

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

Diplomová práce



Využití solárních kolektorových stanic a fotovoltaiky pro výrobu tepla a elektrické energie

*The use of solar collector stations and photovoltaic systems for the
production of heat and electric energy*

Autor práce: Bc. Alexander Mikhel

Vedoucí práce: Ing. Libor Straka

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management, Magisterský

Obor: Elektroenergetika

24. května 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mikhel** Jméno: **Alexander** Osobní číslo: **406201**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití solárních kolektorových stanic a fotovoltaiky pro výrobu tepla a elektrické energie

Název diplomové práce anglicky:

The Use of solar collector stations and photovoltaic systems for the production of heat and electric energy

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte s možnostmi využití solárních kolektorových stanic a fotovoltaiky.
2. Navrhněte systém pro danou oblast.
3. Návrh technicky a ekonomicky vyhodnotte.

Seznam doporučené literatury:

- [1] S.R. WENHAM ... [ET AL.]. Applied photovoltaics. 2nd ed. London: Earthscan, 2007. ISBN 1844074013.
- [2] Handbook of photovoltaic science and engineering. Chichester, England: Wiley, 2003. ISBN 9780471491965.
- [3] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Libor Straka, katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **19.02.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

Ing. Libor Straka
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Především chci poděkovat vedoucímu magisterské práce Ing. Liboru Strakovi, za jeho čas a za to, že v průběhu výroby této práce poskytl velice důležitou pomoc. A taky chtěl bych poděkovat své rodině a svým kamarádům za podporu a trpělivost.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Anotace:

Tato práce se zabývá využitím solárních systémů a jejich aplikací na konkrétní případ. V práci je uveden technický návrh solárního systému a jeho technologické a ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: solární kolektor, solární panel, solární energetika, energetika, OZE

Abstract

The main goal of this diploma thesis is usage of industrial solar systems and its application on concrete example. This work describes technical design of solar systems and its economical evaluation.

Keywords: solar collector, solar panel, solar energy, energetics, renewable sources of energy

Obsah

Použité zkratky a označení.....	7
1. Úvod.....	9
2. Přehled solárních elektráren.....	10
2.1 Charakteristika a metody využití sluneční energie	10
2.2 Druhy solárních elektráren.....	11
2.3 Solární kolektory	11
2.3.1 Solární vakuový kolektor.....	13
2.3.2 Solární vakuový kolektor s výměníkem tepla	14
2.3.3 Solární kolektor s tepelnými trubicemi.....	16
2.3.4 Ploché solární kolektor.....	18
2.4 Porovnání hlavních charakteristik kolektorových stanic.....	19
2.5 Vyhodnocení využití kolektoru.....	22
2.6 Solární fotovoltaické systémy	25
3. PROHLÁŠENÍ PROBLÉMU PRO VÝZKUM.....	27
3.1 Stručný popis severozápadního regionu	27
3.1.1 Přístup k řešení problému a počátečních dat	28
4. TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ VÝPOČTY	31
4.1 Tepelné výpočty solárního kolektoru.....	31
4.2 Odhad ekonomické účinnosti instalace solárních kolektorů	34
4.3 Elektrické výpočty instalace solárních panelů.....	42
4.3.1 Výběr a stanovení počtu akumulátoru	46
4.4 Odhad ekonomické účinnosti instalace solárních baterií	48
4.4.1 Vliv tarify za elektřinu na ekonomický účinek instalace panelů	49
5. Zhodnocení.....	55
6. Přílohy	56
6.1 Seznam použité literatury	56
6.2 Seznam použitých zdrojů z internetu.....	57
6.3 Seznam obrázků	58
6.4 Seznam tabulek	59

Použité zkratky a označení

V_{Σ} – celkový objem ohřivače, (l)

$t_{stř}$ – průměrná teplota příchozí vody, (°C)

t_{norm} – teplota vody po zahřátí, (°C)

Q_i – množství energie potřebné k ohřevu vody, (kcal)

c – měrná tepelná kapacita, ($\frac{J}{kg \cdot K}$)

ρ – hustota, ($\frac{kg}{m^3}$)

N_{tr} – počet kolektorových trubek, (ks)

Q_{tr} – absorbované energie jednou vakuovou trubicí, (kWh)

$C_{n\ tr}$ – cena jedné trubku, (CZK)

$C_{zař}$ – cena ostatní zařízení, (CZK)

C_{smp} – náklady na stavební a montážní práce, (CZK)

C_{udp} – náklady na uvedení do provozu, (CZK)

C_{celk} – celkové náklady na zařízení, (CZK)

$C_{udrž}$ – roční náklady na údržbu zařízení, (CZK)

C_{odpis} – roční předpokládaná odpisová hodnota, (CZK)

T_{Σ} – životnost solární stanice, (let)

U_{solar} – úspory z instalace solární stanice, (CZK)

C_{tep} – roční náklady na tepelnou energii, (CZK)

τ – doba návratnosti, (let)

$W_{str.roc}$ – průměrná spotřeba elektrické energie, (kWh)

W_1, W_2, W_3 – skutečná spotřeba elektrické energie, (kWh)

P_{Σ} – maximální okamžitá spotřeba všech elektrických zařízení, (kW)

P_n – maximální spotřeba elektrické energie jednotlivých spotřebitelů, (kW)

K_m – koeficient maxima, (-)

$P_{stř}$ – průměrná spotřeba energie jedním spotřebitelem, (kW)

STC – Standard Test Conditions

h – výška solárního systému, (m)

x – délka panelu, (m)

θ – úhel sklonu solárního panelu, (°)

D' – délka stínu, (m)

α – úhel dopadu slunečních paprsků, (°)

l – délka stínění pod panelem, (m)

m – šířka panelu, (m)

S_{\max} – maximální obsazená plocha jedním solárním modulem, (m^2)

n_{sp} – počet solárních modulů, (ks)

S_s – plocha střechy budovy, (m^2)

S_o – volný prostor v okolí, (m^2)

W_{sp} – průměrná roční výroba elektrické energie, ($\frac{kWh}{den}$)

P – výkon jednoho modulu, (kW)

En_{sp} – celková denní průměrná sluneční insolace, ($\frac{kWh*m^2}{den}$)

C_{Σ} – celková kapacita akumulátoru, (Ah)

W_{Σ} – celkový výkon, (kWh)

U_a – napětí baterie, (A)

n_a – požadované množství baterií, (ks)

C_a – kapacita vybraného akumulátoru, (Ah)

$n_{stř}$ – počet střídačů, (ks)

P_{Σ} – celkový výkon elektrického zařízení, (W)

$P_{stř}$ – výkon jednoho střídače, (W)

C_p – cena jednoho panelu, (CZK)

C_c – cena všech panelů, (CZK)

C_{bat} – cena baterie, (CZK)

$C_{\Sigma vyb}$ – cena celého systému, (CZK)

C_{inst} – náklady na instalaci solární stanice, (CZK)

C_{usp} – úspory ze zavedení solárního systému, (CZK)

$C_{el.sp}$ – roční dodávky elektřiny ze solárních panelů při současném tarifu, (CZK)

C_{el} – stávající sazba za elektřinu, (CZK)

1. Úvod

Energetická strategie rozvoje Ruska do roku 2035 předpokládá postupný přechod od surovinových zdrojů k inovačnímu rozvoji energetického komplexu Ruské Federace (dále RF). Strategie předpokládá tyto klíčové úkoly: energetickou bezpečnost, energetickou účinnost, ekonomickou účinnost a udržitelný rozvoj energie. Pozornost je zaměřena na dodržování požadavků sociální odpovědnosti, bezpečnosti životního prostředí a rozvoje inovací.

Jedním z nejdůležitějších úkolů nové energetické strategie je decentralizace výroby a postupný přechod na novou generaci energie, včetně využívání obnovitelných zdrojů energie bez uhlovodíků. Nezanedbatelným primárním zdrojem obnovitelných zdrojů energie, které neobsahují uhlovodíky, je sluneční energie, která neznečišťuje životní prostředí. Vychází z toho, že účelným rozvojem čisté energie je využití solárních zařízení vyvinutých a široce zastoupených na světových a domácích trzích solárních zařízení pro příjem a přeměnu solární energie na nezbytné sekundární energetické zdroje, na tepelnou a elektrickou energii pro zásobování teplem průmyslových zařízení, dopravní infrastrukturu, atd.

Je zřejmé, že geografické a klimatické podmínky určité oblasti ovlivňují účinnost použití solárních stanic v systémech zásobování teplem a elektrické energie. V současné ekonomické situaci je naléhavým problémem studium účinnosti využívání solárních zařízení v energetických systémech v severozápadním regionu Ruska s přihlédnutím ke klimatickým podmínkám na území.

2. Přehled solárních elektráren

2.1 Charakteristika a metody využití sluneční energie

V naší době je běžné rozdělit vyzařovanou solární energii na dva typy: tepelnou energii a světelnou energii. Sluneční paprsky solární energie, které dosahují pozemského povrchu, jsou rozděleny do dvou typů: přímý a rozptýlený. Tok přímého slunečního záření přichází ze slunce. Výkon přímého slunečního záření na zemském povrchu je přímo závislý na poloze určitého bodu - jeho zeměpisné šířky, výšky slunce nad horizontem, přítomnost různých překážek. Přímé sluneční paprsky odrážející se od povrchu Země, důsledně odrážející se od horních vrstev atmosféry a prostředí, se nazývá rozptýlené sluneční paprsky. Rozptýlené záření dosahuje svých maximálních hodnot v závislosti na geografické poloze, denní době, povětrnostních podmínkách. Podle různých odhadů průměrná hustota slunečního světla dosahuje ve vakuovém prostoru až $1,40 \text{ kW/m}^2$. Současně se na zemském povrchu odhaduje tato hodnota přibližně na $1,01 \text{ kW/m}^2$, což znamená, že více než třicet procent sluneční energie se odráží v atmosféře Země. Poskytnutí dané hodnoty hustoty toku tepla vyžaduje spalování $0,123 \text{ kg}$ ekvivalentního paliva s účinností rovnou 1.

Tepelná sluneční energie se používá přímo pro vytápění budov, vody pro domácí a technické potřeby, pro ohřev různých mezi vrstevové tepelných nosiči včetně vody, ve vícekruhových tepelných a chladicích systémech. Taková zařízení, využívající převážně tepelnou sluneční energii, se nazývají sluneční kolektory.

Fotovoltaické články se používají k přeměně slunečního záření na elektřinu. Technologie fotoelektrických prvků umožňuje převést světelný tok na elektrický proud pro současné použití elektrické energie nebo jeho akumulaci v akumulátorových bateriích. Fotovoltaické články vytvořené ve formě plochých panelů se také nazývají solární panely. Jsou široce používány díky své relativní kompaktnosti a všestrannosti. Solární panely lze instalovat nejen v určitých oblastech, ale také na střeších a stěnových panelech budov. Tato zařízení představují ekologický obnovitelný zdroj elektrické energie, který může částečně nebo úplně nahradit generátory pohonných hmot, čímž se sníží zatížení centralizovaných systémů napájení. Hlavním nedostatkem solárních panelů v naší době je jejich účinnost, která je v průměru okolo 20%.

Nedávné zprávy o novém vývoji v oblasti materiálů a struktur solárních fotovoltaických panelů však ukazují dvojnásobný nárůst účinnosti konverze solární energie na elektrickou energii, účinnost kolem 40%¹.

¹ <http://www.solarniasociace.cz/cs/aktualne/936-australsti-vedci-prekrocili-v-ucinnosti-solarnich-panelu-40-procent>

Solární kolektory a solární panely se obvykle nazývají solární elektrárny, které tvoří energetické komplexy místních a centralizovaných systémů dodávek energie jak pro jednotlivé objekty, tak i pro velkoměsta.

2.2 Druhy solárních elektráren

Solární elektrárny slouží k přeměně sluneční energie na tepelnou nebo elektrickou energii. Tato zařízení mohou být využívána jako autonomní zdroje energie v lokalizovaném systému dodávek tepla a dodávek elektřiny. Solární elektrárny mohou být také zahrnuty do centralizovaných systémů dodávek energie.

Struktura solárních elektráren je klasifikována podle typu vyrobené energie z hlediska výkonů, pomoci využití aktivní nebo pasivní cirkulace nosiče tepla, podle počtu obvodů cirkulace chladicí kapaliny.

Podle druhu vyráběné energie jsou elektrárny rozděleny podle typu: solární elektrárny, solární tepelné elektrárny, včetně solárního kombinovaného zásobování teplem a chlazením.

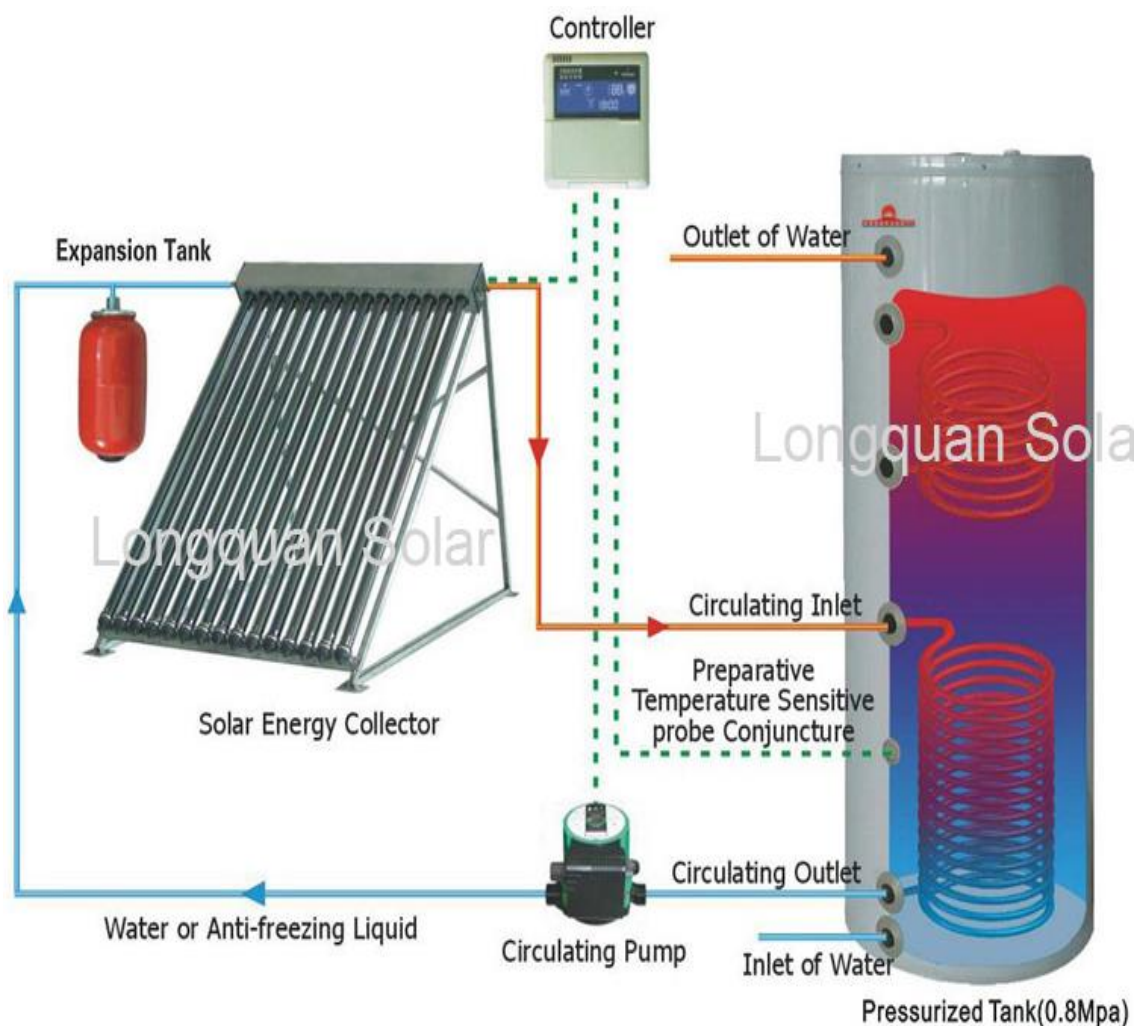
2.3 Solární kolektory

Projekty solárních tepelných elektráren jsou postaveny na solárních kolektorech určených pro přenos tepla slunečního tepla přes pevnou stěnu výměníku tepla do ohřátého média, které cirkuluje v uzavřené smyčce systému dodávání tepla. Tato zařízení bývají jak kapalinové, tak i vzduchové.

