

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**STUDIE VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE PRO OHŘEV
TEPLÉ VODY V BYTOVÉM DOMĚ, NÁVRH MOŽNÉHO
ŘEŠENÍ PRO ZADANÝ OBJEKT**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021/2022

Vypracovala:

Jana Šafaříková

Vedoucí práce:

Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šafaříková Jméno: Jana Osobní číslo: [redacted]
Zadávací katedra: K125 Katedra technických zařízení budov
Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství
Studijní obor: (3608R008) Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zdravotechnika bytového domu
Název bakalářské práce anglicky: Water supply and sewerage instalation in apartment building
Pokyny pro vypracování:
Studie využití solární energie pro ohřev teplé vody v bytovém domě, návrh možného řešení pro zadaný objekt.
Zpracování projektu vybrané varianty:
- projekt vodovodu a kanalizace - půdorysy, svislé řezy, podélný řez, výpočty, technická zpráva.
Seznam doporučené literatury:
prof. Ing. K.Kabele, CSc. a kol. : Energetické a ekologické systémy 1 - skripta ČVUT
Valášek, J. a kol. - Zdravotnětechnická zařízení budov, Jaga 2006, ISBN 80-88905-60-5.
ČSN 75 5409 Vnitřní vodovody. CNI 2013
ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace. CNI 2014
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Zuzana Veverková, PhD.
Datum zadání bakalářské práce: 16.2.2022 Termín odevzdání bakalářské práce: 15.5.2022
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku
[redacted] Podpis vedoucího práce [redacted] Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

22.2.2022 Datum převzetí zadání [redacted] Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Studie využití solární energie pro ohřev teplé vody v bytovém domě a návrh možného řešení pro zadaný objekt vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Zuzany Veverkové, Ph.D. a uvedla v ní všechny použité literární a odborné zdroje v souladu s právními předpisy, vnitřními předpisy Fakulty stavební a předpisy ČVUT.

V Praze dne 12.5.2022

Jana Šafaříková

Poděkování

Děkuji paní Ing. Zuzaně Veverkové Ph.D. za lidský přístup, cenné připomínky a přínosné konzultace při vypracování bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je provést studii využití solární energie pro ohřev teplé vody ve vybraném bytovém domě a navrhnout možné řešení pro zadaný objekt. Byly popsány možnosti způsobu ohřevu teplé vody pomocí solární energie, určena potřeba tepla na přípravu teplé vody, byla provedena bilance využitelných solárních zisků pro aplikaci zvolených fototermických a fotovoltaických panelů a jednotlivé systémy byly v závěru porovnány.

Klíčová slova

Sluneční záření, solární energie, ohřev teplé vody, využití solární zisky, fototermická soustava, solární kolektory, fotovoltaická soustava, fotovoltaický panel

Abstract

The aim of the bachelor's thesis is to study the use of solar energy for hot water heating in a selected apartment building and to propose a possible solution for a given building. The possibilities of the method of heating hot water using solar energy were described, the heat demand for hot water preparation was determined, the balance of usable solar gains in the application of selected photothermal and photovoltaic panels was performed and the individual systems were compared in the end.

Key words

Solar radiation, solar energy, hot water heating, used solar gains, photothermal system, solar collectors, photovoltaic system, photovoltaic panel

Obsah

1	Úvod	10
2	Ohřev teplé vody podle zdroje energie.....	11
2.1	Elektrická energie.....	11
2.1.1	Zásobníkový ohřívač.....	11
2.1.2	Průtokový ohřívač.....	11
2.2	Plyn	11
2.3	Tuhá paliva.....	11
2.4	Obnovitelné zdroje energie	12
2.4.1	Tepelné čerpadlo.....	12
2.4.2	Solární energie	13
3	Energie slunečního záření.....	13
3.1	Intenzita slunečního záření.....	13
3.2	Energie dopadající na osluněnou plochu.....	15
3.2.1	Teoreticky možné množství energie	15
3.2.2	Skutečné množství energie	16
3.3	Sluneční záření v ČR.....	16
4	Základní požadavky pro solární ohřev TV	17
4.1	Sklon a orientace osluněné plochy.....	17
4.2	Umístění	18
5	Fototermické soustavy.....	18
5.1	Solární kolektory (fototermické panely)	19
5.1.1	Komponenty kolektorů	19
5.1.2	Typy panelů	20
5.2	Energetické parametry solárních soustav.....	21
5.2.1	Využití tepelné zisky solární soustavy.....	21
5.2.2	Měrné využití tepelné zisky solární soustavy	22
5.2.3	Dodatková energie	22
5.2.4	Solární pokrytí	22
5.2.5	Provozní účinnost solární soustavy.....	22

5.2.6	Účinnost solárního kolektoru.....	22
5.2.7	Bilance produkce solárních panelů.....	23
6	Fotovoltaické soustavy pro ohřev TV.....	24
6.1	Fotovoltaický článek.....	24
6.2	Složení fotovoltaického panelu.....	25
6.3	Typy panelů.....	26
6.3.1	Monokrystalické solární panely (černé).....	26
6.3.2	Polykrystalické panely.....	26
6.3.3	Amorfní fotovoltaické panely.....	27
6.3.4	Porovnání typů fotovoltaických panelů.....	27
6.4	Parametry pro návrh fotovoltaických panelů.....	27
6.4.1	Sledovač výkonového maxima.....	27
6.4.2	Účinnost fotovoltaických modulů.....	28
6.5	Bilance produkce fotovoltaických panelů.....	29
7	Aplikace fototermitických a fotovoltaických panelů na objekt.....	30
7.1	Popis objektu.....	30
7.2	Střecha objektu.....	31
7.3	Výpočet potřeby tepla na přípravu teplé vody.....	32
7.4	Údaje potřebné pro návrh fototermitických a fotovoltaických panelů.....	33
7.5	Návrh solárních kolektorů na objekt – měsíční bilance.....	33
7.5.1	Vybraný typ solárního kolektoru.....	33
7.5.2	Výpočet energetických zisků.....	34
7.6	Návrh fotovoltaických panelů na objekt – měsíční bilance.....	35
7.6.1	Vybraný typ fotovoltaického panelu.....	35
7.6.2	Výpočet energetických zisků.....	35
8	Porovnání, vyhodnocení.....	36
9	Závěr.....	38
10	Seznam použitých zdrojů.....	39
11	Seznam obrázků.....	40
12	Seznam tabulek.....	41

Použité značky a jednotky

- G - sluneční ozáření [W/m^2]
 $G_{T,m}$ - střední denní sluneční ozáření plochy solárního kolektoru [W/m^2]
 H_T - měsíční dávka slunečního ozáření [kWh/m^2 měs]
NOCT - jmenovitá provozní teplota článku [$^{\circ}\text{C}$]
P - výkon instalovaných modulů [W]
 $Q_{k,u}$ - teoreticky využitelný zisk solární soustavy [kWh]
Q - celková potřeba tepla [kWh/měs]
 $Q_{ss,u}$ - využitelný zisk solární soustavy [kWh]
V - spotřeba teplé vody [$\text{m}^3/\text{os. den}$]
 a_1 - lineární součinitel tepelné ztráty solárního kolektoru [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
 a_2 - kvadratický součinitel tepelné ztráty solárního kolektoru [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2$]
c - měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]
f - solární podíl [%]
I - celková intenzita slunečního záření [W/m^2]
 I_p - intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu [W/m^2]
 I_D - difúzní sluneční záření [W/m^2]
 I_{Ph} - intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu [W/m^2]
 I_{Dh} - intenzita difuzního záření na vodorovnou plochu [W/m^2]
k - součinitel fotovoltaického panelu [-]
n - počet dní v daném měsíci [-]
 n_{os} - počet osob [-]
p - srážka z tepelných zisků solárního kolektoru vlivem tepelných ztrát solární soustavy [-]
 $q_{ss,u}$ - měrné roční využití zisky solární soustavy [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$]
t - teplota [$^{\circ}\text{C}$]
 $t_{k,m}$ - střední teplota teplotonosné látky v solárním kolektoru [$^{\circ}\text{C}$]
z - přírážka na tepelné ztráty přípravy teplé vody [-]
 $\Delta\eta_G$ - relativní snížení účinnosti fotovoltaického panelu [%]
 β - sklon panelu od vodorovné roviny [$^{\circ}$]
 γ - teplotní součinitel výkonu [%/K]
 η_{FV} - měsíční účinnost fotovoltaického panelu [-]
 η_k - střední měsíční účinnost solárního kolektoru [-]
 η_o - optická účinnost solárního kolektoru [-]
 ρ - hustota vody [kg/m^3]
 τ - sluneční časový úhel [$^{\circ}$]

1 Úvod

Využití solární energie je v současné době často diskutované téma. Mezi její hlavní výhody patří obnovitelnost, dostupnost a téměř nulový negativní dopad na životní prostředí. S vývojem technologií, postupným vyčerpáváním fosilních paliv a zdražováním cen elektrické energie a plynu se výhody systémů využívajících solární energii zvyšují. Proto jsou tyto systémy stále častěji využívány na rodinných a bytových domech.

Systémy využívající solární energie můžeme rozdělit na fotovoltaické a fototermické. První z nich používá fotovoltaické panely, které produkují elektřinu, která pak může ohřívat vodu v zásobníku TV, v elektrickém kotli na vytápění nebo ji lze v domácnosti přímo spotřebovat. Fototermický systém ve svých kolektorech přímo ohřívá vodu nebo pracovní kapalinu. Teplo z fototermického systému je možné použít k ohřevu vody v zásobníku nebo k přitápění.

Tato studie je zaměřena na možnosti využití solární energie pro ohřev teplé vody v bytovém objektu. Nejprve jsou stručně popsány možnosti ohřevu teplé vody podle zdroje energie. Dále je popsána energie získaná ze slunečního záření a veličiny s ní spojené, které jsou potřebné pro správný návrh solárních zařízení. Poté už jsou podrobněji popsány jednotlivé typy solárních soustav – fototermické a fotovoltaické. U každého typu jsou popsány jednotlivé prvky soustavy, druhy kolektorů a panelů a jsou specifikovány důležité energetické parametry pro návrh soustavy. Velká část studie se zabývá aplikací solárních soustav pro ohřev teplé vody na vybraný bytový dům a následně jsou obě možnosti porovnány a vybrána vhodnější varianta pro zadaný objekt.

2 Ohřev teplé vody podle zdroje energie

2.1 Elektrická energie

Pro ohřev teplé vody pomocí elektrické energie lze použít elektrický ohřívač. Existují 2 typy – zásobníkové a průtokové.

