

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

FOTOTERMICKÝ A FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV VODY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Ledvinka Jméno: Jiří Osobní číslo: 408693
Fakulta/ústav: Fakulta strojní
Zadávající katedra/ústav: Ústav techniky prostředí
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Technika životního prostředí

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Fototermický a fotovoltaický ohřev vody

Název bakalářské práce anglicky:

Photothermal and Photovoltaic Water Heating

Pokyny pro vypracování:

Porovnejte fototermický a fotovoltaický systém pro ohřev vody v zadaném bytovém domě. Pro danou potřebu tepla bilancujte využití solární zisky pro různé dimenzování solárních systémů. Vyhodnoťte ekonomické parametry variant.

Seznam doporučené literatury:

TN1 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup. ÚNMZ 2014
Matuška, T.: Sešit projektanta - Solární tepelné soustavy, STP 2009
Staněk, K. Fotovoltaika pro budovy, GRADA, 2012.


Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

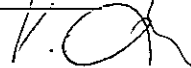
doc. Ing. Tomáš Matuška Ph.D., ústav techniky prostředí FS

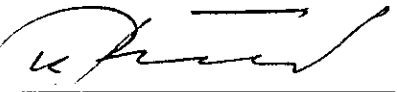
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 20.04.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 30.06.2017

Platnost zadání bakalářské práce:


Podpis vedoucí(ho) práce

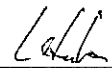

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

20.4.2017
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Souhrn

Obsah práce spočívá v porovnání fototermických a fotovoltaických systémů pro ohřev vody v zadaném bytovém domě. Byla určena potřeba tepla na přípravu teplé vody. Byla provedena bilance využitelných solárních zisků systémů. Systémy byly porovnávány z pohledu ekonomiky a úspory energie.

Summary

The aim of this bachelor thesis is to compare photothermal and photovoltaic systems for heating of water. The heat demand for hot water was determined. A balance of usable solar system gains was made. The systems were compared from an economic point of view and energy savings.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Fototermický a fotovoltaický ohřev vody“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 28.06.2017

Jiří Ledvinka

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Tomášovi Matuškově, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování této práce. Dále děkuji rodičům za umožnění studovat a za podporu v průběhu studia.

Obsah

Značky a jednotky, indexy

1.	ÚVOD.....	7
2.	OBJEKT.....	8
2.1	Popis objektu.....	8
2.2	Střecha objektu.....	8
2.2.1	Rozložení kolektorů (panelů) na střeše.....	9
3.	PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY.....	10
3.1	Spotřeba teplé vody.....	10
3.2	Tepelné ztráty.....	12
3.3	Potřeba tepla.....	12
4.	SOLÁRNÍ SOUSTAVY.....	13
4.1	Fototermické solární soustavy.....	13
4.1.1	Solárních kolektory.....	13
4.1.2	Účinnost solárních kolektorů.....	15
4.1.3	Bilance tepelných zisků.....	17
4.2	Fotovoltaické solární soustavy.....	19
4.2.1	Fotovoltaické moduly.....	20
4.2.2	Sledovač výkonového maxima.....	21
4.2.3	Účinnost fotovoltaických modulů.....	21
4.2.4	Bilance produkce fotovoltaických modulů.....	24
4.3	Finanční zhodnocení soustav.....	25
4.3.1	Cena energie.....	25
4.3.2	Investiční náklady.....	25
4.3.3	Provozní náklady.....	25
4.3.4	Úrok uložených peněz.....	26
4.3.5	Životnost komponent.....	26
5.	ANALÝZA.....	27
5.1	Výpočet potřeby tepla na přípravu teplé vody.....	27
5.2	Výpočet maximálního možného počtu kolektorů (panelů) na střeše.....	27
5.3	Analýza energetických zisků solárních soustav.....	28
5.3.1	Fototermické systémy.....	28

5.3.2	Fotovoltaické systémy	30
5.4	Výpočet návratnosti a úspory	31
6.	ZÁVĚR	35
	Seznam literatury	36
	Seznam příloh	37

Značky a jednotky

A	- plocha	[m ²]
B	- šířka kolektoru/panelu	[m]
C	- cena energie	[Kč/GJ]
D	- počadí dne v měsíci	[-]
E	- produkce elektrické energie	[kWh]
G	- sluneční ozáření	[W/m ²]
G _{T,m}	- střední denní sluneční ozáření plochy solárního kolektory	[W/m ²]
H	- velikost průmětu kolektoru/panelu do svislé osy	[m]
H _T	- měsíční dávka slunečního ozáření	[kWh/m ² měs]
L _M	- rozměr kolektoru/panelu	[m]
M	- pořadí měsíce v roce	[-]
NOCT	- jmenovitá provozní teplota článku	[°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]
S	- užitná plocha na osobu	[m ² /os]
	- plocha bytů	[m ²]
	- rozestup mezi řadami kolektorů/modulů	[m]
U	- celkový součinitel tepelné ztráty	[W/m ² K]
U ₂₅	- úspora financí po 25 letech provozu soustavy	[Kč]
V	- spotřeba teplé vody	[m ³ /os den]
a ₁	- lineární součinitel tepelné ztráty solárního kolektoru	[W/m ² K]
a ₂	- kvadratický součinitel tepelné ztráty solárního kolektoru	[W/m ² K ²]
c	- nárůst ceny energie	[%/rok]
	- měrná tepelná kapacita vody	[J/kg K]
f	- solární podíl	[%]
h	- výška slunce	[°]
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	[kWh/m ² rok]
t	- teplota	[°C]
$t_{k,m}$	- střední teplota teplotnosné látky v solárním kolektoru	[°C]
z	- přírážka na tepelné ztráty přípravy teplé vody	[-]
$\Delta\eta_G$	- relativní snížení účinnosti fotovoltaického panelu	[%]
α	- pohltivost fotovoltaického panelu	[-]
α_D	- návrhový úhel	[°]
β	- sklon panelu od vodorovné roviny	[°]
γ	- teplotní součinitel výkonu	[%/K]
δ	- deklinace	[°]
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	[°]
τ_n	- doba návratnosti	[roků]
φ	- zeměpisná šířka	[°]
ω	- rychlost větru	[m/s]

Indexy

a	- apertury kolektoru
c	- celková
e	- venkovní
e,s	- venkovní v době slunečního svitu
FV	- fotovoltaického panelu
FV,sys	- fotovoltaického systému
G	- korigované, v závislosti na slunečním ozáření
k	- kolektoru
MPP	- v bodě maximálního výkonu
m	- střední
mes	- měsíční
pk	- špičkový
ref	- referenční
rok	- roční
SV	- studené vody
t	- korigovaná, v závislosti na teplotě
TV	- teplé vody

1. ÚVOD

Využití solární energie je v mnoha ohledech jedno z nejlepších řešení ohřevu vody. Hlavní výhodou solární energie je její dostupnost a nevyčerpatelnost. S neustálým vývojem technologií a postupným vyčerpáváním fosilních paliv se výhody těchto systémů zvyšují a je velmi pravděpodobné že se v budoucnu tento trend nezmění. Proto bude problematika využívání solární energie nejenom pro ohřev vody stále aktuálnější.