V kapalinových systémech je vyhřívání médium kapalné (syntetické médium pro přenos tepla nebo vodu na bázi propylen glykolu, amoniaku).

Ve vzduchových systémech je ohřívání médium vzduch.

Oba typy solárních tepelných systémů jsou rozděleny na pasivní a aktivní.



Obrázek 1 - Konstrukce solárního kolektoru s aktivním cirkulačním systémem chladiva, [převzato z 27]

Návrh pasivních tepelných zařízení zajišťuje:

- Ve vzdušných systémech solárního systému nedochází k oběhu, a proto dochází k přirozenému ohřevu;
- v kapalných systémech je cirkulace tepelného nosiče zajištěna přirozeným prouděním, založenou na rozdílu v měrné hmotnosti teplejších a chladných kapalin.

Návrh aktivních solárních tepelných zařízení zajišťuje:

- ve vzduchových systémech - ventilátor, pro cirkulaci vzduchu v systému, a ve většině konstrukcí je i materiál na hromadění tepla (obláček).
- v kapalných systémech - elektrická čerpadla se používají pro cirkulaci kapaliny.

Existují dva typy konstrukce: s jedním a dvojitým okruhem.

Konstrukce s jedním okruhem jsou určeny pro potřeby přívodu teplé vody s otevřeným (průtokovým) okruhem, ve kterém je ohřívána voda, která může být použita pro přívod teplé vody. Konstrukce s dvojitým okruhem se vyrábějí s uzavřeným prvním okruhem naplněným vodou nebo nemrznoucí kapalinou. Ve druhém okruhu cirkuluje síťová voda. Kapalina ohřátá v primárním

okruhu výměníkem tepla ohřívá vodu používanou k zásobování teplou vodou nebo k vytápění a větrání. Současně se vyrábějí aktivní solární tepelné elektrárny v modulární konfiguraci. Zvýšení tepelné energie je dosaženo zvýšením počtu modulů. V závislosti na soustavě připojených tepelných zátěží je solární tepelná instalace instalována s moduly různých funkčních účelů. Nejjednodušší konstrukcí takového solárního systému s jedním modulem je solární kolektor vyrobený ve formě nádrže lakované černě, plní jak funkci topné vody tepelnou sluneční energií, tak i funkci tepelné baterie.

2.3.1 Solární vakuový kolektor

Vakuové trubky termosifonového kolektoru jsou připojeny k zásobní nádrži. Z okruhu výměníku tepla proudí kapalina přímo do trubek, provádí proces ohřevu a vrátí se. Tato konstrukce se nazývá termosifonová. Hlavní výhodou termosifonového solárního kolektoru je přímý přenos slunečního tepla na ohřátou vodu bez použití mezilehlé chladicí kapaliny. Zvláštnost tohoto solárního kolektoru je založena na fenoménu přirozeného konvekce teplé a studené vody. V tomto systému je nádrž nutně umístěna nad solárním kolektorem. Voda ohřívána v kolektorových trubkách má nižší měrnou hmotnost, a proto je přemísťována vodou s nižší teplotou s vyšší měrnou hmotností na horní část nádrže. V souladu s tím, studená voda v nádrži se spustí dolů do trubice kolektoru do topné zóny. V konstrukcích nízko výkonových elektráren je nádrž a kolektor jeden celek a není určena pro vysokotlaké vodní sítě. Z tohoto důvodu se taková termosifonová elektrárna používá k zásobování vody ze zásobníku umístěného výše nebo s přívodem vody pomocí zařízení, které snižují tlak přívodu vody. Konstrukce termosifonového solárního kolektoru se provádí s menší hydraulickou odolností.



Obrázek 2 - Konstrukce solárního vakuového kolektoru, [převzato z 28]

2.3.2 Solární vakuový kolektor s výměníkem tepla

Tento typ má všechny výhody konstrukce uvedené výše, ale má také účinný měděný výměník tepla zabudovaný do nádrže, kterým prochází spotřební voda. To umožňuje připojení kolektoru k zásobníku ke zdroji vody pod tlakem a nevyžaduje snížení tlaku vody z vodovodu.

Výhody konstrukci zobrazené na obrázku jsou:

- použití nemrznoucí kapaliny ve vodním okruhu;
- provozuschopnost kolektoru při teplotách vzduchu do -11°C ;

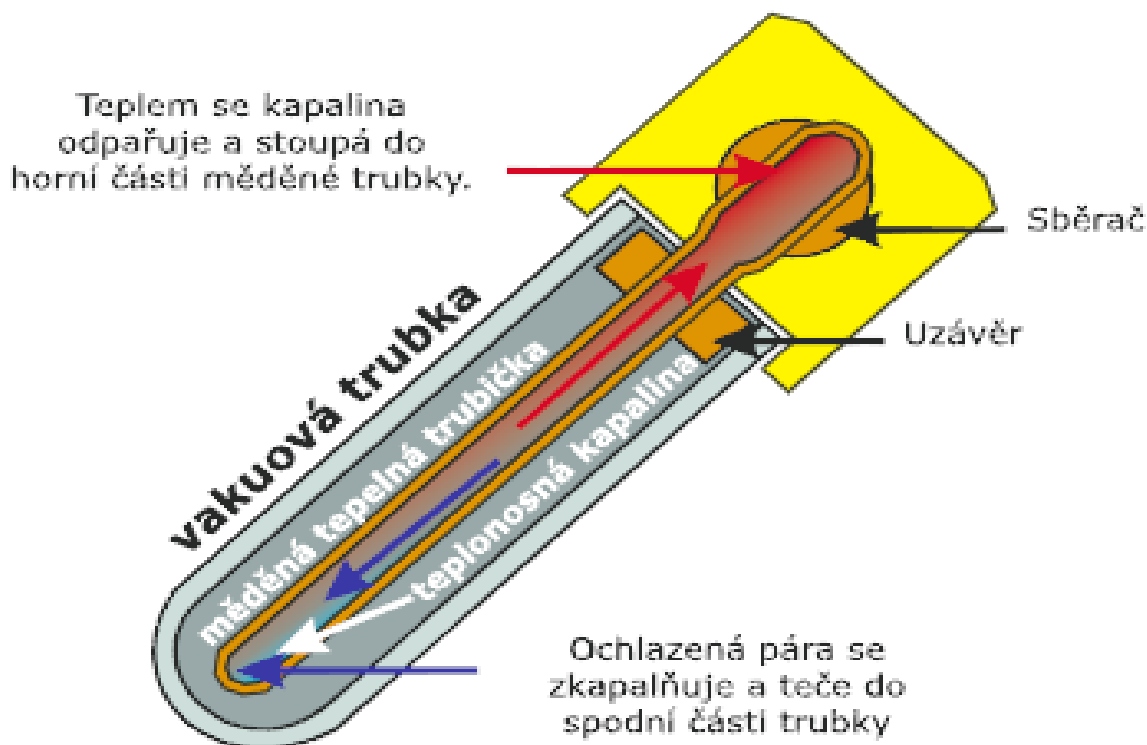
- žádné usazeniny pevných solí a jiných nečistot (pokud je primární okruh naplněn syntetickou chladicí kapalinou) na vnitřním povrchu solárního kolektoru ohřátého solární energií;



*Obrázek 3 - Konstrukce solárního vakuového kolektoru s výměníkem tepla a přímým přenosem tepla,
[převzato z 29]*

2.3.3 Solární kolektor s tepelnými trubicemi

Další konstrukce solárního kolektoru, znázorněná na obr. 4, je založena na použití gravitačních trubek (tepelná trubice).



Obrázek 4 - Solární kolektor vyrobený pomocí gravitačních tepelných trubek, [převzato z 30]

Gravitační tepelná trubice je uzavřená měděná nádoba (nebo ze speciální slitiny hliníku) s vakuovým vnitřním objemem částečně naplněným kapalinou s nízkým bodem varu - destilovanou odplyněnou vodou nebo syntetickou kapalinou. Sluneční kolektor se skládá z těchto trubek. Když se povrch kolektorové trubice zahřeje a současně se jeden z jejích konců ochladí, probíhá proces výměny tepla během odpařování kondenzátu tepelného nosiče podél délky trubice z ohřívací oblasti do ochlazené oblasti vnějšího povrchu. Proces přenosu tepla a hmoty probíhá dokonce s nepatrným teplotním gradientem mezi ohřívanou a ochlazenou oblastí vnějšího povrchu teplovodního potrubí. Vracení kondenzátu do odpařovací zóny probíhá pomocí gravitace.

Tepelné trubice jsou umístěny ve skleněné nádobě a upevněny mezi dvěma hliníkovými žebry. Žebra jsou uspořádány tak, aby kontaktní plocha tepelných trubek s vnitřní částí vakuové trubice byla maximálně velká. Tento druh žeber provádí největší výměnu tepla do měděného teplovodního potrubí a poté do nosiče tepla ve výměníku. Vnitřní plocha teplovodního potrubí je ve vakuu, proto se tato kapalina odpařuje při minimální teplotě 29,5 °C. Při nižší teplotě se potrubí "uzavírá" a dochází k zachování tepelné energie. Teplo z tepelné trubice se přenáší na základnu kolektoru (přijímač). Přijímač slunečního kolektoru je měděný s polyuretanovou izolací a je izolován nerezovým pláštěm nebo pláštěm z hliníkové slitiny. Přeprava tepelné energie se provádí prostřednictvím měděného pouzdra přijímače. Z tohoto důvodu je topný okruh odpojen od

potrubí. Pokud je jedna trubka poškozená, kolektor i nadále funguje. Postup výměny trubek je velmi jednoduchý, není třeba vypustit nemrznoucí směs z okruhu výměníku tepla.

Vakuová nádoba obsahuje dvě skleněné trubice. Struktura skleněných vakuových trubic je podobná struktuře termosky, jedna je namontována v druhé s velkým průměrem. Vnější trubice je vyrobena z průsvitného borokřemičitého skla. Vnitřní trubice je také vyrobena z průhledného borosilikátového skla potaženého speciálním selekčním materiálem, který zajišťuje maximální absorpci tepla s minimálním odrazem. Aby se zabránilo vodivým a konvektivním tepelným ztrátám z prostoru mezi oběma potrubími odstraněn vzduch a vytvořen vakuum.

Při výrobě je getr vystaven vysokým teplotám, takže spodní konec vakuové trubky je pokryt vrstvou čistého bária. Tato vrstva bária absorbuje látky uvolněné z trubice během skladování a provozu, čímž se udržuje stav vakua. Baryová vrstva je také jasným vizuálním ukazatelem stavu vakua. Když vakuum zmizí, stříbřitá vrstva bária se změní na bílou. To umožňuje snadné určení provozuschopnosti trubice, uvnitř které je instalována měděná trubka s hliníkovými žebry pro přenos tepla.



Obrázek 5 - Vakuová trubice, [převzato z 31]

Konstrukční materiál vakuových trubic musí splňovat požadavky:

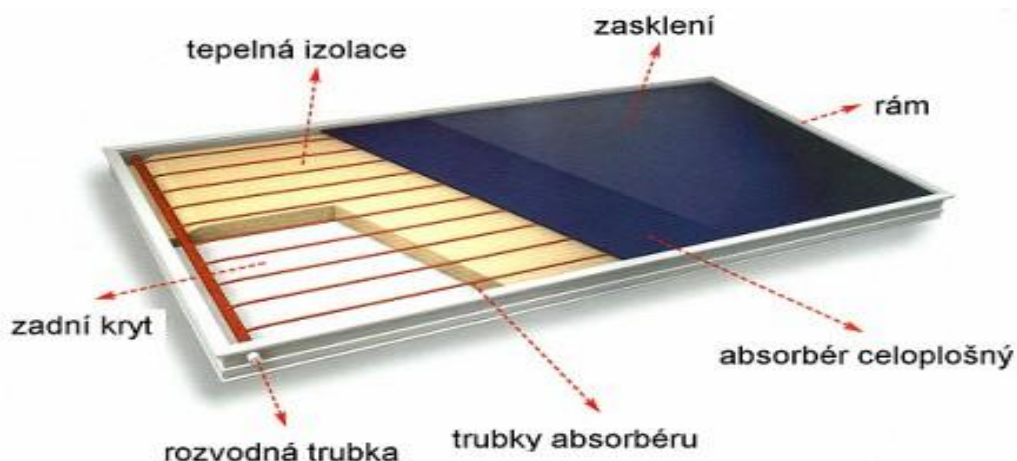
- Shoda borosilikátového skla s normou ISO8535: 1991;
- Propustnost borosilikátového skla: $\geq 0,91$
- Adsorbovatelnost selektivní absorpční vrstvy $a \geq 0,94$;
- Počáteční teplota: $+ 30 \text{ }^\circ \text{C}$ (při této teplotě se potrubí zahřeje);

- Spouštěcí podmínky: méně než dvě minuty s dostatečným slunečním světlem;
- Odolnost proti mrazu: do $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Odolnost vůči vysokým teplotám: žádné poškození po trojnásobném proměnlivém působení studené vody na $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a horké vodě nad 90°C ;
- Odolnost proti mechanickému poškození: částice do $\varnothing 25\text{ mm}$;
- Standardizace vzhledu: barva selektivní absorpční vrstvy by měla být rovnoměrná, povrch by neměl být odloupaný nebo pokrčený. Podpěrné části uvnitř trubky musí být bezpečně připevněny. Přípustná odchylka průměru potrubí borosilikátového skla musí být v souladu s normou ISO4803: 1978;
- Ohýbání trubky z borosilikátového skla by nemělo přesáhnout 0,3%;
- Průřez potrubí z borosilikátového skla, který je od konce 40 až 60 mm, musí být kruhový. Poměr mezi nejkratšími a nejdelšími radiálními rozměry skleněné trubky by neměl překročit 1,02.

