ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav energetiky

Bakalářská práce

Optimalizace návrhu tepelného čerpadla pro rodinný dům

s fotovoltaickou elektrárnou

2020 **Daniel Štecher**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Štecher** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **473544**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**

Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Optimalizace návrhu tepelného čerpadla pro RD s FVE

Název bakalářské práce anglicky:

Heat pump optimisation for FV panels at family house

Pokyny pro vypracování:

Jedná se o optimalizovaný návrh tepelného čerpadla pro provoz s malou FVE umístěnou na střeše rodinného domku. Základem návrhu je stanovení požadovaných tepelných výkonů pro charakteristické dny (jarní a podzimní rovnodennost a zimní slunovrat), které budou vypočteny pro příklad skutečného rodinného domu. Dále se jedná o stanovení energetických bilancí, tj. energetických výnosů z malé FVE a energetických spotřeb pro vytápění a ohřev TUV v rodinném domku. Následuje optimalizace provozu tepelného čerpadla s provozem FVE, součástí optimalizace může být návrh zateplení obálky rodinného domu.

Seznam doporučené literatury:

Fotovoltaika - budovy jako zdroj proudu, Haselhuhn R., HEL Ostrava 2010, ISBN978-80-86167-33-6

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Martin Neužil, Ph.D., ústav energetiky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **22.04.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.06.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2021**

Ing. Martin Neužil, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

30.4.2020 Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v přiloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne …….. ……..…….

podpis

Poděkování

Největší poděkování patří vedoucímu mé práce, panu Ing. Martinu Neužilovi, Ph.D, za odborné vedení a užitečné rady během psaní bakalářské práce. Velmi oceňuji ochotu za každé situace a také velmi aktivní přístup a komunikaci. Další velké poděkování patří mé rodině a přátelům za podporu během celého studia a během tvorby bakalářské práce.

Anotace

Jméno autora:	Daniel Štecher
Název BP:	Optimalizace návrhu tepelného čerpadla pro rodinný dům s fotovoltaickou elektrárnou
Rozsah práce:	*69 stran, 25 obrázků, 26 tabulek*
Školní rok vyhotovení:	2020/2021
Škola:	ČVUT – Fakulta Strojní
Ústav:	Ústav energetiky
Vedoucí BP:	Ing. Martin Neužil, Ph.D.
Využití:	Návrh fotovoltaické elektrárny, tepelného čerpadla a zateplení rodinného domu
Klíčová slova:	tepelné čerpadlo, fotovoltaická elektrárna, tepelné ztráty, optimalizace, návratnost;

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá optimalizací tepelného čerpadla s fotovoltaickou elektrárnou. Součástí návrhu je dodatečné zateplení obálky domu. V úvodu práce je zpracována rešerše, která popisuje základní informace a úvod do problematiky. Na základě rešerše je vypracován návrh tepelného čerpadla, fotovoltaické elektrárny na střeše domu a dodatečné zateplení obálky domu. Dále je zpracována energetická a hrubá ekonomická bilance a návratnost projektu. Na závěr jsou výsledky bilance zhodnoceny.

Annotation

Author:	Daniel Štecher
Title:	Heat pump optimisation for photovoltaic panels at family house
Extent:	*69 pages, 25 figures, 26 tables*
Academic year:	2020/2021
University:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Department of Energy Engineering
Tutor:	Ing. Martin Neužil, Ph.D.
Application:	*Design of photovoltaic powerplant, heat pump and insulation of a family house*.
Keywords:	heat pump, photovoltaic powerplant, heat loss, optimisation, financial return;
Abstract:	*The bachelor thesis deals with an optimization of a heat pump with a photovoltaic power plant. Part of the design is also an additional thermal insulation of the family house. In the beginning there is a recherche, which describes the basic information and an introduction to the issue. The design of the heat pump, the photovoltaic power plant and the additional thermal insulation is based on the recherche. Finally, there is an energy and economic balance and the payback period of the project. Results of the balance are evaluated.*

Obsah

1. Cíl práce 11
2. Úvod 11
3. Teoretický princip výroby elektrické energie ve fotovoltaických panelech 12
4. Dělení solárních článků 13
4.1 Články na bázi krystalického křemíku 13
4.2 Tenkovrstvé články 14
5. Energie dopadajícího záření Slunce 14
6. Princip činnosti tepelného čerpadla 15
7. Typy tepelných čerpadel 16
7.1 Typ vzduch–voda 17
7.2 Typ voda–voda 17
7.3 Typ země–voda (plošné kolektory) 18
7.4 Typ země–voda (geotermální vrty) 19
7.5 Shrnutí výhod a nevýhod zmíněných typů tepelných čerpadel 21
8. Shrnutí rešeršní části 22
9. Orientační výpočet tepelných ztrát objektu 22
9.1 Ochlazovaná okna a dveře 23
9.2 Svislé ochlazované stěny 24
9.3 Ochlazovaná podlaha 27
9.4 Ochlazovaná střecha 29
9.5 Orientační výpočet tepelné ztráty dle normy ČSN 06 0210 31
9.6 Tepelná ztráta v průběhu vybraných dnů v roce 34
10. Tepelné čerpadla a vytápění 37
11. Fotovoltaická elektrárna 40
11.1 Potřeba elektrické energie 40

11.2 Návrh 41
11.3 Výkon fotovoltaické elektrárny 46
12. Bilance výkonu fotovoltaické elektrárny a potřeby elektrické energie 50
12.1 Bilance pro 20.3. 51
12.2 Bilance pro 20.9. 52
12.3 Bilance pro 22.12. 53
13. Ekonomická bilance 54
13.1 Investiční náklady 54
13.2 Nová zelená úsporám – dotace 56
13.3 Úspory 56
13.3.1 Stav před zateplením 57
13.3.2 Stav po zateplení 59
13.3.3 Stav po zateplení s tepelným čerpadlem 60
13.3.4 Stav po zateplení s tepelným čerpadlem a fotovoltaickou elektrárnou .. 60
13.3.5 Shrnutí úspor za jedno otopné období 62
14. Závěr 62
14.1 Zhodnocení práce 62
14.2 Další možný vývoj problematiky 63
Seznam obrázků 64
Seznam tabulek 65
Použitá literatura 66

Seznam použitých symbolů, značek a zkratek

Označení	Název veličiny	Jednotky
S	Čistá plocha ochlazovaných stěn	m^2
S_H	Hrubá plocha ochlazovaných stěn	m^2
S_D	Plocha ochlazovaných dveří	m^2
S_W	Plocha ochlazovaných oken	m^2
S_S	Plocha ochlazované střechy	m^2
S_P	Plocha ochlazované podlahy	m^2
S_Z	Zateplovaná plocha	m^2
U	Součinitel prostupu tepla ochlazovaných stěn	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
U_P	Součinitel prostupu tepla ochlazované podlahy	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
U_S	Součinitel prostupu tepla ochlazované střechy	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
U_W	Součinitel prostupu tepla oken	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
U_D	Součinitel prostupu tepla dveří	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
d	Tloušťka vrstvy	m
λ	Součinitel tepelné vodivosti	$\frac{W}{m \cdot K}$
a, b, h	Rozměry stavby	m
R_i	Tepelný odpor jednotlivých částí	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
α	Součinitel přestupu tepla	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
$Q_c = Q_{Zmax}$	Max. výpočtová tepelná ztráta	kW
Q_Z	Tepelná ztráta	kW
t_i	Vnitřní výpočtová teplota	°C
t_e	Venkovní výpočtová teplota	°C
t'_e	Venkovní teplota	°C

Označení	Název veličiny	Jednotky
P	Výkon	kW
P′	Příkon	kW
φ	Zeměpisná šířka	°
δ	Deklinace Slunce	°
h	Výška Slunce nad obzorem	°
y	Délka zastínění	m
n, n‘	Parametr sklopení do normálového směru	– (%)
FVE	Fotovoltaická elektrárna	–
TČ	Tepelné čerpadlo	–
COP	Coefficient of performance	–
TUV	Teplá užitková voda	–

1. Cíl práce

Předmětem této práce je optimalizace návrhu tepelného čerpadla pro rodinný dům s fotovoltaickou elektrárnou. Hlavním cílem je stanovení požadovaných tepelných výkonů tepelného čerpadla pro charakteristické dny otopného období (jarní a podzimní rovnodennost a zimní slunovrat). Hodnoty budou vypočteny pro příklad skutečného rodinného domu. Tepelné čerpadlo musí být dimenzováno tak, aby jeho topný výkon pokrýval okamžitou tepelnou ztrátu rodinného domu. Dále hledáme bilanci, kdy je výkon fotovoltaické elektrárny vyšší než příkon tepelného čerpadla. Elektrická energie, která není využívána na vytápění domu může být využita na ohřev teplé užitkové vody a pokrytí potřeby elektrické energie domácích spotřebičů.

V první části práce bude zpracována rešeršní část, která bude obsahovat úvod do problematiky fotovoltaických panelů a tepelných čerpadel. Druhá část práce se bude zabývat návrhem a optimalizací tepelného čerpadla s fotovoltaickou elektrárnou na střeše rodinného domu. Součástí optimalizace bude návrh zateplení obálky rodinného domu. Výsledkem práce bude hrubá energetická bilance a návratnost projektu.

2. Úvod

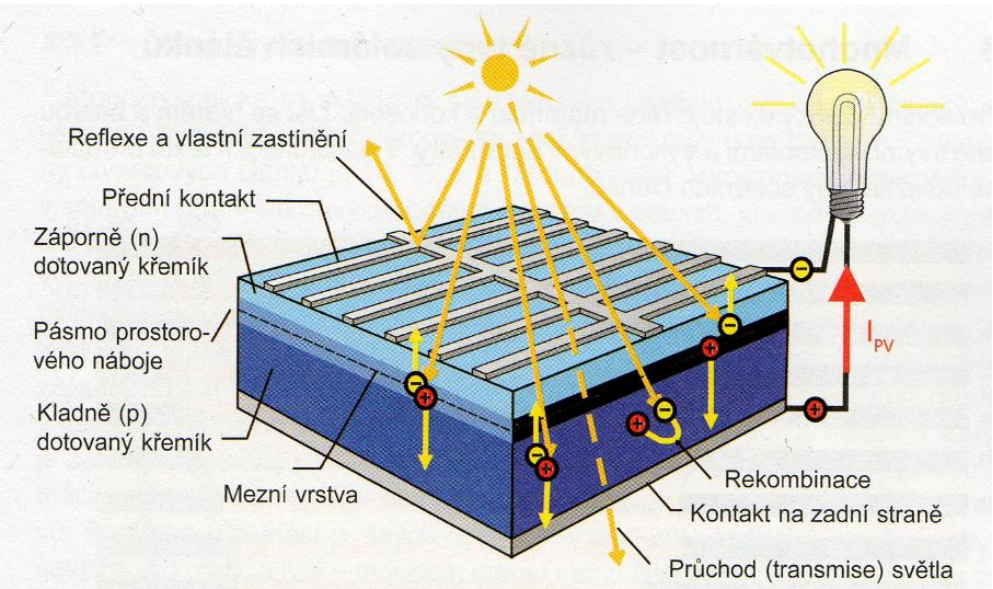
S rozvojem fotovoltaiky v posledních letech se otevřely nové možnosti získávání a využívání sluneční energie. Dle (1) je energie slunečního záření, která každoročně dopadne na zemský povrch, asi 4000krát větší než veškerá spotřeba energie celého lidstva. Jedná se zároveň o relativně nevyčerpatelný zdroj energie a z obnovitelných zdrojů je v podmínkách České republiky nejdostupnější. Zejména dostupnost je příčinou velkého rozmachu fotovoltaiky v České republice v posledních letech. Z hlediska energetiky má fotovoltaika velký potenciál a je velkým příslibem do budoucna.

V oblasti vytápění jsou dnes již tepelná čerpadla běžná zařízení. Ovšem spojení tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny nemusí být vždy vhodnou volbou a vyžaduje optimalizaci. Cílem je využívat tepelným čerpadlem primárně elektrickou energii z fotovoltaické elektrárny. Ta ovšem převážnou většinu elektrické energie vyrobí v letních měsících. Je tedy nutné optimálně navrhnout její výkon tak, aby vyrobená

elektrická energie dokázala pokrýt příkon tepelného čerpadla nebo jeho část. Zbylou část například v zimních měsících převezme doplňkový zdroj tepla. Pokud nastává přebytek elektrické energie (zejména v letních měsících), může být dále využita. Energie může být využita na chlazení interiéru pomocí tepelného čerpadla, ohřev bazénu nebo spotřebu domácnosti.

3. Teoretický princip výroby elektrické energie ve fotovoltaických panelech

Fotovoltaické, respektive solární elektrárny využívají k přeměně slunečního záření na elektřinu fyzikálního jevu nazývaného fotovoltaický jev. Fotovoltaický panel se skládá z fotovoltaických článků jejichž základem je ve většině dnes používaných článků polovodičová dioda. Tato dioda obsahuje dvě rozdílně dotované křemíkové vrstvy – vrstvu typu P dotovanou bórem a vrstvu typu N dotovanou fosforem. Vrstva typu P obsahuje přebytek kladně nabitých částic a vrstva typu N naopak obsahuje přebytek záporně nabitých elektronů. Rozhraní mezi těmito vrstvami se nazývá PN přechod. (2) (3)



Obrázek 1 – Schéma fotovoltaického článku (3)

K docílení co největší efektivity by se sluneční paprsky měli na povrchu článku co nejméně odrážet. Z tohoto důvodu se na povrch článků umisťují antireflexivní vrstvy, které dávají článkům charakteristickou černou, popřípadě modrou barvu. Při dopadu slunečního záření na článek vzniká zmíněný fotovoltaický jev, při němž jsou z atomové mřížky uvolňovány elektrony. Uvolněné elektrony jsou pak volně pohyblivé a odpoutávají se od kladně nabitých tzv. děr. Náboje putují opačnými směry a v článku vzniká rozdíl potenciálů mezi přední a zadní stranou článku. Mezi oběma vrstvami na PN přechodu se vytvoří elektrické napětí, které dosahuje u křemíkových článků velikosti zhruba 0,6 až 0,7 V. Uzavře-li se obvod teče jím přes spotřebič (na obrázku 1 žárovka) proud. Energie dopadajícího světla se tedy v článku přímo mění na energii elektrickou. (3)

4. Dělení solárních článků

Fotovoltaický článek je velkoplošný polovodičový konstrukční prvek schopný přeměňovat světlo přímo na elektrický proud. Pro jeho realizaci existuje řada materiálů a koncepcí provedení. Liší se tvarem, barvou, vlastnostmi, parametry výkonu nebo schopností zachycování slunečních paprsků. (4) Mezi nejrozšířenější typy solárních článků patří články na bázi krystalického křemíku a tenkovrstvé články.