Solární soustavy využívají nevyčerpatelné sluneční energie, a proto snižují potřebu primární energie. Dále neprodukují emise znečišťujících látek. Tyto výhody oproti fosilním palivům platí pouze v lokálním měřítku, při výrobě všech komponentů soustav dochází k ekologickému dopadu, ale v menším měřítku. Toto platí také pro energii potřebnou pro provoz soustav. Problém nastává u bytových domů napojených na síť centralizovaného zásobování teplem. Při snížení potřeby energie dodávané sítí CZT se spotřeba primární energie ani množství emisí znečišťujících látek nemění. To platí pro provoz, kde je primární výroba elektrické energie a snížením odběru odpadního tepla se tato energie maří.

Tato práce je zaměřena na porovnání fototermických a fotovoltaických systémů pro ohřev vody pro bytový dům. Výpočtem byla stanovena potřeba tepla objektu pro ohřev vody a na to následně navrženy soustavy pro částečné pokrytí potřeby tepla. Na základě vypočtených pořizovacích a provozních nákladů soustav byla stanovena úspora energie. Cílem práce je porovnání těchto dvou způsobů využití solární energie a výpočet návratnosti pořizovacích nákladů na solární systémy vůči ohřevu vody pouze pomocí původního zdroje tepla. Výsledkem práce je celková úspora financí v důsledku úspory energie a časová návratnost investičních nákladů na pořízení soustavy.

2. OBJEKT

2.1 Popis objektu

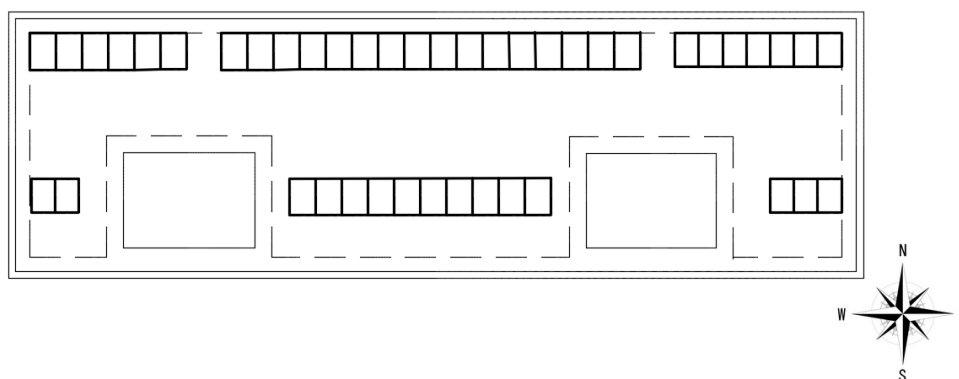
Návrh je řešen pro část bytového objektu v ulici Gabinova Praha 5-Hlubočepy. Konkrétně je to budova B, viz Obr.2.1. Objekt má jedno podzemní a šest nadzemních podlaží. Příprava teplé vody je řešena lokální plynovou kotelnou [1].



Obr.2.1 Pohled na řešenou část bytového objektu [Zdroj: maps.google.cz]

2.2 Střecha objektu

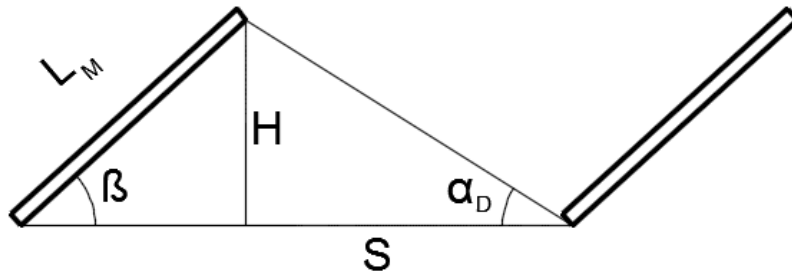
Střecha objektu je plochá nevětraná spádovaná jednoplášťová o celkové ploše 370 m². Na střeše jsou umístěny dvě strojovny výtahu a vzduchotechnické komponenty pro odvětrání bytových jader [1]. Plocha využitelná pro instalaci prvků solárních systémů je oproti celkové ploše snížena o plochu strojoven výtahů a o manipulační prostor na vnitřních stranách hrany objektu a kolem strojoven.



Obr. 2.2 Půdorys střechy objektu s prvky solární soustavy

2.2.1 Rozložení kolektorů (panelů) na střeše

Cílem práce není navrhnout konkrétní konstrukční řešení umístění a uložení kolektorů či panelů, ale je potřeba určit maximální plochu těchto prvků, kterou je možno instalovat na omezenou plochu střechy objektu. Aby bylo co možná nejvíce omezeno vnitřní stínění, tedy vzájemné stínění panelů, je třeba správně navrhnout rozestupy mezi řadami.



Obr. 2.3 Geometrie instalace kolektorů (panelů)

Rozestup mezi řadami panelů S [m] byl stanoven následujícím postupem [2].

$$S = \frac{H}{\tan \alpha_D} \text{ [m]} \quad (1)$$

kde je

H velikost průmětu panelu do svislé roviny [m];

α_D návrhový úhel [°].

Pro velikost průmětu H platí

$$H = L_M \cdot \sin \beta \text{ [m]} \quad (2)$$

kde je

β sklon panelu od vodorovné roviny [°];

L_M rozměr panelu [m].

Dosazením tohoto vztahu do rovnice (3) vznikne výsledná rovnice

$$S = \frac{L_M \cdot \sin \beta}{\tan \alpha_D} \text{ [m]}. \quad (3)$$

Návrhový úhel α_D byl stanoven jako výška slunce h [°] při zimním slunovratu ve 12 hodin. Výška slunce byla stanovena následujícím postupem [3].

$$h = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \tau) \text{ [°]} \quad (4)$$

kde je

δ deklinace [°];

ϕ zeměpisná šířka [°];

τ sluneční časový úhel[°].

Deklinace se určí

$$\delta = 23,45^\circ \sin (0,98 D + 29,7 M - 109^\circ) [^\circ] \quad (5)$$

kde je

D pořadí dne v měsíci [-];

M pořadí měsíce v roce [-].

3. PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

Solární systémy jsou výhodným řešením pro přípravu teplé vody pro rodinné, a zejména pro bytové domy. Čím větší je solární soustava, tím se snižují měrné pořizovací i provozní náklady soustavy, proto jsou solární systémy pro bytové domy ekonomicky výhodnější oproti rodinným. Výhoda využití solárních systémů na ohřev vody oproti vytápění spočívá v relativní stálosti potřeby tepla během roku. Systémy se také relativně jednoduše dají propojit se stávajícím systémem pro přípravu teplé vody a fungovat jako přehřev stávajícího systému.

Důvodem instalace solárních soustav je ve většině případů mimo jiné také úspora financí, a proto je důležité snížit celkovou potřebu teplé vody. Snížením této potřeby se sníží zejména investiční náklady v podobě nižšího počtu kolektorů (modulů), velikosti zásobníku, případně dimenze rozvodů teplotnosné látky. Mezi úsporná opatření patří například instalace úsporných armatur, omezení tepelných ztrát rozvodů v podobě izolace a redukce délky, snížením běhu cirkulace na minimum využitím řízené cirkulace teplotními čidly, aj.