Vakuové trubice vykazují vynikající výsledky i v zatažených dnech, protože potrubí má schopnost přenášet energii z infračervených paprsků procházejících mraky. Vzhledem k izolačním vlastnostem vakua je účinek větru a nízkých teplot na provoz vakuových trubic zanedbatelný.

2.3.4 Plochý solární kolektor

Konstrukce plochého solárního kolektoru je znázorněn na obrázku 6. Tento typ je nejběžnějším typem slunečních kolektorů používaných v systémech ohřevu vody. Tento kolektor je tepelně izolovaný zasklený panel, ve kterém je namontována absorpční deska. Tato absorpční deska je vyrobena z kovu, který vede teplo dobře (nejčastěji měď nebo hliník). Nejčastěji používaným materiálem je měď. Je lepší provádí teplo a je méně náchylná ke korozi než hliník. Absorpční deska je ošetřena speciálním vysoce selektivním nátěrem, který lépe zachovává absorbované sluneční světlo. Tento nátěr se skládá z odolné tenké vrstvy amorfního polovodiče uloženého na kovovém substrátu a má vysokou absorpční kapacitu ve viditelné spektrální oblasti a nízkou emisivitu v infračervené oblasti s dlouhými vlnami.



Obrázek 6 - Konstrukce plochého slunečního kolektoru, [převzato z 32]

Díky zasklení (v plochých kolektorech, obvykle matné sklo s nízkým obsahem železa) dochází ke snížení tepelných ztrát. Spodní a boční stěny kolektoru jsou pokryty tepelně izolačním materiálem, který dále snižuje tepelné ztráty.

2.4 Porovnání hlavních charakteristik kolektorových stanic

V následující tabulce je uvedena celková klasifikace solárních tepelných zařízení.

Tabulka 1 - Celková klasifikace solárních tepelných zařízení

Teponosná látka	Oběh	Modularita	Počet okruhů	Tepelná izolace konvektorů
Plyn (vzduch)	Aktivní (ventilátory)			
	Pasivní (přirozená cirkulace)			
Kapaliny (voda, nemrzoucí směs, amoniak)	Aktivní (nucené)	Se samostatnými funkčními prvky	2	Tepelně izolované
			1	
		Jednotný solární konvektor (solární nádrž)	2	
			1	
	Pasivní (gravitační)	Se samostatnými funkčními prvky	2	
			1	
		Jednotný solární konvektor (solární nádrž)	2	
			1	
				Otevřený

Další tabulka porovnává hlavní charakteristiky nejběžnějších konstrukce solárních kolektorů.

Tabulka 2 - Srovnání hlavních charakteristik nejběžnějších konstrukce solárních kolektorů

Typ konstrukce solárního kolektoru	Srovnávací účinnost Duben-říjen, v závislosti na ploše	Srovnávací účinnost listopad-březen, v závislosti na plochu	Problém reprodukce bakterií	Srovnávací cena	Opravitelnost	Maximální teplota topení teplotnosné látky
Vakuový kolektor s přímým přenos tepla do vody	90%	0%	Ano	20%	70%	95°C
Vakuový kolektor s přímým přenosem tepla do vody a vestavěným výměníkem tepla	95%	70 %	Ne	65%	60%	95°C
Vakuový kolektor s tepelnými trubkami	100%	100%	Ne	100%	100%	250°C
Plochý solární kolektor	60%	33%	Ano	60%	30%	95°C

Při vyvození závěrů ze známých údajů je nutno konstatovat, že **vakuové kolektory s přímým přenosem tepla** jsou nuceny být používány sezónně (duben - říjen). Jejich použití v jiném časovém období není možné z důvodu možnosti rozmrazení kapaliny uvnitř trubek a další poruchy tohoto zařízení. Použití těchto kolektorů je nejvýhodnější v oblastech, kde nejsou žádné teploty pod bodem mrazu. V tomto případě jejich instalace začne přinášet zisk za jednu sezónu². Vzhledem k tomu, že tento typ kolektoru je provozovatelný výhradně bez přetlaku (tlak v nádrži nesmí překročit 0,2 atm), může být připojení tohoto zařízení k potrubní síti pouze pomocí redukčního zařízení nebo otevřené nádrže s plovákovým mechanismem. V důsledku toho, pokud je vyžadován výstupní tlak (např. Pro provoz různých sanitárních zařízení - jeřáby, koupelny apod.), po instalaci solárního ohříváče vody je nutné namontovat hydraulický akumulátor (čerpadlo s gumovou nádrží), určené k práci s horkou vodou. Další nevýhodou tohoto typu je pravděpodobnost ukládání solí a jiných nečistot uvnitř trubek pokud se zvýší tuhost nebo znečištění vody. Tento problém může vést ke zhoršení absorpčních vlastností vakuových trubek.

Vakuový kolektor s přímým přenosem tepla a vestavěným výměníkem je nejtehnologičtější variantou předchozího typu kolektoru. Díky konstantní chladicí kapalině (tato instalace může být naplněna nemrznoucí kapalinou, čímž se zvyšuje rozsah okolní teploty potřebné pro provoz jednotky na -5 ... -10°C), ve vakuových trubkách není ohrožena kontaminací vnitřních povrchů. Charakteristickým znakem je možnost připojení kolektoru k potrubí s hlavním tlakem.

Ploché sluneční kolektor je optimální, pokud je to nutné, použijte energii slunce v období duben - říjen. Vzhledem k poměrně nízké ceně může být optimální pro ohřev vody a bazénu během tohoto období. Nevýhody tohoto druhu kolektorů zahrnují poměrně nízké teploty topení cirkulující vody, což mimo jiné vede k pravděpodobnosti násobení patogenních bakterií, které se v systémech s vakuovými kolektory nevyskytují. V případě zničení těsnicího skla je účinnost kolektoru výrazně snížena, jelikož teplo je spotřebováno ohříváním životního prostředí a není zde také žádný skleníkový efekt, který umožňuje dostatečné zahřátí topného média. Ve většině případů solární kolektory jsou instalovány na střeše, takže pro montážní organizace je důležitá snadná dodávka a instalace. Ploché sluneční kolektory je neoddělitelný blok velkých rozměrů to vše komplikuje dodávku zařízení do výšky pro montáž a další práce s ním.

Vakuový kolektor s tepelnými trubkami, je typ kolektoru, který je pro podmínky Ruska v současné době nejvhodnější. Je schopen pracovat efektivně při teplotách do -50 °C. Pokud je jedna nebo více vakuových trubek mechanicky poškozena, je vyměněna probíhá bez zvláštních obtíží, aniž by bylo nutné zastavit celý systém. Kvůli tvaru trubek a účinnější

² <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/164-solarni-kolektory-caste-dotazy>

absorpci slunečního záření z jednoho metru čtvereční, vakuový kolektor získá 1,5 násobnou tepelnou energii. Nevýhody tohoto typu zařízení zahrnují poměrně vysoká cena. Navzdory tomu je tento nedostatek snadno kompenzován velkým počtem pozitiv.

2.5 Vyhodnocení využití kolektorů

Z hlediska úspory energie, použití výše uvedených typů kolektorů je vhodné.

Z jednoho metru čtverečního slunečního kolektoru v podmínkách průměrného pásma Ruska pro potřeby města je možné obdržet asi 500 kWh tepla ročně. Pro podmínky severozápadního regionu se tato hodnota odhaduje na 300 ÷ 400 kWh tepla za rok.

Roční potřeba jedné osoby v horké vodě vyžaduje zhruba 1500 kWh tepla a pro vytápění jednoho čtverečního metru moderního bytu, přibližně 100 kWh za rok.

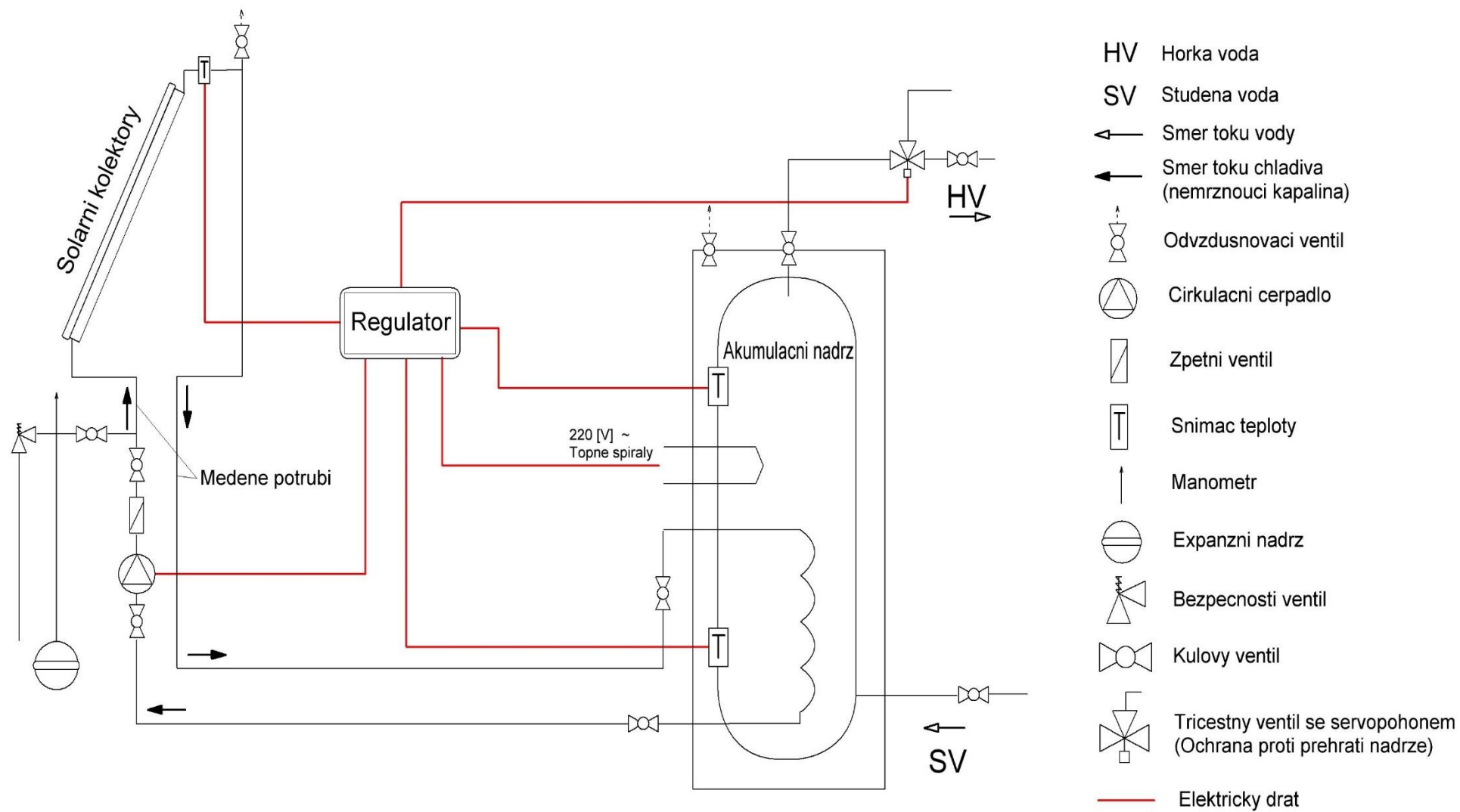
Instalací solárních kolektorů se rozumí vzhled dodatečného zdroje na místě, který je schopen dodávat 30 až 70% požadovaného tepla do systému zásobování teplem. V zimním a letním období kotle a kolektory vzájemně se mění a provádí hlavní sezónní funkce. Během období mimo sezónu je mezi nimi vytvořena vzájemná interakce s vyšší závislostí. Taková racionální kombinace nejen umožňuje podstatně snížit potřebu provozu kotle, ale ještě důležitější je poskytnout mírnější provozní režim. To zvyšuje životnost a zvyšuje spolehlivost zařízení.

Z toho, co bylo řečeno dříve, existuje několik schémat solárních kolektorových systémů pro ohřev vody:

- Jeden okruh - pro sezónní použití nebo v oblastech, kde během roku nejsou žádné teploty pod bodem mrazu. Povinné podmínky pro vodu: musí být čistá a nesmí být zamrzlá.
- Dvouokruhové - pro celoroční provoz, stejně jako v oblastech s tvrdou a / nebo kontaminovanou vodou nečistotami.