4.1 Články na bázi krystalického křemíku

Článek je tvořen velkoplošnou polovodičovou diodou, kde je základem krystalický křemík v podobě plátků. Mají tloušťku 20 až 30 mm. Dnes je tato technologie využívána u přibližně 85 % instalovaných panelů. (4)

Monokrystalické články

Dosahují účinnosti až 21 %. Průměrná účinnost monokrystalických článků se v praxi pohybuje v rozmezí 15–17 %. Jsou vhodné na střechy s dobrou orientací vůči Slunci. (5) (3)

Polykrystalické články

Tento typ článků má v praxi účinnost okolo 11–13 %, tedy nižší než u monokrystalických článků. Jejich výhodou je ovšem levnější materiál na výrobu. Solární elektrárna z těchto panelů se hodí hlavně tam, kde není ideální orientace elektrárny vůči Slunci (např. světlo dopadá pod ostřejším úhlem nebo je více rozptýlené). (4) (5)

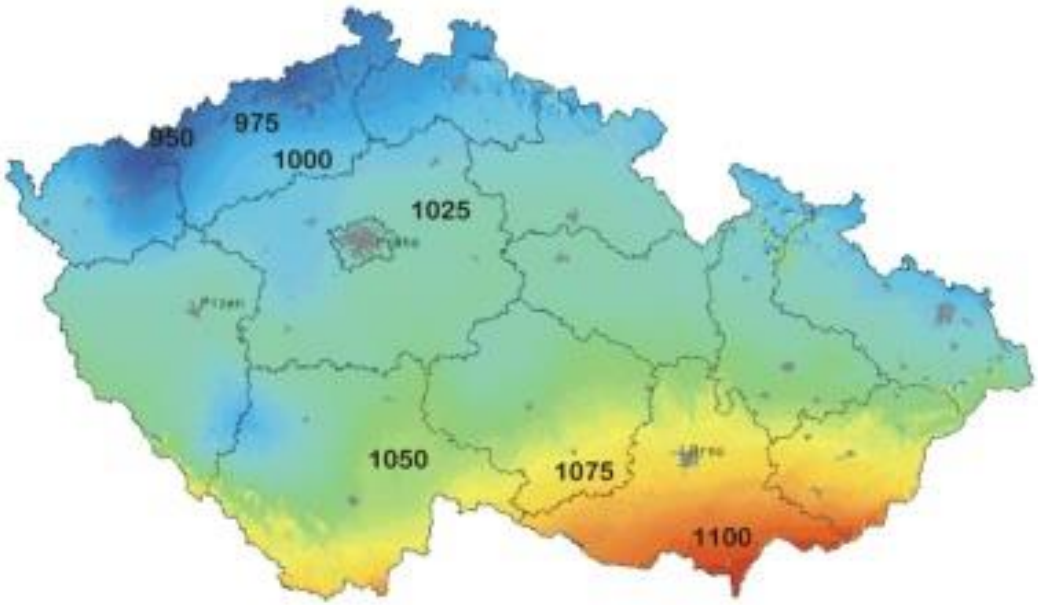
4.2 Tenkovrstvé články

Tenkovrstvé články jsou tvořeny nosičem (např. sklo), na který jsou napařené velmi tenké vrstvy křemíku (amorfního). Pro výrobu takového článku není třeba takové množství materiálu jako u výše zmíněných typů, jsou tedy levnější. Jejich tloušťka je jen několik µm. V současnosti dosahují účinnosti až 14 %. (4) (6)

5. Energie dopadajícího záření Slunce

Základní hodnota popisující výkon ozáření Sluncem se nazývá solární konstanta. Je to výkon slunečního záření dopadající svisle na atmosférický obal Země za jednotku času při průměrné vzdálenosti Slunce od Země a činí 1367 W/m^2. Sluneční výkon se zmenšuje při průchodu zemskou atmosférou. Záření lze dále dělit na dvě složky: přímé sluneční záření a difúzní sluneční záření (vliv rozptylu v atmosféře). Maximální hodnota energie dopadající na povrch země se pohybuje mezi 1000–1100 W/m^2. (4)

Obrázek 2 popisuje průměrný roční dopad sluneční energie na zemský povrch v České republice. V podmínkách České republiky lze dále zjednodušeně předpokládat, že 1 kWp instalovaného výkonu vyrobí za rok přibližně 1000 kWh elektrické energie. (7)



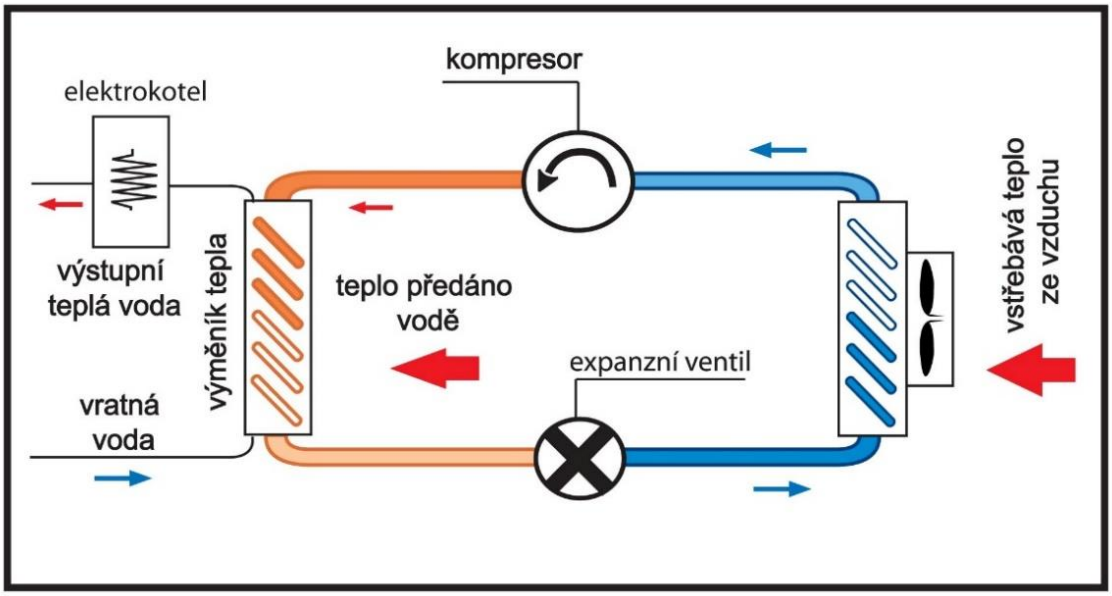
Obrázek 2 – Průměrný roční dopad energie slunečního záření v České republice [kWh/m^2] (8)

6. Princip činnosti tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení využívající nízkopotenciální zdroje energie. Tepelné čerpadlo energii nevyrábí, ale pouze přečerpává na vyšší teplotní úroveň za užití chladiv – látek s velmi nízkým bodem varu. K provozu využívá elektrickou energii, kterou mu musíme dodat. V případě tepelného čerpadla se energie v podobě tepla získává z okolního prostředí. Tímto prostředím může být venkovní vzduch, země, nebo voda (viz následující kapitola).

Základními částmi tepelného čerpadla jsou výparník, kompresor, kondenzátor a expanzivní ventil. Na vstupu tepelného čerpadla je primární výměník tepla také nazývaný výparník. Chladivo, které se nachází ve výparníku odebírá z okolního prostředí energii a vypařuje se při nízkém tlaku. Následně je chladivo, které si s sebou nese energii získanou z okolního prostředí, stlačeno a při tom stoupá jeho teplota. Chladivo v kompresoru dosáhne vyšší teploty než voda v topném systému. Horký plyn je přiváděn do sekundárního výměníku, kondenzátoru, kde přes jeho stěnu předává své teplo chladnější topné vodě. Tím klesá teplota plynu, který zkapalňuje. Chladivo pod stále

vysokým tlakem je vedeno do expanzivního ventilu, kde probíhá expanze. Cyklus se následně opakuje. Celý proces je zachycen na obrázku 3. (9) (10)



Obrázek 3 – Princip funkce tepelného čerpadla (typ vzduch – voda) (46)

Základním parametrem tepelných čerpadel je topný faktor. Jedná se o bezrozměrné číslo udávající poměr tepelného výkonu k příkonu (spotřebované elektrické energii). Hodnota topného faktoru je vždy vyšší než 1. Často se označuje zkratkou COP (Coefficient of Performance).

7. Typy tepelných čerpadel

Podle druhu ochlazovaného a ohřívaného prostředí a také způsobu získávání tepla lze tepelná čerpadla rozdělit na několik skupin. Zásadní vliv na vlastnosti a funkci tepelného čerpadla má volba zdroje energie. Výběr správného typu čerpadla závisí na několika faktorech. Těmi hlavními jsou: dostupnost zdroje tepla, topný faktor, investiční náklady, náklady na následný provoz a schopnost provedení. (9) První slovo v názvu čerpadla přísluší druhu zdroje nízkopotenciálního tepla. Druhé slovo odpovídá médiu, do kterého teplo předáváme.

7.1 Typ vzduch–voda

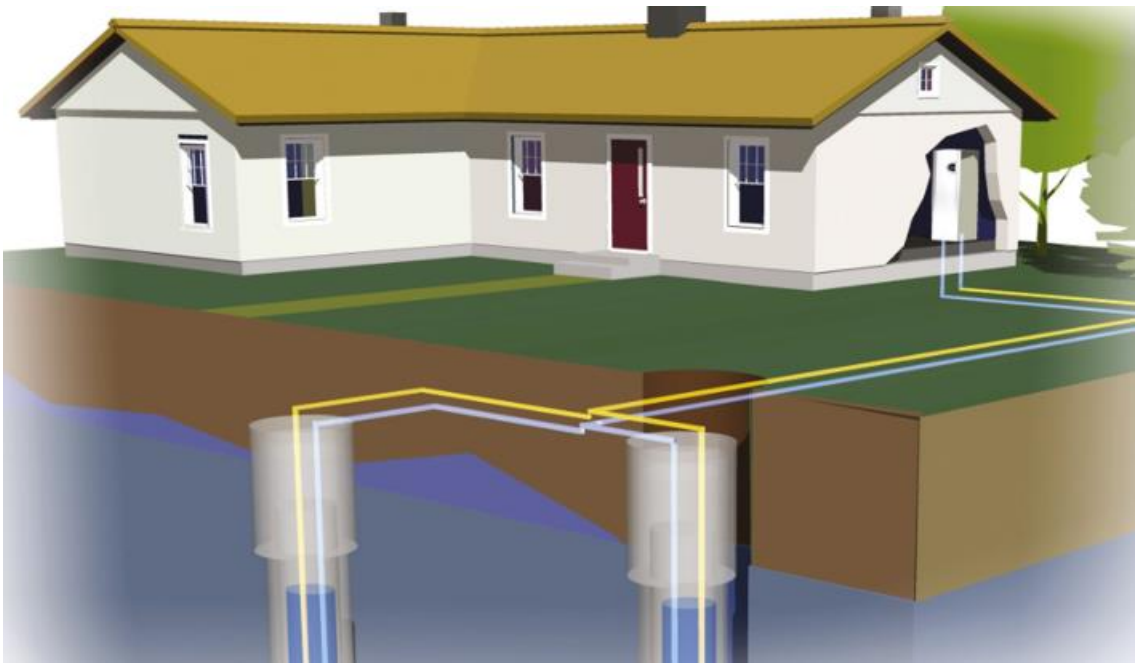
Tepelné čerpadlo získává energii přímo z okolního venkovního vzduchu. Z hlediska dostupnosti zdroje a pořizovacích nákladů se jeví tento typ jako velmi výhodný. Instalace tohoto typu čerpadla nevyžaduje rozsáhlé zemní práce. Nevýhodou oproti čerpadlům získávajícím teplo například ze země, kde je teplota po celý rok přibližně stejná, je nestálost zdroje energie. S klesající teplotou venkovního vzduchu nám tedy klesá výkon a topný faktor. V zimním období je proto nutné mít doplňkový zdroj tepla, který převezme část výkonu nebo celý výkon. (10) Dále je nutné řešit hlukové emise a s tím spojené umístění venkovní jednotky. No obrázku 4 je zobrazena venkovní jednotka a příklad jejího umístění na zahradě rodinného domu.

Obrázek 4 – Příklad umístění venkovní jednotky (11)

7.2 Typ voda–voda

Tepelné čerpadlo tohoto typu využívá jako zdroj tepla povrchovou nebo podzemní vodu. Ze zdroje, kterým je ve většině případů studna, odebíráme vodu. Ta přímo protéká výměníkem tepelného čerpadla (výparníkem) a je odebrána část tepla. Následně se voda

vrací zpět do země druhou studnou. Tento proces je zachycen na obrázku 5. Za ideálních podmínek může tento systém dosahovat nejvyšších topných faktorů (hodnoty kolem 6). Další výhodou je stálost zdroje. Teplota podzemní vody se průměrně pohybuje okolo 10°C a je neměnná po celý rok. Nevýhodou je náročnější údržba, životnost jednotlivých komponentů (filtry, čerpadla) a riziko zanášení minerály z vody. Nutností je vhodná lokalita s dostatkem vody s odpovídajícím chemickým složením. Dále je nutné vhodné podloží pro vrt a povolení vodohospodářského orgánu. (12) (13)



Obrázek 5 – Tepelné čerpadlo typu voda–voda (14)

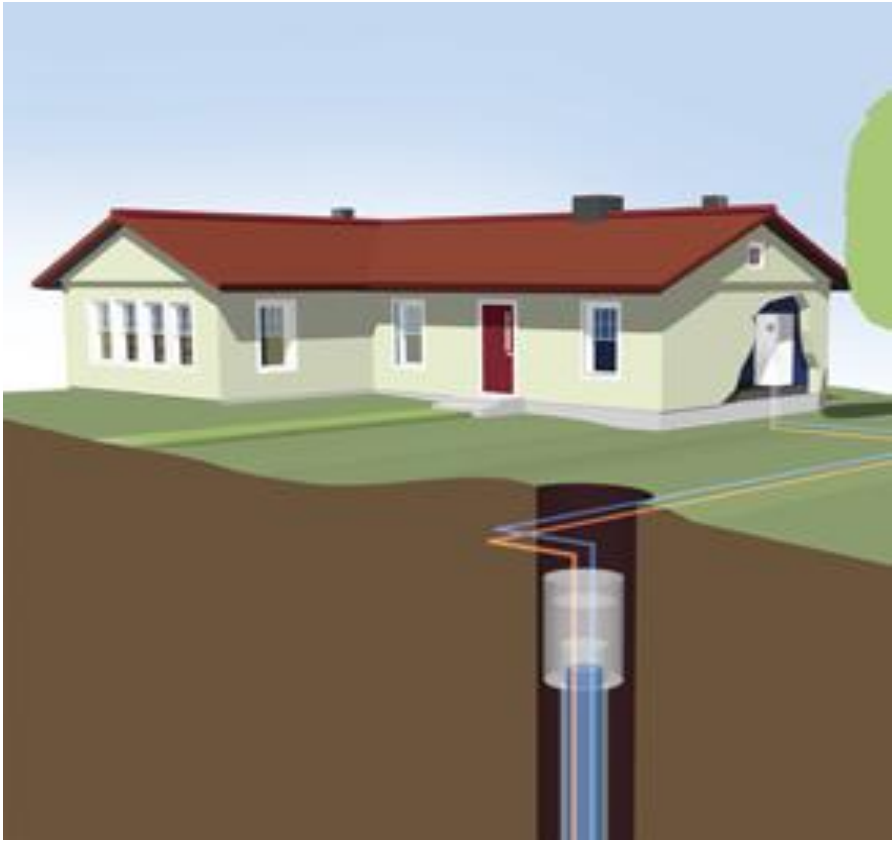
7.3 Typ země–voda (plošné kolektory)

Tento typ využívá jako zdroj nízkopotenciálního tepla půdu v malé hloubce. V uzavřeném horizontálním systému potrubí koluje nemrznoucí teplonosná kapalina, která získává energii z půdy a následně svojí energii předává chladivu ve výměníku. Systém je obvykle několik stovek metrů dlouhý a instaluje se 1,2–1,5 m hluboko. Příklad uložení je zobrazen na obrázku 6. Výhodou je stálost zdroje, ačkoliv je třeba brát v úvahu teplotu venkovního vzduchu, jelikož půda v takto malé hloubce je jím ovlivněna. Nevýhodou je náročnost na plochu pozemku a nemožnost následné výstavby na místně uložení plošných kolektorů. (15)

Obrázek 6 – Příklad uložení plošných kolektorů (16)

7.4 Typ země–voda (geotermální vrty)

Energie se v tomto případě získává z geotermálních vrtů, které jsou ve většině případů hluboké do 100–150 m. S vyšší hloubkou sice roste teplota půdy, ale také náklady na realizaci vrtu a instalaci. Pro realizaci je nutná lokalita s vhodným podložím pro vrt. V systému koluje teplonosná nemrznoucí směs, která získává energii z půdy a následně ji předává tepelnému čerpadlu ve výměníku. Velkou výhodou je stálost zdroje nezávislá na venkovní teplotě vzduchu. Z tohoto důvodu je tento typ vhodný pro trvalé obývané objekty, kde potřebujeme teplo dodávat zejména v chladnějších měsících. Oproti plošným kolektorům není potřeba velkého pozemku. Nutností je povolení Báňského úřadu při vrtu hlubším než 30 m. (17) Schéma tohoto typu je zobrazeno na obrázku 7.



Obrázek 7 – Tepelné čerpadlo země–voda (geotermální vrt) (18)

7.5 Shrnutí výhod a nevýhod zmíněných typů tepelných čerpadel

Typ	Výhody	Nevýhody
Vzduch–voda	• Jednoduchá instalace bez nároků na velikost pozemku a zemní práce. • Relativně nízké investiční náklady. • Dostupnost zdroje tepla.	• Nestálost zdroje (nízké teploty v zimě) – nutnost doplňkového zdroje. • Hlučnost venkovní jednotky. • Vzhled
Voda–voda	• Vysoký topný faktor • Nenáročnost plochy pozemku • Stálost zdroje	• Podmínka dostatku vody a jejího chemického složení • Povolení vodohospodářského orgánu • Náklady na údržbu • Nutnost vhodného podloží pro vrt • Zemní práce
Země–voda (plošné kolektory)	• Vysoký topný faktor srovnatelný s vrty • Není potřeba povolení Báňského úřadu	• Potřeba velkého pozemku • Nemožnost následné výstavby na pozemku • Zemní práce
Země–voda (vrt)	• Vysoký topný faktor • Stálost zdroje • Nenáročnost plochy pozemku	• Nutnost vhodného podloží pro vrt • Povolení Báňského úřadu • Zemní práce

Tabulka 1 – Výhody a nevýhody jednotlivých typů tepelných čerpadel

8. Shrnutí rešeršní části

Zpracovaná rešerše se zabývala principem výroby elektrické energie ve fotovoltaických článcích a úvodem do problematiky tepelných čerpadel. Nejprve byl popsán fotovoltaický jev, který v článku nastává při výrobě elektrické energie. Byly uvedeny nejčastěji používané fotovoltaické články a jejich vlastnosti. Dále bylo zjednodušeně stanoveno množství energie slunečního záření dopadající na povrch Země v České republice.