3.1 Spotřeba teplé vody

Hlavním faktorem potřebného množství tepla pro obytné budovy je samotný uživatel. Každý člověk má jiné návyky, zaleží, jaké zařizovací předměty uživatelé používají (vana, sprcha), jaká věková kategorie daný prostor obývá. Důležitým faktorem je také snížená potřeba teplé vody v letních měsících, ta je způsobena jednak školními letními prázdninami a tím pádem odjezdem uživatelů na dovolené a dále vyšší

venkovní teplotou, uživatelé nemají potřebu tak horkých koupelí nebo dlouhých pobytů ve sprše. Úbytek potřeby teplé vody pro dva letní měsíce se zpravidla uvažuje 25 %. V úvahu je také potřeba brát finanční situaci osob a mnoho dalších faktorů. Proto se výsledná měrná potřeba teplé vody může od člověka k člověku výrazně lišit. To je znázorněno v tab. 3.1, která je výňatkem z tabulky dostupné v ČSN EN 15 316-3-1.

Tab. 3.1 Měrná denní spotřeba teplé vody v obytných budovách při teplotním rozdílu 60/15 [4]

Typ spotřeby	$V_{TV,den}$ [m ³ /os.den]
Nízký standard	0,01-0,02
Střední standard	0,02-0,04
Vysoký standard	0,04-0,08

Z průzkumu potřeby energií v domácnostech ENERGO 2004 vyplývá ekvivalentní množství 43 l/os.den při teplotním spádu 60/15 °C. V této hodnotě jsou zahrnuty tepelné ztráty systému pro přípravu teplé vody, které jsou předpokládány okolo 30 %. Po odečtení této tepelné ztráty je hodnota přibližně 30 l/os.den. To odpovídá průměrné hodnotě z tab. 3.1.

Počet osob v objektu byl určen na základě znalosti ploch bytů [1] uvedené v tab. 3.2 a průměrné užitné plochy na osobu S_{pr} [m²/os] stanovené sčítáním lidu, domů a bytů v roce 2001 [5]. Výpočtem dle rovnice (6) byl získán celkový počet osob v objektu $n_{os} = 72$ osob.

$$n_{os} = \frac{S_c}{S_{pr}} [\text{os.}] \quad (6)$$

kde je

S_c celková plocha bytů [m²].

Tab. 3.2 Plochy bytů v objektu

Kategorie bytu	Počet bytů	Plocha bytu [m ²]
III.	2	58,45
V.	12	85,56
VI.	10	90,39
celková plocha bytů		2048

3.2 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty jsou způsobeny ztrátami zásobníku teplé vody, rozvody solární soustavy a teplé vody, případně ztráty rozvodu cirkulace. Pro relativně přesný výpočet je možno použít metody z evropských norem nebo výpočtové softwary. Ve většině případů se používá odhad tepelných ztrát v podobě přírážky z [-]. Hodnoty této přírážky jsou uvedeny v Tab. 3.3.

Tab. 3.3 Přírážka na tepelné ztráty přípravy teplé vody [6]

Typ přípravy teplé vody	z [-]
Lokální průtokový ohřev	0,00
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	0,15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0,30
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	1,00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CT	> 2,00

3.3 Potřeba tepla

Potřeba tepla na přípravu TV není pouze energie potřebná k ohřátí vody ale je zde zahrnuta i energie, která se ztrácí vlivem tepelných ztrát, proto se při výpočtu potřeby tepla uvažuje s výše zmíněnou přírážkou z . Celková měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV,mes}$ [kWh/měs] se stanoví dle vztahu

$$Q_{p,TV,mes} = (1 + z) \frac{n \cdot V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \times 10^6} \text{ [kWh/měs]} \quad (7)$$

kde je

n počet dní v daném měsíci [-];

$V_{TV,den}$ průměrná denní potřeba teplé vody [m^3/den];

ρ hustota vody [kg/m^3];

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

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

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

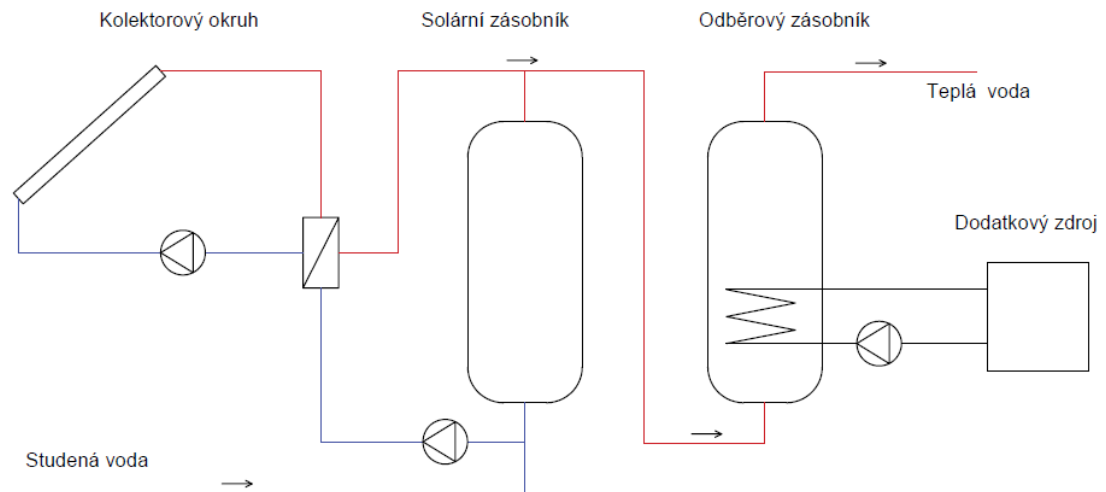
z přírážka pro zahrnutí tepelných ztrát.

Teplota studené vody se během roku mění, může nabývat hodnot od 5 až po 20 $^{\circ}\text{C}$. Tato teplota nezávisí pouze na venkovní teplotě ale také například na způsobu vedení potrubí do objektu. Obecně se používá jednotná hodnota 15 $^{\circ}\text{C}$.

4. SOLÁRNÍ SOUSTAVY

4.1 Fototermické solární soustavy

Solární fototermické soustavy navrhované pro daný objekt využívají kapalinových solárních kolektorů. Výměnkem je teplo z kolektorového okruhu předáváno do solárního zásobníku. Zásobník je přímo nabíjen a přímo vybíjen. Při přímém vybíjení je z horní části zásobníku odebírána teplá voda. Teplá voda ze solárního zásobníku je přivedena do spodní části odběrového zásobníku, kde je nepřímo dohřívána dodatkovým zdrojem.



Obr. 4.1 Schéma solární fototermické soustavy pro přípravu teplé vody

4.1.1 Solárních kolektory

Solární kolektor je určen k přeměně sluneční energie na tepelnou. Pracuje na principu fototermální přeměny, ta spočívá v absorpci slunečního záření na povrch pevných látek a kapalin. Následně se teplo odvádí teplonosnou látkou, která proudí kolektorem. Povrch, který absorbuje sluneční záření se nazývá absorbér. Teplonosná látka je vedena pomocí trubek nebo kanálků vedoucích pod absorbérem, tato charakteristika odpovídá plochému kolektoru, který je nejběžnější. Všechny druhy kolektorů jsou popsány dále.