2.1.1 Zásobníkový ohřívač

Zásobníkové ohřívače mají objem 50-200 litrů. Voda se v nich může ohřívat za zvýhodněnou distribuční sazbu. Po dobu 8 hodin se voda může ohřívat přibližně za polovinu běžné ceny elektřiny. Zásobníkové ohřívače se nejčastěji umísťují do koupelny, WC, zádveží nebo chodby. [1]

2.1.2 Průtokový ohřívač

Průtokové ohřívače nemají možnost zapojení za výhodnější sazbu elektrické energie, pokud se požaduje jejich činnost bez časového omezení. Potřebný příkon bývá běžně více než 10 kW, typicky 24 kW na domácnost. Protože mají průtokové ohřívače velký okamžitý odběr elektrické energie, potřebují trojfázové zapojení a jistič 3 x 25 A. Proto jsou častěji využívány v bytových domech než v rodinných. [1]

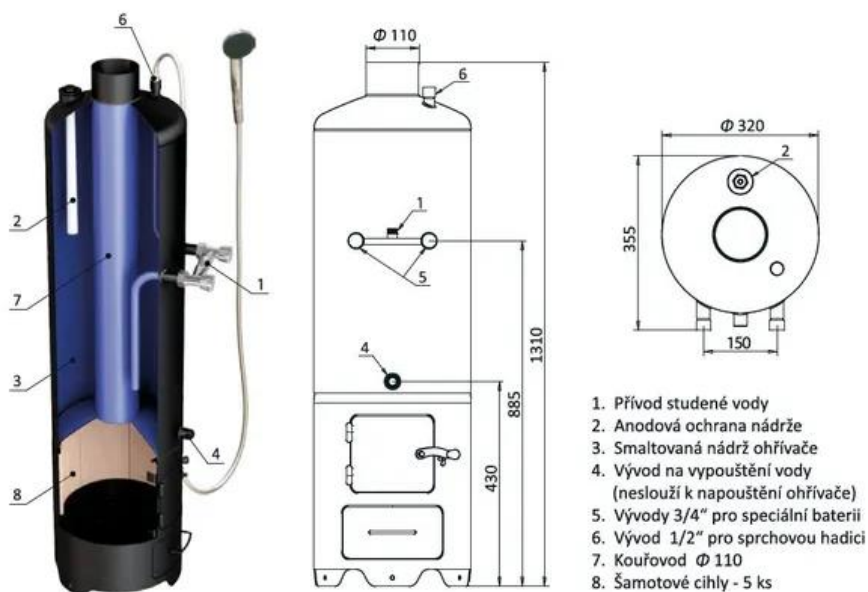
2.2 Plyn

Plynové ohřívače jsou přístroje, které používají jako palivo zemní plyn nebo propan-butan. Dnes se používají převážně ohřívače na zemní plyn. Stejně jako elektrické ohřívače rozdělujeme plynové na průtočné a zásobníkové. Výhodou plynových ohřívačů, v porovnání s elektrickými, je snadná dostupnost většího příkonu potřebného pro průtokový způsob ohřevu, protože na plynové přípojce není tak zásadní omezovač odebíraného množství plynu jako u elektrických ohřívačů. Pomocí kondenzační technologie (vyšší využití energie obsažené v plynu) je umožněno řešit ohřev vody větších výkonů kombinací průtokového a akumulárního způsobu, což významně snižuje požadavky na prostor. [2]

2.3 Tuhá paliva

Pro ohřev teplé vody pomocí energie získané z tuhých paliv máme několik možností.

Příkladem ohřívače na tuhá paliva jsou lázeňská kamna. Ve spodní části lázeňských kamen je topeniště nad kterým je umístěna nádrž na vodu, ve které se voda ohřívá. Uprostřed nádrže na vodu je kouřovod, kterým je odváděn vzniklý kouř z topeniště. Nejčastěji používaná lázeňská kamna mají objem 80–100 litrů. Výkon kamen je přibližně 8 kW. Umístění kamen musí být blízko komína a vany. [2]



Obrázek 1: Části lázeňských kamen [3]

Dalšími příklady jsou lokální zdroje tepla určené převážně na vytápění. Řadí se sem krbová kamna s výměníkem tepla, sporáky s výměníkem tepla nebo krbové vložky. Všechny tyto zdroje tepla mohou dodávat teplou vodu do zásobníku.

2.4 Obnovitelné zdroje energie

Ohřev vody pomocí energie z obnovitelných zdrojů zahrnuje především využívání tepelných čerpadel a energie slunce. Často se tyto zdroje tepla kombinují navzájem, nebo s kotlem. Důvodem je nedostatečný ohřev vody samostatně zapojeného zdroje tepla v zimě.

2.4.1 Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla jsou zařízení, která odebírají tepelnou energii z vody, vzduchu nebo země (prostředí s nízkou teplotou) a převádějí ji do jiné teplotonosné látky s teplotou vyšší. Proto jsou používána pro vytápění a přípravu teplé vody.

2.4.1.1 Základní části tepelného čerpadla

2.4.1.1.1 Kompresor

Kompresor nasává páry chladiva z výparníku a stlačuje je. Dojde ke zvýšení tlaku a zvýší se teplota chladiva. [4]

2.4.1.1.2 Expanzní ventil

Expanzní ventil udržuje tlakový rozdíl mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou chladicího okruhu a reguluje průtok chladiva do výparníku. Také zaručuje, aby do kompresoru vstupovalo chladivo zcela vypařené. [4]

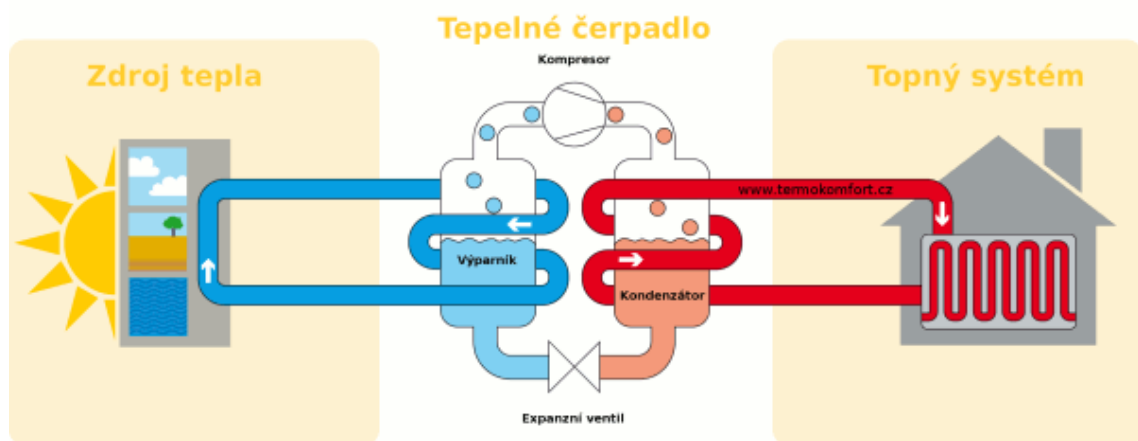
2.4.1.1.3 Výparník

Výparník slouží k odebrání tepelné energie nízkoteplotnímu zdroji tepla. Při nízkém tlaku je chladivo schopné se vypařovat i při velmi nízké teplotě a odebrat tak teplo přes stěny výparníku z teplotnosné látky.

Výparník je konstruován jako teplosměnný výměník, na jehož jedné straně prochází chladivo a na druhé straně proudí voda, nízkotuhnoucí kapalina nebo vzduch. [4]

2.4.1.1.4 Kondenzátor

Kondenzátor předává tepelnou energii z chladiva do otopné soustavy (ohřívá otopnou vodu nebo vzduch). Chladivu je odebrána tepelná energie, ochlazuje se a při vysokém tlaku kondenzuje.



Obrázek 2: Princip tepelného čerpadla [5]

K předávání tepla do vody dochází v zásobníku teplé vody pomocí vestavěného trubkového výměníku.

Provoz tepelného čerpadla je možné kombinovat s kotlem nebo s fototermickými či fotovoltaickými panely. Takto zapojené tepelné čerpadlo se nazývá multivalentní.

2.4.2 Solární energie

Využití solární energie pro ohřev teplé vody bude řešeno v následujících kapitolách.

3 Energie slunečního záření

Slunce, jehož povrchová teplota je přibližně 6000 K, vyzařuje do kosmického prostoru paprsky vlnových délek od 10^{-10} do 10^3 m. Pro přenos energie jsou významné paprsky o vlnové délce $0,2 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-6}$. Na hranici atmosféry Země je intenzita slunečního záření okolo 1350 W/m^2 . [6]

3.1 Intenzita slunečního záření

Intenzita záření dopadajícího na povrch země je mírou energetického účinku slunečního záření. Při průchodu paprsků atmosférou se intenzita slunečního záření zmenšuje.

Důvodem je rozptyl a pohlcení části záření. Mírou zmenšení intenzity je součinitel znečištění atmosféry Z , který závisí na obsahu příměsí ve vzduchu a na atmosférickém tlaku. Na venkově je součinitel Z menší než ve městech. [6]

Měsíc	Průměr měsíční hodnoty součinitele Z pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší			
	horské oblasti	venkov	Města	průmyslové oblasti
1.	1,5	2,1	3,1	4,1
2.	1,6	2,2	3,2	4,3
3.	1,8	2,5	3,5	4,7
4.	1,9	2,9	4,0	5,3
5.	2,0	3,2	4,2	5,5
6.	2,3	3,4	4,3	5,7
7.	2,3	3,5	4,4	5,8
8.	2,3	3,3	4,3	5,7
9.	2,1	2,9	4,0	5,3
10.	1,8	2,6	3,6	4,9
11.	1,6	2,3	3,3	4,5
12.	1,5	2,2	3,1	4,2
roční průměr	1,9	2,75	3,75	5,0

Tabulka 1: Průměrné měsíční hodnoty součinitele Z [6]

Celková intenzita slunečního záření je dána součtem

$$I = I_p + I_D \text{ (W/m}^2\text{)}$$

I_p – intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu

$$I_p = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \cdot \cos \gamma \text{ (W/m}^2\text{)}$$

I_0 – sluneční konstanta ($I_0 = 1360 \text{ W/m}^2$)

Z – součinitel znečištění atmosféry (-)

γ – úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu ($^\circ$)

ε – součinitel, který závisí na výšce slunce

nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa (-)

I_D = difúzní sluneční záření

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) \text{ (W/m}^2\text{)}$$

kde:

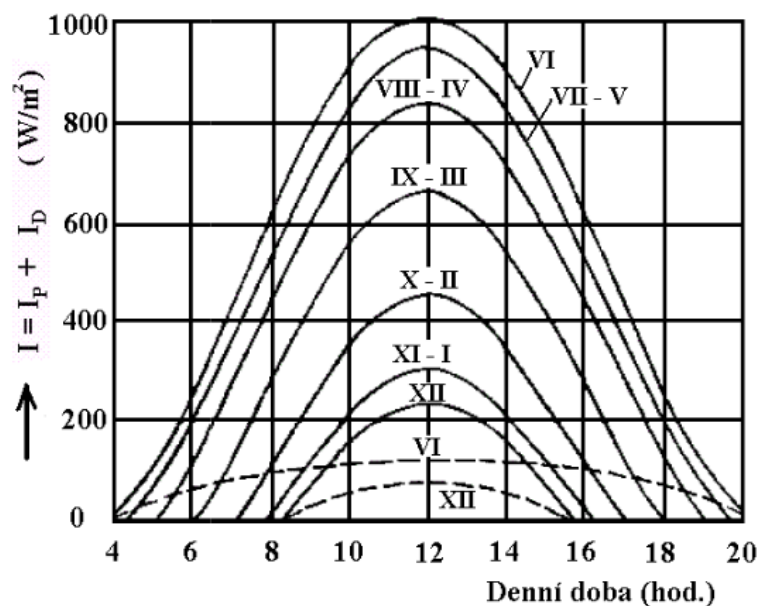
α – úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny ($^\circ$)

r – reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky ($r = 0,15 - 0,25$)

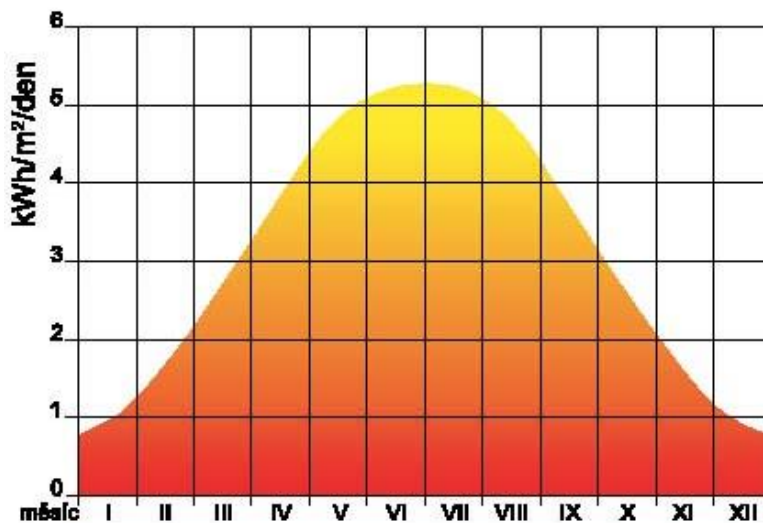
I_{Ph} – intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu (W/m^2)

I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu (W/m^2)

Celková hodnota intenzity slunečního záření je tedy závislá na denní době a měsíci.



