
34	6	0,95	12,40	0,00	0,08	8,67	3,93	0,24	6	1
35	4	0,95	12,60	0,00	0,08	8,82	3,96	0,24	4	1
								Celkem	22712	6409

PŘÍLOHA C

Výpočet toků a využitelnosti elektrické energie

Ukázka z výpočtu navrženého řešení pro typový objekt, samotný program se nachází v příloženém souboru.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Den [dd.mm.yyyy]	Čas [hod]	Poř. č. hod. v roce [hod]	Venkovní teplota [°C]	TDD 7 2019 [-]	Spotřeba TČ TV+VYT [kWh]	TDD chlazení [-]	Spotřeba TČ chlazení [kWh]	TDD 4 2019 [-]	Ostatní spotřeba v domě [kWh]	Celková spotřeba v domě [kWh]	FVE výroba 4,56 kWp [kWh]
4492	07.07.2019	1	4 488	18,14	0,23871	0,37772	0	0	0,2519	0,13935	0,51708	0
4493	07.07.2019	2	4 489	17,92	0,1884	0,29811	0	0	0,23417	0,12955	0,42766	0
4494	07.07.2019	3	4 490	17,71	0,17416	0,27558	0	0	0,21396	0,11837	0,39395	0
4495	07.07.2019	4	4 491	17,5	0,1638	0,25919	0	0	0,21253	0,11757	0,37676	0
4496	07.07.2019	5	4 492	18,55	0,17608	0,27862	0	0	0,20751	0,1148	0,39342	0
4497	07.07.2019	6	4 493	19,6	0,15361	0,24306	0	0	0,20963	0,11597	0,35903	0,07884
4498	07.07.2019	7	4 494	20,66	0,17002	0,26903	0,15601	0,57974	0,24964	0,1381	0,98688	0,32558
4499	07.07.2019	8	4 495	22,04	0,20623	0,32633	0,23715	0,88128	0,30708	0,16988	1,37749	0,94342
4500	07.07.2019	9	4 496	23,41	0,26506	0,41942	0,31771	1,18064	0,43591	0,24115	1,8412	1,68994
4501	07.07.2019	10	4 497	24,79	0,31115	0,49235	0,39885	1,48218	0,54167	0,29966	2,27418	2,28374
4502	07.07.2019	11	4 498	25,3	0,34565	0,54694	0,42884	1,59362	0,61296	0,3391	2,47965	2,76733
4503	07.07.2019	12	4 499	25,81	0,37446	0,59252	0,45883	1,70505	0,61966	0,3428	2,64038	2,8127
4504	07.07.2019	13	4 500	26,33	0,36922	0,58423	0,4894	1,81868	0,59276	0,32792	2,73083	3,01411
4505	07.07.2019	14	4 501	26,2	0,35614	0,56354	0,48176	1,79027	0,52613	0,29106	2,64487	2,7345
4506	07.07.2019	15	4 502	26,08	0,35503	0,56178	0,4747	1,76405	0,49897	0,27604	2,60187	2,43244
4507	07.07.2019	16	4 503	25,95	0,3262	0,51616	0,46706	1,73565	0,48128	0,26625	2,51806	1,88944
4508	07.07.2019	17	4 504	25,05	0,3179	0,50303	0,41414	1,53899	0,48044	0,26579	2,3078	1,25012
4509	07.07.2019	18	4 505	24,14	0,29548	0,46755	0,36063	1,34015	0,48092	0,26605	2,07375	0,71888
4510	07.07.2019	19	4 506	23,23	0,2939	0,46505	0,30712	1,14131	0,52214	0,28885	1,89521	0,19936
4511	07.07.2019	20	4 507	22,02	0,30362	0,48043	0,23598	0,87691	0,56523	0,31269	1,67004	0,05312
4512	07.07.2019	21	4 508	20,81	0,31392	0,49673	0	0	0,57665	0,31901	0,81574	0
4513	07.07.2019	22	4 509	19,6	0,3369	0,53309	0	0	0,55404	0,3065	0,83959	0
4514	07.07.2019	23	4 510	19,02	0,3611	0,57138	0	0	0,44557	0,2465	0,81788	0
4515	07.07.2019	24	4 511	18,44	0,33255	0,52621	0	0	0,36572	0,20232	0,72853	0