Ploché atmosférické kolektory

Kolektory jsou převážně s jednoduchým zasklením, s kovovým absorbérem se selektivním povrchem, povrch je na bázi keramicko-kovových vrstev, které mají vysokou pohltivost, a odpadá tím část ztráty odrazem záření [7]. Neselektivní povrchy se používají u kolektorů nižší cenové kategorie pro jejich nižší účinnost. Absorbér je upevněn na trubkovém registru pro odvod získaného tepla. Tyto prvky jsou uloženy do rámu kolektoru, v kterém je v jeho spodní části tepelná izolace pro snížení tepelných

ztrát do okolí. Ploché atmosférické kolektory s jednoduchým zasklením se používají pro ohřev vody nebo částečné vytápění budov v přechodovém období. Varianta s dvojitým zasklením se používá méně často, převážně v průmyslu díky vyšším teplotám. Ploché kolektory se mohou aplikovat jako součást střešní konstrukce. V tomto případě kolektory částečně nahrazují střešní krytinu případně fasády. Dále je možnost aplikace velkoplošných kolektorů. Rozsah ploch těchto panelů je 4 až 10 m². Výhodou je rychlost a menší složitost instalace a tedy i výsledná cena solární soustavy.

Ploché vakuové kolektory

Hlavním rozdílem mezi vakuovými a atmosférickými kolektory je tlak vzduchu uvnitř kolektoru. U vakuových kolektorů je vzduch vysán na tlak 1 až 10 kPa. Toto prostředí má díky sníženému proudění a menšímu tlaku vyšší tepelný odpor a tím pádem se snižuje tepelná ztráta kolektoru. Proto se u vakuových kolektorů nepoužívá tepelná izolace na zadní straně, tepelné ztráty vedením jsou již eliminovány. Neplatí to pro ztráty sáláním, které jsou redukovány nízkoemisivními povlaky. Kolektory musí být vzduchotěsné, vana a sklo je spolu spojeno lisováním a mezi nimi je odolné těsnění. Aby sklo neprasklo působením atmosférického tlaku, je kolektor po celé ploše vyztužen kovovými elementy. Ty jsou vzepřeny mezi sklem a zadní stranou kolektoru. Důležitou funkcí je možnost kolektor opětovně vakuovat, proto je vana vybavena ventilem pro připojení vývěvy. Zbytek plynu v kolektoru nemusí vždy být vzduch, ale může se nahradit vzácnými plyny jako například argonem, které mají nižší tepelnou vodivost.

Trubkové vakuové kolektory

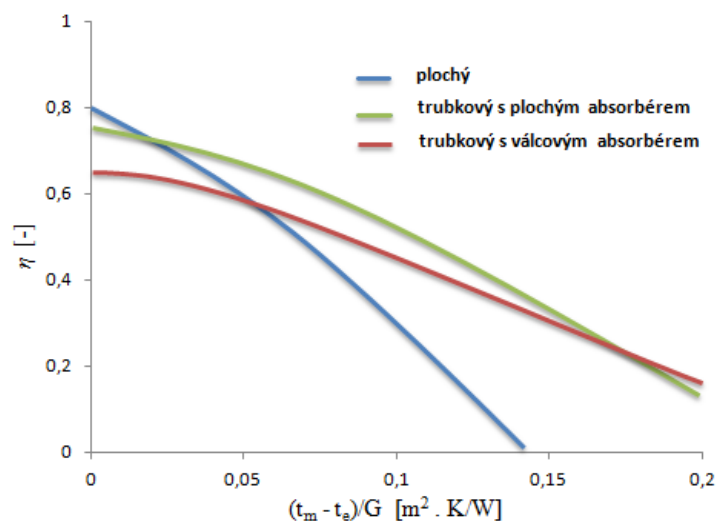
Trubkové vakuové kolektory jsou zpravidla skleněné trubky, ve kterých je absorbér a z nichž je vysán vzduch. Tento druh kolektorů je vakuován na tlak menší než 1 mPa. Tento extrémně nízký tlak ještě více snižuje přenos tepla vedením a konvekcí mezi absorbérem a okolním prostředím, díky nízkým tepelným ztrátám jsou tyto kolektory vhodné pro systémy s provozní teplotou i nad 100 °C. Uvnitř se používají tzv. getry, které ještě více minimalizují výskyt plynů díky tomu, že pohlcují jejich molekuly. Při poruše skleněného obalu a vniknutí velkého množství plynu do kolektoru dojde k reakci s getry a ty mění barvu. Tím rozpoznáme zvýšený tlak uvnitř. Trubkové kolektory nemají možnost opětovného vakuování, proto poškozeným kusům není možné vrátit jejich izolační vlastnost.

Trubkové vakuové kolektory je ale široký pojem, jedním ze základních rozdělení je podle konstrukce. Existují varianty: S jednostěnnou trubkou a plochým absorberem. S dvojtěnnou trubkou a válcovým absorberem.

Kolektor s jednostěnnou trubkou je tvořen uzavřenou skleněnou trubkou, ve které je plochý absorber, odvod tepla je zajištěn tepelnou trubicí nebo technologií přímo protékající teplotnosné látky. Trubka je vyráběna z boritokřemičitého skla, které má vysokou pevnost a odolnost proti teplotním změnám. Tento druh kolektorů patří mezi špičku, co se týče účinnosti, ale tato kvalita se podepisuje na ceně.

Trubkové kolektory s dvojtěnnou skleněnou trubkou též tzv. Sydney trubka, je tvořena vnitřním skleněným válcovým absorberem a vnější krycí trubkou. Prostor mezi trubkami je vakuován a utěsněn. Stejně jako předchozí typ se vyrábí z boritokřemičitého skla. Na povrch absorberu je nanesen selektivní keramicko-kovový povlak. Pro válcový tvar absorberu se mohou kolektory vybavit odraznými zrcadly, které zvyšují množství dopadající energie. Zrcadla jsou umístěna za absorber a mohou být ploché nebo parabolicky tvarované. Oproti předchozímu typu mají tyto kolektory nižší účinnost, ale jsou finančně dostupnější.

Na Obr. 4.1 jsou znázorněny křivky účinností různých konstrukcí kolektorů při slunečním ozáření $G = 1000 \text{ W/m}^2$.



Obr. 4.1 Křivky účinností kolektorů různých konstrukcí

4.1.2 Účinnost solárních kolektorů

Ke stanovení účinnosti solárního kolektoru je třeba znát tři základní parametry. Prvním parametrem je optická účinnost kolektoru η_0 [-]. Optická účinnost je účinnost

solárního kolektoru při nulových tepelných ztrátách, tedy při stejné střední teplotě teplonosné kapaliny $t_{k,m}$ [°C] a teplotě 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, stejně jako optická účinnost, konstanty daného solárního kolektoru a udávají informaci a prostupu tepla mezi teplonosnou kapalinou a okolím, tedy o tepelných ztrátách kolektoru. Všechny parametry musejí být vztaženy ke konkrétní ploše. Pro výpočty v této práci jsou vždy vztaženy k ploše apertury kolektoru A_a [m²].

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

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \quad (8)$$

kde je

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

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

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

η_0 účinnost solárního kolektoru při nulových tepelných ztrátách (optická účinnost kolektoru) [-];

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

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

Optická účinnost η_0 a součinitele tepelné ztráty kolektoru a_1 a a_2 jsou vztaženy k ploše apertury solárního kolektoru A_a . Hodnoty η_0 , a_1 a a_2 by měl uvádět každý výrobce či dodavatel solárních kolektorů. Tyto údaje jsou součástí protokolu o zkoušce tepelného výkonu kolektoru podle ČSN EN 12975-2 nebo ČSN EN ISO 9806. Ty vydává zkušebna či certifikační orgán.