Obrázek 3: Denní a měsíční průběh intenzity celkového záření [7]



Obrázek 4: Průběh průměrné intenzity slunečního záření během roku [6]

3.2 Energie dopadající na osluněnou plochu

3.2.1 Teoreticky možné množství energie

Plocha pod křivkou $I = f(t)$ udávající denní průběh intenzity celkového záření (obr. 3) je úměrná energii dopadající na osluněnou plochu za den. $Q_{s, den, teor}$ ($W \cdot h \cdot m^{-2}$) za předpokladu, že je nepřetržitě jasná obloha. [6]

$$Q_{s, den, teor} = \int_{t_1}^{t_2} I dt \text{ (W.h.m}^{-2}\text{)}$$

Krajní hodnoty t_1 a t_2 označují hodinu východu a západu slunce a jsou závislé na sluneční deklinaci a zeměpisné šířce. Rozdíl hodnot t_2 a t_1 určuje dobu slunečního svitu t_{teor} (h).

Pro využití energie slunečního záření je nejvýhodnější orientace osluněné plochy ve směru na jih, kdy dosahuje $Q_{s, den, teor}$ maximálních hodnot. Podle průběhu v jednotlivých měsících je $Q_{s, den, teor}$ největší v červnu, minimum je v prosinci. Hodnoty $Q_{s, den, teor}$ tedy závisí na orientaci osluněné plochy a na roční době.

3.2.2 Skutečné množství energie

Teoreticky možné množství energie $Q_{s, den, teor}$ dopadá na osluněnou plochu jen ve slunečných dnech, kdy slunce svítí po celou teoreticky možnou dobu slunečního svitu. Tento model ale není reálný. Během dne se často střídá jasná a zatažená obloha. Při jasné obloze působí na osluněnou plochu intenzita celkového záření, při zatažené obloze působí pouze intenzita difúzního záření. [6]

Pokud počítáme s dlouhodobými průměry klimatických údajů, není známo časové střídání fáze jasno a zataženo, ale pouze skutečná doba svitu t_{skut} za delší časové období, např. měsíc. Potom můžeme vyjádřit poměrnou dobu slunečního svitu $\tau = t_{skut}/t_{teor}$. [6]

Potom skutečnou energii dopadající na osluněnou plochu můžeme vypočítat ze vztahu $Q_{s, den} = \tau \cdot Q_{s, den, teor} + (1-\tau) \cdot Q_{D, den}$ (W.h.m⁻²)

$Q_{s, den, teor}$, $Q_{D, den}$ – hodnoty z tabulek (W.h.m⁻²)

τ - poměrná hodnota doby slunečního svitu (-)

Větší význam má skutečná energie dopadající za měsíc

$$Q_{s, měs} = n \cdot Q_{s, den} \quad (\text{Wh/m}^2)$$

n - počet dnů za měsíc

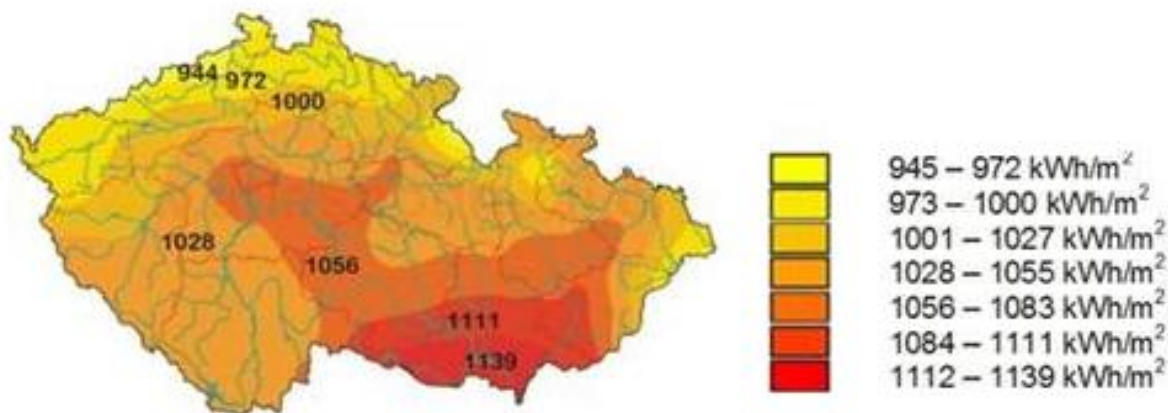
Pro zjednodušení výpočtů jsou v přílohách TNI 73 0302 tabelovány hodnoty měsíční dávky celkového slunečního ozáření H_T [kWh/(m².měs)] dopadající na různě orientovanou (azimut $\gamma = 0^\circ$ až $\pm 45^\circ$) a skloněnou (sklon $\beta = 0^\circ$ až 90°) plochu v jednotlivých měsících a dále tabelované střední hodnoty slunečního ozáření $G_{T,m}$ [W/m²] na různě orientovanou a skloněnou plochu.

3.3 Sluneční záření v ČR

Podmínky pro využití sluneční energie jsou na území České republiky poměrně dobré. Celková doba slunečního svitu (bez oblačnosti) je od 1 400 do 1 700 hodin za rok. Průměrní intenzita slunečního záření je přibližně 300 W/m² a úhrn energie 950 – 1250 kWh/m² za rok. (8)

Vhodnost lokality pro využití sluneční energie nejlépe vystihuje mapa globálního slunečního záření, která vychází z dlouhodobých meteorologických měření (obr. 5). Ideální oblastí je jižní Morava a nejméně vhodné jsou oblasti severní části Čech.

Údaj o ročním a měsíčním úhrnu globálního slunečního záření je velmi důležitý pro výpočet energetické bilance solárních systémů.



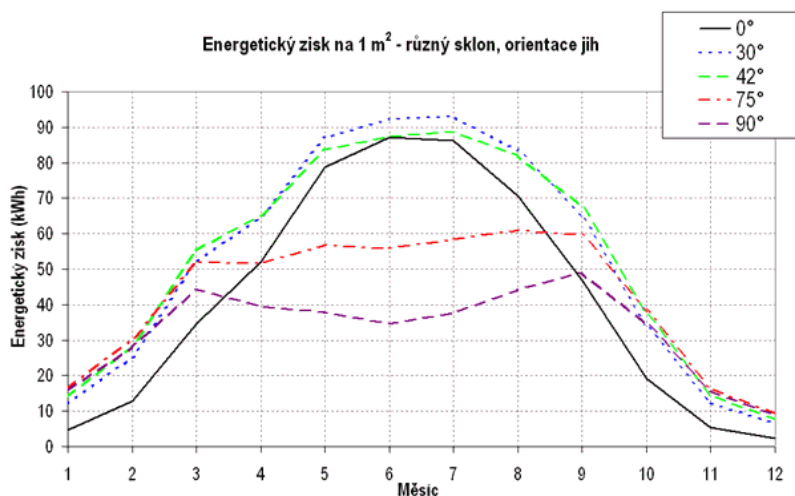
Obrázek 5: Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [kWh/m²] [21]

Sluneční záření lze využít dvěma základními způsoby. Buď můžeme získávat teplo v solárních kolektorech nebo elektřinu ve fotovoltaických panelech.

4 Základní požadavky pro solární ohřev TV

4.1 Sklon a orientace osluněné plochy

Základním požadavkem pro správné fungování solární soustavy je správná orientace kolektorového pole vzhledem ke světovým stranám. Ideální orientace je na jih s možným odklonem $\pm 30^\circ$. Důležitý je i vhodný sklon kolektorů, který je různý v závislosti na období, ve kterém se soustava bude provozovat. Pokud máme celoroční provoz, pak je optimální sklon $40^\circ - 45^\circ$. V pouze letním provozu je optimální sklon $25^\circ - 35^\circ$ a v zimním provozu $60^\circ - 90^\circ$. [8]



Obrázek 6: Příklad energetických zisků z 1 m² při různém sklonu osluněné plochy [8]

4.2 Umístění

Ve většině instalací se kolektorové pole instaluje na střechu objektu – plochou i šikmou. Každý tvar má své výhody a nevýhody.

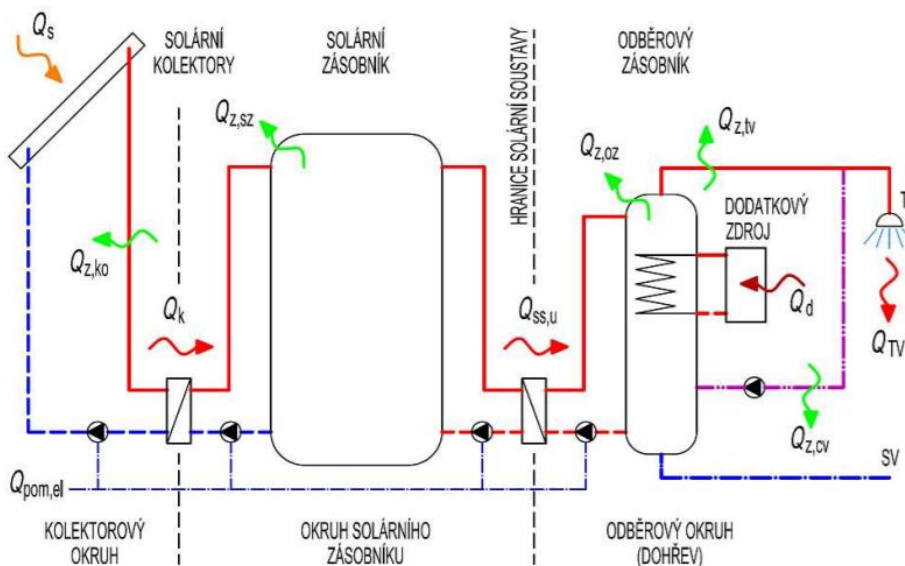
Typ střechy	Výhody	Nevýhody
šikmá	kolektory mají stejný sklon jako sklon střechy	orientace kolektorů je závislá na orientaci střechy
	kolektory si navzájem nestíní	
	nižší náklady na nosnou konstrukci možnost integrace do střešního pláště	
plochá	libovolná orientace ke světovým stranám	nákladnější nosná konstrukce

Tabulka 2: Výhody a nevýhody umístění kolektorů na plochou nebo šikmou střechu

V některých případech je možné umístit kolektory například na zábradlí balkonů, jako stínící prvky nad okny nebo na fasádu objektu.