Pro provoz těchto systémů musí být zajištěna nucená a přirozená cirkulace. Pasivní cirkulace chladicí kapaliny přirozeně prochází bez použití cirkulačních čerpadel a dalších systémů určených k nucenému pohybu kapaliny. Ohřátá chladicí kapalina v okruhu se pohybuje směrem vzhůru a chladná chladicí kapalina dolů. V tomto případě by měla být akumulační nádrž umístěna mnohem vyšší než kolektor. Pokud zvážíme aktivní cirkulaci, pohyb chladicí kapaliny v tomto systému je zajištěn čerpací jednotkou. V systémech s nuceným oběhem je v okruhu kolektoru instalováno cirkulační čerpadlo, které umožňuje instalovat akumulační nádrž na jakémkoliv vhodném místě v budově. Směr pohybu chladicí kapaliny se musí shodovat se směrem přirozené cirkulace v nádrži. Spuštění a zastavení čerpadla probíhá pomocí regulátoru (diferenční řídicí relé), které porovnává hodnoty ze snímače teploty, a namontovaný na výstupu kolektoru a v nádrži. Čerpadlo se spustí,

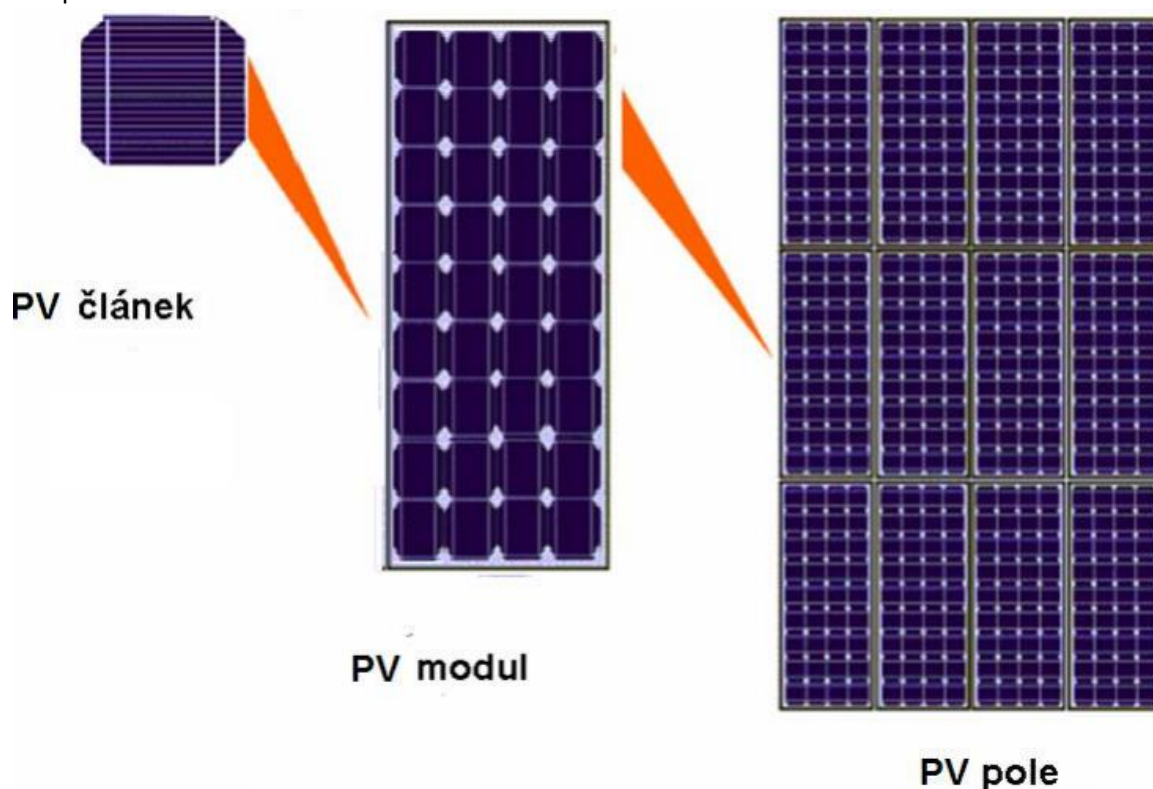
pokud je teplota v kolektoru vyšší než teplota vody v nádrži. Dává smysl instalovat regulátory, které mohou měnit rychlost otáčení a podávání čerpadla, a tím zajistit konstantní teplotní rozdíl mezi rozdělovačem a zásobníkem. Typická schéma tepelné stanice se solárními kolektory je uvedena na obrázku.



Obrázek 7 - Typická schéma solárního tepelného zařízení pro dobavu teplé vody

2.6 Solární fotovoltaické systémy

Solární nebo fotoelektrické panely jsou zařízení určené k přeměně sluneční energie na energii elektrickou. Součásti solárního fotovoltaického panelu jsou znázorněny na obrázku. Tyto panely jsou obvykle vyrobeny z polovodičového křemíku, který je dotován arzenem a borem. Získaná energie může být použita přímo různými zařízeními, nebo může být uložena v akumulátorech pro následné použití, a taky může být přeměněna na střídavý proud s napětím 230 V.



Obrázek 8 - Prvky slunečního fotovoltaického panelu, [převzato z 33]

K tomu, aby byly fotovoltaické moduly spolehlivým zdrojem elektrické energie, jsou v systému nutné některé prvky: kabely, nosná konstrukce, elektronický měnič a regulátor nabíjení/vybíjení baterie. Tento systém jako celek se nazývá solární fotovoltaický systém nebo solární elektrárna. Existují tři hlavní typy solárních fotovoltaických systémů:

1. Autonomní FV systémy.
2. On-grid systémy.
3. Hybridní FV systémy.

1) **Autonomní fotovoltaický systém** zcela nezávislý od distribuční elektrické sítě. S výjimkou některých speciálních aplikací, ve kterých energie ze solárních panelů se používá bezprostředně spotřebiteli (vzdouvací zařízení, solární větrání apod.), všechny autonomní systémy mají obsahovat akumulátory. Energie od akumulátorů se používá při nedostatečném slunečním záření nebo kdy zatížení je větší než výroba elektřiny na solárních panelech. Malé systémy plní funkci dodávání elektrické energie, například pro

osvětlení. Výkonnější systémy mohou napájet vodní čerpadlo, chladničku, elektrické nářadí atd.

2) **Hybridní spojený se sítí fotovoltaický systém** je podobný jako autonomní systém. V něm se také používají akumulátory, ale takový systém je taky napojen na distribuční elektrické síť. Proto přebytek energie ze solárních panelů může být přeměrován na zatížení nebo do sítě. Pokud spotřeba přesáhne výrobu elektřiny ze solárních panelů, chybějící energie je převzata ze sítě. Malé záložní solární systémy poskytují energii pro nejdůležitější zátěž – osvětlení, počítače a komunikace. Čím delší jsou vypínací doby, tím více energie musí být vyrobeno solárním systémem.

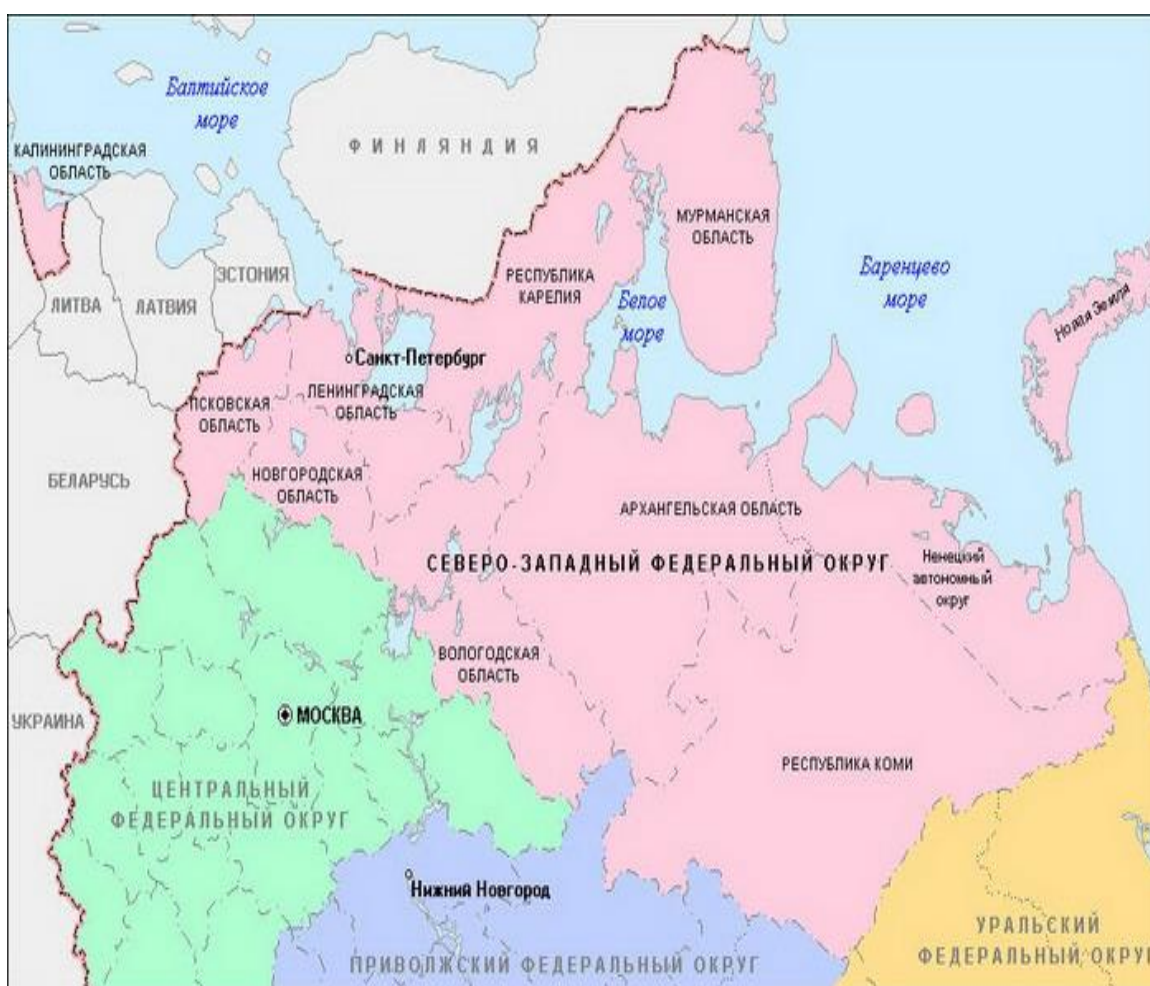
3) V případě, že existuje síť centralizované elektřiny, ale je také potřeba "extrahovat" elektřinu z čistého zdroje, pak by měly být solární panely kombinovány se sítí. **Bezbatiový spojený se sítí fotovoltaický systém** je nejjednodušším ze všech systémů. Skládá se ze solárních panelů (nebo větrných turbín, nebo mikro hydroelektrárny) a speciálního invertoru, připojeného k síti. V takovém systému nejsou žádné akumulátory, proto je nelze použít jako záložní systémy. Při výpadku dodávky elektřiny se také zastaví výroba elektrické energie solárními panely. Toto může být omezením pro použití takového systému, ale jeho hlavní výhodou je vysoká účinnost, nízká cena (nejsou zapotřebí žádné akumulátory a inverter je levnější) a vysoká spolehlivost.

3 PROHLÁŠENÍ PROBLÉMU PRO VÝZKUM

3.1 Stručný popis severozápadního regionu

Podle nové energetické strategie RF je vývoj energie v konečném důsledku zaměřen na řešení problémů vytváření pohodlných podmínek pro práci a život obyvatelů, s ohledem na územní geografické a klimatické podmínky a stávající problémy s teplem a elektrickou energií.

Severozápadní federální okruh (dále jen "SZFO"), se nachází na evropském severu hlavně na plochém území. Struktura SZFO zahrnuje (obr. 2) Archangelsk, Vologda, Kaliningrad, Leningrad, Murmansk, Novgorod, Pskovské oblasti, autonomní oblast Nenets a republika Karelia, republika Komi a město Petrohrad.



Obrázek 9 - Mapová schéma severozápadního federálního okresu Ruska, [převzato z 34]

Geografické a klimatické podmínky v SZFO jsou charakterizovány jako střední a subarktické. Klima jednotlivých území a regionů je výrazně ovlivněna vodními nádržemi v Baltském moři v Atlantiku, největších jezerech v Evropě - Ladoga a Onega a na severu Bílých, Barentsových a Karašských moří Arktického oceánu. Při poměrně malém průměrném ročním objemu srážek vede jejich nízké odpařování k tvorbě řek, jezer a zaplavení území. Průměrná roční sluneční záření v závislosti na geografické poloze dosahuje $900 \div 1100$ kWh na m² za rok.

V severozápadním regionu existuje významné naleziště zemního plynu. Nicméně jen velmi malá část obyvatel žijící v regionu jej využívá. Je považováno za ekonomicky nevýhodné³ zplyňovat vzdálené lokality z plynovodů s populací 500 člověk nebo méně. Zároveň rozšířené spalování topného oleje, motorové nafty, uhlí - nákladných dovážených energetických zdrojů. Tím se zvyšuje náklady na teplo a energii v morálně a fyzicky opotřebovaných kotelnách a v důsledku toho se produkce zboží a služeb stává životním obyvatelstvem v kraji dražší. Pokles kvality života v takových místech bydliště zvyšuje odliv obyvatelstva do velkých měst bohatých na energii.

Úkolem této práce je zkoumat efektivitu solárních stanic v systémech zásobování teplem typického objektu z železniční dopravní infrastruktury v závislosti na geografické poloze v severozápadním regionu za účelem částečné nebo úplné náhrady dražších sekundárních energetických zdrojů dodávaných z tradičních centralizovaných systémů dodávek energie.

V současné hospodářské a humanitární situaci v regionu ten úkol má praktický význam.

3.1.1 Přístup k řešení problému a počátečních dat

Výzkumné úkoly jsou řešeny na základě srovnávací analýzy výsledků technických a ekonomických výpočtů pro částečnou výměnu centrálního tepla a elektřiny pomocí instalací solárních panelů a kolektorů.

Předpokládá se, že typické objekty se nacházejí na území alespoň pěti subjektů SZFO, které se liší intenzitou slunečního slunečního záření. Informace o změně intenzity slunečního záření na sledovaných územích v měsících kalendářního roku jsou uvedeny v tabulce 3.

³ <http://spb-tr.gazprom.ru/press/about-company/2014/08/szhizhat-ratsionalno/>

Tabulka 3 - Střední měsíční slunečná insolace⁴ kWh/m²

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	18,1	12,4	14,7	9,6	3,4
Únor	36,9	22,9	28,5	16,4	10,4
Březen	77,6	43,2	62,6	33,8	20,5
Duben	109	114,8	112,5	117,4	120,1
Květen	158,5	172,1	165,2	177,8	182,8
Červen	174,4	194,4	184,7	200,4	217,8
Červenec	163,3	171,3	166,8	175	182
Srpen	125,8	129,8	128,8	130,6	133,8
Září	84,7	78,3	78	78,6	79,7
Říjen	42,1	28,2	38,9	24,4	14,1
Listopad	16,5	10,1	11,3	9,1	5,1
Prosinec	11,4	8,6	9,7	7,7	2,1
Celkem	1018,5	986,2	1001,7	981,8	971,7

Typickým objektem pro výpočty je budova pro průmyslové účely z železniční dopravní infrastruktury.

Počáteční údaje a charakteristiky vybraného objektu jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 - Charakteristika průmyslové budovy

Plocha střechy (pro umístění solárních FV prvků)	Plocha pro umístění slunečních kolektorů	Vyhřívavý prostor	Počet pracovníků pracujících na směně (s využitím horké vody)	Počet sprchových clon
m ²	m ²	m ²	lidí	ks
600	200	1100	6	4

⁴ Sklon panelu k horizontu je 30 °

Průmyslový objekt se nachází v samostatné nebytové budově.

Spotřeba teplé vody závisí na počtu zaměstnanců, pracujících na objektu a průměrné spotřebě teplé vody na osobu za den.

- Spotřeba elektrické energie - 30 kW;
- Odhadovaná doba – 1 rok.
- Provozní režim podniku jsou 3 směny.