Další část rešerše byla věnována tepelným čerpadlům. Byla popsána funkce tepelného čerpadla a uvedeny typy podle zdroje nízkopotenciální energie. Výběr vhodného typu tepelného čerpadla je velmi důležitý pro jeho následnou funkci. Důležité faktory ovlivňující výběr vhodného typu jsou zejména dostupnost zdroje tepla, topný faktor, investiční náklady, náklady na následný provoz a schopnost provedení. Pro návrh bude na základě rešerše vybrán vhodný typ tepelného čerpadla s optimálním výkonem.

9. Orientační výpočet tepelných ztrát objektu

Pro stanovení optimálního výkonu tepelného čerpadla je nutné určit orientačně tepelnou ztrátu objektu. Následně budou stanoveny požadované tepelné výkony pro charakteristické dny (jarní a podzimní rovnodennost a zimní slunovrat). Objekt, pro který bude tento návrh zpracován se nachází nedaleko města Ústí nad Labem. Jedná se o třípodlažní rodinný dům z roku 1970 situovaný rohem balkónu na jih. Rodinný dům je zobrazen na obrázku 8. První podlaží (suterén) má sníženou výšku a je částečně pod úrovní terénu. Následuje výpočet tepelné ztráty objektu.

Obrázek 8 – Rodinný dům, pro který je návrh zpracován (19)

9.1 Ochlazovaná okna a dveře

V objektu se nachází celkem 8 trojdílných ochlazovaných oken, 4 jednodílná ochlazovaná okna a 4 venkovní ochlazované dveře. Okna jsou plastová, zdvojená a dveře plastová částečně zasklená.

Plocha venkovních ochlazovaných oken a dveří:

Rozměr jednoho okenního dílu je 0,6 m x 1,2 m. Dílů je v objektu celkem 28.

$$S_W = 0{,}6 \cdot 1{,}2 \cdot 28 = 20{,}16\ m \tag{9.1.1}$$

Rozměr dveří je 0,9 m x 1,97 m a v objektu jsou celkem 4 (2 balkonové, 2 vchodové)

$$S_D = 0{,}9 \cdot 1{,}97 \cdot 4 = 7{,}092\ m \tag{9.1.2}$$

Součinitele prostupu tepla:

$$U_W = 2\ \frac{W}{m^2 \cdot K} \tag{9.1.3}$$

$$U_D = 1{,}5\ \frac{W}{m^2 \cdot K} \tag{9.1.4}$$

Poznámka: *Okna a dveře jsou zjednodušeny na moduly 0,6 m x 1,2 m respektive 0,9 m x 1,97 m. Jedná se o stará zdvojená okna a částečně zasklené ochlazované dveře. Součinitel prostupu tepla je odhadnut u oken a balkonových dveří* $U_W = 2\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$ *a u vchodových dveří* $U_D = 1{,}5\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$.

9.2 Svislé ochlazované stěny

Skladba svislých ochlazovaných stěn:

Škvárobetonové tvárnice:	tloušťka vrstvy $d_1 = 45\ cm = 0{,}45\ m$
	součinitel tepelné vodivosti $\lambda_1 = 0{,}74\ \frac{W}{m \cdot K}$ (20)
Omítka vnitřní vápenná:	tloušťka vrstvy $d_2 = 2{,}5\ cm = 0{,}025\ m$
	součinitel tepelné vodivosti $\lambda_2 = 0{,}7\ \frac{W}{m \cdot K}$ (21)
Omítka vnější vápenno-cementová:	tloušťka vrstvy $d_3 = 2{,}5\ cm = 0{,}025\ m$
	součinitel tepelné vodivosti $\lambda_3 = 0{,}9\ \frac{W}{m \cdot K}$ (22)

Plocha ochlazovaných stěn:

$$S_H = (2 \cdot a + 2 \cdot b) \cdot h \tag{9.2.1}$$

$$S_H = (2 \cdot 7{,}765 + 2 \cdot 11{,}85) \cdot 6 = 235{,}38\ m^2 \tag{9.2.2}$$

a,b – Půdorysné rozměry stavby $7{,}765\ \mathrm{m} \times 11{,}85\ \mathrm{m}$

h – Konstrukční výška přízemí a 1. patra, $h = 6\ m$

$$S = S_H - S_W - S_D \tag{9.2.3}$$

$$S = 235{,}38 - 20{,}16 - 7{,}092 = 208{,}128\ m \tag{9.2.4}$$

S_W – Plocha ochlazovaných dveří, dle vztahu (9.1.1) $S_W = 20{,}16\ m^2$

S_D – Plocha ochlazovaných oken, dle vztahu (9.1.2) $S_D = 7{,}092\ m^2$

S_H – Hrubá plocha ochlazovaných stěn

S – Čistá plocha ochlazovaných stěn po odečtení plochy oken a dveří

Výpočet součinitele prostupu tepla svislých ochlazovaných stěn:

$$U = k = \frac{1}{(R_i + R + R_e)} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right] \tag{9.2.5}$$

R – Tepelný odpor konstrukce, $R = \sum \frac{d_i}{\lambda_i}$

R_i – Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně stěny $R_i = \frac{1}{\alpha_i}$

R_e – Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně stěny $R_e = \frac{1}{\alpha_e}$

α_i – Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně stěny, $\alpha_i = 8\, W/m^2 \cdot K$ (23)

α_e – Součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny, $\alpha_e = 23\, W/m^2 \cdot K$ (23)

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}45}{0{,}74} = 0{,}6081\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.2.6}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0{,}025}{0{,}7} = 0{,}0357\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.2.7}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0{,}025}{0{,}9} = 0{,}0278\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.2.8}$$

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + 0{,}6081 + 0{,}0357 + 0{,}0278 + \frac{1}{23}\right)} = 1{,}19\ \frac{W}{m^2 \cdot K} \tag{9.2.9}$$

Dle požadovaných hodnot z normy ČSN 73 0540-2 (24) daný součinitel prostupu tepla $U = 1{,}19\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$ nevyhovuje. Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla pro tento návrh je stanovena $U = 0{,}21\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Je nutné přidat tepelnou izolaci na vnější stranu fasády. Následuje výpočet tloušťky přídavné tepelné izolace.

Návrh zateplení:

$$U = k = \frac{1}{R_c} \tag{9.2.10}$$

$$0{,}21 = U = k = \frac{1}{R_c + R_{iz}} \tag{9.2.11}$$

R_c – Celkový tepelný odpor bez izolace, $R_c = 0{,}84\ \frac{m^2 \cdot K}{W}$

R_{iz} – Teoretický tepelný odpor přídavné izolace

$$R_{iz} = \frac{1}{U} - R_c \tag{9.2.12}$$

$$R_{iz} = \frac{1}{0{,}21} - 0{,}84 = 3{,}922\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.2.13}$$

$$R_{iz} = \frac{d_{iz}}{\lambda_{iz}} \rightarrow d_{iz} = R_{iz} \cdot \lambda_{iz} = 3{,}922 \cdot 0{,}06 = 0{,}235\ m \tag{9.2.14}$$

λ_{iz} – Součinitel tepelné vodivosti pro vláknitou izolaci, $\lambda_{iz} = 0{,}06\ \frac{W}{m \cdot K}$ (20)

Tloušťka vrstvy tepelné izolace na vnější straně fasády vyšla dle výpočtu 235 mm.

Poznámka: *Na ochlazované stěny bude použita pouze jedna vrstva tepelné izolace o tloušťce 160 mm, aby nedošlo k zapuštění oken. Vrstva tepelné izolace bude naopak zesílena u ochlazované střechy a podlahy, aby došlo k vyrovnání tepelné ztráty.*

Celkovou tloušťku tepelné izolace volím 160 mm.

$$R'_{iz} = \frac{d_{iz}}{\lambda_{iz}} = \frac{0{,}16}{0{,}06} = 2{,}67\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.2.15}$$

R'_{iz} – Tepelný odpor přídavné izolace (při tloušťce $d_{iz} = 160\ mm$)

Výsledný součinitel prostupu tepla po zateplení:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + 0{,}6081 + 0{,}0357 + 0{,}0278 + 2{,}67 + \frac{1}{23}\right)} = 0{,}285\ \frac{W}{m^2 \cdot K} \qquad (9.2.16)$$

9.3 Ochlazovaná podlaha

Skladba ochlazované podlahy:

Litý železobetonový monolit: tloušťka vrstvy $d_1 = 21{,}5\ cm = 0{,}215\ m$

součinitel tepelné vodivosti $\lambda_1 = 1{,}43\ \frac{W}{m \cdot K}$ (20)

Izolace proti kročejovému hluku: tloušťka vrstvy $d_2 = 6\ cm = 0{,}06\ m$

součinitel tepelné vodivosti $\lambda_2 = 0{,}06\ \frac{W}{m \cdot K}$ (20)

Vyrovnávací betonový potěr: tloušťka vrstvy $d_3 = 4\ cm = 0{,}04\ m$

součinitel tepelné vodivosti $\lambda_3 = 1{,}23\ \frac{W}{m \cdot K}$ (20)

Laminátová podlaha: tloušťka vrstvy $d_4 = 0{,}7\ cm = 0{,}007\ m$

součinitel tepelné vodivosti $\lambda_4 = 0{,}16\ \frac{W}{m \cdot K}$ (25)

Separační fólie o tloušťce 0,1 cm se v tomto výpočtu zanedbává.

Plocha ochlazované podlahy:

$$S_P = a \cdot b = 7{,}765 \cdot 11{,}85 = 92{,}02\ m^2 \qquad (9.3.1)$$

Výpočet součinitele prostupu tepla ochlazované podlahy:

$$U = k = \frac{1}{(R_i + R + R_e)}\ \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right] \qquad (9.3.2)$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}215}{1{,}43} = 0{,}1503\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \qquad (9.3.3)$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0{,}06}{0{,}06} = 1\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \qquad (9.3.4)$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0{,}04}{1{,}23} = 0{,}0325\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \qquad (9.3.5)$$

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0{,}007}{0{,}16} = 0{,}0438\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.3.6}$$

$\alpha_i = \alpha_e = 8\ \mathrm{W/m2.K}$ (V nevytápěném suterénu není vítr jako v exteriéru v zimním období, proto je hodnota α_e pro podlahu nižší než pro ochlazovanou střechu a ochlazované stěny) (23)

$$U_P = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + 0{,}1503 + 1 + 0{,}0325 + 0{,}0438 + \frac{1}{8}\right)} = 0{,}677\ \frac{W}{m^2 \cdot K} \tag{9.3.7}$$

Dle požadovaných hodnot z normy ČSN 73 0540-2 (24) daný součinitel prostupu tepla $U = 0{,}677\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$ nevyhovuje. Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla pro tento návrh je stanovena $U = 0{,}21\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Je nutné podlahu zateplit. Následuje výpočet tloušťky přídavné tepelné izolace.

Návrh zateplení:

$$U = k = \frac{1}{R_c} \tag{9.3.8}$$

$$0{,}21 = U = k = \frac{1}{R_c + R_{iz}} \tag{9.3.9}$$

R_c – Celkový tepelný odpor bez izolace, $R_c = 1{,}477\ \frac{m^2 \cdot K}{W}$

$$R_{iz} = \frac{1}{U} - R_c \tag{9.3.10}$$

$$R_{iz} = \frac{1}{0{,}21} - 1{,}477 = 3{,}285\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.3.11}$$

$$R_{iz} = \frac{d_{iz}}{\lambda_{iz}} \rightarrow d_{iz} = R_{iz} \cdot \lambda_{iz} = 3{,}285 \cdot 0{,}06 = 0{,}197m \tag{9.3.12}$$

λ_{iz} – Součinitel tepelné vodivosti pro vláknitou izolaci, $\lambda_{iz} = 0{,}06\ \frac{W}{m \cdot K}$ (20)

Tloušťka vrstvy tepelné izolace podlahy vyšla dle výpočtu 197 mm.

Poznámka: *U ochlazovaných stěn byla tloušťka tepelné izolace zeslabena, aby nedošlo k zapuštění oken. Zde bude proto izolace zesílena na dvě vrstvy o tloušťce 160 mm.*

Celkovou tloušťku tepelné izolace volím 320 mm.

$$R'_{iz} = \frac{d_{iz}}{\lambda_{iz}} = \frac{0{,}32}{0{,}06} = 5{,}34\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \qquad (9.3.13)$$

R'_{iz} – Tepelný odpor přídavné izolace (při tloušťce $d_{iz} = 320\ mm$)

Výsledný součinitel prostupu tepla po zateplení:

$$U_P = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + 0{,}1503 + 1 + 0{,}0325 + 0{,}0438 + 5{,}34 + \frac{1}{8}\right)} = 0{,}146\ \frac{W}{m^2 \cdot K} \qquad (9.3.14)$$

9.4 Ochlazovaná střecha

Skladba ochlazované střechy:

Litý železobetonový monolit:	tloušťka vrstvy $d_1 = 21{,}5\ cm = 0{,}215\ m$
	součinitel tepelné vodivosti $\lambda_1 = 1{,}43\ \frac{W}{m \cdot K}$ (20)
Provětrávací vzduchová mezera:	tloušťka vrstvy $d_2 = 5\ cm = 0{,}05\ m$
	součinitel tepelné vodivosti $\lambda_2 = 0{,}1\ \frac{W}{m \cdot K}$ (26)
Škvárový beton spádový:	tloušťka vrstvy $d_3 = 53\ cm = 0{,}53\ m$
	součinitel tepelné vodivosti $\lambda_3 = 0{,}74\ \frac{W}{m \cdot K}$ (20)

2x asfaltový pás se v tomto výpočtu zanedbává

Plocha ochlazované střechy:

$$S_S = a \cdot b = 7{,}765 \cdot 11{,}85 = 92{,}02\ m^2 \qquad (9.4.1)$$

Výpočet součinitele prostupu tepla ochlazované podlahy:

$$U = k = \frac{1}{(R_i + R + R_e)} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right] \tag{9.4.2}$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}215}{1{,}43} = 0{,}1503 \ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.4.3}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0{,}05}{0{,}1} = 0{,}5 \ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.4.4}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0{,}53}{0{,}74} = 0{,}7162 \ \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{9.4.5}$$

α_i – Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně, $\alpha_i = 6\ \mathrm{W/m2.K}$ (23)

α_e – Součinitel přestupu tepla na vnější straně, $\alpha_e = 23\ \mathrm{W/m2.K}$ (23)

$$U_S = \frac{1}{\left(\frac{1}{6} + 0{,}1503 + 0{,}5 + 0{,}7162 + \frac{1}{23}\right)} = 0{,}634 \ \frac{W}{m^2 \cdot K} \tag{9.4.6}$$

Dle požadovaných hodnot z normy ČSN 73 0540-2 (24) daný součinitel prostupu tepla $U = 0{,}634 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$ nevyhovuje. Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla pro tento návrh je stanovena $U = 0{,}21 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Je nutné střechu zateplit. Následuje výpočet tloušťky přídavné tepelné izolace.

Návrh zateplení:

$$U = k = \frac{1}{R_c} \tag{9.4.7}$$

$$0{,}21 = U = k = \frac{1}{R_c + R_{iz}} \tag{9.4.8}$$

R_c – Celkový tepelný odpor bez izolace, $R_c = 1{,}577 \ \frac{m^2 \cdot K}{W}$

$$R_{iz} = \frac{1}{U} - R_c \tag{9.4.9}$$

$$R_{iz} = \frac{1}{0{,}21} - 1{,}577 = 3{,}185\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \qquad (9.4.10)$$

$$R_{iz} = \frac{d_{iz}}{\lambda_{iz}} \rightarrow d_{iz} = R_{iz} \cdot \lambda_{iz} = 3{,}185 \cdot 0{,}06 = 0{,}191\, m \qquad (9.4.11)$$

λ_{iz} – Součinitel tepelné vodivosti pro vláknitou izolaci, $\lambda_{iz} = 0{,}06\ \frac{W}{m \cdot K}$ (20)

Tloušťka vrstvy tepelné izolace střechy vyšla dle výpočtu 191 mm. Celkovou tloušťku tepelné izolace volím 320 mm.