5 Fototermické soustavy

Fototermická soustava se skládá z několika částí. Sluneční záření dopadá na jímací plochu (kolektor), na které je pohlceno a přeměněno na teplo. Teplo je předáno teplotnosné látce, která se akumuluje v zásobníku tepla. Zásobník je přímo nabíjen a vybíjen. Při přímém vybíjení je z horní části zásobníku odebírána teplá voda. Teplá voda ze solárního zásobníku je přivedena do odběrového zásobníku, kde spolu s dodatkovým zdrojem ohřívá vodu pitnou na požadovanou teplotu.



Obrázek 7: Možné schéma solární soustavy pro přípravu TV [9]

5.1 Solární kolektory (fototermické panely)

Solární kolektor je zařízení určené k pohlcení slunečního záření a jeho přeměně na tepelnou energii, která je předávána teplotně vodivým látkám odváděným z kolektoru. Většina solárních kolektorů využívá pro přenos tepla kapalinu (voda, nemrznoucí směs, olej), malá část využívá vzduch. [10]

5.1.1 Komponenty kolektorů

5.1.1.1 Zasklení

Důvodem zasklení kolektoru je snižování tepelných ztrát absorberu a jeho ochrana před vnějšími vlivy. Sklo musí splňovat parametry na propustnost záření (0,3 – 3,0 mikrometr) aby nedocházelo k jeho ztrátě při průchodu sklem. Pro správný průchod paprsků je důležité zajistit úhel dopadu do 50°, vyšší úhly snižují propustnost a při 90° nejsou propuštěny žádné paprsky. [10]

5.1.1.2 Absorbér

Absorbéry mohou být lamelové nebo celoplošné. Jako materiál jsou používány kovy (hliník, měď) s dobrou tepelnou vodivostí. Hlavním parametrem je jejich součinitel tepelné vodivosti a tloušťka. Dalším důležitým parametrem je způsob odvodu vyprodukovaného tepla. To je ovlivněno především vlastnostmi spoje absorberu a trubky – způsob provedení spoje, těsnost. Odvod tepla z absorberu je řešen pomocí chladiče. Nejčastěji používaný typ chladiče je trubkový registr. K přenosu tepla z absorberu do kapaliny dochází přes stěnu trubky a její spoj s absorberem.

5.1.1.3 Skříň kolektoru

Skříň kolektoru chrání vnitřní prostředí kolektoru před vnějšími vlivy a jsou v ní pevně uchyceny všechny komponenty. Může být složena z profilů nebo vyrobena lisováním. Kolektorová skříň musí být opatřena tepelnou izolací, aby bylo zabráněno úniku tepla. Na izolaci musí být použit materiál odolný proti vysokým teplotám. Používá se minerální vlna nebo polyuretanová pěna.



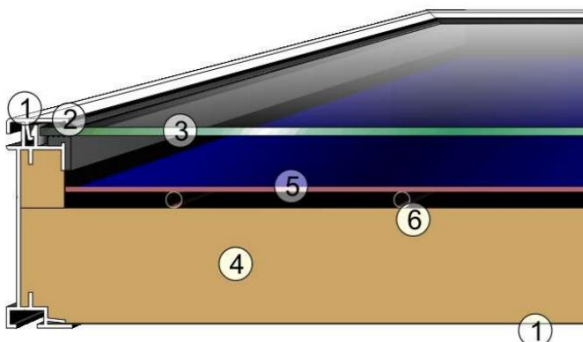
Obrázek 8: Části solárního kolektoru

5.1.2 Typy panelů

5.1.2.1 Ploché kolektory

Ploché kolektory se skládají z plochého absorbéru s plochým zasklením. Složení plochého solárního kolektoru je uvedeno na obrázku č. 9. Tepelně vodivý absorbér může být celoplošný nebo dělený. Absorpční plocha je navařena nebo nalisována na trubkovém rastru, kterým je teplonosnou kapalinou odváděno využitelné teplo. Rám kolektoru je podle potřeby vyplněn tepelnou izolací a vnitřní části kolektoru jsou chráněny před degradací vlivem vlhkosti. [10]

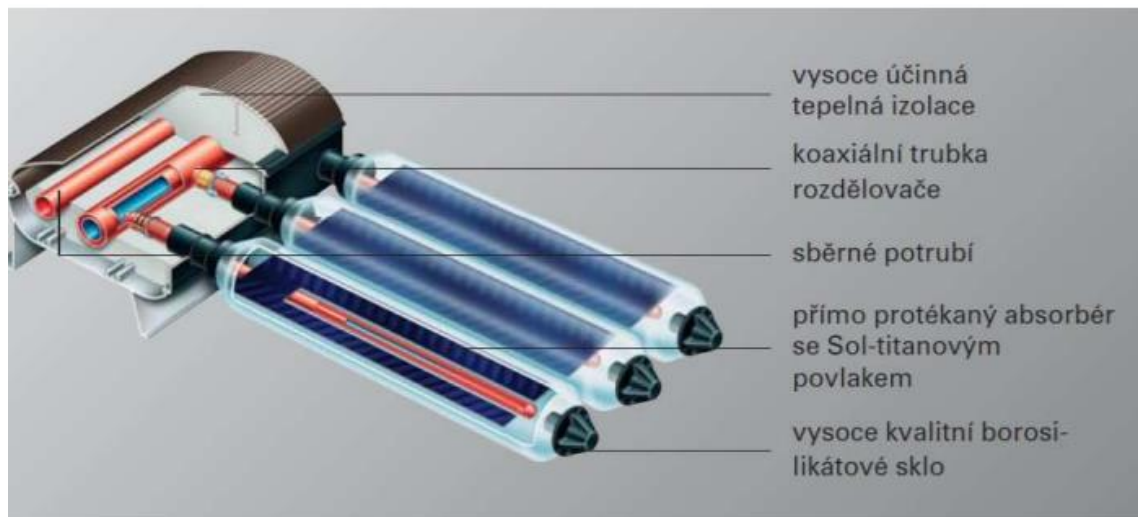
- 1 rám
- 2 těsnění
- 3 transparentní kryt
- 4 tepelná izolace
- 5 absorbér
- 6 trubkový registr



Obrázek 9: Plochý solární kolektor

5.1.2.2 Trubkové vakuové kolektory

Trubkové vakuové kolektory mají válcové zasklení a absorbér. Prostor mezi absorbérem a zasklením je vakuován na nízký tlak pod 10^{-3} Pa. [10] Kombinace vakuové izolace a nízkoemisivního povrchu absorbéru je dosaženo nízkých tepelných ztrát i při vysokém rozdílu teplot mezi absorbérem a okolním prostředím. Přenos tepla do teplotonosné kapaliny probíhá na hranici absorbér – teplotonosná látka.



Obrázek 10: Části trubkového vakuového kolektoru [11]

5.2 Energetické parametry solárních soustav

Efektivitu provozu a energetické charakteristiky solárních soustav můžeme vyjádřit několika parametry.

5.2.1 Využití tepelné zisky solární soustavy

Využití zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ [kWh/měs], [kWh/rok] jsou zisky, které soustava včetně zahrnutí všech svých ztrát dodá pro krytí potřeby tepla v dané aplikaci. Stanovují se na skutečné hranici mezi vlastní solární soustavou a danou aplikací. Tepelné ztráty kolektorového okruhu $Q_{z,ko}$ nebo solárního zásobníku $Q_{z,sz}$ se nezohledňují při stanovení solárních zisků kolektorového pole nebo okruhu před solárním zásobníkem a to může vést k nadhodnocení reálných přínosů solární soustavy. Za využitelné zisky nelze započítávat přebytky tepla, které překračují potřebu. [9]

Využitelné solární zisky jsou závislé na kvalitě solární soustavy, tepelných ztrátách soustavy, orientaci solárních kolektorů a také na návrhu plochy solárních kolektorů vzhledem k potřebě tepla. [9]

5.2.2 Měrné využití tepelné zisky solární soustavy

Měrné roční využití tepelné zisky solární soustavy $q_{ss,u}$ [kWh/m².rok] jsou celkové roční využitelné zisky $Q_{ss,u}$ vztažené k instalované účinné ploše solárního kolektoru A_k [m²].

5.2.3 Dodatková energie

Pro případy, kdy energie produkovaná solární soustavou nedokáže pokrýt potřebu tepla, slouží dodatečný zdroj tepla. Při výpočtovém hodnocení se dodatečná energie Q_d stanoví jako rozdíl mezi předpokládanou potřebou tepla a využitelnými zisky solární soustavy. Při provozním hodnocení se dodatečná energie měří, protože skutečná potřeba tepla $Q_{p,c}$ není známá. Stanovení celkové potřeby tepla dané aplikace $Q_{p,c}$ provozním měřením je vzhledem k neznámým tepelným ztrátám aplikace nemožné. Určuje se tedy podle vztahu $Q_{p,c} = Q_d + Q_{ss,u}$ [kWh/rok]

5.2.4 Solární pokrytí

Solární pokrytí f (měsíční, roční) je poměr mezi celkovými využitými zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ a celkovou potřebou tepla dané aplikace $Q_{p,c}$ podle vztahu

$$f = Q_{ss,u} / Q_{p,c} = 1 - Q_d / Q_{p,c} [-]$$

V případě provozního měření dodatečné energie Q_d se solární pokrytí vyhodnotí podle vztahu

$$f = Q_{ss,u} / (Q_{ss,u} + Q_d) [-]$$

S instalovanou plochou kolektorů solární pokrytí roste, ale od cca 50 až 60 % je nárůst velmi pozvolný. S rostoucím solárním pokrytím pak klesají měrné solární zisky z kolektorů, protože nárůst pokrytí potřeby tepla je doprovázen zvýšením provozní teploty v soustavě, zvýšením tepelných ztrát a snížením využitelnosti solárních zisků v letním období. [9]

5.2.5 Provozní účinnost solární soustavy

Provozní účinnost solární soustavy η_{ss} je dána poměrem mezi využitými tepelnými zisky $Q_{ss,u}$ a sluneční energií Q_s dopadlé v místě instalace na plochu solárních kolektorů podle vztahu $\eta_{ss} = Q_{ss,u} / Q_s$ [-].