Další požadavky:

Solární kolektory by měly být použity k přívodu teplé vody a umístěny na přilehlém území budovy.

Solární panely by měly být umístěny na střeše a použity pro částečnou výměnu elektřiny z centralizovaných externích sítí. Náklady na vybavení by měly být stanoveny na základě průměrných cen zařízení zveřejněných dodavateli.

4 TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ VÝPOČTY

4.1 Tepelné výpočty solárního kolektoru

K dosažení cílů a provádění technických a ekonomických výpočtů je vybrána konstrukce vakuového kolektoru s tepelnými trubkami jako energeticky nejúčinnější a nejvíce přizpůsobené pro povětrnostní podmínky v Rusku. Úloha určení oblasti solárního kolektoru je úloha na stanovení množství tepla potřebného k částečnému nebo úplnému nahrazení tradičního zdroje tepla. Výsledkem stanovení potřebného tepla je výpočet počtu trubek vakuového solárního kolektoru. V první fázi je úkol řešen na základě určité zátěže systému přívodu teplé vody.

Další výpočty jsou prováděny pomocí počátečních údajů z tabulky 4.

Uurčíme, kolik stupňů by měla teplota vody a její objem vzrůst. Podle empirických údajů průměrný člověk spotřebuje 50 litrů teplé vody denně. Celkový objem ohřivače se bere s koeficientu nárůstu 1,5, pak:

$$V_{\Sigma} = (50 * 6) * 1.5 = 450, [L]$$

Průměrná teplota příchozí vody $t_{stř} = 10^{\circ}\text{C}$. Voda musí být zahřátá na $t_{norm} = 60^{\circ}\text{C}$, pak:

$$\Delta t = t_{norm} - t_{stř} = 60 - 10 = 50, [^{\circ}\text{C}]$$

Uurčíme množství energie Q_i potřebné k ohřevu tohoto množství vody. Pro ohřev jednoho litru vody o jeden stupeň potřebné vynaložit energie rovnající se 1 kcal.

$$Q_i = V_{\Sigma} * c * \rho * \Delta t, [kcal]$$

Také v kWh (1 kWh = 859,8 kcal):

$$Q_i = \left(\frac{Q_i}{859.8} \right) * 10^{-3}, [kWh]$$

Definujeme množství energie, která je využívána solárních kolektorů a jde do topné vody.

V červenci se počet sluneční energie na 1 m² v průměru je v rozmezí od 5.27 ÷ 5,87 kWh*m²/den, a v únoru 0,37 ÷ 1,32 kWh*m²/den (tab. 5)

Tabulka 5 - Průměrné denní množství solární energie (kWh*m²/den)

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	0,58	0,4	0,47	0,31	0,11
Únor	1,32	0,82	1,02	0,59	0,37
Březen	2,50	1,39	2,02	1,09	0,66
Duben	3,63	3,83	3,75	3,91	4,00
Květen	5,11	5,55	5,33	5,74	5,90
Červen	5,81	6,48	6,16	6,68	7,26
Červenec	5,27	5,53	5,38	5,65	5,87
Srpen	4,06	4,19	4,15	4,21	4,32
Září	2,82	2,61	2,60	2,62	2,66
Říjen	1,36	0,91	1,25	0,79	0,45
Listopad	0,55	0,34	0,38	0,30	0,17
Prosinec	0,37	0,28	0,31	0,25	0,07

Solární kolektor je absorbovat až 80% energie ze slunečního záření. Hodnota přenosu absorbované energie vakuovými trubkami je $5,27 * 0,8 = 4,21$ kWh/den pro červenec.

Hodnota přenosu absorbované energie vakuovými trubkami je $1,32 * 0,8 = 1,05$ kWh/den pro únor.

Tabulka 6 - Hodnoty přenosu absorbované energie vakuovou trubicí (kWh/m²/den)

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	0,47	0,32	0,38	0,25	0,09
Únor	1,05	0,66	0,81	0,47	0,30
Březen	2,00	1,11	1,62	0,87	0,53
Duben	2,91	3,06	3,00	3,13	3,20
Květen	4,09	4,44	4,26	4,59	4,72
Červen	4,65	5,18	4,93	5,34	5,81
Červenec	4,21	4,42	4,30	4,52	4,70
Srpen	3,25	3,35	3,32	3,37	3,45
Září	2,26	2,09	2,08	2,10	2,13
Říjen	1,09	0,73	1,00	0,63	0,36
Listopad	0,44	0,27	0,30	0,24	0,14
Prosinec	0,29	0,22	0,25	0,20	0,05

Absorpční plocha vakuové trubice o průměru 58mm a délce 1800 mm je 0,08 m². Podle toho je jedna trubice schopná přijímat a vysílat sluneční teplo ve množství, které je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 7 - Hodnoty přenosu absorbované energie jednou vakuovou trubicí (Q_{tr}), (kWh/den)

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01
Únor	0,08	0,05	0,07	0,04	0,02
Březen	0,16	0,09	0,13	0,07	0,04
Duben	0,23	0,25	0,24	0,25	0,26
Květen	0,33	0,36	0,34	0,37	0,38
Červen	0,37	0,41	0,39	0,43	0,46
Červenec	0,34	0,35	0,34	0,36	0,38
Srpen	0,26	0,27	0,27	0,27	0,28
Září	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17
Říjen	0,09	0,06	0,08	0,05	0,03
Listopad	0,04	0,02	0,02	0,02	0,011
Prosinec	0,02	0,02	0,02	0,02	0,004

Definujeme požadovaný počet trubek (N_{tr}). Pomocí výše vypočtené hodnoty určíme počet trubek, které mají být instalovány. Množství energie, které musí být vynaloženo na zahřátí správného množství vody, je $Q_i = 26,2$ kWh.

$$N_{tr} = \frac{Q_i}{Q_{tr}}$$

Tabulka 8 - Počet trubek (D58, L = 1800 mm) vakuového kolektoru pro přívod teplé vody (ks)

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	701	1023	863	1322	3733
Únor	311	499	402	699	1102
Březen	164	295	203	375	619
Duben	113	107	109	105	102
Květen	80	74	77	71	69
Červen	70	63	66	61	56
Červenec	78	74	76	73	70
Srpen	101	98	99	97	95
Září	145	157	157	156	154
Říjen	301	450	326	520	900
Listopad	744	1204	1087	1350	2408
Prosinec	1113	1462	1308	1648	6043

4.2 Odhad ekonomické účinnosti instalace solárních kolektorů

Pro základní jednotku při výpočtu nákladů na zařízení bereme v úvahu náklady na jednu trubku C_{tr} , náklady na všechny trubky jsou:

$$C_{n\ tr} = C_{tr} * n,$$

kde n je počet trubek.

Náklady na ostatní zařízení (regulátor, akumulátor, kabeláž) jsou zprůměrovány:

$$C_{zař} = 0,5 * C_{n\ tr}$$

Tabulka 9 - Rozsah nákladů na kompletní sadu zařízení solárních kolektorů (CZK)

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	1 167 397	1 704 023	1 437 408	2 201 030	6 214 674
Únor	517 210	831 231	669 651	1 163 723	1 835 102
Březen	272 292	490 366	337 538	625 145	1 030 726
Duben	187 599	177 966	181 763	174 176	170 260
Květen	133 312	122 813	127 905	118 841	115 590
Červen	117 249	105 187	110 711	102 037	93 886
Červenec	129 393	123 257	126 678	120 742	116 098
Srpen	167 964	162 675	164 052	161 791	157 921
Září	241 420	261 153	262 157	260 156	256 566
Říjen	501 898	749 021	543 185	865 979	1 498 574
Listopad	1 239 290	2 004 733	1 809 582	2 247 064	4 009 467
Prosinec	1 853 499	2 434 319	2 178 339	2 744 142	10 061 853
Průměr (únor, červenec)	323 000	477 000	398 000	642 000	976 000
* 5	80%	118%	99%	159%	241%

Náklady na stavební a montážní práce C_{smp} , v závislosti na umístění solárních kolektorů, činí v průměru 20% nákladů na zařízení.

Náklady na vybavení:

$$C_{smp} = 0.2 * (C_{ntr} + C_{zař}), [CZK]$$

Náklady na uvedení do provozu C_{udp} - 5% nákladů na vybavení:

$$C_{udp} = 0.05 * (C_{ntr} + C_{zař}), [CZK]$$

Celkové náklady na zařízení na ohřev vody pomocí solárních kolektorů:

$$C_{celk} = C_{ntr} + C_{zař} + C_{smp} + C_{udp}, [CZK]$$

⁵ % na kapitálové výdaje za instalaci kolektorů v Kaliningradské oblasti

Tabulka 10 - Náklady na stavební a montážní práce, (CZK.)

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	233 479	340 805	287 482	440 206	1 242 935
Únor	103 442	166 246	133 930	232 745	367 020
Březen	54 458	98 073	67 508	125 029	206 145
Duben	37 520	35 593	36 353	34 835	34 052
Květen	26 662	24 563	25 581	23 768	23 118
Červen	23 450	21 037	22 142	20 407	18 777
Červenec	25 879	24 651	25 336	24 148	23 220
Srpen	33 593	32 535	32 810	32 358	31 584
Září	48 284	52 231	52 431	52 031	51 313
Říjen	100 380	149 804	108 637	173 196	299 715
Listopad	247 858	400 947	361 916	449 413	801 893
Prosinec	370 700	486 864	435 668	548 828	2 012 371
Průměr (únor, červenec)	65 000	95 000	80000	128 000	195 000
* 6	16%	24%	20%	32%	48%

Tabulka 11 - Náklady na uvedení do provozu, (CZK.)

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	58 370	85 201	71 870	110 052	310 734
Únor	25 861	41 562	33 483	58 186	91 755
Březen	13 615	24 518	16 877	31 257	51 536
Duben	9 380	8 898	9 088	8 709	8 513
Květen	6 666	6 141	6 395	5 942	5 780
Červen	5 862	5 259	5 536	5 102	4 694
Červenec	6 470	6 163	6 334	6 037	5 805
Srpen	8 398	8 134	8 203	8 090	7 896
Září	12 071	13 058	13 108	13 008	12 828
Říjen	25 095	37 451	27 159	43 299	74 929
Listopad	61 964	100 237	90 479	112 353	200 473
Prosinec	92 675	121 716	108 917	137 207	503 093
Průměr (únor, červenec)	16 000	24 000	20 000	32 000	49 000
* 7	4%	6%	5%	8%	12%

⁶ % na kapitálové výdaje za instalaci kolektorů v Kaliningradské oblasti

⁷ % na kapitálové výdaje za instalaci kolektorů v Kaliningradské oblasti

Tabulka 12- Rozsah kapitálových nákladů pro instalaci na klíč (CZK)

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	1 459 247	2 130 029	1 796 759	2 751 288	7 768 342
Únor	646 513	1 039 039	837 064	1 454 654	2 293 878
Březen	340 366	612 958	421 923	781 431	1 288 408
Duben	234 499	222 457	227 203	217 720	212 826
Květen	166 640	153 516	159 881	148 551	144 488
Červen	146 562	131 483	138 388	127 547	117 357
Červenec	161 741	154 071	158 348	150 928	145 123
Srpen	209 955	203 344	205 065	202 239	197 402
Září	301 775	326 441	327 697	325 195	320 707
Říjen	627 372	936 277	678 981	1 082 474	1 873 217
Listopad	1 549 112	2 505 917	2 261 978	2 808 830	5 011 834
Prosinec	2 316 874	3 042 899	2 722 924	3 430 177	1 257 7316
Průměr (únor, červenec)	404 000	597 000	498 000	803 000	1 220 000
* 3	100%	148%	123%	198%	302%

Roční náklady na údržbu zařízení:

$$C_{udrž} = 0.2 * \frac{(C_{celk} * C_{odpis})}{T_z}, [CZK]$$

kde C_{odpis} - roční předpokládaná odpisová hodnota je 20%

0.2 - koeficient, při zohlednění mezd pracovníků.

T_z - životnost solární stanice (uvedená v technickém pase) je v průměru 20 let.

Úspory z instalace solární stanice za rok:

$$U_{solar} = C_{tep} - C_{udrž}, [CZK]$$

kde C_{tep} - roční náklady na tepelnou energii.

Určení doby návratnosti:

$$\tau = \frac{C_{celk}}{U_{solar}}, [CZK]$$

Tabulka 13 - Rozsah ročních provozních nákladů (CZK)

Měsíc	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Leden	2 918	4 260	3 594	5 503	15 537
Únor	1 293	2 078	1 674	2 909	4 588
Březen	681	1226	844	1563	2 577
Duben	469	445	454	435	426
Květen	333	307	320	297	289
Červen	293	263	277	255	235
Červenec	323	308	317	302	290
Srpen	420	407	410	404	395
Září	604	653	655	650	641
Říjen	1 255	1 873	1 358	2 165	3746
Listopad	3 098	5 012	4 524	5 618	10 024
Prosinec	4 634	6 086	5 446	6 860	25 155
Průměr (únor, červenec)	808	1193	995	1 606	2 439
* 8	0,2%	0,3%	0,2%	0,4%	0,6%

Tarif za tepelnou energii v SZFO se liší v závislosti na specifické poloze spotřebitelů. V souvislosti s touto skutečností byl při výpočtu nákladů na vytápění použit tarif 1073 CZK na 1 Gcal, což odpovídá ceně 922 CZK za 1 MWh.