Poznámka: *U ochlazovaných stěn byl tloušťka tepelné izolace zeslabena, aby nedošlo k zapuštění oken. Zde bude proto izolace zesílena na dvě vrstvy o tloušťce 160 mm.*

$$R'_{iz} = \frac{d_{iz}}{\lambda_{iz}} = \frac{0{,}32}{0{,}06} = 5{,}34\ \frac{m^2 \cdot K}{W} \qquad (9.4.12)$$

R'_{iz} –Tepelný odpor přídavné izolace (při tloušťce $d_{iz} = 320\, mm$)

Výsledný součinitel prostupu tepla po zateplení:

$$U_S = \frac{1}{\left(\frac{1}{6} + 0{,}1503 + 0{,}5 + 0{,}7162 + 5{,}34 + \frac{1}{23}\right)} = 0{,}145\ \frac{W}{m^2 \cdot K} \qquad (9.4.13)$$

9.5 Orientační výpočet tepelné ztráty dle normy ČSN 06 0210

Pro danou stavbu rodinného domu byla vypočtena tepelná ztráta obálkové konstrukce použitím volně dostupného softwaru na TZB-INFO portálu. (27) Výpočet je proveden dle normy ČSN 06 0210. (28) Na obrázkách 9 a 10 je zobrazený postup výpočtu pomocí zmíněného softwaru.

t_e – Venkovní výpočtová teplota, $t_e = -12\ °C$ (krajina s intenzivními větry) dle (28)

t_i – Vnitřní výpočtová teplota, $t_i = 22\ °C$ je počátečně stanovená hodnota

Suterén je nevytápěný, pro výpočty uvažujeme teplotu 5 °C.

Intenzita výměny vzduchu je zvolena $n = 0{,}5\ h^{-1}$.

Lokalita a vlastnosti budovy

Ústí nad Labem ▼ (Tabulka)		Poloha budovy	Chráněná ▼ ???
Venkovní výpočtová teplota t_e	-12 °C NASTAVIT TEPLOTU U STĚN	Druh budovy	Osamělá ▼ ???
Krajina	S intenzivními větry ▼	Charakteristické číslo budovy B	8 $Pa^{0.67}$???
		Přirážka p_2 na urychlení zátopu	0 ???

Místnost (u obálkové metody to jsou další vlastnosti budovy)

Číslo a název místnosti	1	
Zvětšení char. čísla budovy ΔB	0 $Pa^{0.67}$???	
Venkovní výpočtová teplota t_e	-12 °C ???	NASTAVIT TEPLOTU U STĚN
Vnitřní výpočtová teplota t_i	22 °C (Tabulka)	
Orientace místnosti	vnitřní místnost ▼ => přirážka p_3 = 0 ???	
Počet těsných dveří	0 ▼ ???	
Počet netěsných dveří	0 ▼ ???	
Charakteristické číslo místnosti M	1 ???	
Tepelný zisk Q_z	W ???	

Rozměry

Půdorysný rozměr a	7,765 m	Půdorysný rozměr b	11,85 m	Půdorysná plocha místnosti P	92.02 m^2 ???
Konstrukční výška VK	6 m ???	Světlá výška VS	5,3 m ???	Vypočtená plocha obálkových konstrukcí ΣS_1	419.4 m^2 ???
Vytápěný objem V	552.0 m^3	Objem místnosti V_m	487.6 m^3	Sečtená plocha všech obálkových konstrukcí ΣS_2	419.4 m^2 ???

Teplota větracího vzduchu t_{vv}	-12 °C ???
◉ Intenzita výměny vzduchu n	0.5 h^{-1} ???
○ Objemový průtok	m^3/h ???

Obrázek 9 – Orientační výpočet tepelné ztráty obálkové konstrukce dle ČSN 06 0210 (27)

Parametry obálkové konstrukce (místnosti / budovy)

		Typ ??? konstr.	Počet	$t_{e,i}$??? [°C]	U ??? [W/m²K]	Plocha konstrukce d ??? [m]	v ??? [m]	S ??? [m²]	S_d ??? [m²]	S_v ??? [m²]	$S-S_d-S_v$ [m²] ???	Q_o [W]	Infiltrace i_L (Tabulka) [m³/m.s.Pa^0.67]	L ?? [m]
1.	vložit smazat	SO	1	-12	0,285	39,23	6	235.3	0	27.24	208.1	2016.9	x 10⁻⁴	
2.	vložit smazat	OZ	28	-12	2	0,6	1,2	0.72	0	0	20.16	1370.9	x 10⁻⁴	
3.	vložit smazat	DO	2	-12	2	0,9	1,97	1.77	0	0	3.54	240.7	x 10⁻⁴	
4.	vložit smazat	DO	2	-12	1,5	0,9	1,97	1.77	0	0	3.54	180.5	x 10⁻⁴	
5.	vložit smazat	STR	1	-12	0,145	7,765	11,85	92.02	0	0	92.02	453.7	x 10⁻⁴	
6.	vložit smazat	PDL	1	5	0,146	7,765	11,85	92.02	0	0	92.02	228.4	x 10⁻⁴	

Tepelná ztráta prostupem

ΣQ_o	4491 W	???
Průměrný součinitel prostupu tepla k_c	0.315 W/m²K	???
Přirážka p_1	0.05	???
Přirážka p_2	0	???
Přirážka p_3	0	???
Q_p	4703 W	???

Tepelná ztráta větráním / infiltrací

Tepelná ztráta infiltrací Q_{inf} =	0 W	???
Tepelná ztráta větracím vzduchem $Q_{v,v}$ =	2994 W	???
Tepelná ztráta větráním Q_v =	2994 W	???
Vypočtená intenzita výměny vzduchu $n_{vypočtená}$ =	0.5	???

Celková tepelná ztráta místnosti

Tepelná ztráta místnosti Q_c =	7697 W	???
Měrná tepelná ztráta místnoti q_c =	13.9 W/m³	???

Obrázek 10 – Orientační výpočet tepelné ztráty obálkové konstrukce dle ČSN 06 0210 (27)

Celková tepelná ztráta obálkové konstrukce je $Q_C = 7{,}697\ kW \cong \mathbf{7{,}7\ kW}$.

Poznámka: *Norma již byla zrušena. Výpočet slouží k orientačnímu určení tepelné ztráty rodinného domu pro návrh tepelného čerpadla a návrh zateplení obálky domu.*

9.6 Tepelná ztráta v průběhu vybraných dnů v roce

Tepelná ztráta se mění během otopného období každou hodinu v cyklu 0–24 h. Je nutné určit tepelnou ztrátu pro každou hodinu dne. Dané budeme provádět pro charakteristické dny v roce – jarní a podzimní rovnodennost a zimní slunovrat. Následně budeme hledat bilanci, kdy je výkon fotovoltaické elektrárny vyšší než potřebný příkon tepelného čerpadla na pokrytí tepelné ztráty společně s potřebou elektrické energie na ohřev teplé užitkové vody a potřebou domácnosti. Při výpočtu průběhu teplot charakteristických dnů po hodinách budeme vycházet z níže uvedených vztahů. Uvedené vztahy popisují model teplot v průběhu daného dne. Pro zjištění koeficientů sinusové funkce teplot byly použity teploty z let 1990 až 2018 z meteorologické stanice Milešovka dostupné na stránkách Českého meteorologického ústavu. (29)

Den 20.3.

$$t(\tau) = 7 \cdot \sin\left[\frac{\pi}{12} \cdot (\tau - 9)\right] + 1{,}1 \tag{9.6.1}$$

Den 20.9.

$$t(\tau) = 7{,}8 \cdot \sin\left[\frac{\pi}{12} \cdot (\tau - 9)\right] + 10{,}1 \tag{9.6.2}$$

Den 22.12.

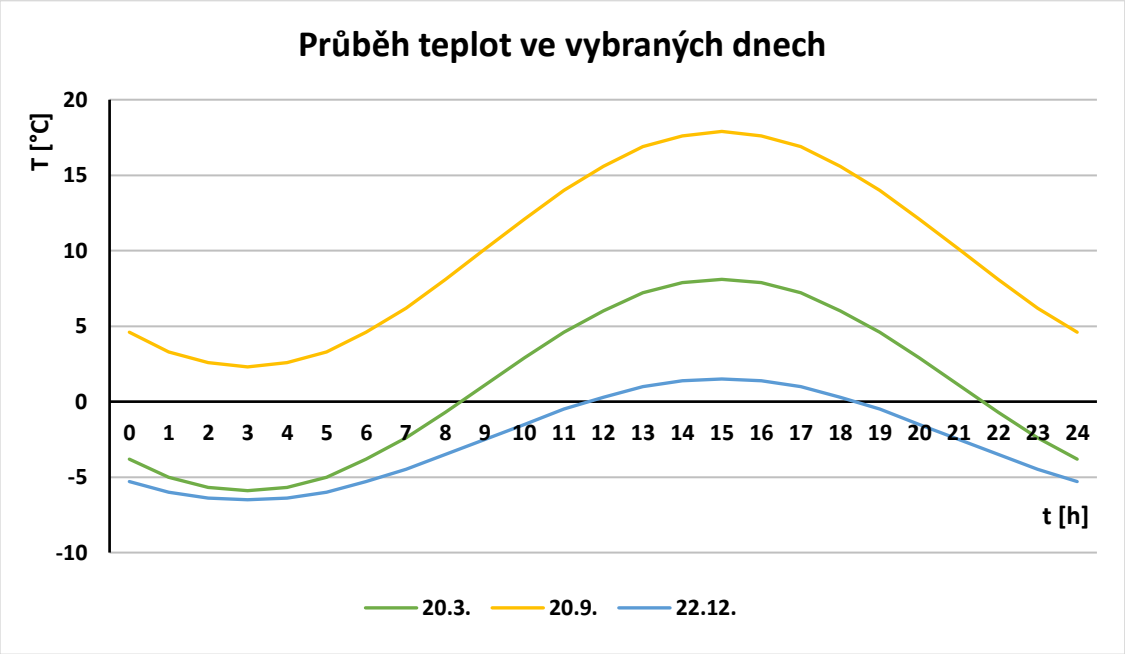
$$t(\tau) = 4 \cdot \sin\left[\frac{\pi}{12} \cdot (\tau - 9)\right] - 2{,}5 \tag{9.6.3}$$

V tabulce 2 jsou uvedeny vypočítané teploty v průběhu vybraných mezních dnů. Následně je průběh hodnot zanesen do grafu. Z grafů můžeme pozorovat, že nejvyšší teploty a tudíž nejmenší tepelné ztráty nastávají v 15:00. Oproti tomu nejnižší teploty zaznamenáváme ve 3:00, v tuto hodinu budou tepelné ztráty nejvyšší.

Tabulka teplot:

Hodiny	**Hodinový průběh teplot vybraných dnů [°C]**		
	20.3.	**20.9.**	**22.12.**
0	-3,8	4,6	-5,3
1	-5	3,3	-6
2	-5,7	2,6	-6,4
3	-5,9	2,3	-6,5
4	-5,7	2,6	-6,4
5	-5	3,3	-6
6	-3,8	4,6	-5,3
7	-2,4	6,2	-4,5
8	-0,7	8,1	-3,5
9	1,1	10,1	-2,5
10	2,9	12,1	-1,5
11	4,6	14	-0,5
12	6	15,6	0,3
13	7,2	16,9	1
14	7,9	17,6	1,4
15	8,1	17,9	1,5
16	7,9	17,6	1,4
17	7,2	16,9	1
18	6	15,6	0,3
19	4,6	14	-0,5
20	2,9	12,1	-1,5
21	1,1	10,1	-2,5
22	-0,7	8,1	-3,5
23	-2,4	6,2	-4,5
24	-3,8	4,6	-5,3

Tabulka 2 - Hodinový průběh teplot vybraných dnů



Obrázek 11 - Průběh teplot ve vybraných dnech

Z vypočtených teplot bude určena tepelná ztráta pro každou hodinu vybraných dnů. Tepelné ztráty jsou zaznamenány v tabulce 3. K výpočtu užijeme následující vztah, kde za t_e' bude dosazována teplota v danou hodinu daného dne:

$$Q_Z = Q_{Zmax} \cdot \frac{(t_i - t_e')}{(t_i - t_e)} \tag{9.6.4}$$

t_i – Vnitřní výpočtová teplota, $t_i = 22\,°C$

t_e – Venkovní výpočtová teplota, $t_e = -12\,°C$

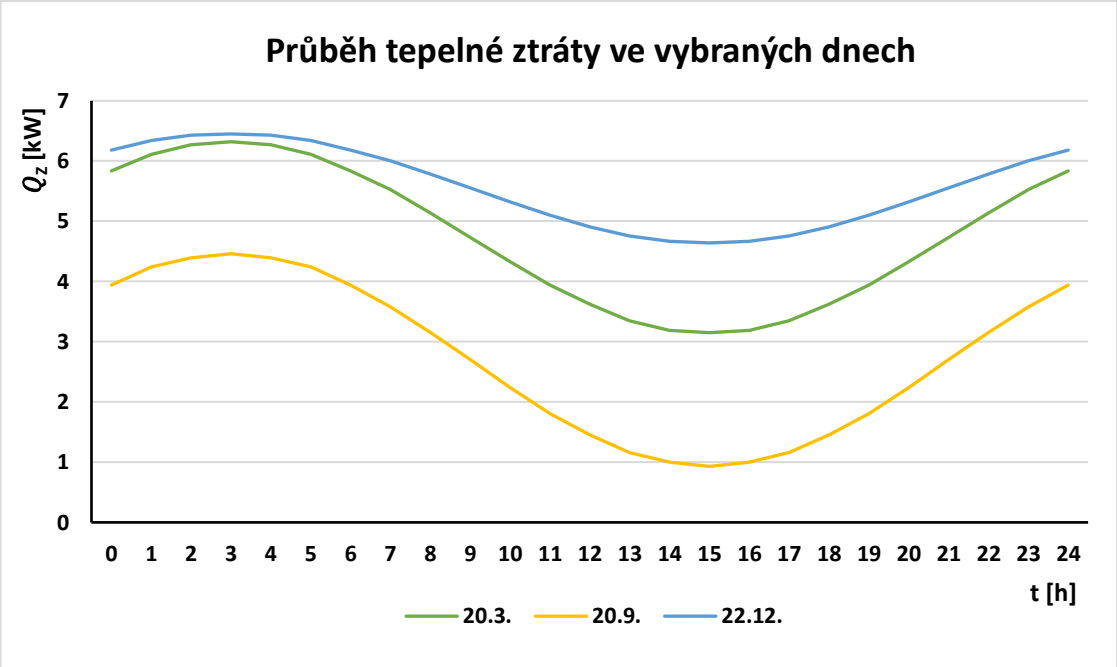
t_e' – Venkovní teplota v konkrétní den a čas

Q_{Zmax} – Maximální výpočtová tepelná ztráta, $Q_{Zmax} \cong 7{,}7\,kW$

Tabulka tepelných ztrát:

Hodiny	**Tepelná ztráta ve vybraných dnech [kW]**		
	20.3.	**20.9.**	**22.12.**
0	5,84	3,94	6,18
1	6,11	4,24	6,34
2	6,27	4,39	6,43
3	6,32	4,46	6,45
4	6,27	4,39	6,43
5	6,11	4,24	6,34
6	5,84	3,94	6,18
7	5,53	3,58	6,00
8	5,14	3,15	5,78
9	4,73	2,70	5,55
10	4,33	2,24	5,32
11	3,94	1,81	5,10
12	3,62	1,45	4,91
13	3,35	1,16	4,76
14	3,19	1,00	4,67
15	3,15	0,93	4,64
16	3,19	1,00	4,67
17	3,35	1,16	4,76
18	3,62	1,45	4,91
19	3,94	1,81	5,10
20	4,33	2,24	5,32
21	4,73	2,70	5,55
22	5,14	3,15	5,78
23	5,53	3,58	6,00
24	5,84	3,94	6,18

Tabulka 3 - Hodinový průběh tepelné ztráty ve vybraných dnech



Obrázek 12 - Průběh tepelné ztráty ve vybraných dnech

10. Tepelné čerpadla a vytápění

Výběr typu tepelného čerpadla

Objekt, pro který je tepelné čerpadlo navrhováno je trvale obývaný a je tedy potřeba stálého výkonu během celého roku. Vhodným typem pro tento objekt je tepelné čerpadlo typu země–voda. Z důvodu nenáročnosti plochy pozemku bude pro návrh vybráno čerpadlo s geotermálním vrtem. Tepelné čerpadlo bude dimenzováno na maximální výpočtovou tepelnou ztrátu $Q_{Zmax} \cong 7{,}7\ kW$. Pro návrh bylo zvoleno tepelné čerpadlo firmy MasterTherm. Jedná se o českého výrobce tepelných čerpadel se servisní dostupností po celé České republice. Typ tepelného čerpadla vybraný pro návrh je AquaMaster Inverter – 30l. Tepelné čerpadlo je zobrazeno na obrázku 13.

Obrázek 13 – Tepelné čerpadlo AquaMaster Inverter (30)

Výkon tepelného čerpadla AquaMaster Inverter – 30l je řízen kompresorem a přizpůsobuje se aktuální potřebě tepla objektu. Topný systém díky tomu nevyžaduje instalaci akumulační nádoby. Díky regulaci je dosahován optimální výkon po celý rok. Použití je možné jak pro topení, tak pro chlazení objektu. (31) V tabulce 4 jsou shrnuty základní parametry tepelného čerpadla AquaMaster Inverter – 30l. Na obrázku 14 jsou zobrazeny jeho rozměry a připojení.