Účinnost solární soustavy je závislá na kvalitě použitých prvků, provedení montáže a na návrhu plochy kolektorů vůči potřebě tepla. V bytovém domě se účinnost pohybuje mezi 30% - 50 %. [10]

5.2.6 Účinnost solárního kolektoru

Pro stanovení účinnosti solárního kolektoru potřebujeme znát tři základní parametry. Prvním parametrem je optická účinnost kolektoru η_0 [-]. Optická účinnost je účinnost solárního kolektoru při nulových tepelných ztrátách (stejná střední teplota teplotonosné kapaliny $t_{k,m}$ [°C] a teploty venkovního vzduchu t_e [°C]). Dalšími dvěma parametry jsou lineární a kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_1 [W/ m².K] a a_2 [W/ m².K²]. Součinitele a_1 a a_2 jsou konstanty daného solárního kolektoru a udávají informaci o

tepelných ztrátách kolektoru. Všechny parametry jsou vztaženy ke konkrétní ploše (nejčastěji k ploše apertury kolektoru A_a [m²]). [10]

Střední měsíční účinnost η_k [-] solárního kolektoru se stanoví z rovnice křivky účinnosti

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \quad [-]$$

kde:

$G_{T,m}$ střední denní sluneční ozáření plochy solárního kolektoru [W/m²]

$t_{k,m}$ střední teplota teplotnosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne [°C]

$t_{e,s}$ střední venkovní teplota v době slunečního svitu [°C]

η_0 optická účinnost kolektoru [-]

a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/m².K]

a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/m².K²]

5.2.7 Bilance produkce solárních panelů

5.2.7.1 Zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav podle TNI 73 0302

Podstatou zjednodušené bilanční metody je stanovení skutečně využitých zisků solární soustavy $Q_{ss,u}$ na základě porovnání teoreticky využitelných tepelných zisků solárních kolektorů $Q_{k,u}$ a celkové potřeby tepla $Q_{p,c}$, která má být kryta. Celý výpočet lze zapsat pro každý měsíc jako

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,c})$$

Výpočtový postup zohledňuje specifika dané solární soustavy: orientace a sklon kolektorů, tepelné ztráty v dané aplikaci, tepelné ztráty solární soustavy a využitelnost tepelných zisků z kolektorů. [12]

5.2.7.2 Využitelné tepelné zisky

Teoreticky využitelný zisk fototermické soustavy $Q_{k,u}$ [kWh/měs] se určí ze vztahu

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_T \cdot A_k \cdot (1-p) \quad [\text{kWh/měs}]$$

kde:

η_k střední měsíční účinnost solárního kolektoru [-]

H_T měsíční dávka slunečního ozáření [kWh/m².měs]

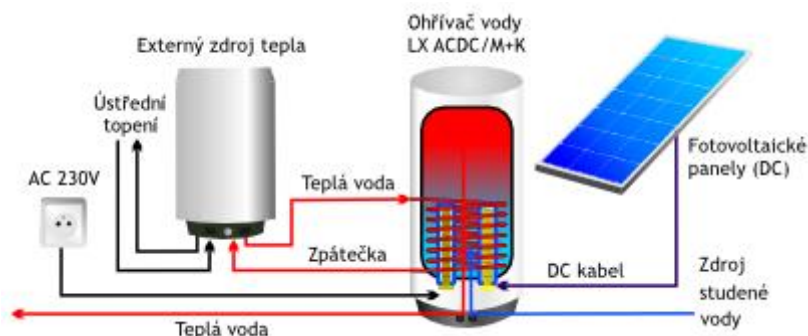
A_k celková plocha solárních kolektorů [m²]

p hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy [-]

Výstupem této výpočtové metody jsou tři veličiny (popsané v kapitole 4.2.). Je to využitý zisk solární soustavy $Q_{ss,u,měs}$ [kWh/měs], měrné roční využitelné zisky $q_{ss,u}$ [kWh/m².rok] a solární podíl f [%].

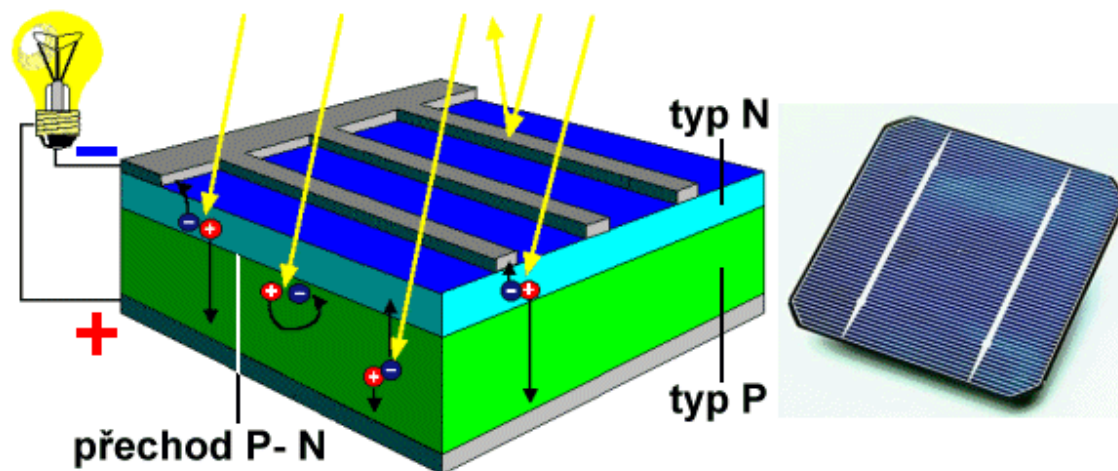
6 Fotovoltaické soustavy pro ohřev TV

Fotovoltaická soustava pro ohřev teplé vody se skládá z několika částí. Hlavním prvkem soustavy je fotovoltaický panel. V panelu probíhá přeměna solární energie na energii elektrickou. Ta je vyvedena pomocí kabelu z panelu a slouží k ohřevu vody v ohřivači. K předávání tepla do vody dochází pomocí vestavěného trubkového výměníku. K ohřivači vody je možné zapojit i externí zdroj tepla (plynový kotel, tepelné čerpadlo).



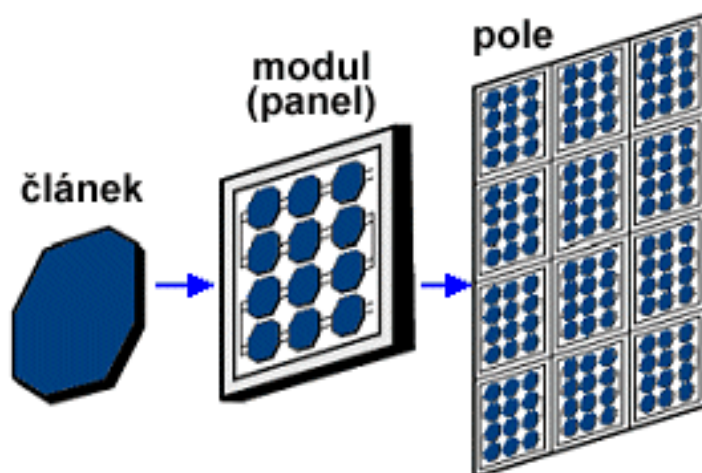
6.1 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek funguje jako polovodičová dioda. Jeho základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P. Na ní se při výrobě vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N, obě vrstvy jsou odděleny tzv. přechodem P-N. Osvětlením článku vznikne v polovodiči vnitřní fotoelektrický jev a v polovodiči se z krystalové mřížky začnou uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu P-N se vytvoří elektrické napětí, které dosahuje u křemíkových článků velikosti zhruba 0,5 V. Energie dopadajícího světla se v článku mění na elektrickou energii. Připojíme-li k článku pomocí vodičů spotřebič, začnou se kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem začne procházet elektrický proud. [13]



Obrázek 11: Složení fotovoltaického článku [13]

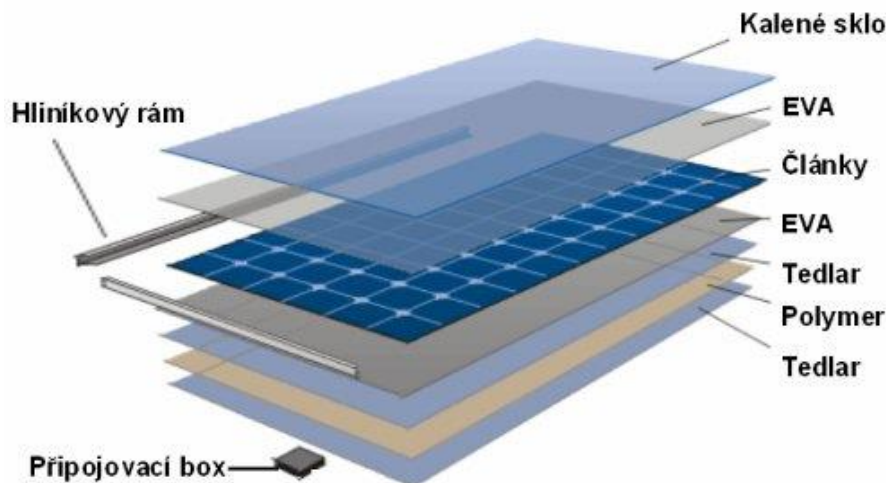
Samotný fotovoltaický článek má jen velmi malé využití, protože výstupní napětí i výkon je pro většinu aplikací příliš malý. Proto se články podle požadovaného napětí a odebíraného proudu spojují do fotovoltaického modulu (panelu). Udávaná životnost fotovoltaických panelů je 20-30 let. Spojením více modulů potom vzniká fotovoltaické pole. [13]



Obrázek 12: Složení fotovoltaického pole [13]

6.2 Složení fotovoltaického panelu

Základ fotovoltaického panelu tvoří fotovoltaické články, které jsou zapojeny sérioparalelně. Obvod panelu je opatřen ochranným hliníkovým rámem a svrchní část je kryta speciálním tvrzeným sklem, které panel chrání před povětrnostními vlivy. Mezi články a tvrzeným sklem se nachází vrstva, která chrání články před mechanickým poškozením – nejčastěji se používá světlopropustný gel Ethylen-vinyl acetát (EVA). Tato vrstva se přidává i pod články. Ze zadní strany jsou panely chráněny nejčastěji polymerovou deskou (obchodní název Tedlar). Důležitou částí panelu je připojovací box, který je obvykle umístěn na zadní straně panelu a slouží k vyvedení elektrické energie z panelu a k jeho připojení do obvodu. [13]



Obrázek 13: Složení fotovoltaického panelu [14]

6.3 Typy panelů

6.3.1 Monokrystalické solární panely (černé)

První skupinou fotovoltaických panelů jsou monokrystalické solární panely. Charakteristické jsou černou barvou. Vyrábějí se řezáním tenkých plátek (waferů) z jednoho krystalu křemíku. Ze všech typů fotovoltaických článků mají největší účinnost – kolem 20 % (za ideálního osvětlení ve správném úhlu). [15] Monokrystalické panely se doporučují pro střechy s omezenou plochou, které ale mají dobrou orientaci vůči slunci. Potom mají nejvyšší výkon ze všech typů.



Obrázek 14: Monokrystalický solární panel [15]

6.3.2 Polykrystalické panely

Wafery polykrystalických panelů se řežou z bloku, ve kterém je srostlé větší množství menších křemíkových krystalů. Při ideálním osvětlení mají panely efektivitu přibližně 15-17 %. [16] Jejich výhodou je, že díky složitější struktuře lépe zachytí světlo přicházející z ostřejších úhlů. Výkon panelů je tak lépe rozložen v čase během dne. Proto se tyto panely vyplatí instalovat na střechách, které neumožňují ideální nasměrování proti slunci. Charakteristické jsou modrou barvou.