Roční potřeba dodávky tepla ve výrobním závodě s personálem celkem 6 osob ve výši 1,5 MWh za rok pro 1 osobu a pro vytápění a větrání prostor o celkové rozloze 1100 m²:

Na TUV: 1.5 MWh x 922 CZK x 6 lidí = 8 298, [CZK]

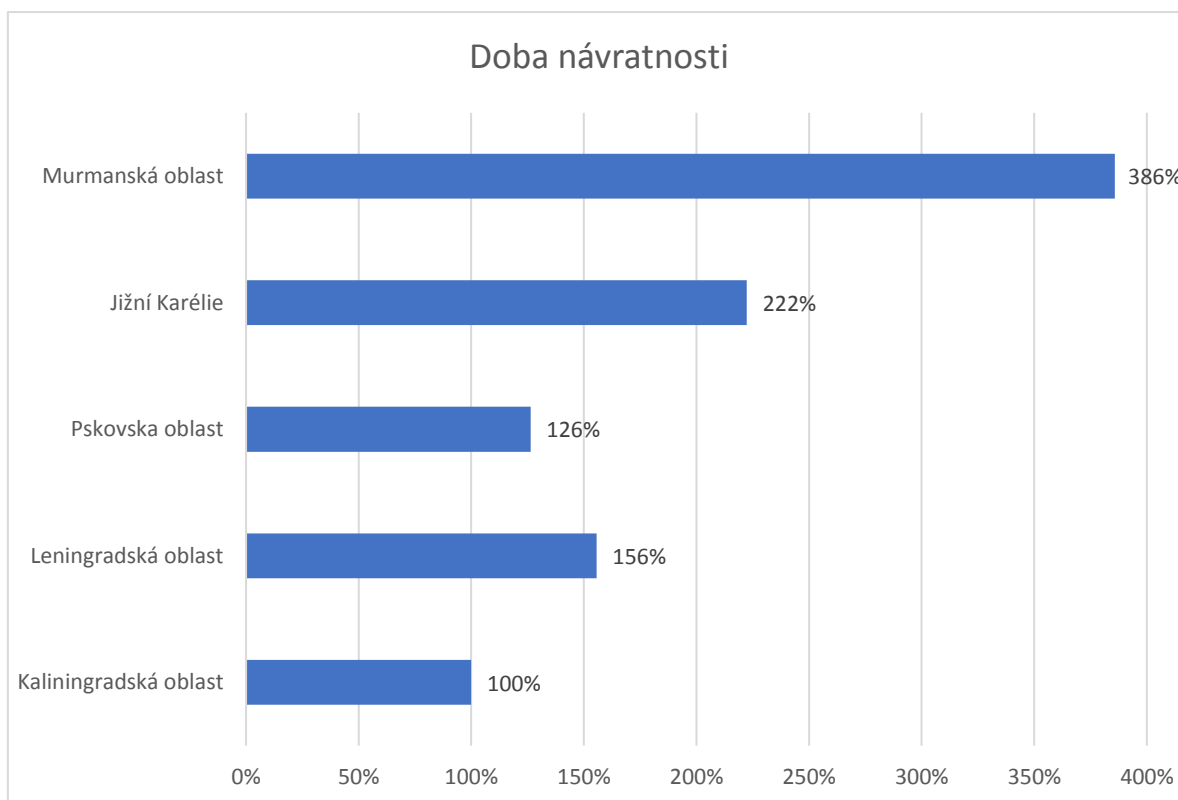
0.1MWh x 922 CZK. x 1100 m² = 101 420, [CZK]

Celkové náklady na teplo je **109 718, [CZK]**.

⁸ % na kapitálové výdaje za instalaci kolektorů v Kaliningradské oblasti

Tabulka 14 - Návrstnost kapitálových nákladů za tarifu 922 CZK/MWh

Indikátor		Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Ekonomický účinek při pokrytí celého zatížení, CZK		108 915	108 530	108 727	108 117	107 284
Pouze TUV, CZK		7 490	7 105	7 303	6 693	5 859
Doba návratnosti	Cele pokrytí	3,7	5,5	4,6	7,4	11,4
	TUV	54,0	84,0	68,2	120,0	208,1
* 9	Cele pokrytí	100%	148%	123%	200%	306%
	TUV	100%	156%	126%	222%	386%



Obrázek 10 - Relativní návratnost využití solárních kolektorů v oblastech SZFO (pokrytí TUV)

⁹ % doby návratnosti kapitálových nákladů za instalaci kolektorů v Kaliningradské oblasti

Tabulka 15 - Návrstnost kapitálových nákladů za tarifu 1430 CZK/MWh

Indikátor	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Ekonomický účinek při pokrytí celého zatížení, CZK	169 412	169 027	169 225	168 614	167 781
Pouze TUV, CZK	12 066	11 681	11 878	11 268	10 435
Doba návratnosti, let	2,4	3,5	2,9	4,8	7,3
	33,5	51,1	41,9	71,2	116,9
¹⁰	100%	148%	123%	200%	305%
	100%	152%	125%	213%	349%

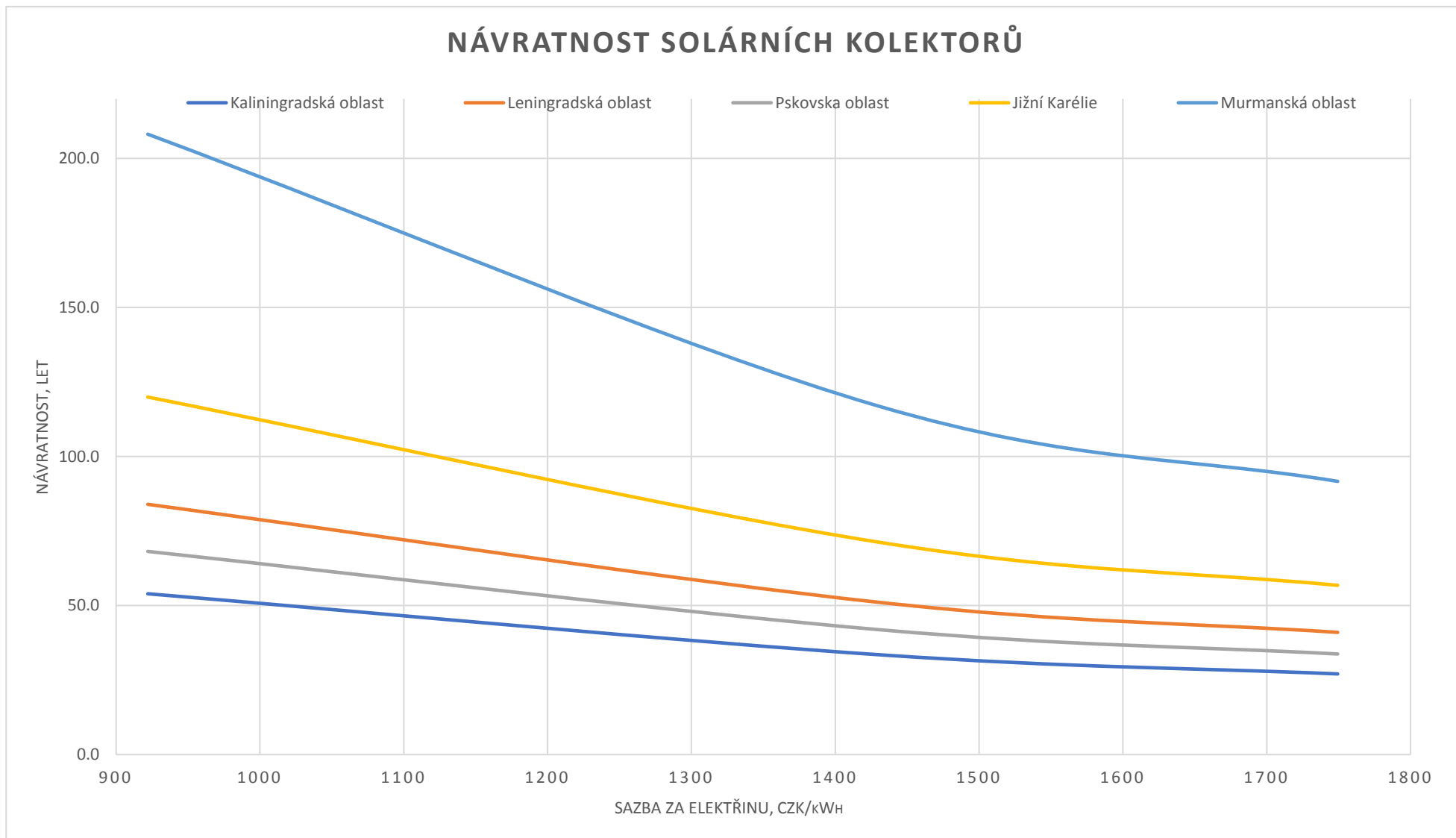
Tabulka 16 - Návrstnost kapitálových nákladů za tarifu 1749 CZK/MWh

Indikátor	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Ekonomický účinek při pokrytí celého zatížení, CZK	207 366	206 981	207 178	206 568	205 735
Pouze TUV, CZK	14 936	14 551	14 749	14 139	13 305
Doba návratnosti, let	1,9	2,9	2,4	3,9	5,9
	27,1	41,0	33,7	56,8	91,7
¹¹	100%	121%	101%	163%	248%
	100%	122%	101%	170%	274%

¹⁰ % doby návratnosti kapitálových nákladů za instalaci kolektorů v Kaliningradské oblasti

¹¹ % doby návratnosti kapitálových nákladů za instalaci kolektorů v Kaliningradské oblasti

NÁVRATNOST SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ



Obrázek 11 - Závislost návratností solárního kolektoru na geografické poloze a tarifu na teplo

4.3 Elektrické výpočty instalace solárních panelů

Nejprve byla vypočítána průměrná spotřeba energie objektu.

Průměrná spotřeba energie zařízení se považuje za aritmetický průměr roční spotřeby po dobu třech let:

$$W = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{3}, [kWh]$$

kde W_1, W_2, W_3 - skutečná spotřeba elektrické energie objektu kWh.

Na základě původních údajů vypočtena průměrná roční spotřeba elektřiny s třísměnným pracovním plánem objektu.

$$W = 30 \text{ kW} * 24 \text{ h} * 365 \text{ d} = 262\,800, [kWh]$$

Během výpočtu průměrného spotřebovaného množství elektrické energie je třeba zohlednit 20% ztrátu energie při nabíjení a vybíjení akumulátoru.

$$W_{stř.roč} = W + 0,2W, [kWh]$$

$$W_{stř.roč} = 1.2 * 262800 = 315\,360, [kWh]$$

Hodnota maximální okamžité spotřeby (P_{Σ}) všech elektrických zařízení bude:

$$P_{\Sigma} = \sum P_n, [kW]$$

kde P_n je maximální spotřeba elektrické energie jednotlivých spotřebitelů.

Pokud víme průměrnou roční spotřebu energie a hodnotu špičkového výkonu, lze určit složení potřebného zařízení v napájecím systému.

Podle původních údajů se vezmeme:

$$P_n = K_m * P_{stř} = 1.73 * 20 \text{ kW} = 34.6, [kW]$$

kde K_m - koeficient maxima¹².

Pro podmínky severozápadního regionu Ruska nejlepší variantou bude monokrystalický panel typu Sunways FSM (viz. Příloha), díky schopnosti pracovat při teplotách až -40°C a při dostatečně vysoké účinnosti 16.5%.

¹² http://slavapril.narod.ru/raschet_nagruzki.html

Tabulka 17 - Elektrické údaje solárního panelu

Elektrické údaje (STC)	
Max. power (P_{max}) [W]	320
Max. power voltage (V_{mp}) [V]	37.6
Max. power current (I_{mp}) [A]	8.51
Open circuit voltage (V_{oc}) [V]	45.8
Short circuit current (I_{sc}) [A]	9.21



Obrázek 12 - Monokrystalický solární panel [35]

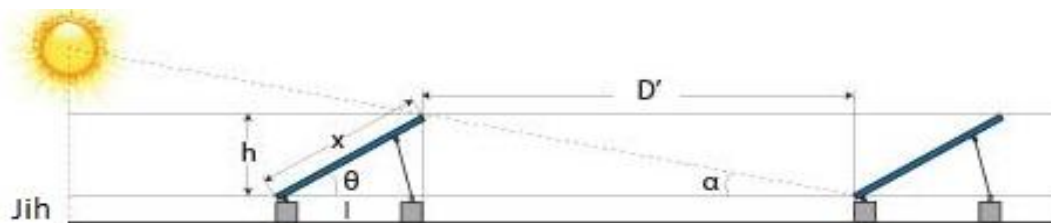
Optimální úhel sklonu solárních modulů byl předem stanoven. Pro jaro a podzim se optimální úhel sklonu rovná zeměpisné šířce terénu (předpokládáme asi 52°).

Pro zimní období se tato hodnota zvyšuje o 10 ÷ 15 stupňů a v létě se úhel sklonu snižuje o stejné množství 10 ÷ 15 stupňů. Doporučuje se měnit úhel sklonu solárních panelů z "letního" na "zimní" dvakrát ročně.

Výsledky výpočtu úhlů sklonu solárních panelů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 18 - Úhly sklonu solárních panelů vzhledem k sezóně

Sezóna	Úhel sklonu (°)		Vybraný úhel pro další výpočty (°)	Průměrný úhel (°)
	Min	Max		
Zima	62	67	65	52.5
Léto	37	42	40	



Obrázek 13 - Vliv výšky slunovratu na sklon solárních panelů. (boční pohled), [převzato z 36]

Maximální zastínění solárního panelu bude při maximálním úhlu sklonu panelu v zimním období (viz tabulka 18). Plocha obsazená solárním panelem s jeho podélným uspořádáním bude závislá na maximální délce stínu (D'), a šířce panelu (m).

Vypočítáme maximální plochu obsazenou jedním solárním modulem S_{max} :

$$h = x * \sin(\theta) = 1.956 * \sin(65^\circ) = 1.772, [m]$$

kde x – délka panelu (m), θ – úhel sklonu solárního panelu ($^\circ$)

$$D' = \frac{h}{\tan(\alpha)} + l = \frac{1,772}{\tan(25^\circ)} + 0.83 = 4.63, [m]$$

kde α – úhel dopadu slunečních paprsků ($^\circ$), l – plocha stínění pod panelem(m)

$$S_{max} = D' * m = 4.63 * 0.992 = 4.6, [m^2]$$

Počet solárních modulů umístěných na ploché střeše budov a jeho okolí:

$$n_{sp} = \frac{\sum S_s + \sum S_o}{S_{max}}$$

$$n_{sp} = \frac{600 + 200}{4.6} = 174, [ks]$$

kde S_s – plocha střechy budovy, $[m^2]$,

S_o – volný prostor v okolí, $[m^2]$.

Průměrná roční výroba elektrické energie solárním fotovoltaickým modulem je určena ze vzorce:

$$W_{sp} = P * E n_{sp}$$

kde P je výkon jednoho modulu, $[kW]$;

$E n_{sp}$ celková denní doba průměrného slunečního svitu pro vybrané období. V našem případě počítáme osvit za rok.

Výsledky výpočtu průměrného ročního objemu přeměny sluneční energie na elektrickou energii pomocí solárních fotovoltaických modulů ve vypočtených oblastech jsou uvedeny v tabulce 19.

Tabulka 19 - Roční dodávky elektřiny ze solárních panelů

Indikátor	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karelia	Murmanská oblast
Celková insolace za rok, [kWh·m ² / rok]	1018,5	986,2	1001,7	981,8	971,7
En _{sp} [kWh·m ² /den]	2,78	2,69	2,74	2,68	2,65
Výkon jednoho solárního modulu, P, [kW]	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
W _{sp} [kWh/den]	0,89	0,86	0,88	0,86	0,85
n _{sp} [ks]	174	174	174	174	174
Roční dodávky elektřiny ze solárních panelů [kWh]	56 710,1	54 911,6	55 774,7	54 666,6	54 104,3
¹³	100%	96,8%	98,4%	96,4%	95,4%

¹³ % z roční dodávky elektřiny v Kaliningradské oblasti

4.3.1 Výběr a stanovení počtu akumulátoru

V našem případě jsou nevhodnějšími budou akumulátory typu GEL nebo AGM, protože nevyžadují žádnou údržbu a mohou odolat velkému množství nabíjecích vybíjecích cyklů.