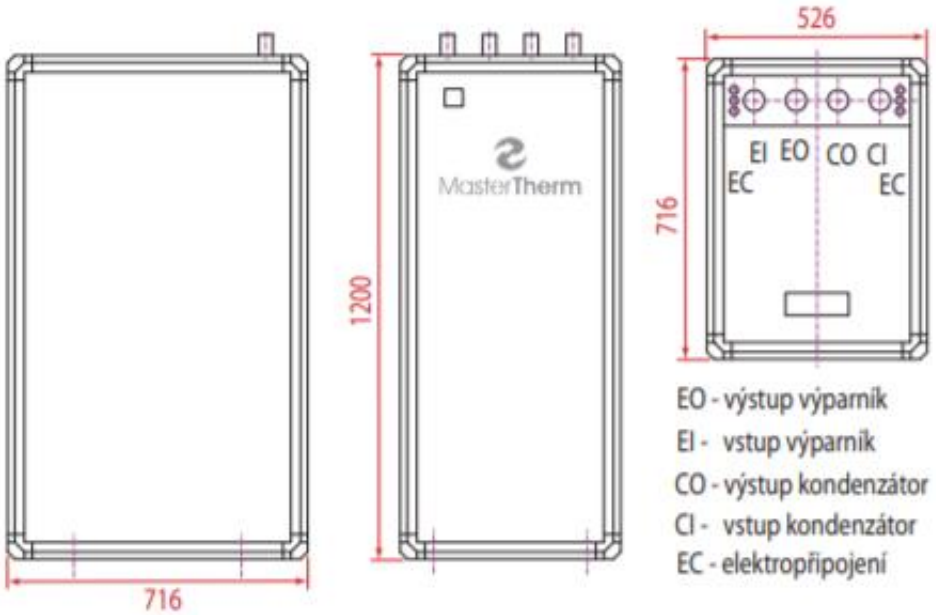
Parametry

Vlastnost		Hodnota
B0W35	Výkon [kW]	7,9
	COP	4,6
Energetická třída		A+++
Cena v Kč bez DPH		172 900,-

Tabulka 4 – Parametry tepelného čerpadla (31)

B0W35 – Údaje odpovídají tepelnému čerpadlu země–voda s teplotou nemrznoucí směsi 0 °C a teplotou topné vody 35 °C.

Rozměry a připojení



Obrázek 14 – Rozměry a připojení tepelného čerpadla (31)

Návrh vytápění

Pro snížení energetických nároků objektu je optimální využití podlahového topení s teplotou otopné vody do 35 °C. Velkou výhodou podlahového topení je úspora energie. Při konvenčním ústředním vytápění s radiátory není místnost vytápěna rovnoměrně a vzduch u podlahy je studený. Oproti tomu při vytápění podlahovým topením je místnost vytápěna rovnoměrně, teplo jde od nohou a teplota může být tedy nižší při docílení stejné tepelné pohody. (32)

11. Fotovoltaická elektrárna

Výpočet výkonu fotovoltaické elektrárny bude popsán pro dny rovnodenností a zimního slunovratu. Výkon fotovoltaické elektrárny v letním období, kdy bude nejvyšší není předmětem této práce. Energie z fotovoltaické elektrárny v letním období může být použita na spotřebu elektrické energie domácích spotřebičů, ohřev teplé užitkové vody a bazénu nebo příkon tepelného čerpadla na ochlazování objektu.

11.1 Potřeba elektrické energie

Příkon tepelného čerpadla

$$P'_1 = \frac{P_{max}}{COP} = \frac{7{,}7}{4} = 1{,}93\ kW \qquad (11.1.1)$$

P'_1 – Příkon tepelného čerpadla

P_{max} – Požadovaný výkon tepelného čerpadla, $P_{max} = Q_{Zmax} \cong 7{,}7\ kW$

COP – Topný faktor

Poznámka: *Pro výpočty bude uvažována hodnota topného faktoru 4 místo teoretických 4,6. Vzniklá rezerva elektrické energie může posloužit jako napájení oběhových čerpadel systému a dalších elektrických spotřebičů kotelny.*

Další potřeba elektrické energie

Ohřev teplé užitkové vody pro domácnost: $\mathrm{P'}_2 = 1\,\mathrm{kW}$

Spotřeba elektrické energie domácnosti: $\mathrm{P'}_3 = 1\,\mathrm{kW}$ (7:00 - 22:00)

Poznámka: *Čistá spotřeba elektrické energie na ohřev teplé užitkové vody byla zjednodušena na* $1\,\mathrm{kW}$ *po celý den. Spotřeba elektrické energie domácích spotřebičů je odhadnuta na* $1\,\mathrm{kW}$ *v časovém intervalu od 7:00 do 22:00.*

Celková orientační potřeba energie

$$\sum P'_i = P'_1 + P'_2 + P'_3 = 3{,}93\ kW \qquad (11.1.2)$$

11.2 Návrh

Orientace a sklon fotovoltaických panelů

Pro návrh fotovoltaické elektrárny je důležitá orientace a sklon vůči Slunci. V České republice vyrobí nejvíce elektřiny panel orientovaný k jihu se sklonem panelu vůči vodorovné rovině 35°. (33) Na obrázku 15 je možné vidět závislost výnosu energie na sklonu a orientaci panelu. Do obrázku je zanesen bod s orientací čistě jižní a sklonem panelů 35°.

Obrázek 15 - Diagram výnosu energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu (33)

Střecha objektu, na kterou je prováděn návrh fotovoltaické elektrárny je vodorovná. Úhel sklonu panelů a jejich orientaci je tedy možné zvolit. Nejvýhodnější je, jak již bylo zmíněno, panely umístit normálou orientované k jihu se sklonem 35°.

Volba fotovoltaických panelů

Plocha střechy je omezená a vezme-li se v úvahu stín panelů, bude nutné panely rozmístit s určitými rozestupy tak, aby se vzájemně co nejméně zastiňovaly. Tím by mohl vzniknout problém s nedostatkem plochy pro umístění požadovaného počtu panelů. Z důvodu úspory místa je tedy vhodné zvolit panely s vysokým špičkovým výkonem. První zvažovanou variantou byl solární panel HT–SAAE 390 Wp MONO. (34) Druhou variantou

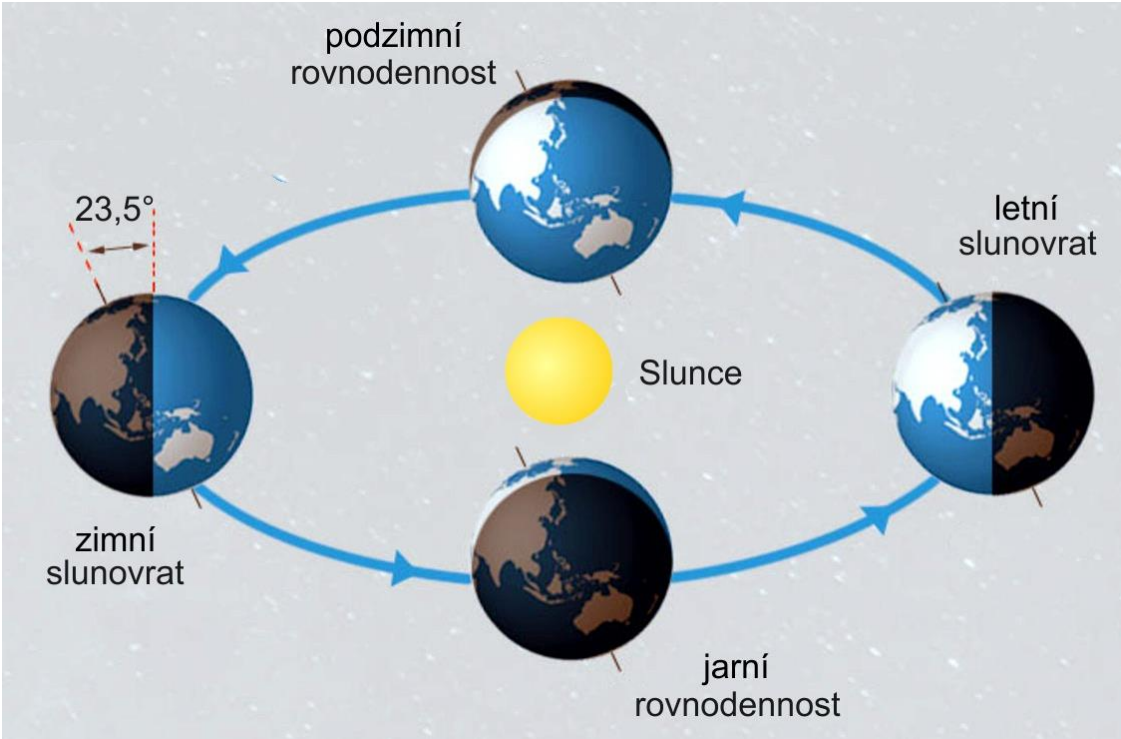
byl solární panel EXE Solar 400 Wp. (35) Oba panely byly co se rozměrů týče téměř identické. Díky vyššímu výkonu pro co největší úsporu místa na střeše rodinného domu byl pro tento návrh vybrán solární panel EXE Solar 400 Wp MONO. V tabulce 5 jsou vypsány základní parametry tohoto panelu.

Vlastnost	**Hodnota**
Výkon [Wp]	400
Max. účinnost [%]	20,29
Rozměry [mm]	1979x996x40
Typ	monokrystalický
Cena s DPH [Kč]	4 871
Životnost (orientační)	25 let

Tabulka 5 – Parametry fotovoltaického panelu EXE Solar 400 Wp MONO (35)

Sklon dopadajících paprsků

Při oběhu Země kolem Slunce dochází k opakovanému přiklánění a odklánění severní a jižní polokoule tak, jak je zobrazeno na obrázku 16. Sluneční paprsky tak nedopadají na jedno místo během roku pod stejným úhlem. Při výpočtu výkonu fotovoltaické elektrárny je potřeba určit úhel, který svírají dopadající paprsky s rovinou panelu. (36)



Obrázek 16 - Schéma oběhu Země kolem Slunce (36)

Lokalita Ústí nad Labem se nachází přibližně na 50° severní šířky. Vztah (11.2.1) popisuje výšku slunce nad obzorem h. Jedná se o úhel, který svírají dopadající paprsky s vodorovnou rovinou ve 12:00 v charakteristických dnech na 50° severní šířky.

$$\mathrm{h} = 90 - (\varphi - \delta) \tag{11.2.1}$$

φ – Zeměpisná šířka, $\varphi \cong 50°$

δ – Deklinace slunce – ve dnech slunovratů nabývá hodnot přibližně $\pm 23{,}45°$ (vyznačeno na obrázku 16)

20.3./20.9 $$\mathrm{h} = 90 - 50 = 40° \tag{11.2.2}$$

22.12. $$\mathrm{h} = 90 - (50 + 23{,}45) = 16{,}55° \tag{11.2.3}$$

Zastínění

Pro návrh fotovoltaické elektrárny na střeše domu je nutné určit, jak dlouhý budou vrhat panely stín. Rozmístění bude navrženo tak, aby bylo vzájemné zastínění panelů co nejmenší a zároveň, aby se panelů na střechu vešlo co nejvíce. Předpokladem pro výpočet bude nulové zastínění ve 12:00 ve všechny vybrané dny. Šířka panelu je z 0,996 m zjednodušena na 1 m.

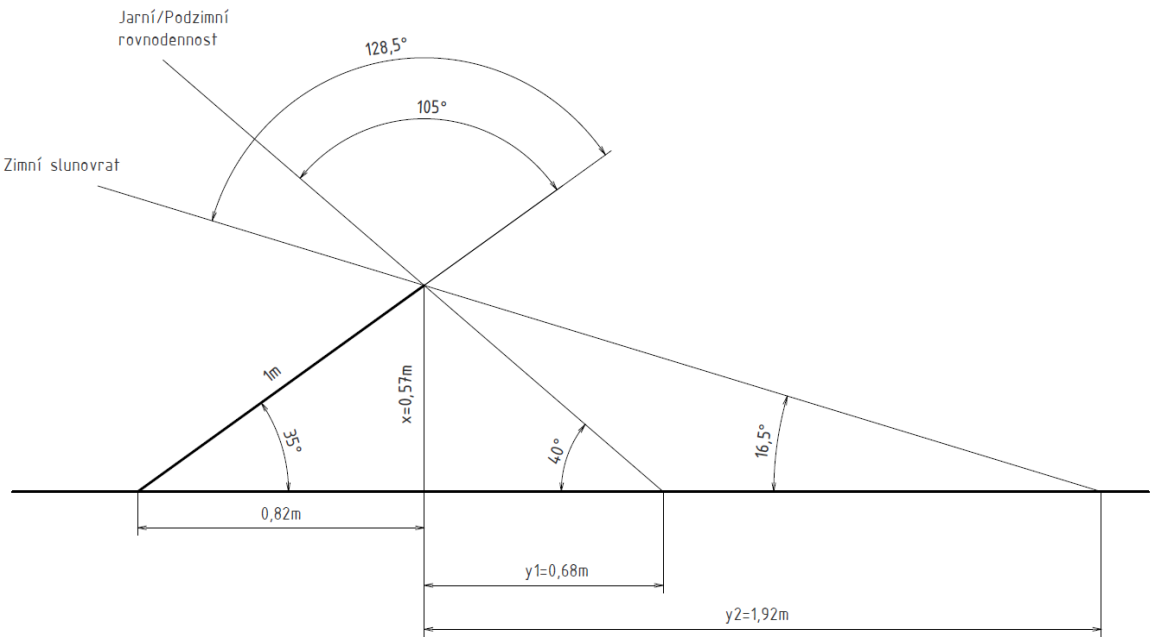
$$x = \sin(35°) \cdot 1 = 0{,}57\ m \tag{11.2.4}$$

20.3./20.9

$$\tan(40°) = \frac{0{,}57}{y_1} \rightarrow y_1 = \frac{0{,}57}{\tan 40°} = 0{,}68\ m \tag{11.2.5}$$

22.12.

$$\tan(16{,}55°) = \frac{0{,}57}{y_2} \rightarrow y_2 = \frac{0{,}57}{\tan 16{,}55°} = 1{,}92\ m \tag{11.2.6}$$



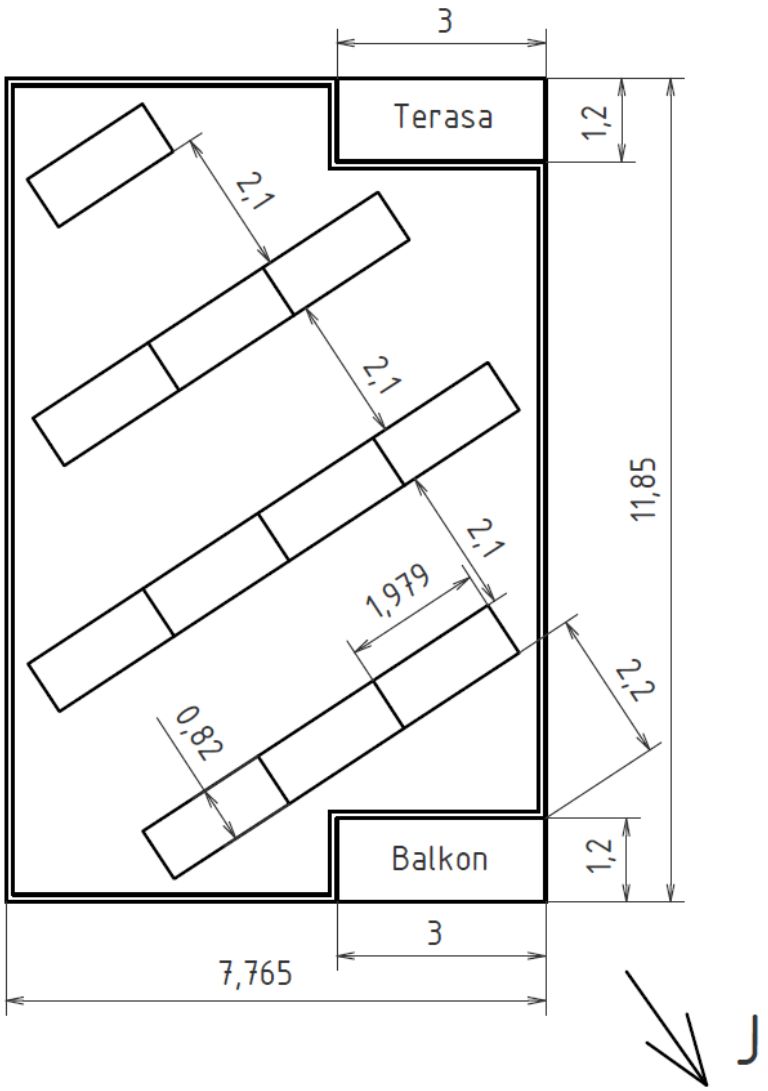
Obrázek 17 - Geometrie dopadajících paprsků a zastínění

Z výsledků je patrné, že největší zastínění v poledne nastane z těchto dnů při zimním slunovratu. Geometrie dopadajících paprsků je znázorněna na obrázku 17. Stín ve 12:00 v den zimního slunovratu je dlouhý 1,92m. Panely budou z důvodu co nejmenšího zastínění na střeše rozmístěny s mezerami 2,1 m.