	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	Nákup od distribut ora [kWh]	Přebytky bez AKU [kWh]	Nabíjení baterie	Stav baterie [kWh]	Přebytky s AKU [kWh]	Potřeba odebrat z baterie [kWh]	Spotřeba s aku [kWh]	VT/NT D57d	Platba s FVE [Kč]	Platba bez FVE [Kč]	Nákup ve VT s FVE [kWh]	Nákup v NT s FVE [kWh]	Nákup ve VT bez FVE [kWh]	Nákup v NT bez FVE [kWh]
4492	0,51708	0	-0,51708	0	0	0,51708	0,51708	NT	1,35719	1,35719	0	0,51708	0	0,51708
4493	0,42766	0	-0,42766	0	0	0,42766	0,42766	NT	1,1225	1,1225	0	0,42766	0	0,42766
4494	0,39395	0	-0,39395	0	0	0,39395	0,39395	NT	1,03401	1,03401	0	0,39395	0	0,39395
4495	0,37676	0	-0,37676	0	0	0,37676	0,37676	NT	0,9889	0,9889	0	0,37676	0	0,37676
4496	0,39342	0	-0,39342	0	0	0,39342	0,39342	NT	1,03262	1,03262	0	0,39342	0	0,39342
4497	0,28019	0	-0,28019	0	0	0,28019	0,28019	NT	0,73543	0,94237	0	0,28019	0	0,35903
4498	0,66129	0	-0,66129	0	0	0,66129	0,66129	NT	1,73572	2,5903	0	0,66129	0	0,98688
4499	0,43407	0	-0,43407	0	0	0,43407	0,43407	NT	1,13932	3,61555	0	0,43407	0	1,37749
4500	0,15127	0	-0,15127	0	0	0,15127	0,15127	NT	0,39704	4,83268	0	0,15127	0	1,8412
4501	-0,00956	0,00956	0,00956	0,00956	0	0	0	VT	0	7,69131	0	0	2,27418	0
4502	-0,28768	0,28768	0,28768	0,29723	0	0	0	NT	0	6,50844	0	0	0	2,47965
4503	-0,17232	0,17232	0,17232	0,46955	0	0	0	NT	0	6,93032	0	0	0	2,64038
4504	-0,28328	0,28328	0,28328	0,75283	0	0	0	VT	0	9,23571	0	0	2,73083	0
4505	-0,08963	0,08963	0,08963	0,84246	0	0	0	NT	0	6,9421	0	0	0	2,64487
4506	0,16943	0	-0,16943	0,67303	0	0,16943	0	NT	0	6,82923	0	0	0	2,60187
4507	0,62862	0	-0,62862	0,04441	0	0,62862	0,58421	NT	1,5334	6,60924	0	0,58421	0	2,51806
4508	1,05768	0	-1,05768	0	0	1,05768	1,05768	VT	3,57708	7,80501	1,05768	0	2,3078	0
4509	1,35487	0	-1,35487	0	0	1,35487	1,35487	NT	3,55617	5,44305	0	1,35487	0	2,07375
4510	1,69585	0	-1,69585	0	0	1,69585	1,69585	NT	4,45116	4,97444	0	1,69585	0	1,89521
4511	1,61691	0	-1,61691	0	0	1,61691	1,61691	NT	4,24397	4,38341	0	1,61691	0	1,67004
4512	0,81574	0	-0,81574	0	0	0,81574	0,81574	VT	2,75884	2,75884	0,81574	0	0,81574	0
4513	0,83959	0	-0,83959	0	0	0,83959	0,83959	NT	2,20372	2,20372	0	0,83959	0	0,83959
4514	0,81788	0	-0,81788	0	0	0,81788	0,81788	NT	2,14672	2,14672	0	0,81788	0	0,81788
4515	0,72853	0	-0,72853	0	0	0,72853	0,72853	NT	1,9122	1,9122	0	0,72853	0	0,72853