Navzdory skutečnosti, že cena gelových baterií je vyšší než cena AGM, bude použití baterie GEL nejvýhodnější, protože lépe snáší práci v nízkých i vysokých teplotách a počet cyklů typické gelové baterie je v průměru o 50% vyšší než u baterie typu AGM. Důležitým rysem gelových baterií je jejich odolnost vůči hlubokému vybití.

V důsledku toho byl pro tuto úlohu vybrán akumulátor typu GEL Delta GX 12-200 (12V-200Ah) s životností 10 let.



Obrázek 14 - akumulátor typu GEL Delta GX 12-200, [převzato z 37]

Celková kapacita akumulátoru je:

$$C_{\Sigma} = \frac{W_{\Sigma}}{U_a} = \frac{1.2 * 34.6 * 10^3}{4 * 12} = 865, [Ah]$$

kde W_{Σ} - celkový výkon, U_a - napětí baterie

Požadované množství baterií:

$$n_a = \frac{C_{\Sigma}}{C_a}$$

Celkový počet akumulátorových baterií je považován větší o 5-6% z předpokládané kapacity baterie (přídavná kapacita sníží hloubku vybití každé baterie, což znamená, že prodlouží její životnost).

$$n_a = \frac{865}{200} \approx 5, [ks]$$

Solární moduly se používají v samostatných a záložních napájecích systémech spolu s regulátory nabíjení, které hrají klíčovou roli při zajišťování efektivního provozu fotovoltaické stanice, při ochraně baterií před nabitím a při hlubokém vybití, což prodlužuje jejich životnost.

Použití regulátoru nejen prodlužuje životnost baterie, ale také umožňuje efektivnější využití energie přijaté ze solárního panelu pro nabíjení. Zvýšení efektivity je asi 15-20%.

Důležitým "spojením" v solární elektrárně je střídač. Tento prvek převádí stejnosměrný proud z baterie do střídavého přicházející do elektrické sítě objektu. Výkon střídače požadovaný pro určitý autonomní objekt je definován jako celková spotřeba energie všech elektrických zařízení, která obsahuje. Během vypracování této práce byl vybrán třífázový síťový střídač vyráběný společností GoodWe, model: GW25K-DT.



Obrázek 15 - Třífázový síťový střídač GoodWe, model: GW25K-DT, [převzato z 38]

Počet střídačů je určen podle vzorce:

$$n_{stř} = \frac{P_{\Sigma}}{P_{stř}}, [ks]$$

kde P_{Σ} je celková kapacita elektrického zařízení, $P_{stř}$ je výkon jednoho střídače, [W].

Výpočet je založen na datech konkrétního objektu využívajícího solární panely, přičemž se vezme v úvahu skutečnost, že ve většině případů nemohou sloužit jako plnohodnotná náhrada "centralizované" elektrické sítě.

$$n_{stř} = \frac{41\,520}{25\,000} \approx 2, [ks]$$

4.4 Odhad ekonomické účinnosti instalace solárních baterií

Pro základní jednotku při výpočtu nákladů počítáme s náklady na jeden panel C_p , cena všech panelů C_c je:

$$C_c = C_p * n$$

kde n – je počet panelů.

Náklady na zbytek elektrického zařízení, pokud nejsou známy náklady na každý prvek v něm (střídač, vybavení), jsou zprůměrovány do $C_{zař} = 0.5 * C_c$, pokud je hodnota prvků známa, pak je třeba vzít součet všech hodnot $C_{\Sigma vyb}$, přičemž baterie slouží asi 10 let, proto bude baterie vyměněna 2 krát tak její cena C_{bat} je brána samostatně a ve výpočtu se rovná $2 * C_{bat}$.

Náklady na stavební a instalační práce, v závislosti na umístění solárních panelů, činí 20% nákladů na zařízení. Náklady na vybavení:

Pokud jsou známy náklady na všechna zařízení:

$$C_{\Sigma vyb} = C_c + C_{zař} + 2 * C_{bat} + 0.2 * (C_c + C_{zař} + 2 * C_{bat}), [CZK]$$

Pokud jsou známy náklady pouze na solární panely:

$$C_{\Sigma vyb} = C_c + 0.5 * C_c + 2 * C_{bat} + 0.2 * C_p, [CZK]$$

Cena vybraného solárního panelu o výkonu 0,32 kW činí 7900 CZK, náklady na vybranou baterii 200 Ah jsou 10110 CZK, pak celkové náklady na zařízení budou:

$$C_{\Sigma vyb} = 7900 * 174 * 1.7 + 2 * 5 * 10110 = 2\,437\,920, [CZK]$$

Náklady na uvedení do provozu - 5% nákladů na vybavení (investice do akce):

$$C_{udp} = 0.05 * C_{\Sigma vyb}$$

$$C_{udp} = 0.05 * 2\,437\,920 = 121\,896, [CZK]$$

Náklady na instalaci solární stanice:

$$C_{inst} = C_{\Sigma vyb} + C_{udp}$$

$$C_{inst} = 2\,357\,040 + 121\,896 = 2\,478\,936, [CZK]$$

Roční náklady na údržbu zařízení:

$$C_{udrž} = 0,2 * \frac{C_{inst} * C_{odpis}}{T_{\dot{z}}}, \left[\frac{CZK}{rok} \right]$$

kde C_{odpis} – roční předpokládaná odpisová hodnota je 20%.

0,2 – koeficient, který bere v úvahu mzdy pracovníků

T_z – životnost solární stanice (uvedené v technickém pasu) je v průměru 20let.

$$C_{udr\check{z}} = 0.2 * \frac{2\,478\,936 * 0.2}{20} = 4\,958, \left[\frac{CZK}{rok} \right]$$

Úspory ze zavedení solárního systému za rok:

$$C_{usp} = C_{el.sp} - C_{udr\check{z}}, [CZK]$$

kde $C_{el.sp}$ - roční dodávky elektřiny ze solárních panelů při současném tarifu, CZK.

$$C_{el.sp} = C_{el} * W_{sp}$$

kde, C_{el} – stávající sazba za elektřinu, [CZK/kWh]

W_{sp} – roční množství elektřiny získané ze solárních panelů, [kWh].

Určení doby návratnosti:

$$\tau = \frac{C_{\Sigma vyb}}{C_{usp}}, [let]$$

4.4.1 Vliv tarify za elektřinu na ekonomický účinek instalace panelů

Tabulka 20 - Ekonomický účinek instalace solárních panelů při tarifu za elektřinu 5 RUB, (1,85 CZK)

Indikátor	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karélie	Murmanská oblast
Celková izolace za rok, [kWh·m ² / rok]	56 710,1	54 911,6	55 774,7	54 666,6	54 104,3
sazba za elektřinu	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
$C_{udr\check{z}}$ CZK	4 958	4 958	4 958	4 958	4 958
C_{usp} CZK	99 956	96 628	98 225	96 175	95 135

Tabulka 21 - Návrstnost instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 5 RUB, (1,85 CZK)

Indikátor	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karelia	Murmanská oblast
C_{inst} , CZK	2 479 000	2 479 000	2 479 000	2 479 000	2 479 000
C_{usp} , CZK	100 000	97 000	98 000	96 000	95 000
Návrstnost, let	24,8	25,7	25,2	25,8	26,1

Tabulka 22 - Ekonomický účinek instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 6 RUB, (2,22 CZK)

Indikátor	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karelia	Murmanská oblast
Celková insolace za rok, [kWh·m ² / rok]	56 710,1	54 911,6	55 774,7	54 666,6	54 104,3
Sazba za elektřinu, CZK	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
$C_{udř}$, CZK	4 958	4 958	4 958	4 958	4 958
C_{usp} , CZK	121 000	117 000	119 000	116 000	115 000

Tabulka 23 - Návrstnost instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 6 RUB, (2,22 CZK)

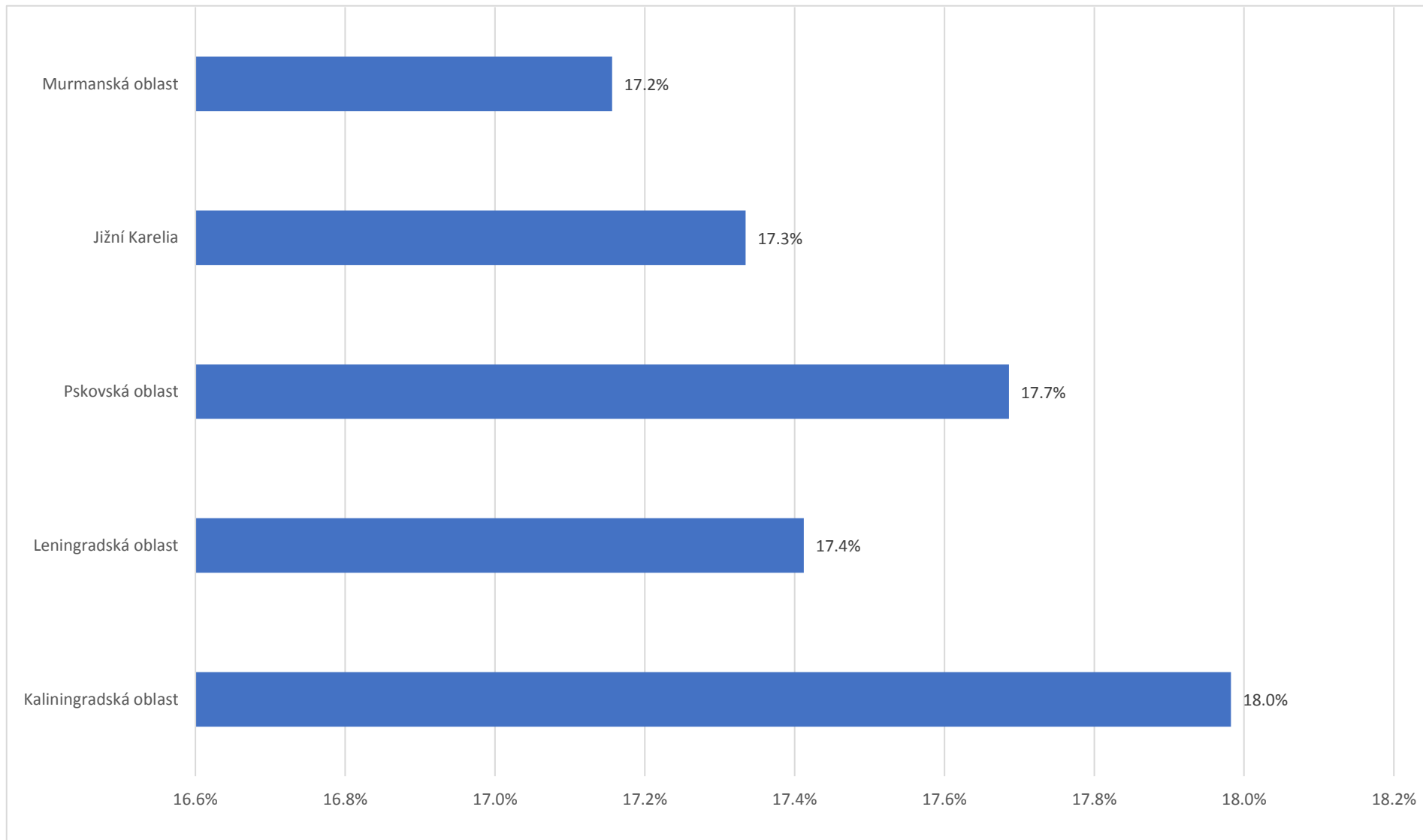
Indikátor	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karelia	Murmanská oblast
C_{inst} , CZK	2 479 000	2 479 000	2 479 000	2 479 000	2 479 000
C_{usp} , CZK	120 938	116 946	118 862	116 402	115 153
Návrstnost, let	20,5	21,2	20,9	21,3	21,5

Tabulka 24 - Ekonomický účinek instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 7 RUB, (2,59 CZK)

Indikátor	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karelia	Murmanská oblast
Celková insolace za rok, [kWh·m ² / rok]	56 710,1	54 911,6	55 774,7	54 666,6	54 104,3
Sazba za elektřinu, CZK	2,59	2,59	2,59	2,59	2,59
$C_{udř}$, CZK	4 958	4 958	4 958	4 958	4 958
C_{usp} , CZK	142 000	137 000	139 000	137 000	135 000

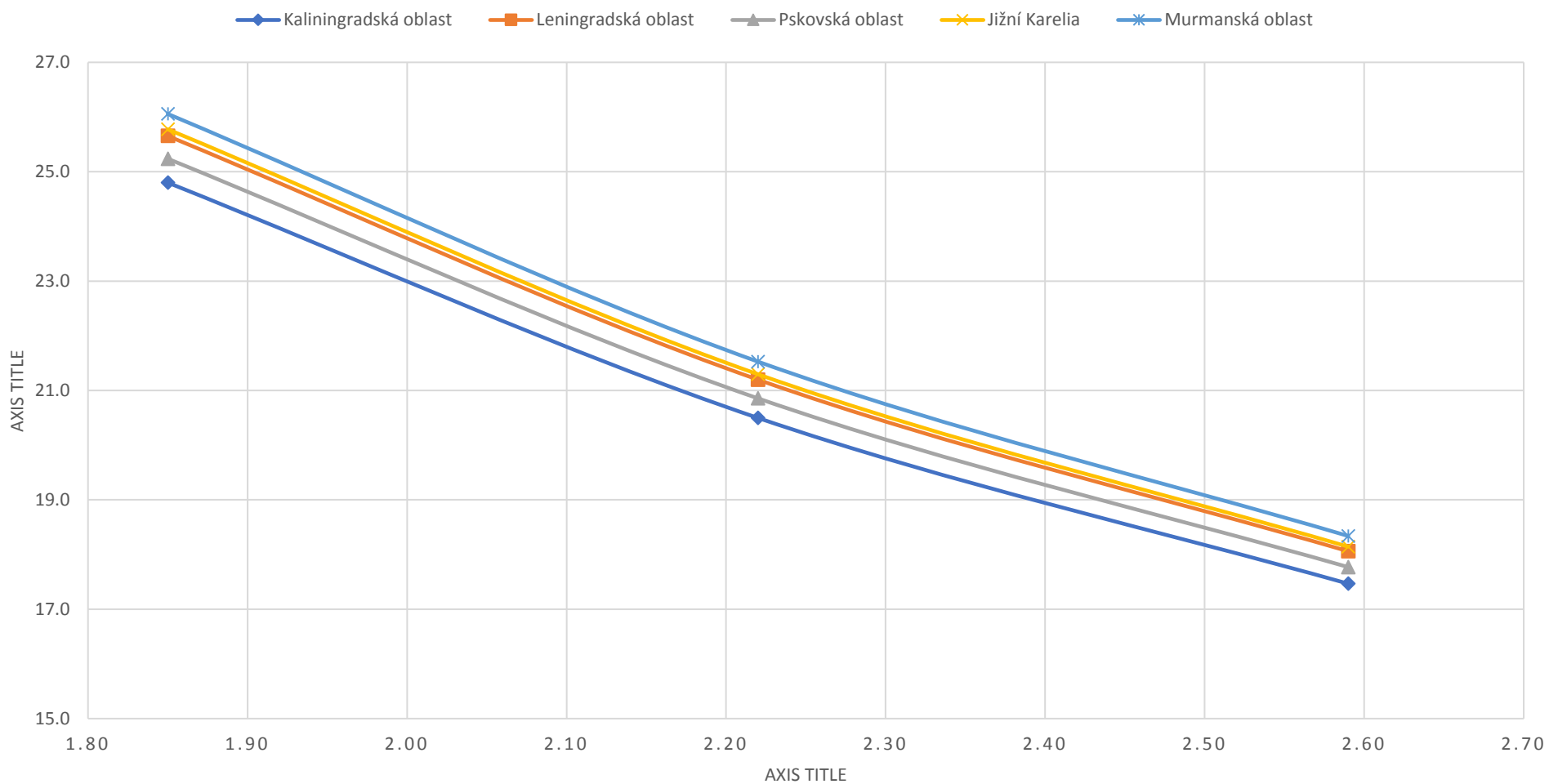
Tabulka 25 - Návrstnost instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 7 RUB, (2,59 CZK)