Poznámka: *Vypočítaná hodnota stínu 1,92 m odpovídá zastínění při zimním slunovratu, kdy je Slunce v nejvyšším bodě. Čím bude Slunce blíže k východu/západu, bude se stín prodlužovat a v některých hodinách dne může být část panelů zastíněna.*

Rozmístění fotovoltaických panelů na střeše

Dle předchozích výpočtů byla stanovena mezera mezi panely kvůli zastínění na 2,1 m. Panely jsou na střeše domu rozmístěny tak, aby jejich normála směřovala jižním směrem a jsou instalovány se sklonem 35°. Při rozmístění znázorněném na obrázku 18 lze na střechu objektu instalovat 11 panelů EXE Solar 400 Wp MONO. Při tomto počtu je celkový instalovaný výkon 4,4 kWp a plocha panelů přibližně 21,7 m^2.

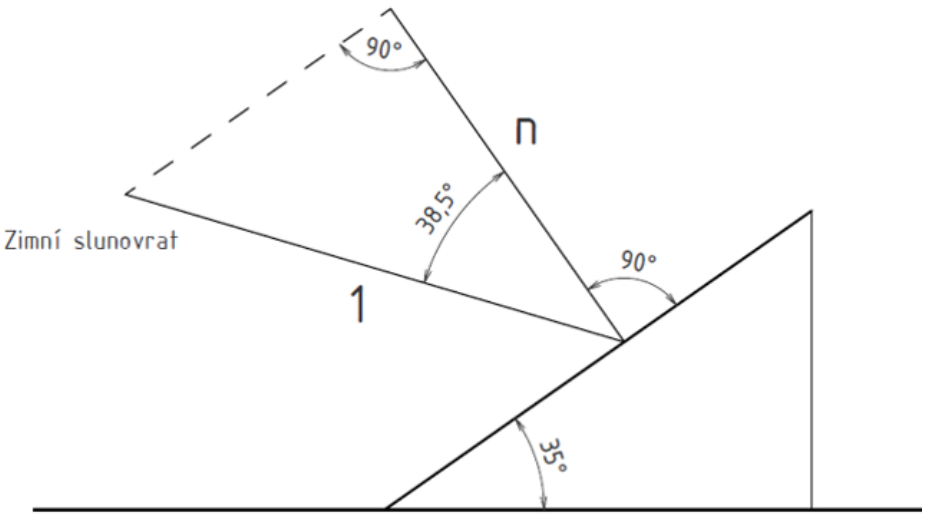


Obrázek 18 - Rozmístění fotovoltaických panelů na střeše domu [m]

11.3 Výkon fotovoltaické elektrárny

Výkon fotovoltaické elektrárny během roku

V kapitole 11.2 byly určeny úhly dopadajících paprsků s vodorovnou rovinou a také s rovinou panelu. Pomocí těchto úhlů jsme schopni dopočítat úhel mezi dopadajícími paprsky a normálou fotovoltaického panelu. Sklopením paprsků do normálového směru zjistíme, jakou část z paprsků lze skutečně využít a jaká část se odrazí. Obrázek 19 zachycuje sklopení paprsků do normálového směru pro zimní slunovrat. Analogický postup se provede i u dnů rovnodennosti.



Obrázek 19 - Sklopení slunečních paprsků do normálového směru pro den zimního slunovratu

$$n = \cos\varphi \tag{11.3.1}$$

20.3./20.9 $$n = \cos(15°) \cdot 1 = 0{,}97 \tag{11.3.2}$$

22.12. $$n = \cos(38{,}5°) \cdot 1 = 0{,}78 \tag{11.3.3}$$

Den	n[–]	n[%]
20.3./20.9	0,97	97
22.12.	0,78	78

Tabulka 6 - Množství absorbovaných paprsků ve vybrané dny

Časy východů a západů Slunce v charakteristické dny

K určení výkonu fotovoltaické elektrárny během dne je nutné znát zejména časy východů a západů slunce v charakteristické dny. Níže uvedené hodnoty dle (37) odpovídají 50° severní šířky a 14° východní délky.

Jarní rovnodennost 20.3.

Východ–Západ: 6:05–18:17 → Zjednodušeno na 6:00–18:00

Slunce v nejvyšším bodě: 12:11 → Zjednodušeno na 12:00

Podzimní rovnodennost 20.9.

Východ–Západ: 5:48–18:06 → Zjednodušeno na 6:00–18:00

Slunce v nejvyšším bodě: 11:57 → Zjednodušeno na 12:00

Zimní slunovrat 22.12.

Východ–Západ: 8:00–16:05 → Zjednodušeno na 8:00–16:00

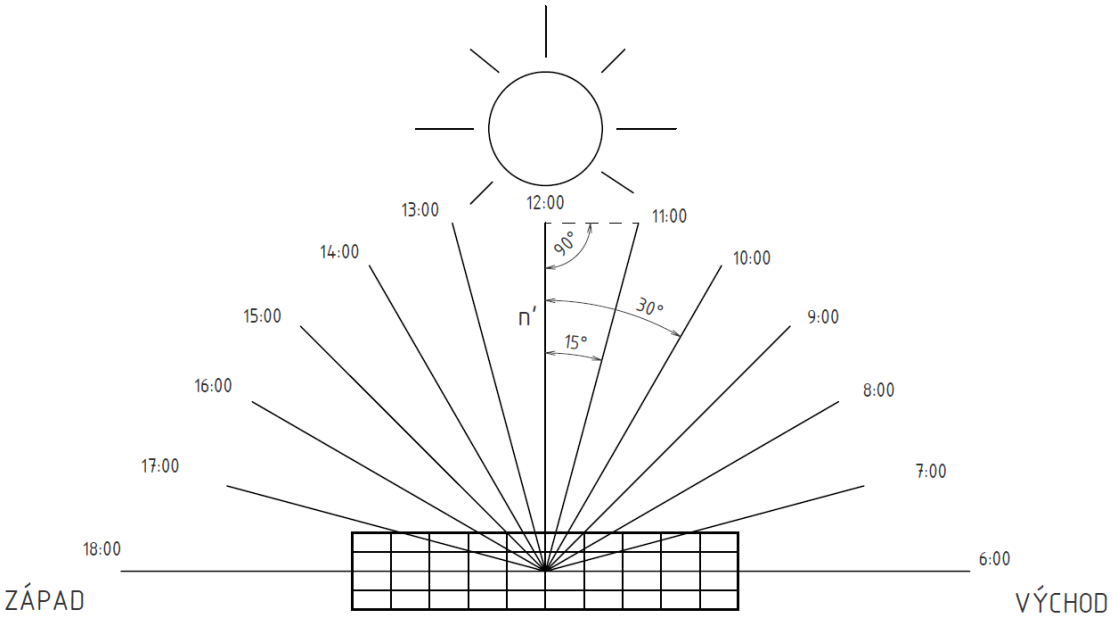
Slunce v nejvyšším bodě: 12:02 → Zjednodušeno na 12:00

Poznámka: *Časové údaje odpovídají středoevropskému, neboli zimnímu času.*

Výkon fotovoltaické elektrárny během dne

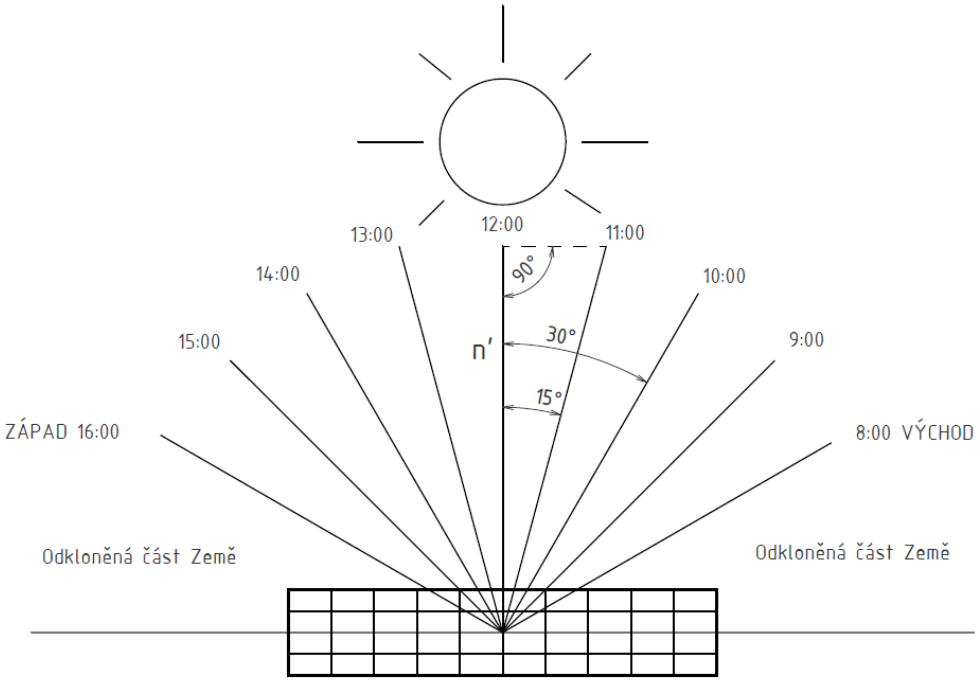
Úhel dopadajících paprsků se nemění jen během roku, ale důsledkem rotace Země kolem své osy také během dne. Výkon fotovoltaické elektrárny proto není během dne konstantní. Maximálního výkonu dosahuje přibližně v poledne, kdy je Slunce nejvýše nad obzorem. Pro následné určení výkonu je nutné opět sklopení do normálového směru.

Obrázek 20 popisuje dráhu Slunce na obloze pro den 20.3., kdy východ nastává přibližně v 6:00, západ v 18:00 a Slunce je v nejvyšším bodě ve 12:00. Den trvá 12 hodin a jedna hodina odpovídá posunu Slunce na obloze přibližně o 15°. Obdobně by vypadal i průběh pro den 20.9.



Obrázek 20 – Sklopení paprsků do normálového směru během dne 20.3./20.9.

Obrázek 21 popisuje situaci v den 22.12., kdy Slunce vychází v 8:00 a zapadá v 16:00. V nejvyšším bodě je ve 12:00 a den trvá 8 hodin. Severní polokoule je odkloněná od Slunce. Jedna hodina odpovídá posunu Slunce na obloze přibližně o 15°.



Obrázek 21 – Sklopení paprsků do normálového směru během dne 22.12

$$n' = \cos\varphi \tag{11.3.4}$$

Tabulky hodnot pro jednotlivé dny

Při výpočtu celkového výkonu fotovoltaické elektrárny je potřeba brát v úvahu oba faktory společně – sklon paprsku dle dnu v roce a sklon dle hodiny během dne. Součin $n \cdot n'$ popisuje skutečné množství paprsků, které je schopna fotovoltaická elektrárna využít.

20.3/20.9.

	Poledne						Východ/Západ →
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
n'[–]	1	0,97	0,87	0,71	0,5	0,26	0
$n \cdot n'$[–]	0,97	0,94	0,84	0,69	0,49	0,25	0
$n \cdot n'$ [%]	97	94	84	69	49	25	0

Tabulka 7 – Množství absorbovaných paprsků během dne 20.3. a 20.9.

22.12

	Poledne				Východ/Západ →
	0°	15°	30°	45°	60°
n'[–]	1	097	0,87	0,71	0,5
$n \cdot n'$[–]	0,78	0,76	0,68	0,55	0,39
$n \cdot n'$ [%]	78	76	68	55	39

Tabulka 8 – Množství absorbovaných paprsků během dne 22.12.

12. Bilance výkonu fotovoltaické elektrárny a potřeby elektrické energie

Okamžitý výkon fotovoltaické elektrárny

V předchozí kapitole byl popsán výpočet výkonu fotovoltaické elektrárny během vybraných dnů. Vztah (12.1) popisuje výkon elektrárny ve vybraný den v konkrétní hodinu. Hodnota 4,4 odpovídá špičkovému výkonu fotovoltaické elektrárny 4,4 kWp.

$$P = 4{,}4 \cdot n \cdot n' \tag{12.1}$$

P – Okamžitý výkon fotovoltaické elektrárny [kW]

Aktuální potřeba elektrické energie

Příkon TČ:

$$P'_1 = \frac{P_a}{COP} = \frac{P_a}{4} \tag{12.2}$$

P_a – Aktuální potřebný tepelný výkon [kW]

Ohřev teplé užitkové vody pro domácnost: $\mathrm{P'}_2 = 1\,\mathrm{kW}$

Spotřeb elektrické energie domácnosti: $\mathrm{P'}_3 = 1\,\mathrm{kW}$ (7:00 – 22:00)

Celková potřeba energie

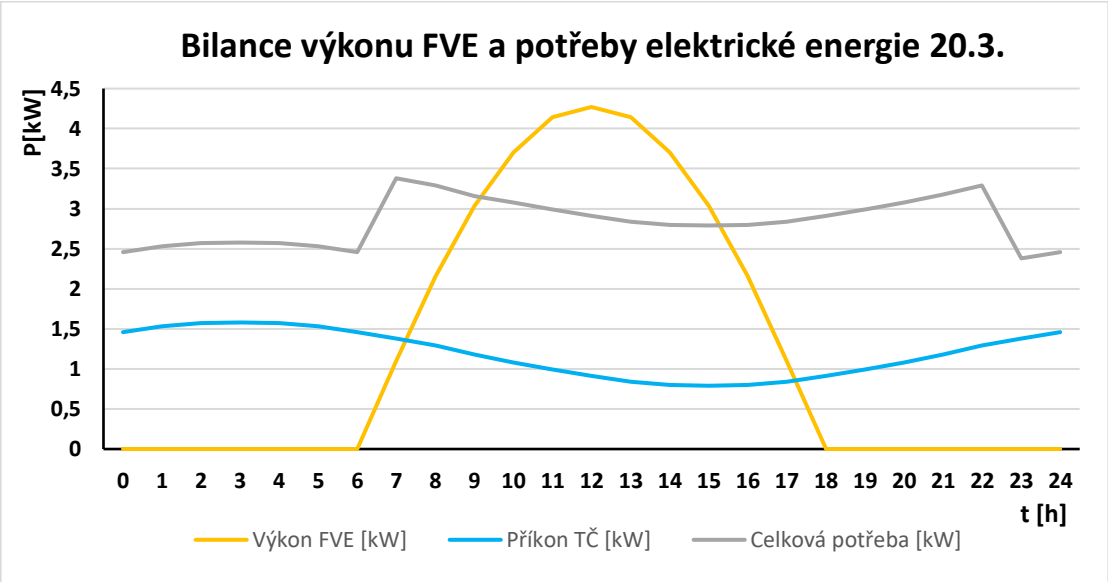
$$\sum P'_i = P'_1 + P'_2 + P'_3 \tag{12.3}$$

Poznámka: *Celková potřeba energie zahrnuje příkon tepelného čerpadla, průměrnou hodnotu 1kW tepla na ohřátí teplé užitkové vody po celý den a 1kW spotřebu elektrické energie domácnosti od 7:00 do 22:00.*

12.1 Bilance pro 20.3.

Hodiny	Výkon FVE [kW]	Příkon TČ [kW]	Celková potřeba [kW]
0	0	1,46	2,46
1	0	1,53	2,53
2	0	1,57	2,57
3	0	1,58	2,58
4	0	1,57	2,57
5	0	1,53	2,53
6	0	1,46	2,46
7	1,1	1,38	3,38
8	2,16	1,29	3,29
9	3,04	1,18	3,16
10	3,70	1,08	3,08
11	4,14	0,99	2,99
12	4,27	0,91	2,91
13	4,14	0,84	2,84
14	3,70	0,80	2,80
15	3,04	0,79	2,79
16	2,16	0,80	2,80
17	1,1	0,84	2,84
18	0	0,91	2,91
19	0	0,99	2,99
20	0	1,08	3,08
21	0	1,18	3,18
22	0	1,29	3,29
23	0	1,38	2,38
24	0	1,46	2,46

Tabulka 9 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 20.3.