6.3.3 Amorfnní fotovoltaické panely

Třetí skupinu fotovoltaických panelů jsou amorfnní panely. Jsou tvořeny tzv. tenkými vrstvami. Jedná se o tenký film polovodivé látky (amorfnní křemík, slitina kadmium – telur nebo slitina měď – indium – galium – selenu), který se nanáší na pevný povrch (sklo, plast, kovy).



Obrázek 16: Amorfnní fotovoltaický panel [15]

Amorfnní fotovoltaické panely mají nejnižší efektivitu - kolem 11 %. [13] Jejich výhodou je minimální tloušťka a hmotnost. Proto jsou vhodné do velkých průmyslových komplexů, kde by ostatní typy kvůli větší hmotnosti příliš zatěžovaly lehké konstrukce střech výrobních hal. Dále se tyto panely často využívají pro rodinné domy s velkou střechou, která neposkytuje ideální orientaci vůči slunci, protože amorfnní vrstva panelů velmi citlivě reaguje na rozptýlené světlo. Amorfnní panely se také díky své nízké hmotnosti uplatní v mobilních instalacích, jako jsou hausbóty, obytné karavany a maringotky.

6.3.4 Porovnání typů fotovoltaických panelů

Typ	Účinnost	Výhody	Použití
Monokrystalický	20 %	největší účinnost	střechy s omezenou plochou s dobrou orientací vůči slunci
Polykrystalický	15 - 17 %	lépe zachytí světlo přicházející z ostřejších úhlů	střechy, které neumožňují ideální nasměrování proti slunci
Amorfnní	11 %	minimální tloušťka a hmotnost	střechy průmysl. komplexů, mobilní instalace

Tabulka 3: Porovnání typů fotovoltaických panelů

6.4 Parametry pro návrh fotovoltaických panelů

6.4.1 Sledovač výkonového maxima

Jmenovitý výkon modulu P_{MPP} [Wp] je měřen v bodě maximálního výkonu (M_{PP}). M_{PP} , tedy pracovní bod, při kterém dodává modul maximální výkon, se mění v závislosti na

intenzitě záření G a teplotě modulu t_{FV} . Aby fotovoltaický modul pracoval v tomto bodě, do systému se instaluje sledovač bodu maximálního výkonu (MPPT), který nastaví potřebné napětí na modulu. [17]

6.4.2 Účinnost fotovoltaických modulů

Pro výpočet celkové měsíční účinnosti η_{FV} [-] potřebujeme znát několik parametrů. Prvním z nich je referenční účinnost η_{ref} [-]. Je to účinnost fotovoltaického modulu měřená při normových podmínkách $G = 1000 \text{ W/m}^2$, $t_{FV} = 25 \text{ °C}$. Dalším parametrem je teplotní součinitel výkonu γ [%/K]. Je to procentní snížení výkonu modulu při zvýšení teploty článku o 1 K oproti referenční teplotě. [17]

Jmenovitá provozní teplota článku NOCT [°C] je dalším parametrem. Jedná se o teplotu článku za nominálních provozních podmínek ($G = 1000 \text{ W/m}^2$, $t_e = 20 \text{ °C}$, $\omega = 1 \text{ m/s}$). Posledním ze základních parametrů je relativní snížení účinnosti $\Delta\eta_G$ [%], které udává snížení účinnosti při snížení slunečního ozáření z referenční hodnoty $G_{ref} = 1000 \text{ [W/m}^2]$ na $G = 200 \text{ [W/m}^2]$. [17]

Celkové měsíční účinnosti fotovoltaického modulu η_{FV} [-] vychází z korigovaných účinností $\eta_{FV,t}$ a $\eta_{FV,G}$.

Korigovaná účinnost $\eta_{FV,t}$ [-] určuje účinnost modulu v závislosti na jeho teplotě t_{FV} . S rostoucí teplotou se účinnost modulu snižuje.

Korigovaná účinnost $\eta_{FV,G}$ [-] určuje účinnost modulu v závislosti na slunečním ozáření G .

Měsíční účinnost modulu potom dostaneme ze vztahu

$$\eta_{FV} = \frac{\eta_{FV,t} \cdot \eta_{FV,G}}{\eta_{ref}} \quad [-]$$

Pokud jednotlivé účinnosti rozepíšeme, dostaneme rovnici

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{e,s} + (1 - \frac{\eta_{ref}}{0,95})) \cdot \frac{G_m}{800} \cdot (NOCT - 20) - 25 \right) \cdot \left(1 + k \cdot \ln \frac{G_m}{1000} \right) \quad [-]$$

kde:

η_{ref} referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách [-];

γ teplotní součinitel výkonu [%/K].

$t_{e,s}$ střední teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu [°C];

G_m střední sluneční ozáření [W/m^2];

NOCT jmenovitá provozní teplota fotovoltaického článku [°C].

k součinitel pro daný modul [-]

Součinitel k dostaneme ze vztahu

$$k = \frac{\Delta\eta_G}{\ln \frac{G}{G_{ref}}} \quad [-]$$

kde:

G sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti, zpravidla 200 W/m²

G_{ref} referenční ozáření 1000 W/m²

$\Delta\eta_G$ relativní snížení účinnosti, zpravidla uváděno výrobcem [%]

6.5 Bilance produkce fotovoltaických panelů

Přeměna získané tepelné energie soustavou na energii elektrickou je uvažována bezztrátová a proto jsou elektrické zisky soustavy rovny tepelným. Měsíční produkci elektrické energie fotovoltaického systému $E_{FV,sys,měs}$ [kWh/měs] stanovíme ze vztahu

$$E_{FV,sys,měs} = 0,9 \frac{P_{pk}}{G_{ref}} \cdot H_T \cdot \frac{\eta_{FV}}{\eta_{ref}} \cdot (1 - p) \quad [\text{kWh/měs}]$$

kde:

H_T měsíční dávka slunečního ozáření [kWh/m² měs]

P_{pk} špičkový výkon instalovaných modulů [kW];

η_{ref} referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách

η_{FV} měsíční účinnost modulu

G_{ref} referenční sluneční ozáření 1000 W/m²

p srážka vlivem elektrických ztrát [-]

Využitý zisk solární soustavy $Q_{ss,u,měs}$ [kWh/měs] je dán rovnicí

$$Q_{ss,u,měs} = \min(E_{FV,sys} ; Q_{p,c,měs})$$

kde:

$E_{FV,sys}$ měsíční produkce elektrické energie fotovoltaického systému [kWh/měs]

$Q_{p,c,měs}$ celková měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh/měs]

7 Aplikace fototermických a fotovoltaických panelů na objekt

7.1 Popis objektu

Název objektu: Bytový dům Slunečný dvůr

Umístění: ul. 5. května, Turnov

Uvažovaný počet osob v objektu: 66

Počet podlaží: 1 podzemní podlaží – garážová stání, kočárky, technická místnost

3 nadzemní podlaží – byty, společné prostory, balkony, terasa

Zastavěná plocha: 1050 m²

Skladba bytů: na patře 9 bytů x 3 podlaží, celkem 27 bytů

Konstrukční systém: kombinovaný

Architektonicko-konstrukční řešení:

nosné stěny – zděné, keramické cihly Porotherm

příčky – zděné, keramické akustické cihly Porotherm

vodorovné nosné konstrukce – ŽB monolitická deska

schodiště, výtah



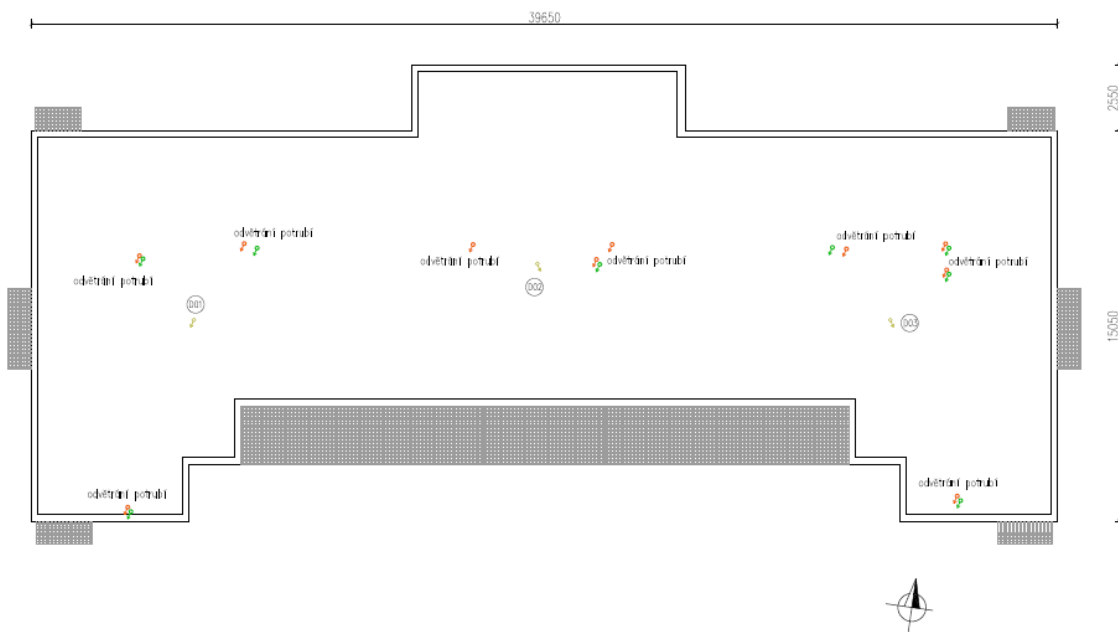
Obrázek 17: Architektonická studie objektu [18]

7.2 Střecha objektu

Střecha objektu je plochá nevětraná jednoplášťová s klasickým pořadím vrstev. Plocha využitelná pro umístění solárních panelů je 576 m².