Hodnotu střední teploty kapaliny $t_{k,m}$ [°C] uvažujeme jako konstantu, i když se samozřejmě během denní doby a roku mění. Pro přípravu teplé vody je definována

$$t_{k,m} = 25 + 11000 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,TV,rok}} \quad (9)$$

kde je

$Q_{p,TV,rok}$ celková roční potřeba tepla pro přípravu TV v dané aplikaci pro krytí solární soustavou [kWh/rok];

A_k celková plocha solárních kolektorů [m²].

4.1.3

4.1.4 Bilance tepelných zisků

Využitelné tepelné zisky byly vypočteny dle zjednodušené metody uvedené v TNI 73 0302 [6]. Teoreticky využitelný zisk solární soustavy $Q_{k,u}$ [kWh/měs], se určí ze vztahu

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_T \cdot A_k \cdot (1 - p) \text{ [kWh/měs]} \quad (10)$$

kde je

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 [-].

Hodnota srážky p z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy se pro přípravu teplé vody definuje

$$p = \frac{0,26}{A_k} + 100 \frac{A_k}{Q_{p,TV,rok}} \text{ [-]} \quad (11)$$

kde je

$Q_{p,TV,rok}$ celková roční potřeba tepla na přípravu TV v dané aplikaci pro krytí solární soustavou [kWh/rok];

A_k celková plocha solárních kolektorů [m²].

Výstupem této výpočtové metody jsou tři veličiny. Je to využitý zisk solární soustavy $Q_{ss,u,mes}$ [kWh/měs], měrné roční využitelné zisky $q_{ss,u}$ [kWh/m² .rok] a solární podíl f [%]. Využitý zisk solární soustavy $Q_{ss,u,mes}$ [kWh/měs] je dán rovnicí

$$Q_{ss,u,mes} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,TV,mes}) \text{ [kWh/měs]} \quad (12)$$

kde

$Q_{k,u}$ teoreticky využitelný zisk solární soustavy [kWh/měs];

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

Celkové roční využití zisky solární soustavy se rovnají součtu využitých zisků pro všechny měsíce. Měrné roční využitelné zisky $q_{ss,u}$ se určí

$$q_{ss,u} = \frac{Q_{ss,u,rok}}{A_k} \text{ [kWh/m}^2 \text{ .rok]} \quad (13)$$

kde je

$Q_{ss,u,rok}$ celkové využití tepelné zisky soustavy [kWh/rok];

A_k celková plocha solárních kolektorů [m²].

Tato veličina je vztažena k instalované ploše kolektoru a slouží jako ukazatel pro posouzení úspory energie a energetické kvality soustavy [8]. Solární podíl f se určí z následujícího vztahu

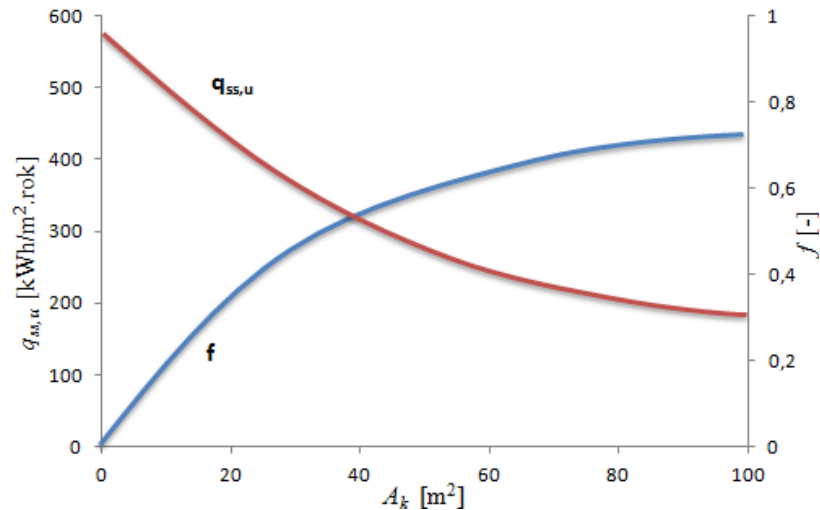
$$f = 100 \cdot \frac{Q_{ss,u,rok}}{Q_{p,TV,rok}} \text{ [%]} \quad (14)$$

kde je

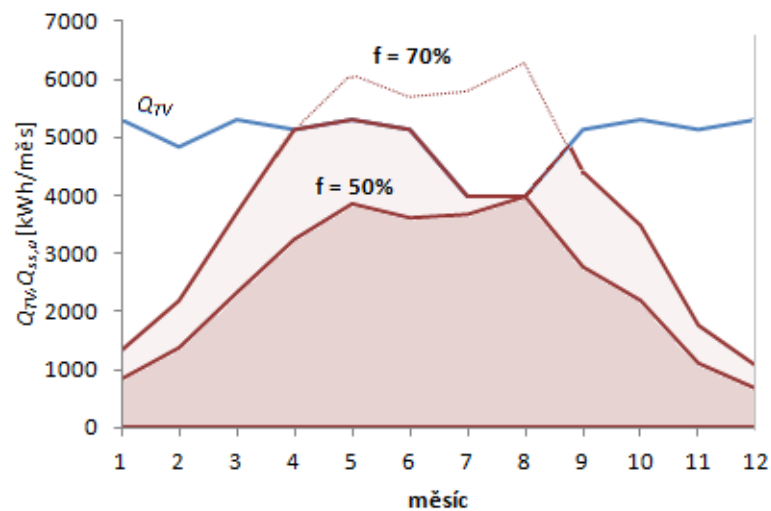
$Q_{p,TV,rok}$ Celková roční potřeba tepla na přípravu TV v dané aplikaci pro krytí solární soustavou [kWh/rok];

$Q_{ss,u,rok}$ Celkové využití tepelné zisky soustavy [kWh/rok].

Solární podíl f je ukazatel, z kolika procent je pokryta potřeba tepla objektu tepelnými zisky soustavy. Obecně je cílem fototermických systémů, aby solární podíl f a měrné roční využitelné zisky $q_{ss,u}$ nabývaly co možná nejvyšších hodnot. Zvětšením celkové plochy kolektorů A_k při konstantní denní potřebě teplé vody $V_{TV,den}$ dojde ke zvýšení solárního podílu f , ale vlivem vyšších energetických přebytků v letním období klesají měrné roční využitelné zisky $q_{ss,u}$ viz Obr 4.2. Přebytky v letním období při zvýšení solárního podílu jsou znázorněny v grafu na obrázku 4.3.