Indikátor	Kaliningradská oblast	Leningradská oblast	Pskovská oblast	Jižní Karelia	Murmanská oblast
C_{inst} , CZK	2 479 000	2 479 000	2 479 000	2 479 000	2 479 000
C_{usp} , CZK	141 921	137 263	139 498	136 629	135 172
Návrstnost, let	17,5	18,1	17,8	18,1	18,3



Obrázek 16 - Odhadovaný potenciál pro úsporu energie při použití solárních panelů v systému napájení

NÁVRATNOST SOLÁRNÍCH PANELŮ



Obrázek 17 - Návratnost solárních panelů v závislosti na změnách sazby za elektřinu

5 Zhodnoceni

Během studie účinnosti využití solárních elektráren v identických systémech typických výrobních objektů, přičemž z nichž každý se rozlišuje podle oblasti z administrativní územní útvarů SZFO RF, bylo provedeno stručné srovnání solárních elektráren. Byly zkoumány a analyzovány jejich konstrukční vlastnosti, v kontextu dvou hlavních typů: solární kolektory a solární panely. Byly provedeny teplo-technické a ekonomické výpočty v závislosti na regionu, na základě kterých bylo provedeno další porovnání.

Srovnávací analýza ukázala významnou výhodu solárních vakuových kolektorů s tepelnými trubicemi oproti jiným konstrukcím solárních kolektorů, z důvodu možnosti použití těchto zařízení v systémech zásobování teplem v severozápadním Rusku kvůli jejich provozuschopnosti při záporných teplotách do $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Výsledky výpočtů ukázaly, že pro severozápadní region jsou geografické podmínky území Kaliningradských a Pskovských regionů nejvýhodnější pro využití solárních elektráren, pokud jde o úsporu energie. Taky lze říci, že aplikace solárních stanic v Kaliningradském kraji současně dává největší vliv při srovnání s jinými územími, od 1,2 do 3,8 krát.

Odhadovaný potenciál úspory energie v důsledku využívání solárních panelů v systému napájení v typickém zařízení byl od 17 do 18 %.

Vzhledem k poměrně vysokému potenciálu pro úsporu energie vyžaduje použití solárních elektráren v severozápadním regionu v každém jednotlivém případě důkladnou analýzu a studie proveditelnosti, protože výsledky studie ukázaly, že místní tarify a vysoké běžné ceny pro energeticky nejúčinnější solární elektrárny mají významný dopad na ekonomickou efektivitu a návratnost uvažovaných projektů.

6 Přílohy

6.1 Seznam použité literatury

1. Дрексель Р., Гамисония Р. Сооружение солнечных коллекторов для горячей воды. Практическое руководство. WECF, 2012.
2. Матвеев А. В., Щекпеин С. Е., Пахалуев В. М. Оценка энергетической производительности солнечного коллектора с естественной циркуляцией теплоносителя
3. Плотницкий И.О. Перспективы использования солнечных коллекторов в России II Журнал «Индустрия», № 3, 2011. С. 62.
4. В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К.Малинин Москва: "Солнечная энергетика" МЭИ, 2008. – 317 с - Солнечная энергетика. Методы расчетов.
5. Харченко Н.В. Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с- Индивидуальные солнечные установки.
6. Перевод с венгерского. – Будапешт: GB-GANZ Tüzelestechnikai Kft, 2007. – 32 с. с иллюстрациями- Солнечный коллектор. Пособие по проектированию.
7. Германович В., Турилин А. Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2014. – 320 с - Альтернативные источники энергии и энергосбережение.
8. Кашкаров А.П. Москва: ДМК Пресс, 2011. – 144 с – Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции.
9. Мак-Вейг Д.Москва: Энергоиздат, 1981. – 216 с - Применение солнечной энергии.
- 10.Харченко Н.В. «Индивидуальные солнечные установки» Энергоатомиздат, 1991 год, 208 стр. - Индивидуальные гелиосистемы.
- 11.Ахмедов Р.Б. и др. «Гелиоэнергетика. Солнечные электрические станции» ВИНТИ, 1986 год, 120 стр., - Технологический анализ солнечных электростанций.
- 12.Сабади П.Р. «Солнечный дом» Стройиздат, 1981 год, 113стр. - Системы использования солнечной энергии.
- 13.Э. Юсти и А. Винзель «Топливные элементы» Мир, 1964 год, 480 стр., Технологии создания и использования.
- 14.Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. «Отопление и тепловые сети» ИНФРА-М, 480 стр., Отопление и тепловые сети.
- 15.Книги, руководства, спецификации. - Альтернативные энерготехнологии.
- 16.Э.А. Киреева, Г.Ф. Быстрицкий «Справочник энергетика предприятий, учреждений и организаций» Колос, 2010 год, 804 стр., - Обновленный справочник для энергетиков и теплотехников.
- 17.Кутателадзе С. С. - Основы теории теплообмена.
- 18.Х. Уонг – Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров.

19. Основы теплопередачи – Михеев М.А. Михеева И.М.
20. Финансы предприятий: Учебник / А. М. Поддериогин.
21. Системы водяного отопления, Автор – Покотилов В.В.
22. Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения - Автор – Покотилов В.В.
23. Проектирование систем водяного отопления авторы - Зайцев О.Н., Любарец А.П.
24. Проектирование систем вентиляции и отопления, Автор: Шумилов Рудольф Николаевич, Толстова Юлия Исааковна, Бояршинова Анна Николаевна.
25. Основы отопления и вентиляции- Авторы: Евгений Штокман, Татьяна Скорик.

6.2 Seznam použitých zdrojů z internetu

1. Účinnost solárních panelů – <http://www.solarniasociace.cz/cs/aktualne/936-australsti-vedci-prekrocili-v-ucinnosti-solarnich-panelu-40-procent>
2. Konstrukce vakuového solárního kolektoru – http://www.solarhome.ru/basics/solar/principle_vacuum.htm
3. Jak fungují solární ohřivače vody – <http://eco-bud.com/podvedenie-naruzhnykh-inzhenernykh-sistem/solnechnye-vodonagrevateli.html>
4. Thermosiphonové solární systémy pro ohřev vody – <https://www.atmosfera.eu/produkcja/termosyfonowe-systemy-ogrzewania-slonecznego/>
5. Jak fungují vakuové kolektory na principu Heat Pipe – <http://solarni-kolektory.blogspot.cz/2012/05/jak-funguji-vakuove-kolektory-na.html>
6. Komponenty vakuového kolektoru – <https://ukrkomfort.com.ua/sostav-gelio>
7. Přímé využití sluneční energie - systémy využívající fototerální kapalinové kolektory – <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6518-prime-vyuziti-slunecni-energie-systemy-vyuzivajici-fotothermalni-kapalinove-kolektory-i>
8. Fotovoltaické systémy pro výrobu elektrické energie – https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/106536/mod_resource/content/0/B1M13ASS-7.pdf
9. Severozápadní federální okruh Ruska – <https://studfiles.net/preview/1758646/>
10. Monokrystalický solární panel – <http://realsolar.ru/16118.html>
11. Výpočet vzdálenosti mezi řadami solárních panelů – https://avtonom.com.ua/stati/towari_alternativnoy_energetiki/solnechnie_batarei/kak-rascchitat-rasstojanie-mezhdu-rjadami-solnechnyh-batarej
12. Baterie Delta GX 12-200 – http://www.delta-battery.ru/catalog/gx/delta-gx-12-200/?gclid=EAIaIQobChMI2YCD07bV2QIVxhsYCh003gq_EAAYAiAAEgJBgvD_BwE
13. Třífázový síťový střídač GoodWe pro solární panely – <http://www.solnechnye.ru/inventory-220v/GoodWe-GW25K-DT-25kW-380V.htm>

14. Photovoltaic Geographical Information System – <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
15. Parametry solárního modulu Sunways řady FSM – <http://realsolar.ru/wp-content/uploads/2014/09/opisanieFSM320m.pdf>
16. Konstrukce solárních kolektorů – <http://solarsoul.net/solnechnyj-kollektor-novogo-pokoleniya-ot-sunmaster>
17. Solární energie – <http://bellona.ru/2007/09/29/na-severo-zapade-rossii-nachali-eksper/>
18. Technická literatura, palivové články – <https://www.htbook.ru/ehlektrotehnika/ehnergetika/toplivnye-ehlementy>
19. Solární kolektory – <http://www.kofulso78.ru/solnechnyj-kollektor/>
20. Solární kolektory – <http://www.helios-house.ru/vakuumnye-solnechnye-kollektory/>
21. Výpočet zisku a ziskovosti podniků – <http://pravo.studio/osnovyi-finansov/metodicheskie-rekomendatsii-resheniyu-zadach-42241.html>
22. Akumulátory tepelné energie – <http://otoplenie-gid.ru/elementy/277-teplovoj-akkumulyator-v-sisteme-otopleniya>
23. Akumulátory tepelné energie – <http://teplo.guru/elementy/baki/teploakkumulyator-svoimi-rukami.html>
24. Provoz cirkulačních čerpadel – <https://ru.wikipedia.org/wiki>
25. Oběhové čerpadlo. Princip činnosti – <http://gidotopleniya.ru/nasosy/nasos-cirkulyacionnyj-dlya-otopleniya-vidy-i-texnologii-montazha-595>

6.3 Seznam obrázku

Obrázek 1 - Konstrukce solárního kolektoru s aktivním cirkulačním systémem chladiva převzato z [27].

Obrázek 2 - Konstrukce solárního vakuového kolektoru převzato z [28].

Obrázek 3 - Konstrukce solárního vakuového kolektoru s výměníkem tepla a přímým přenosem tepla převzato z [29].

Obrázek 4 - Solární kolektor vyrobený pomocí gravitačních tepelných trubek převzato z [30].

Obrázek 5 - Vakuová trubice převzato z [31].

Obrázek 6 - Konstrukce plochého slunečního kolektoru převzato z [32].

Obrázek 7 - Typická schéma solárního tepelného zařízení pro dodávku teplé vody.

Obrázek 8 - Prvky slunečního fotovoltaického panelu převzato z [33].

Obrázek 9 - Mapová schéma severozápadního federálního okresu Ruska převzato z [34].

Obrázek 10 - Relativní návratnost využití solárních kolektorů v oblastech SZFO.

Obrázek 11 - Závislost návratností solárního kolektoru na tarifu na teplo.

Obrázek 12 - Monokrystalický solární panel převzato z [35].

Obrázek 13 - Vliv výšky slunovratu na sklon solárních panelů převzato z [36].

Obrázek 14 - Akumulátor typu GEL Delta GX 12-200 převzato z [37].

Obrázek 15 - Třífázový síťový střídač GoodWe, model: GW25K-DT převzato z [38].

Obrázek 16 - Odhadovaný potenciál pro úsporu energie při použití solárních panelů v systému napájení.

Obrázek 17 - Návratnost solárních panelů v závislosti na změnách sazby za elektřinu.

6.4 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Celková klasifikace solárních tepelných zařízení.

Tabulka 2 - Srovnání hlavních charakteristik nejběžnějších konstrukce solárních kolektorů.

Tabulka 3 - Střední měsíční slunečná insolace kWh/m².

Tabulka 4 - Charakteristika průmyslové budovy.

Tabulka 5 - Průměrné denní množství solární energie.

Tabulka 6 - Hodnoty přenosu absorbované energie vakuovou trubicí.

Tabulka 7 - Hodnoty přenosu absorbované energie jednou vakuovou trubicí.

Tabulka 8 - Počet trubek vakuového kolektoru pro přívod teplé vody.

Tabulka 9 - Rozsah nákladů na kompletní sadu zařízení solárních kolektorů.

Tabulka 10 - Náklady na stavební a montážní práce.

Tabulka 11 - Náklady na uvedení do provozu.

Tabulka 12 - Rozsah kapitálových nákladů pro instalaci na klíč.

Tabulka 13 - Rozsah ročních provozních nákladů.

Tabulka 14 - Návratnost kapitálových nákladů za tarifu 922 CZK/MWh.

Tabulka 15 - Návratnost kapitálových nákladů za tarifu 1430 CZK/MWh.

Tabulka 16 - Návratnost kapitálových nákladů za tarifu 1749 CZK/MWh.

Tabulka 17 - Elektrické údaje solárního panelu.

Tabulka 18 - Úhly sklonu solárních panelů vzhledem k sezóně.

Tabulka 19 - Roční dodávky elektřiny ze solárních panelů.

Tabulka 20 - Ekonomický účinek instalace solárních panelů při tarifu za elektřinu 5 RUB.

Tabulka 21 - Návratnost instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 5 RUB.

Tabulka 22 - Ekonomický účinek instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 6 RUB.

Tabulka 23 - Návratnost instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 6 RUB.

Tabulka 24 - Ekonomický účinek instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 7 RUB.

Tabulka 25 - Návratnost instalace solárních panelů při sazbě za elektřinu 7 RUB.