Obrázek 18: Pohled na střech objektu [18]



Obrázek 19: Výkres střechy objektu

7.3 Výpočet potřeby tepla na přípravu teplé vody

Měsíční potřeba tepla pro přípravu TV se vypočte ze vztahu

$$Q_{p,c} = Q_{2t} + Q_{2z} = \frac{(1+z) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600 \cdot 1000} \quad [\text{kWh/měs}]$$

Q_{2t} teplo pro ohřev vody [kWh/měs]

Q_{2z} teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV [kWh/měs]

z poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci [-]

V_{2p} celková potřeba teplé vody [$\text{m}^3/\text{měs}$]

ρ hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m^3]

c měrná tepelná kapacita [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]

t_{TV} teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$]

t_{SV} teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$]

Předpokládaný počet osob v objektu: 66

Průměrná denní spotřeba teplé vody 40 l/os./den = 0,04 $\text{m}^3/\text{os.}/\text{den}$

$V_{2p} = 66 \cdot 0,04 = 2,64 \text{ m}^3/\text{den}$

Přirážka na tepelné ztráty přípravy teplé vody: $z = 0,3$ (centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací)

Hustota vody: $\rho = 998 \text{ kg}/\text{m}^3$

Měrná tepelná kapacita vody: $c = 4187 \text{ J}/\text{kg} \cdot \text{K}$

teplota studené vody: $t_{SV} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$

teplota teplé vody: $t_{TV} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$

potřeba tepla v měsíci červenci a srpnu snížena o 25 %

Měsíc	$Q_{p,c}$ (kWh/měs)
Leden	5557,8
Únor	5198,5
Březen	5557,1
Duben	5377,8
Květen	5557,1
Červen	5377,8
Červenec	4167,8
Srpen	4167,8
Září	5377,8
Říjen	5557,1
Listopad	5377,8
Prosinec	5557,1

Tabulka 4: Průměrná potřeba tepla pro přípravu TV v jednotlivých měsících

7.4 Údaje potřebné pro návrh fototerminických a fotovoltaických panelů

Návrhový měsíc – červenec

Využitelná plocha střechy – 576 m²

Umístění stavby – Turnov

Azimutový úhel osluněné plochy – 0° (orientace na jih)

Střední denní teplota v solárních kolektorech $t_{k,m} = 40^{\circ}\text{C}$

Měsíc	$t_{e,s}$ (°C)	$G_{t,m}$ (W/m ²)	H_T (kWh/m ² .měs)
Leden	1,6	412	33,8
Únor	2,4	490	57,7
Březen	6	558	104,5
Duben	10,7	580	129
Květen	15,9	600	170,2
Červen	18,9	590	176,4
Červenec	20,7	344	180,1
Srpen	20,8	412	154,4
Září	18	490	120,3
Říjen	12,7	558	70,4
Listopad	7,2	533	32,7
Prosinec	3,3	515	22,3

Tabulka 5: Hodnoty střední teploty venkovního vzduchu v době slunečního svitu $t_{e,s}$, střední hodnoty slunečního ozáření $G_{t,m}$ a měsíční dávky celkového slunečního ozáření H_T

Pro bytové domy je vhodné instalovat solární systémy tak, aby nevznikaly letní nevyužitelné přebytky. Proto je počet solárních kolektorů a fotovoltaických panelů volen tak, aby byl v měsíci, kdy je nejnižší potřeba tepla na ohřev TV a zároveň vysoké hodnoty využitých zisků solární soustavy, co nejvyšší možný solární podíl bez přebytků solární energie.

7.5 Návrh solárních kolektorů na objekt – měsíční bilance

7.5.1 Vybraný typ solárního kolektoru

S ohledem na předem popsané druhy a typy solárních kolektorů a jejich specifikace byl vybrán následující solární kolektor.

Solární kolektor KPS11

Základní charakteristika:

Použití - ohřev teplé vody nebo ohřev vody v bazénu

Typ – plochý solární kolektor

Pracovní kapalina – směs voda-glykol

Doporučený úhel sklonu osluněné plochy – 45° (celoroční provoz)

Výpočetní parametry kolektorů:

$$A_k = 2,278 \text{ m}^2$$

$$\eta_0 = 0,785 \text{ m}^2$$

$$a_1 = 4,44$$

$$a_2 = 0,0068$$

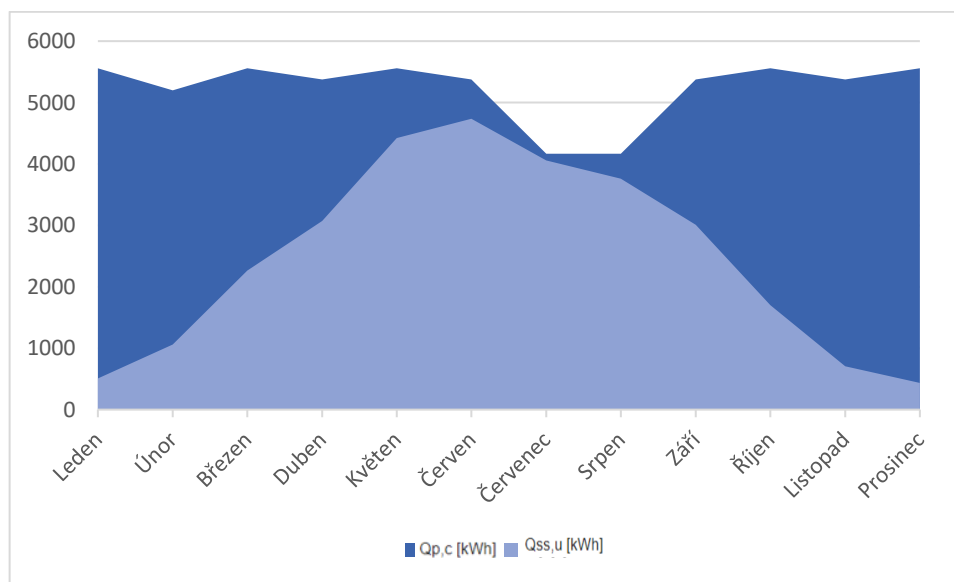
$$t_{k,m} = 40^\circ\text{C}$$

7.5.2 Výpočet energetických zisků

Navrhovaný počet panelů - 25

Měsíc	Q_{zp} (kWh/měs)	$t_{k,m}$ (°C)	η_k (-)	p (-)	$Q_{k,u,panel}$ (kWh/měs)	počet	$Q_{k,u}$ (kWh/měs)	$Q_{ss,u}$ (kWh/měs)	f (%)
Leden	5557,8	40,0	0,35	0,155	20,31	25	507,7	507,7	0,09
Únor	5198,5	40,0	0,42	0,158	42,30	25	1057,6	1057,6	0,20
Březen	5557,1	40,0	0,50	0,155	90,57	25	2264,3	2264,3	0,41
Duben	5377,8	40,0	0,55	0,156	122,84	25	3071,0	3071,0	0,57
Květen	5557,1	40,0	0,60	0,155	176,91	25	4422,8	4422,8	0,80
Červen	5377,8	40,0	0,62	0,156	189,47	25	4736,7	4736,7	0,88
Červenec	4167,8	40,0	0,53	0,169	162,22	25	4055,4	4055,4	0,97
Srpen	4167,8	40,0	0,57	0,169	150,51	25	3762,6	3762,6	0,90
Září	5377,8	40,0	0,58	0,156	120,44	25	3011,1	3011,1	0,56
Říjen	5557,1	40,0	0,56	0,155	68,13	25	1703,2	1703,2	0,31
Listopad	5377,8	40,0	0,50	0,156	28,16	25	704,1	704,1	0,13
Prosinec	5557,1	40,0	0,45	0,155	17,41	25	435,3	435,3	0,08

Tabulka 6: Určení počtu panelů v jednotlivých měsících



Obrázek 20: Bilance potřeby tepla na ohřev TV ($Q_{p,c}$) a využitelných solárních zisků ($Q_{ss,u}$) fototerm. soustavy v jednotlivých měsících

Z výsledků vyplývá, že při použití 25 solárních kolektorů bude v červenci nejvyšší solární podíl – 97 %. Roční potřeba tepla na ohřev teplé vody $Q_{p,c}$ bude 62 831,55 kWh/rok, roční využití zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ budou 29 731,70 kWh/rok,

měrné roční využití tepelné zisky solární soustavy $q_{ss,u}$ budou 522,07 kWh/m².rok a roční podíl solární energie spotřebované na ohřev teplé vody f bude 47 %.

7.6 Návrh fotovoltaických panelů na objekt – měsíční bilance

7.6.1 Vybraný typ fotovoltaického panelu

S ohledem na předem popsané typy fotovoltaických panelů a jejich specifikace byl vybrán následující fotovoltaický panel.

Fotovoltaický modul Panasonic HIT N250

Základní charakteristika:

Použití - ohřev teplé vody

Typ - monokrystalický modul

Úhel sklonu oslněné plochy – 45° (celoroční provoz)

Výpočetní parametry kolektoru:

$$NOCT = 44^{\circ}\text{C}$$

$$\eta_{ref} = 0,198$$

$$\gamma = -0,258\%/^{\circ}\text{C}$$

$$P_{pk} = 250 \text{ W}$$

$$p = 0,07$$

$$\Delta\eta_G = 0,9$$

$$k = -0,559$$

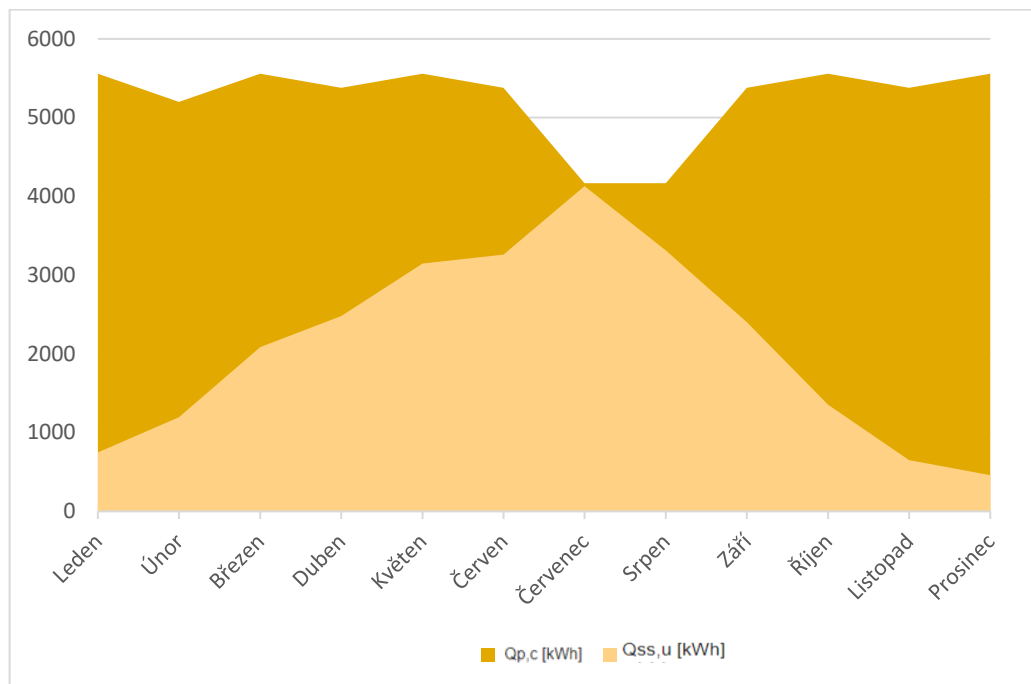
$$G = 200 \text{ W/m}^2$$

$$G_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$$

7.6.2 Výpočet energetických zisků

Navrhovaný počet panelů - 70

Měsíc	$Q_{c,p}$ (kWh/měs)	η_{FV} (-)	E_{FV} (kWh/měs)	počet	$Q_{k,u}$ (kWh/měs)	$Q_{ss,u}$ (kWh/měs)	f (%)
Leden	5557,8	0,30	10,71613636	70	750,1	750,1	0,13
Únor	5198,5	0,28	17,07395455	70	1195,2	1195,2	0,23
Březen	5557,1	0,27	29,818125	70	2087,3	2087,3	0,38
Duben	5377,8	0,26	35,44568182	70	2481,2	2481,2	0,46
Květen	5557,1	0,25	44,96761364	70	3147,7	3147,7	0,57
Červen	5377,8	0,25	46,60568182	70	3262,4	3262,4	0,61
Červenec	4167,8	0,31	59,00321591	70	4130,2	4130,2	0,99
Srpen	4167,8	0,29	47,32009091	70	3312,4	3312,4	0,79
Září	5377,8	0,27	34,32651136	70	2402,9	2402,9	0,45
Říjen	5557,1	0,26	19,344	70	1354,1	1354,1	0,24
Listopad	5377,8	0,27	9,330647727	70	653,1	653,1	0,12
Prosinec	5557,1	0,28	6,598772727	70	461,9	461,9	0,08



Obrázek 21: Bilance potřeby tepla na ohřev TV ($Q_{p,c}$) a využitelných solárních zisků ($Q_{ss,u}$) fotovoltaické soustavy v jednotlivých měsících

Z výsledků vyplývá, že při použití 70 fotovoltaických panelů bude v červenci nejvyšší solární podíl – 99 %. Roční potřeba tepla na ohřev teplé vody $Q_{p,c}$ bude 62 831,55 kWh/rok, roční využití zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ budou 25 238,53 kWh/rok, měrné roční využití tepelné zisky solární soustavy $q_{ss,u}$ budou 397,17 kWh/m².rok a roční podíl solární energie spotřebované na ohřev teplé vody f bude 40 %.