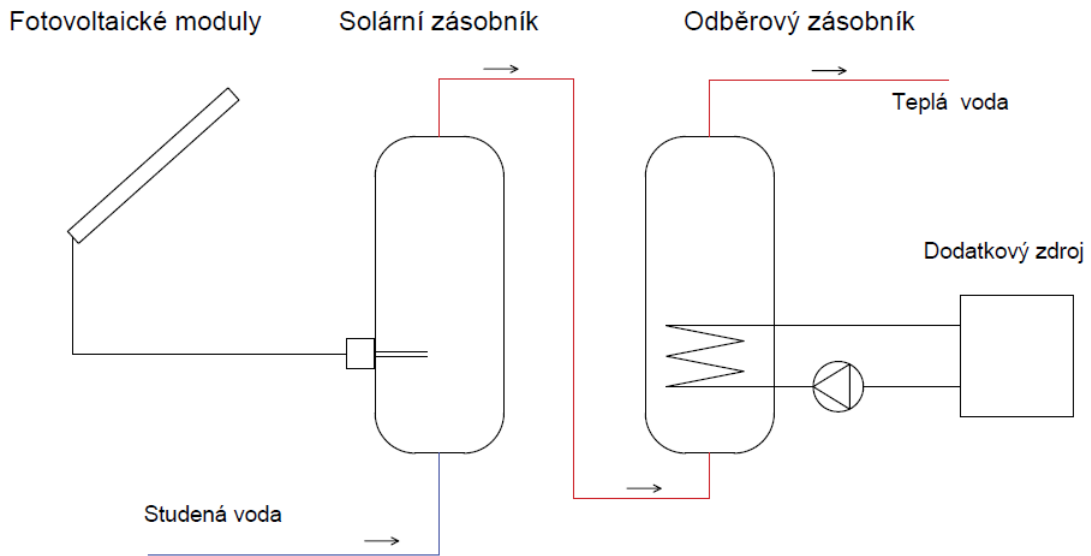
Obr. 4.2 Závislost měrných využitelných zisků a solárního podílu na celkové ploše kolektorů



Obr. 4.3 Využité tepelné zisky soustavy při různém solárním podílu

4.2 Fotovoltaické solární soustavy

Fotovoltaická soustava pro ohřev vody se liší pouze nabíjením solárního zásobníku. Solární zásobník je nabíjen topnou spirálou. Při použití elektrické energie pouze na ohřev vody je v zásobníku instalována topná spirála na stejnosměrný proud produkovaný fotovoltaickými moduly.



Obr. 4.4 Schéma solární fotovoltaické soustavy pro přípravu teplé vody

4.2.1 Fotovoltaické moduly

Prvním druhem fotovoltaických modulů jsou deskové moduly z krystalického křemíku, které se dělí na monokrystalické a polykrystalické. Dalším druhem jsou tenkovrstvé moduly, ty se dále dělí na amorfni křemíkové, CIS moduly a CdTe moduly.

Monokrystalické moduly

Monokrystalické moduly se vyrábějí tažením válcového monokrystalu. Válec se řeže na desky tloušťky 0.2 až 0.3 mm. Tyto samotné destičky jsou polovodiče typu N. Po vyčištění se za vysokých teplot dotují u jedné strany fosforem a tím vzniká P-N přechod. Dále se nanese antireflexní povlak.

Polykrystalické moduly

Tento typ se na rozdíl od monokrystalického vyrábí odlitím taveniny do formy a řízeným chladnutím. Tím vznikají homogenní krystaly. Tyto odlitky se dále řežou na desky tloušťky 0.24 až 0.3 mm. Další postup je stejný jako u předchozího typu. Výroba těchto modulů je finančně méně náročná a díky hranatému tvaru již z výroby není potřeba tvar výrazně měnit a tím jsou minimalizovány ztráty materiálu. Naopak přítomností velkých krystalů ve struktuře je výsledná účinnost článku nižší oproti předchozímu typu.

Moduly z amorfního křemíku

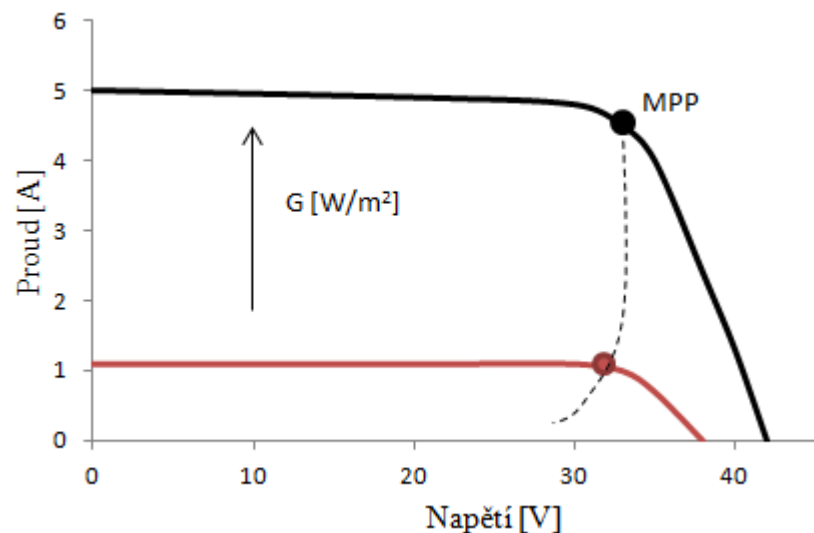
Výroba těchto modulů je odlišná od těch předešlých. Ve vakuových komorách se při teplotách 200 až 250 °C napařováním nanese vrstva křemíku na podklad [9]. Ten může být skleněný, plastový apod. Oproti modulům z krystalického křemíku mají amorfni výrazně nižší účinnost (cca 50 %), ovšem nároky na materiál a technologii výroby nejsou tak vysoké. Výhodou také je možnost výroby jakéhokoliv tvaru článku.

CIS moduly

Základem článku je sloučenina mědi, india a selenu, z toho i jejich název. Vyrábějí se také typy, ve kterých zastoupeno i galium (CIGS). Oproti amorfním článkům nepodléhá degradaci a je to nejúčinnější tenkovrstvá technologie. Dalšími variantami jsou moduly CdTe a CdS.

4.2.2 Sledovač výkonového maxima

Jmenovitý výkon modulu P_{MPP} [Wp] je měřen v bodě maximálního výkonu (MPP). MPP, 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) [10], který nastaví potřebné napětí na modulu.



4.2.3

Obr. 4.5 Voltampérové charakteristiky fotovoltaického modulu při různých hodnotách slunečního ozáření

4.2.4 Účinnost fotovoltaických modulů

Při bilancování fotovoltaické soustavy je třeba znát několik základních parametrů definujících fotovoltaický modul. Prvním parametrem 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.

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

Celkové měsíční účinnosti fotovoltaického modulu η_{FV} [-] byly stanoveny postupem, který je součástí zjednodušeného bilančního výpočtu ročních přínosů fotovoltaických instalací [11]. Účinnost 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. S rostoucí teplotou se účinnost modulu snižuje podle následujícího vztahu.

$$\eta_{FV,t} = \eta_{ref} \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{FV} - t_{ref}) \right) \quad [-] \quad (15)$$

kde je

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

t_{FV} teplota fotovoltaického článku [$^{\circ}\text{C}$];

t_{ref} referenční teplota článku $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

γ teplotní součinitel výkonu [%/K].

Z rovnice energetické bilance byla vyjádřena teplota fotovoltaického článku

$$t_{FV} = t_{e,s} + \frac{G_m}{800} \left(1 - \frac{\eta_{FV}}{100} \right) \cdot (NOCT - 20) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (16)$$

kde je

$t_{e,s}$ střední teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu [$^{\circ}\text{C}$];

G_m střední sluneční ozáření [W/m^2];

η_{FV} měsíční účinnost modulu [%];

α pohltivost fotovoltaického modulu $0,95$ [-];

$NOCT$ jmenovitá provozní teplota fotovoltaického článku [$^{\circ}\text{C}$].