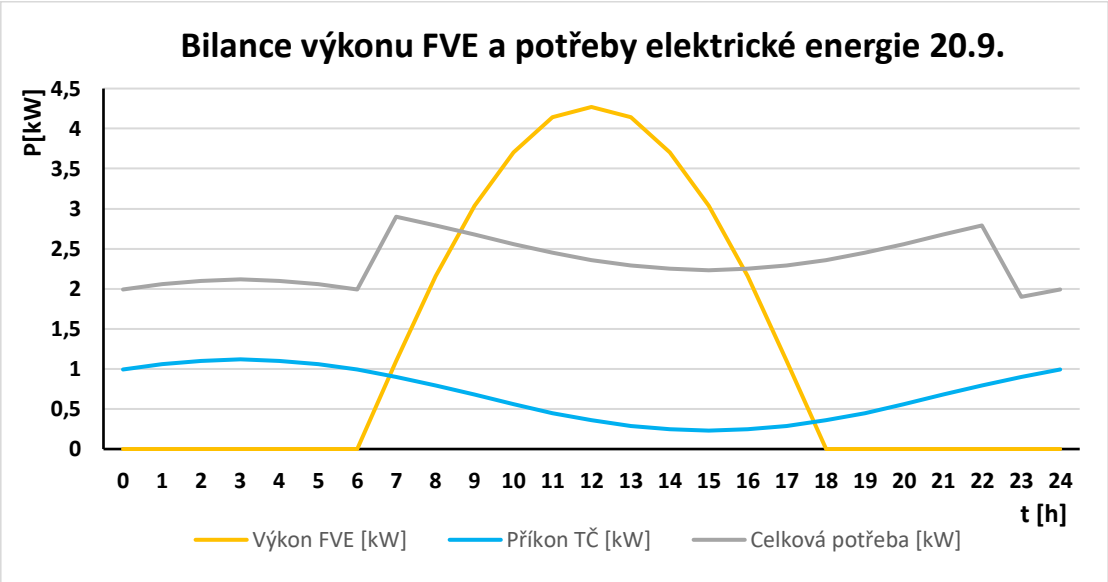


Obrázek 22 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 20.3.

12.2 Bilance pro 20.9.

Hodiny	Výkon FVE [kW]	Příkon TČ [kW]	Celková potřeba [kW]
0	0	0,99	1,99
1	0	1,06	2,06
2	0	1,10	2,10
3	0	1,12	2,12
4	0	1,10	2,10
5	0	1,06	2,06
6	0	0,99	1,99
7	1,1	0,90	2,90
8	2,16	0,79	2,79
9	3,04	0,68	2,68
10	3,70	0,56	2,56
11	4,14	0,45	2,45
12	4,27	0,36	2,36
13	4,14	0,29	2,29
14	3,70	0,25	2,25
15	3,04	0,23	2,23
16	2,16	0,25	2,25
17	1,1	0,29	2,29
18	0	0,36	2,36
19	0	0,45	2,45
20	0	0,56	2,56
21	0	0,68	2,68
22	0	0,79	2,79
23	0	0,90	1,90
24	0	0,99	1,99

Tabulka 10 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 20.9.

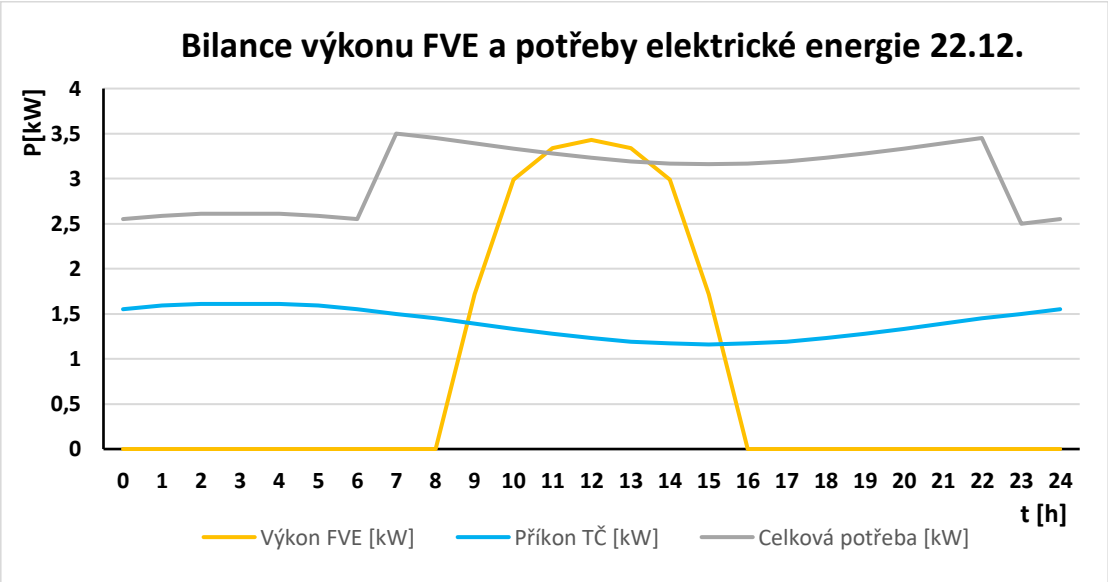


Obrázek 23 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 20.9.

12.3 Bilance pro 22.12.

Hodiny	Výkon FVE [kW]	Příkon TČ [kW]	Celková potřeba [kW]
0	0	1,55	2,55
1	0	1,59	2,59
2	0	1,61	2,61
3	0	1,61	2,61
4	0	1,61	2,61
5	0	1,59	2,59
6	0	1,55	2,55
7	0	1,5	3,5
8	0	1,45	3,45
9	1,72	1,39	3,39
10	2,99	1,33	3,33
11	3,34	1,28	3,28
12	3,43	1,23	3,23
13	3,34	1,19	3,19
14	2,99	1,17	3,17
15	1,72	1,16	3,16
16	0	1,17	3,17
17	0	1,19	3,19
18	0	1,23	3,23
19	0	1,28	3,28
20	0	1,33	3,33
21	0	1,39	3,39
22	0	1,45	3,45
23	0	1,5	2,5
24	0	1,55	2,55

Tabulka 11 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 22.12.



Obrázek 24 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 22.12.

Poznámka: *Výpočet výkonů fotovoltaické elektrárny je zjednodušený. Není uvažováno stárnutí panelů, kdy se účinnost snižuje přibližně o 0,7 % ročně. Dále není uvažováno znečištění ovzduší, oblačnost nebo pokrytí panelu sněhem nebo námrazou. Výkon fotovoltaické elektrárny je uvažován pouze, když je Slunce nad obzorem a vliv difúzního záření je také zanedbán.*

13. Ekonomická bilance

V této části bude provedena hrubá bilance investičních nákladů a úspor návrhu. U hodnot, kde je zmíněno, že jde o hrubý odhad jsou hodnoty orientační. Přesné hodnoty závisí na mnoho dalších faktorech, kterými se tato práce dále nezabývá.

13.1 Investiční náklady

Fotovoltaická elektrárna

Fotovoltaické panely:	$11 \cdot 4\,871 = 53\,581,-$ Kč
Instalace panelů a jejich konstrukce:	200 000,- Kč (hrubý odhad)
Třífázový střídač:	33 684,- Kč (38)

Topný systém

Tepelné čerpadlo:	209 209,– Kč (30)
Vrt o průměru 150 mm a hloubce 100 m:	150 000,– Kč (39) (hrubý odhad)
Úprava stávající topné soustavy:	100 000,– Kč (hrubý odhad)

Zateplení

Podlaha a střecha budou zatepleny dvěma vrstvami tepelné izolace. Plocha podlahy a střechy bude tedy ve výpočtu uvažována dvakrát.

$$S_Z = S + 2 \cdot S_S + 2 \cdot S_P \tag{13.1.1}$$

S_Z – Čistá plocha, která je potřeba zateplit

S – Čistá plocha ochlazovaných stěn, dle (9.2.4) $S \cong 208\,m$

S_S – Plocha ochlazované střechy, dle (9.4.1) $S_S \cong 92\,m$

S_P – Plocha ochlazované podlahy, dle (9.3.1) $S_P \cong 92\,m$

$$S_Z = 208 + 2 \cdot 92 + 2 \cdot 92 = 576\,m^2 \qquad (13.1.2)$$

Vláknitá izolace 690 m^2: 159 040 Kč (40)

Montáž zateplení: 250 000 Kč (hrubý odhad)

Poznámka: *Prakticky je třeba uvažovat plochu izolace větší než je čistá zateplovaná plocha (rezerva na prořezy). Plocha tepelné izolace je volena o 20% větší než je čistá zateplovaná plocha. Cena montáže zateplení (zahrnuje montážní práce, dopravu, lešení) je odhadnuta na 250 000 Kč.*

Ostatní investiční náklady

Projekt: 50 000 Kč (hrubý odhad)

Položka	**Náklady [Kč]**
Fotovoltaické panely (11ks)	53 581
Instalace FVE + konstrukce panelů	200 000
Střídač	33 684
Tepelná izolace	159 040
Montáž zateplení	250 000
Úprava stávající topné soustavy	100 000
Tepelné čerpadlo	209 200
Vrt	150 000
Projekt	50 000
∑	**1 205 505**

Tabulka 12 – Investiční náklady

13.2 Nová zelená úsporám – dotace

Výše podpor jsou orientační dle (41). Získat je možné až 50 % celkových výdajů za jednotlivé položky.

Zateplení: 200 000 Kč

Fotovoltaický systém spolupracující s TČ: 140 000 Kč

Tepelné čerpadlo: 100 000 Kč

Položka	**Náklady [Kč]**
Investice	1 205 505
Dotace na zateplení	- 200 000
Dotace na FVE	- 140 000
Dotace na TČ	- 100 000
Celková investice	**765 505**

Tabulka 13 – Shrnutí celkové investice pro realizaci návrhu s dotacemi (41)

13.3 Úspory

Celková úspora navrhovaného systému bude kombinací úspory ze zateplení, fotovoltaické elektrárny a tepelného čerpadla s podlahovým vytápěním. Bude proveden zjednodušený výpočet spotřeby elektrické energie na vytápění před zateplením, po zateplení, po zateplení s tepelným čerpadlem a následně po zateplení s tepelným čerpadlem a fotovoltaickou elektrárnou.

13.3.1 Stav před zateplením

Třicetiletý průměr teplot (1961–1990) v měsících otopného období:

Měsíc								
9	10	11	12	1	2	3	4	5
Měsíční průměry teploty vzduchu - t_e' [°C]								
13,3	8	3,4	-0,5	-2,5	-1,5	2,4	7,6	12,8

Tabulka 14 – Měsíční průměry teplot a počet hodin v měsíci (42)

Výpočet průměrné měsíční tepelné ztráty:

$$Q_Z = Q_{Zmax} \cdot \frac{(t_i - t_e')}{(t_i - t_e)} \tag{13.3.1}$$

$$Q_{Zleden} = 13{,}3 \cdot \frac{\left(22 - (-2{,}5)\right)}{\left(22 - (-12)\right)} = 9{,}58\ kW \tag{13.3.2}$$

Hodnota $\boldsymbol{Q_{Zmax} \cong 13{,}3\ kW}$ před zateplením byla rovněž určena pomocí software dostupném na portálu TZB-info. (27) Postup výpočtu byl stejný jako v kapitole 9.5. Pouze za hodnoty součinitelů prostupu tepla obálkou domu byly dosazeny hodnoty před zateplením. Výpočet (13.3.2) popisuje průměrnou tepelnou ztrátu v lednu. Ostatní měsíce otopného období budou vypočteny analogicky a shrnuty v tabulce 15.

Měsíc								
9	10	11	12	1	2	3	4	5
Průměrná tepelná ztráta Q_Z pro daný měsíc [kW]								
3,40	5,48	7,28	8,80	9,58	9,19	7,67	5,63	3,60
Počet hodin v měsíci								
720	744	720	744	744	672	744	720	744

Tabulka 15 – Průměrné tepelné ztráty před zateplením a počty hodin v jednotlivých měsících

Poznámka: *Účinnost přeměny elektrické energie na teplo bude uvažována zjednodušeně 100%.*

Množství potřebné elektrické energie na vytápění se získá vynásobením průměrné tepelné ztráty v daném měsíci s počtem hodin v tomto měsíci. Množství potřebné elektrické energie na vytápění je shrnuto v tabulce 16.

Měsíc									Σ
9	10	11	12	1	2	3	4	5	
Množství elektrické energie na vytápění [kWh]									
2448	4077	5242	6547	7126	6176	5706	4054	2678	**44 054**

Tabulka 16 – Množství elektrické energie na vytápění v měsících otopného období

Vypočtená tepelná ztráta byla převedena na spotřebu elektrické energie za otopné období. Z potřeby elektrické energie budou určeny roční náklady na vytápění elektrokotlem. Cena elektrické energie bude uvažována dle dvoutarifové sazby D35d od dodavatele ČEZ. V tabulce 17 jsou vypsány ceny elektrické energie při vysokém a nízkém tarifu. Doba nízkého tarifu při sazbě D35d je 16 hodin denně, doba vysokého tarifu je 8 hodin. (43)

Cena za 1 kWh v Kč včetně DPH	Vysoký tarif	2,70
	Nízký tarif	2,42

Tabulka 17 – Ceny elektrické energie dle tarifu D35d (43)

Ceny elektrické energie na vytápění objektu ve stavu před zateplení jsou shrnuty v tabulce 18.

Potřeba tepla [kWh]	Nízký tarif v Kč	Vysoký tarif v Kč	**Celková cena v Kč**
44 054	71 074	39 649	**110 723**

Tabulka 18 – Ceny elektrické energie na vytápění za otopné období před zateplením

Tepelná ztráta bez zateplení $Q_{Zmax} \cong 13{,}3\ kW$ je z pohledu ceny elektrické energie a potřeby tepla na vytápění vysoká. Následovat bude výpočet ceny elektrické energie za vytápění s uvažováním tepelné izolace.

13.3.2 Stav po zateplení

Výpočet průměrné měsíční tepelné ztráty:

Hodnota $\boldsymbol{Q_{Zmax} \cong 7{,}7\ kW}$ po zateplením byla určena v kapitole 9.5. Průměrné měsíční teploty jsou dosazovány z tabulky 14. Výpočet celkové ceny elektrické energie na vytápění domu se zateplením bude proveden analogicky k výpočtu při stavu před zateplením.

$$Q_Z = Q_{Zmax} \cdot \frac{(t_i - t_e')}{(t_i - t_e)} \tag{13.3.3}$$

$$Q_{Zleden} = 7{,}7 \cdot \frac{\left(22 - (-2{,}5)\right)}{\left(22 - (-12)\right)} = 5{,}55\ kW \tag{13.3.4}$$

Měsíc								
9	10	11	12	1	2	3	4	5
Tepelná ztráta Q_Z pro daný měsíc [kW]								
1,97	3,17	4,21	5,10	5,55	5,32	4,44	3,26	2,08

Tabulka 19 – Průměrné tepelné ztráty po zateplení

Poznámka: *Účinnost přeměny elektrické energie na teplo bude uvažována zjednodušeně 100%.*

Měsíc									Σ
9	10	11	12	1	2	3	4	5	
Množství elektrické energie na vytápění [kWh]									
1418	2358	3032	3794	4129	3575	3302	2347	1548	**25 503**

Tabulka 20 – Množství elektrické energie na vytápění po zateplení

Pro výpočet ceny elektrické energie po zateplení bude uvažována stejná sazba D35d jako před zateplením s dobou trvání nízkého tarifu (2,42 Kč/kWh) 16 hodin a vysokého tarifu (2,70 Kč/kWh) 8 hodin.