8 Porovnání, vyhodnocení

	<i>Solární kolektory</i>	<i>Fotovoltaické panely</i>
počet	25	70
zabraná plocha na střechy (m²)	56,95	88,2
$Q_{ss,u}$ (kWh/rok)	29 731,73	25 238,53
$q_{ss,u}$ (kWh/m².rok)	522,07	397,17
průměrná cena 1 panelu (Kč)	14 900	7 550
celková cena (Kč)	372 500	528 500
roční solární podíl potřeby tepla na ohřev TV (%)	47	40

Z výsledků vyplývá, že solární podíl na ohřevu teplé vody na vybraném objektu je v případě solárních kolektorů 47 % a v případě fotovoltaických panelů 40 %. Pokud tedy budeme chtít ohřívat vodu v objektu pomocí solární energie, bude potřeba dodatkový zdroj tepla (např. plynový kotel, elektrokotel nebo tepelné čerpadlo).

Při srovnání obou variant ohřevu TV vychází jako lepší možnost pro zadaný objekt použití solárních kolektorů. Při aplikaci 25 kolektorů pokrývají 47 % potřeby tepla na ohřev TV. Fotovoltaických panelů je potřeba 70, aby pokryly 40 % potřeby tepla na ohřev TV. Solární kolektory mají tedy vyšší využití solární zisky a z toho důvodu uspoří větší množství energie (např. energii zemního plynu - pokud bychom srovnávali s plynovým kotlem). Při použití vybraných solárních kolektorů dojde k úspoře 29 732 kWh za rok. Vybrané fotovoltaické panely uspoří 25 238 kWh za rok. Také pořizovací cena 25 solárních kolektorů je výrazně nižší než 70 fotovoltaických.

9 Závěr

Cílem práce bylo provést studii využití solární energie pro ohřev teplé vody v bytovém domě a navrhnout možné řešení pro zadaný objekt.

Nejprve byly popsány jednotlivé způsoby ohřevu TV v bytovém objektu podle zdroje energie. Poté byly popsány veličiny týkající se energie ze slunečního záření, jejich průběhy během roku a důležité hodnoty. Dále byly specifikovány základní požadavky pro aplikaci solárních soustav na objekt. Důležitými aspekty jsou sklon a orientace osluněné plochy a typ střechy. Poté už byly popsány jednotlivé soustavy – fototermická a fotovoltaická. U každé byly popsány jednotlivé části soustavy, části kolektorů a panelů, jejich druhy a typy, energetické parametry potřebné pro návrh a výpočtový postup energetického hodnocení.

Pro vybraný objekt byla spočítána potřeba tepla v jednotlivých měsících a sestaven její průběh během roku. Dále byl vybrán jeden zástupce fototermických panelů a jeden fotovoltaických panelů. Pro každý byly spočítány využití solární zisky. Pomocí hodnot potřeby tepla v jednotlivých měsících a využitých solárních zisků soustavy byl určen počet panelů. Návrh byl proveden tak, aby v měsíci červenci nevznikaly přebytky solární energie. Z výsledků vyplývá, že pro pokrytí potřeby tepla v červenci je potřeba 25 fototermických panelů a 70 fotovoltaických panelů. Při použití tohoto počtu panelů bude roční potřeba tepla na ohřev TV pokryta z 47 % u fototermiky a z 40 % u fotovoltaiky. U obou soustav tedy bude potřeba použít dodatečný zdroj tepla.

V závěru práce bylo provedeno porovnání obou soustav a byla vybrána vhodnější varianta pro ohřev TV pro zadaný objekt. Porovnány byly počty kolektorů a panelů, využití roční solární zisky, měrné roční využití zisky, solární podíl a orientační pořizovací cena kolektorů a panelů.

Jako vhodnější varianta pro ohřev TV pro vybraný bytový dům se ukázala solární soustava, která má oproti fotovoltaické soustavě vyšší solární podíl, vyšší využití solární zisky a tím i větší úsporu energie. Také pořizovací náklady (byla uvažována pouze cena panelů, nebyly započítány akumulární zásobníky, zásobníky TV a dodatečný zdroj tepla) fototermické soustavy jsou výrazně nižší než u fotovoltaické.

Použití solárních soustav v bytových domech je dobrý způsob, jak využívat obnovitelnou energii k ohřevu teplé vody. To by měl být hlavní důvod k častější aplikaci solárních soustav. Solární energii ale nelze při efektivním návrhu pokrýt 100 % potřeby tepla na ohřev teplé vody a proto je vždy nutné použít dodatečný zdroj.

10 Seznam použitých zdrojů

1. Ing. Dufka, Jaroslav. Jakou energií ohřívat vodu? Elektřinou, plynem, tuhými palivy či solární energií? *ESTAV.cz*. [Online] 2020. [Citace: 25. 2 2022.] <https://www.estav.cz/cz/5930.jakym-zdrojem-energie-ohrivat-vodu-elektrinou-plynem-tuhymi-palivy-ci-solarni-energii>.
2. —. TZB-info. *Ohřev vody, aneb příprava teplé vody, III. díl*. [Online] 2018. [Citace: 4. 3 2022.] <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/17781-ohrev-vody-aneb-priprava-teple-vody-iii-dil>.
3. Senesi. *Ohříváče vody*. [Online] 2020. [Citace: 4. 3 2022.] <https://www.senesi.cz/eliz-euro65d-beztlakovy-bojler-tuhe-palivo-lazenska-kamna>.
4. Tepelná čerpadla. *TZB-info*. [Online] [Citace: 4. 3 2022.] <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>.
5. Princip tepelného čerpadla. *THERMO COMFORT*. [Online] [Citace: 4. 3 2022.]
6. Ing. Dr. Cihelka, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha : T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
7. Josef Horváth. SOLÁRNÍ ZÁŘENÍ V LOKALITĚ VUT FSI V BRNĚ. [Online] [Citace: 5. 3 2022.] <https://adoc.pub/solarni-zaeni-v-lokalit-vut-fsi-v-brn.html>.
8. doc. Ing. Matuška, Tomáš Ph.D. Solární soustavy - teorie a schémata (I). *TZB-info*. [Online] 8. 8 2005. [Citace: 23. 4 2022.] <https://www.tzb-info.cz/2631-solarni-soustavy-teorie-a-schemata-i>.
9. Ing. Matuška, Tomáš Ph.D. *Solární zařízení v příkladech*. Praha : Grada Publishing, a. s., 2013. ISBN 978-80-247-3525-2.
10. —. *Solární soustavy pro bytové domy*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3503-0.
11. doc. Ing. Matuška, Tomáš, Ph.D. Typy solárních kolektorů. *TZB-info*. [Online] [Citace: 11. 3 2022.] <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>.
12. doc. Ing. Matuška, Tomáš Ph.D. Zjednodušená bilance solárního kolektoru. *TZB-info*. [Online] 31. 11 2011. [Citace: 11. 3 2022.]
13. Fotovoltaika. *Solární energie*. [Online] ČEZ, 2006. [Citace: 11. 3 2022.] <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>.
14. Bechnik, Bronislav. Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, technologie krystalického křemíku. *TZB-info*. [Online] 9. 3 2009. [Citace: 22. 3 2022.] <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>.

15. Druhy fotovoltaických panelů. *WattControl*. [Online] [Citace: 11. 3 2022.] <https://www.wattcontrol.cz/panely/>.
16. 3 typy fotovoltaických panelů – jaké jsou jejich výhody? *BohemiCivilEngineering*. [Online] 13. 9 2019. [Citace: 11. 3 22.]
17. Bechnik, Bronislav. Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice. *TZB-info*. [Online] 2014. [Citace: 19. 3 2022.] <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmyve->
18. Tomáš Hocke, Ing. Bytový dům - ul. 5. května. *Představení architektonických studií*. [Online] 28. 6 2018. [Citace: 1. 5 2022.] [file:///C:/Users/Spravce/Downloads/17_osv_bytovy_dum_ul._5._kvetna_predstaveni_architektonickych_studii%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Spravce/Downloads/17_osv_bytovy_dum_ul._5._kvetna_predstaveni_architektonickych_studii%20(1).pdf).
19. <https://www.solarnicesko.cz/tepelna-čerpadla.php>. *thermo solar*. [Online] 2020. [Citace: 27. 2 2022.]
20. Slunce. *Skupina ČEZ*. [Online] 2020. [Citace: 5. 3 2022.] <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/slunce>.
21. Fotovoltaika v podmínkách ČR. *Isofen energy*. [Online] 2019. [Citace: 5. 3 2022.] <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>.

11 Seznam obrázků

Obrázek 1: Části lázeňských kamen (3)	12
Obrázek 2: Princip tepelného čerpadla (5)	13
Obrázek 3: Denní a měsíční průběh intenzity celkového záření (7).....	15
Obrázek 4: Průběh průměrné intenzity slunečního záření během roku (6)	15
Obrázek 5: Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [kWh/m ²] (21).....	17
Obrázek 6: Příklad energetických zisků z 1 m ² při různém sklonu osluněné plochy (8)	17
Obrázek 7: Možné schéma solární soustavy pro přípravu TV (9).....	18
Obrázek 8: Části solárního kolektoru	20
Obrázek 9: Plochý solární kolektor	20
Obrázek 10: Části trubkového vakuového kolektoru (11).....	21
Obrázek 11: Složení fotovoltaického článku (13)	24
Obrázek 12: Složení fotovoltaického pole (13)	25
Obrázek 13: Složení fotovoltaického panelu (14)	26
Obrázek 14: Monokrystalický solární panel (16)	26

Obrázek 15: Polykrystalický panel (16)	26
Obrázek 16: Amorfni fotovoltaický panel (16)	27
Obrázek 17: Architektonická studie objektu (18).....	30
Obrázek 18: Pohled na střech objektu (18).....	31
Obrázek 19: Bilance energií fototermických panelů	34
Obrázek 20: Bilance energií fotovoltaické soustavy	36

12 Seznam tabulek

Tabulka 1: Průměrné měsíční hodnoty součinitele Z (6).....	14
Tabulka 2: Výhody a nevýhody umístění kolektorů na plochou nebo šikmou střechu ..	18
Tabulka 3: Porovnání typů fotovoltaických panelů	27
Tabulka 4: Průměrná potřeba tepla pro přípravu TV v jednotlivých měsících	32
Tabulka 5: Hodnoty střední teploty venkovního vzduchu v době slunečního svitu $t_{e,s}$, střední hodnoty slunečního ozáření $G_{t,m}$ a měsíční dávky celkového slunečního ozáření H_T	33
Tabulka 6: Určení počtu panelů v jednotlivých měsících.....	34