Teplota t_{FV} je závislá na účinnosti modulu η_{FV} , která je zpětně závislá právě na této teplotě, to vede k iteraci. Pokud, ale účinnost modulu bude zaměněna za referenční účinnost η_{ref} , rozdíl ve výsledné teplotě bude řádově v desetinách kelvinu, touto záměnou bude eliminováno iterační řešení a zjednoduší to další fáze výpočtu.

Účinnost fotovoltaických modulů se také mění s měnícím se slunečním ozářením G [W/m^2]. Korigovaná účinnost $\eta_{FV,G}$ [-] je dána rovnicí

$$\eta_{FV,G} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + k \cdot \ln \frac{G}{G_{ref}} \right) [-] \quad (17)$$

kde je

- η_{ref} referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách [-];
- G sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti, zpravidla $200 \text{ W}/\text{m}^2$;
- G_{ref} referenční ozáření $1000 \text{ W}/\text{m}^2$;
- k součinitel pro daný modul [-].

Součinitel k [-] je možné vyjádřit ze vztahu

$$k = \frac{\eta_{FV} - \eta_{ref}}{\eta_{ref}} \cdot \frac{1}{\ln \frac{G}{G_{ref}}} = \frac{\Delta \eta_G}{\ln \frac{G}{G_{ref}}} [-] \quad (18)$$

kde relativní snížení účinnosti $\Delta \eta_G$ [%] je zpravidla uváděno výrobcem.

Dosazením obou korigovaných účinností a následnou úpravou do vztahu

$$\eta_{FV} = \frac{\eta_{FV,t} \cdot \eta_{FV,G}}{\eta_{ref}} [-] \quad (19)$$

získáme výslednou rovnici měsíční účinnosti modulu

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

4.2.5 Bilance produkce fotovoltaických modulů

Přeměna získané elektrické energie soustavou na energii tepelnou je uvažována bezztrátová a proto jsou elektrické zisky soustavy rovny tepelným. Měsíční produkce elektrické energie fotovoltaického systému $E_{FV,sys,mes}$ [kWh/měs] lze stanovit podle následujícího vztahu, který je součástí bilančního výpočtu [11]. Tento postup uvažuje s tím, že panely pracují vždy v oblasti bodu maximálního výkonu, tedy k systému je připojen sledovač bodu maximálního výkonu MPPT.

$$E_{FV,sys} = 0,9 \eta_{FV} H_T A_{FV} (1 - p) = 0,9 \frac{P_{pk}}{G_{ref}} H_T \frac{\eta_{FV}}{\eta_{ref}} (1 - p) \text{ [kWh/měs]} \quad (21)$$

kde je

H_T měsíční dávka slunečního ozáření [kWh/m² mes];

A_{FV} činná plocha FV modulů [m²];

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 [-].

Byly uvažovány ztráty na stejnosměrném vedení 2 % a na sledovači výkonového maxima 5 %, proto byla srážka p do výpočtů zvolena $p = 0,07$. Využitý zisk solární soustavy $Q_{ss,u,mes}$ [kWh/měs] je dán rovnicí

$$Q_{ss,u,mes} = \min(E_{FV,sys}; Q_{p,TV,mes}) \text{ [kWh/měs]} \quad (22)$$

kde

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

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

4.3 Finanční zhodnocení soustav

Výpočtem bylo určeno množství nákladů v čase (křivky nákladů) na ohřev vody po instalaci solárních systémů. Křivky nákladů pro jednotlivé systémy byli porovnávány s křivkou nákladů určenou pro stávající systém ohřevu teplé vody. Cílem je tedy rozhodnout jaká varianta solárního systému je nejvýhodnější. Pro co nejpřesnější výsledná data bylo bráno v úvahu několik faktorů ovlivňující náklady.

4.3.1 Cena energie

Jedním ze základních faktorů celkových nákladů je cena energie, která nejvíce ovlivňuje provozní náklady a má velký vliv na dobu návratnosti systémů. Výpočet byl prováděn s cenou energie $C = 600$ Kč/GJ. Meziročním nárůst ceny energie c_{rok} [%/rok] v horizontu až desítek let je velmi složité určit, pro výpočet byl zvolen $c_{rok} = 6$ %/rok.

4.3.2 Investiční náklady

Druhý ze základních faktorů celkových nákladů jsou investiční náklady, v tomto případě jsou to náklady na solární soustavu a její komponenty. V tab. 4.1 jsou uvedeny celkové investiční náklady na všechny systémy, pro které byl prováděn výpočet. Kompletní rozpočty jsou dostupné v příloze č. 4. Tyto rozpočty vycházejí z rozpočtů od společnosti Regulus s.r.o pro fototerminický systém a od společnosti Solarenavi a.s. pro systém fotovoltaický, viz příloha č. 5.

Tab. 4.1 Celkové investiční náklady solárních systémů pro ohřev vody

System	Počet kolektorů/modulů [-]	Cena
FT kolektory deskové KPC1+	36	1 204 850 Kč
FT kolektory deskové KPC1+	24	827 400 Kč
FT kolektory trubkové KTU 15	31	1 230 300 Kč
FT kolektory tr. s reflektorem KTU 9B2	31	1 387 100 Kč
FT kolektory tr. s reflektorem KTU 9B2	22	996 600 Kč
FV moduly Polysol 260 CS	52	426 700 Kč
FV moduly Monosol 265 CS	52	503 200 Kč
FV moduly Panasonic HIT-N245	63	621 200 Kč

4.3.3 Provozní náklady

Do výpočtu jsou zahrnuty provozní náklady v podobě potřebné elektrické energie na provoz čerpadla a regulace a to ve výši 1 % celkového využitelného zisku soustavy v případě termického systému [8].

4.3.4 Úrok uložených peněz

V úvahu byla vzata možnost uložení financí do banky namísto investování do solárního, uložené peníze v bance se poté budou úročit. Banky a jiné instituce nabízejí mnoho možností ukládání peněz jako například spořicí účet, termínovaný vklad atd. Hodnota tohoto zisku je velmi těžko odhadnutelná a časem proměnná. Je potřeba brát v úvahu spoustu faktorů jako poplatky, zdanění zisku a jiné. V tomto případě bylo počítáno s ročním úrokem 1 %.

4.3.5 Životnost komponent

Pro stanovení celkových nákladů v průběhu času je nutné vzít v úvahu životnost všech prvků soustavy a náklady spojené s jejich výměnou či údržbou. Po určitém čase je nutná výměna solárních kolektorů či FV panelů, nosných konstrukcí, potrubí, izolace, teplotněsensitive látky a oběhových čerpadel v případě fototerminických systémů a zásobníků teplé vody. Roční náklady na servis byly odhadnuty na 0,3 % celkových investičních nákladů na soustavu. Při výpočtu byly náklady na servis zahrnuty jako 1,5 % celkových investičních nákladů každých 5 let. Tyto náklady zahrnují především dopravu a práci pracovníků vykonávající údržbu. Životnost jednotlivých komponent je uvedena v tab. 4.2 [8]. Náklady na výměnu komponentů a údržbu pro jednotlivé systémy jsou uvedeny v příloze č. 3.