Potřeba tepla [kWh]	Nízký tarif v Kč	Vysoký tarif v Kč	**Celková cena v Kč**
25 503	41 145	22 953	**64 097**

Tabulka 21 – Ceny elektrické energie na vytápění za otopné období po zateplení

13.3.3 Stav po zateplení s tepelným čerpadlem

Hodnota topného faktoru, který pro výpočtu uvažujeme je 4 (teoretická je 4,6). Potřeba tepla na otopné období je 25 503 kWh. Výpočtem (13.3.5) se určí elektrická energie, kterou je nutno tepelnému čerpadlu dodat.

$$P' = \frac{25\,503}{4} = 6376\ kWh \qquad (13.3.5)$$

Cena elektrické energie bude uvažována dle dvoutarifové sazby D56d od dodavatele ČEZ. Jedná se o dvoutarifovou sazbu pro vytápění s tepelným čerpadlem. V tabulce 22 jsou vypsány ceny elektrické energie při vysokém a nízkém tarifu. Doba nízkého tarifu při sazbě D56d je 22 hodin denně, doba vysokého tarifu je 2 hodiny. (44)

Cena za 1 kWh v Kč včetně DPH	Vysoký tarif	2,45
	Nízký tarif	2,36

Tabulka 22 – Ceny elektrické energie dle tarifu D56d (43)

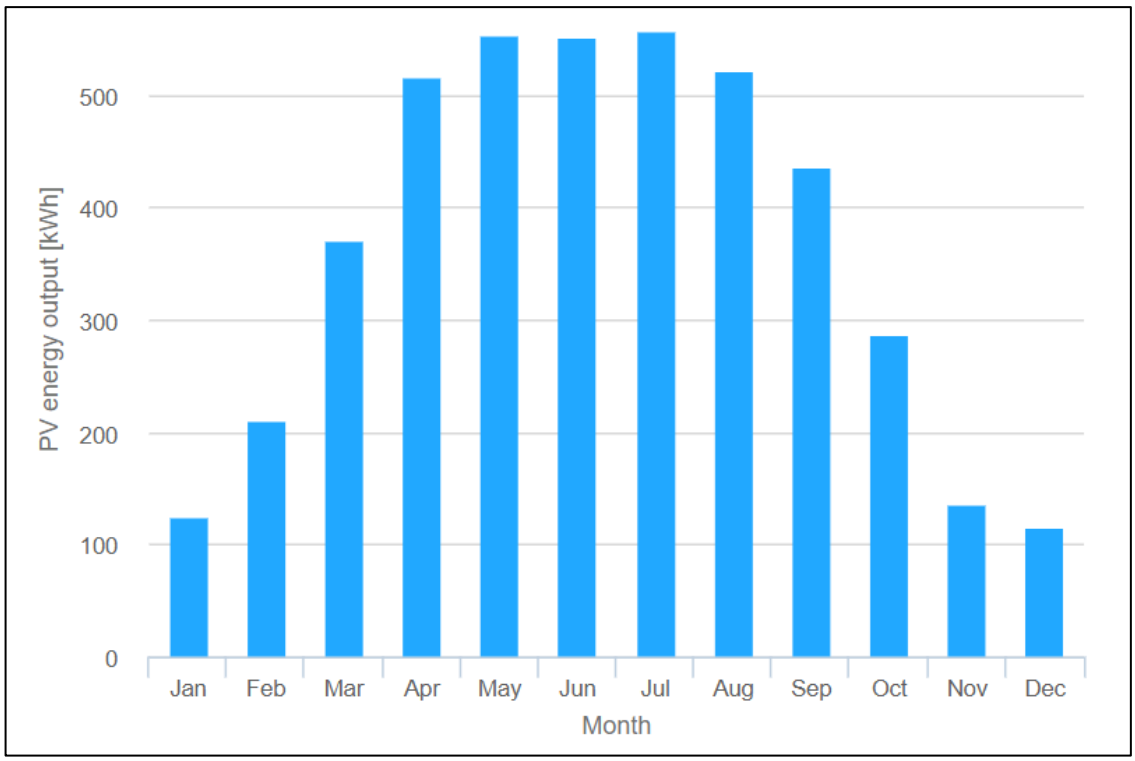
Příkon TČ [kWh]	Nízký tarif v Kč	Vysoký tarif v Kč	**Celková cena v Kč**
6 376	13 793	1 301	**15 094**

Tabulka 23 – Ceny elektrické energie na vytápění za otopné období po zateplení s tepelným čerpadlem

13.3.4 Stav po zateplení s tepelným čerpadlem a fotovoltaickou elektrárnou

Graf na obrázku 25 popisuje množství vyrobené elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou o výkonu 4,4 kWp během roku na 50° severní šířky a 14° východní délky. Graf

byl vytvořen pomocí internetového programu dostupného na stránkách evropského fotovoltaického geografického systému (45). Orientace je předpokládána jižní a sklon panelů 35°. Vodorovná osa zobrazuje měsíce od ledna do prosince. Svislá osa množství vyrobené elektrické energie v kWh. Celkové množství vyrobené energie za rok je dle tohoto programu 4 380 kWh. Zjednodušeně platí, že v podmínkách České republiky vyrobí solární panely o instalovaném výkonu 1 kWp zhruba 1000 kWh elektrické energie ročně (4,4 kWp výkonu vyrobí celkem zhruba 4 400 kWh za rok). (7) V tabulce 24 je shrnuto množství vyrobené elektrické energie v měsících otopného období, které je odečteno z grafu.



Obrázek 25 – Množství vyrobené elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou (45)

Množství vyrobené elektrické energie v měsících otopného období [kWh]

Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Σ
420	390	120	110	110	205	370	510	540	**2775**

Tabulka 24 – Množství vyrobené energie v jednotlivých měsících [kWh]

Úspora

Úspora bude počítána pro cenu elektrické energie z tarifu D35d s dobou trvání nízkého tarifu (2,42 Kč/kWh) 16 hodin a vysokého (2,70 Kč/kWh) tarifu 8 hodin.

Vyrobená elektrická energie [kWh]	Nízký tarif v Kč	Vysoký tarif v Kč	**Celková úspora v Kč**
2 775	4 477	2 498	**6 975**

Tabulka 25 – Úspora vyrobené elektrické energie za otopné období

13.3.5 Shrnutí úspor za jedno otopné období

Stav	Před zateplením	Po zateplení	Po zateplení s TČ	Po zateplení s TČ a FVE	∑
Výdaje na vytápění [Kč]	110 723	64 097	15 094	8 119	-
Úspory [Kč]	-	46 626	49 003	6975	**102 604**

Tabulka 26 – Shrnutí úspor za jedno otopné období

14. Závěr

14.1 Zhodnocení práce

Zpracovaná bakalářská práce se zabývala optimalizací tepelného čerpadla s fotovoltaickou elektrárnou na střeše rodinného domu. Součástí optimalizace byl návrh zateplení obálky domu. Cílem práce bylo stanovení tepelných výkonů v charakteristických dnech roku (jarní a podzimní rovnodennost a zimní slunovrat), dále stanovení bilancí energetických výnosů fotovoltaické elektrárny a energetické potřeby pro vytápění (+ potřeba na ohřev teplé užitkové vody a spotřeba domácích spotřebičů).

V úvodu bakalářské práce byla zpracována rešerše zabývající se úvodem do problematiky výroby elektrické energie ve fotovoltaických panelech. Následně byl popsán princip funkce tepelného čerpadla a typy tepelných čerpadel s jejich výhodami a nevýhodami. Návrhová část se v úvodu zabývala určením orientační tepelné ztráty objektu

dle ČSN 06 0210. Z důvodu snížení energetické náročnosti objektu bylo navrhnuto zateplení obálky domu. Tepelná ztráta objektu po zateplení byla stanovena na 7,7 kW. Na základě zpracované rešerše byl vybrán vhodný typ tepelného čerpadla s požadovaným tepelným výkonem. Dále byla navrhnuta fotovoltaická elektrárna na střeše rodinného domu s instalovaným výkonem 4,4 kWp. Energetické výnosy fotovoltaické elektrárny během charakteristických dnů byly následně porovnány s energetickými potřebami. Poslední částí práce byla ekonomická bilance projektu a jeho návratnost. Návratnost projektu vyšla přibližně 8 let.

14.2 Další možný vývoj problematiky

Návratnost projektu vyšla přibližně 8 let, což je optimistické. Je třeba brát v úvahu, že je uvažováno vytápění elektrokotlem již při nezatepleném objektu s tepelnou ztrátou 13,3 kW. Pro reálnější představu návratnosti projektu by bylo vhodné uvažovat a porovnat i jiné zdroje energie pro vytápění. V případě například uhlí a dřeva bude návratnost značně horší z důvodu nezapočítání práce, dopravy, přípravy paliva nebo nutnosti jeho skladování. Další problematikou je využití vyrobené přebytkové elektrické energie. V letních měsících při jejím přebytku je možné například chlazení objektu ve spolupráci s tepelným čerpadlem, nebo vytápění bazénu. Při přebytku během dne je vhodné energii akumulovat a následně pokrýt ztrátu při nedostatku.

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Schéma fotovoltaického článku [3] 12
Obrázek 2 – Průměrný roční dopad energie slunečního záření v České republice [kWh/m^2] [8] 15
Obrázek 3 – Princip funkce tepelného čerpadla (typ vzduch – voda) [46] 16
Obrázek 4 – Příklad umístění venkovní jednotky [11] 17
Obrázek 5 – Tepelné čerpadlo typu voda–voda [14] 18
Obrázek 6 – Příklad uložení plošných kolektorů [16] 19
Obrázek 7 – Tepelné čerpadlo země–voda (geotermální vrt) [18] 20
Obrázek 8 – Rodinný dům, pro který je návrh zpracován [19] 23
Obrázek 9 – Výpočet tepelné ztráty obálkové konstrukce dle ČSN 06 0210 [28] 32
Obrázek 10 – Výpočet tepelné ztráty obálkové konstrukce dle ČSN 06 0210 [28] 33
Obrázek 11 - Průběh teplot ve vybraných dnech 35
Obrázek 12 - Průběh tepelné ztráty ve vybraných dnech 37
Obrázek 13 – Tepelné čerpadlo AquaMaster Inverter [30] 38
Obrázek 14 – Rozměry a připojení tepelného čerpadla [31] 39
Obrázek 15 - Diagram výnosu energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu [33] 41
Obrázek 16 - Schéma oběhu Země kolem Slunce [36] 43
Obrázek 17 - Geometrie dopadajících paprsků a zastínění 44
Obrázek 18 - Rozmístění fotovoltaických panelů na střeše domu [m] 45
Obrázek 19 - Sklopení slunečních paprsků do normálového směru pro den zimního slunovratu 46
Obrázek 20 – Sklopení paprsků do normálového směru během dne 20.3./20.9. 48
Obrázek 21 – Sklopení paprsků do normálového směru během dne 22.12 48
Obrázek 22 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 20.3. 51
Obrázek 23 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 20.9. 52
Obrázek 24 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 22.12. 53
Obrázek 25 – Množství vyrobené elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou [45] ... 61

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Výhody a nevýhody jednotlivých typů tepelných čerpadel 21
Tabulka 2 - Hodinový průběh teplot vybraných dnů 35
Tabulka 3 - Hodinový průběh tepelné ztráty ve vybraných dnech 36
Tabulka 4 – Parametry tepelného čerpadla [31] 38
Tabulka 5 – Parametry fotovoltaického panelu EXE Solar 400 Wp MONO [35] 42
Tabulka 6 - Množství absorbovaných paprsků ve vybrané dny 46
Tabulka 7 – Množství absorbovaných paprsků během dne 20.3. a 20.9. 49
Tabulka 8 – Množství absorbovaných paprsků během dne 22.12. 49
Tabulka 9 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 20.3. 51
Tabulka 10 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 20.9. 52
Tabulka 11 – Bilance výkonu FVE a potřeby elektrické energie 22.12. 53
Tabulka 12 – Investiční náklady 55
Tabulka 13 – Shrnutí celkové investice pro realizaci návrhu s dotacemi [41].....56
Tabulka 14 – Měsíční průměry teplot a počet hodin v měsíci [42] 57
Tabulka 15 – Průměrné tepelné ztráty před zateplením a počty hodin v jednotlivých měsících 57
Tabulka 16 – Množství elektrické energie na vytápění v měsících otopného období 58
Tabulka 17 – Ceny elektrické energie dle tarifu D35d [43] 58
Tabulka 18 – Ceny elektrické energie na vytápění za otopné období před zateplením ..58
Tabulka 19 – Průměrné tepelné ztráty po zateplení 59
Tabulka 20 – Množství elektrické energie na vytápění po zateplení 59
Tabulka 21 – Ceny elektrické energie na vytápění za otopné období po zateplení 60
Tabulka 22 – Ceny elektrické energie dle tarifu D56d [43] 60
Tabulka 23 – Ceny elektrické energie na vytápění za otopné období po zateplení s tepelným čerpadlem 60
Tabulka 24 – Množství vyrobené energie v jednotlivých měsících [kWh] 61
Tabulka 25 – Úspora vyrobené elektrické energie za otopné období 62
Tabulka 26 – Shrnutí úspor za jedno otopné období 62

Použitá literatura

(1) *TZB-info-fotovoltaika* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika

(2) *Oenergetice.cz: Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti

(3) HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. 1. české vydání. Ostrava - Plesná: HEL, 2010. ISBN 978-80-86167-33-6.

(4) HRDLIČKA, Jan. Ekonomika energetiky. In: *Moodle - ČVUT* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/215679/mod_resource/content/1/05_solarni_energie_cast2.pdf

(5) *Bohemia civil engineering: Fotovoltaické elektrárny* [online]. 2019 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://www.bce.cz/3-typy-fotovolatickych-panelu/

(6) *A3, v.o.s.: Fotovoltaické panely* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: http://www.a3.cz/solarni-panely-informace.php

(7) *Solární experti: Jak velkou fotovoltaickou elektrárnu potřebujete?* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://www.solarniexperti.cz/kolik-solarnich-panelu-na-strechu-potrebujete/

(8) *Pro agro xxl - solární energie* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.poagroxxl.com/solarni-energie/

(9) ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. První. 2013. ISBN 80-239-0275-X.

(10) *TZB-info Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla

(11) *A-Technology: Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: http://www.a-technology.cz/tepelna-cerpadla

(12) *Tepelná čerpadla Mastertherm: Tepelné čerpadlo voda-voda* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://mastertherm.cz/sortiment/tepelna-cerpadla-voda-voda/

(13) *Tepelná čerpadla IVT - TČ voda-voda: Tepelné čerpadlo voda-voda* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-voda-voda-studny

(14) *Fotovoltaika nwt - TČ voda-vzduch* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: http://fotovoltaika.nwt.cz/tepelna-cerpadla/

(15) *GETRA - plošné kolektory* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.getra.cz/problematiky/plosne-kolektory

(16) *REHAU - Plošný kolektor* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.rehau.com/cz-cs/stavebnictvi-podnikatele/obnovitelne-energie/geotermie/zemni-plosny-kolektor-raugeo

(17) *GETRA - Geotermální vrty* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.getra.cz/problematiky/geotermalni-vrty

(18) *Tepelná čerpadla IVT - Geotermální vrt* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vrt

(19) *Google maps street view - foto objektu* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://www.google.com/maps/@50.6317951,14.0566746,3a,75y,359.42h,93.66t/data=!3m6!1e1!3m4!1s1GubazOQZyduxxhbB6RxMA!2e0!7i16384!8i8192

(20) *TZB-info - Katalog stavebních materiálů* [online]. In: . [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000086_katalog.html

(21) *Technický list - Baumit Klima RK 70 N* [online]. In: . [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://baumit.cz/files/cz/pdf_files/pdbl_kalkin_rk_70_n.pdf

(22) *Technický list - Baumit Termo omítka extra* [online]. In: . [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://baumit.cz/files/cz/pdf_files/pdbl_thermoextra.pdf

(23) *TZB-info-Odpor při přestupu tepla* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/314-odpor-pri-prestupu-tepla

(24) *TZB-info - Normové hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2:2011* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky

(25) ZEVEL, Ladislav. *Podlahové topení: Návrh povrchové krytiny pro podlahové topení* [online]. In: . [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000086_katalog.html

(26) HEJHÁLEK, Jiří. *Tepelné vlastnosti vzduchové mezery* [online]. In: . [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/vlastnosti-vzduchove-mezery

(27) REINBERK, Zdeněk. *TZB-info - Výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210* [online]. In: . [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/107-vypocet-tepelne-ztraty-objektu-dle-csn-06-0210

(28) *ČSN 06 0210: Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. 1994.

(29) *Český hydrometeorologický ústav - historická data* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/data-ze-stanic-site-RBCN#

(30) *MasterTherm - Tepelná čerpadla AquaMaster Inverter* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://mastertherm.cz/tepelne-cerpadlo-aquamaster-inverter/

(31) *Tepelná čerpadla MasterTherm - Katalog* [online]. In: . [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://mastertherm.cz/wp-content/uploads/2019/04/AquaMaster-Inverter-2019_MasterTherm.pdf

(32) POJAR, Petr. *České stavby* [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: https://www.ceskestavby.cz/clanky/podlahove-vytapeni-uspori-naklady-na-topeni-21731.html

(33) BECHNÍK, Bronislav. TZB-info - Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. *TZB.info* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu

(34) *IFtech: Solární panel HT-SAAE 390Wp MONO* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://shop.iftech.cz/monokrystalicke-panely/2097-solarni-panel-ht-saae-390wp-mono-stribrny-ram.html

(35) *Iftech: Solární panel EXE Solar 400Wp MONO* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://shop.iftech.cz/solarni-panely/2308-solarni-panel-exe-solar-400wp-mono-stribrny-ram.html

(36) *Aldebaran - střídání ročních období* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2016_34_equ.php

(37) *Meteogram: Východ - Západ Slunce* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/

(38) *SVP Solar - Střídače GoodWe DT 5000* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://www.solar-eshop.cz/p/stridac-goodwe-dt-5000/

(39) *Vodovrty - vrty pro tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://www.vodovrty.cz/clanky-cena-vrtu-pro-tepelne-cerpadlo.html

(40) *Baushop - Tepelná izolace* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://www.baushop.cz/isover-uni?tloustka=160

(41) *Nová zelená úsporám - nabídka dotací* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/

(42) STÁRKOVÁ, Mirka. *Klimatologické údaje* [online]. In: . [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/dokument/36.pdf

(43) *ČEZ - Ceník elektrické energie 2020* [online]. In: . [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2020/moo/web-cenik_elektrina_na-3-roky_moo_202001_cezdi.pdfhttps://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2020/moo/web-cenik_elektrina_na-3-roky_moo_202001_cezdi.pdf

(44) *TZB-info Přehled cen elektrické energie* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-prehled-cen-elektricke-energie#d25

(45) *Photovoltaic geographical information system* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

(46) *Revel - Princip tepelného čerpadla* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://www.revel-pex.com/princip-tepelneho-cerpadla.html