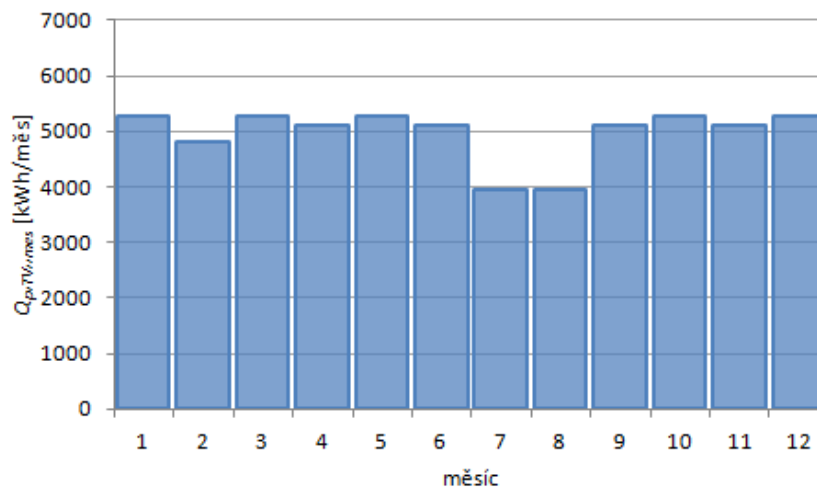
Tab.4.2 Životnost prvků solárních soustav

Prvek	životnost [roků]
Kolektory, moduly, nosné konstrukce, potrubí	30
Zásobník	15
Oběhová čerpadla, teplotněsensitive látka	10
Údržba	5

5. ANALÝZA

5.1 Výpočet potřeby tepla na přípravu teplé vody

Dle vzorce (7) byla stanovena celková měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV,mes}$ pro každý měsíc, viz obr. 5.1. Výrazný pokles potřeby tepla v letních měsících je způsobena úbytkem potřeby teplé vody (25%). Celková roční potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV,rok}$ byla stanovena součtem měsíčních potřeb tepla na hodnotu $Q_{p,TV,rok} = 59713$ kWh/rok.



Obr. 5.1 Celkové měsíční potřeby tepla na přípravu teplé vody

5.2 Výpočet maximálního možného počtu kolektorů (panelů) na střeše

Hodnota deklinace byla stanovena $\delta = 23,45^\circ$ dle vzorce (5). Pomocí vzorce (4) byla stanovena výška slunce $h = 16,55^\circ$ při vstupních hodnotách $\phi = 50^\circ$, $\tau = 0^\circ$. Pro různé typy solárních kolektorů a fotovoltaických panelů byla dle vzorce (3) vypočtena hodnota rozestupu mezi řadami S [m] při sklonu panelu $\beta = 45^\circ$. Na základě velikosti S , rozměrů kolektorů (panelů) a rozměrů střechy objektu byl určen maximální možný počet kolektorů (panelů) na střeše viz tab. 5.1.

Tab. 5.1 Maximální možný počet kolektorů/modulů na střeše

Kolektor/Modul	L_M [m]	B [m]	max. počet
Solární kolektor KPC1+	2,03	1,03	36
Solární kolektor KTU 15	1,97	1,35	31
Solární kolektor KTU 9B2	1,97	1,35	31
FV modul IBC MonoSol 265 CS	1,65	0,99	52
FV modul IBC PolySol 260 CS	1,65	0,99	52
FV modul HIT N245	1,58	0,8	63

5.3 Analýza energetických zisků solárních soustav

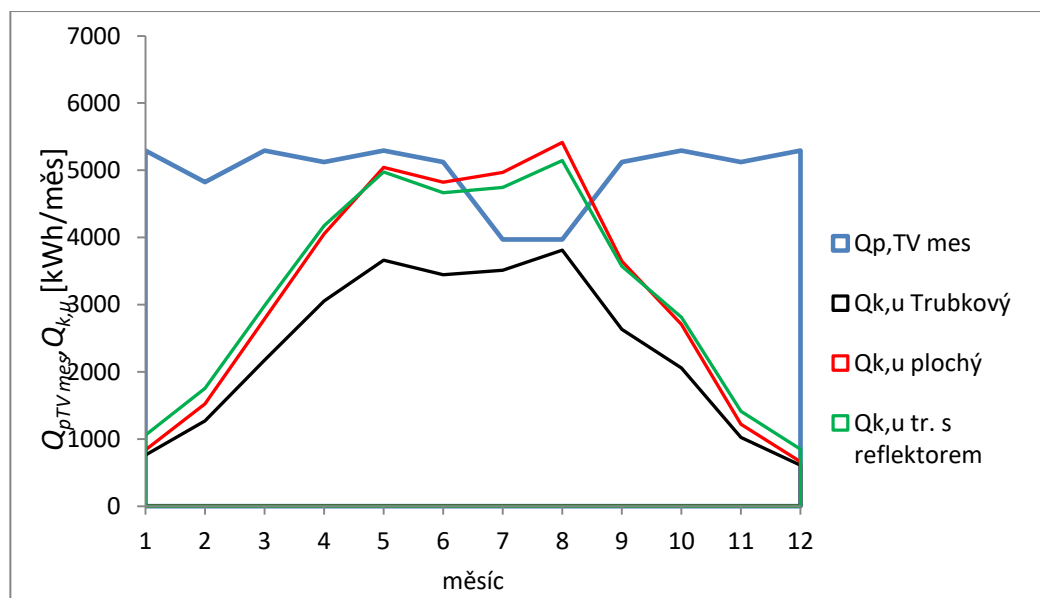
5.3.1 Fototermické systémy

Výpočet byl prováděn pro tyto tři druhy solárních kolektorů: Plochý atmosférický kolektor KPC1+, trubkový vakuový kolektor KTU 15 a trubkový vakuový kolektor s reflektorem KTU 9R2. Všechny typy jsou od firmy Regulus s.r.o. Vstupní parametry výpočtu jsou uvedeny v tab. 5.2.

Tab. 5.2 Výpočetní parametry solárních kolektorů

Kolektor	KPC1+ (plochý)	KTU 15 (trubkový)	KTU 9R2 (trubkový s reflektorem)
A_p [m ²]	1,92	1,49	2,15
η_o [-]	0,8	0,73	0,708
a_1 [W/m ² K]	3,85	2,237	1,57
a_2 [W/m ² K ²]	0,0149	0,0025	0,007

První výpočet byl proveden pro maximální možný počet kolektorů, který lze umístit na střechu objektu. Na obr. 5.2 lze vidět jednotlivé měsíční teoreticky využitelné zisky ze soustavy $Q_{k,u}$ [kWh/měs] pro všechny typy solárních kolektorů. V grafu jsou dále znázorněny celkové měsíční potřeby tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV,mes}$ [kWh/měs]. Z grafu je patrné, že v případě plochých kolektorů a vakuových kolektorů s reflektorem je v letním období přebytek získané energie, to se projeví na měrném ročním využitím zisku $q_{ss,u}$ [kWh/m² . rok]. Hodnoty $q_{ss,u}$ a solární podíl f [%] pro jednotlivé kolektory jsou zobrazeny v tab. 5.3.

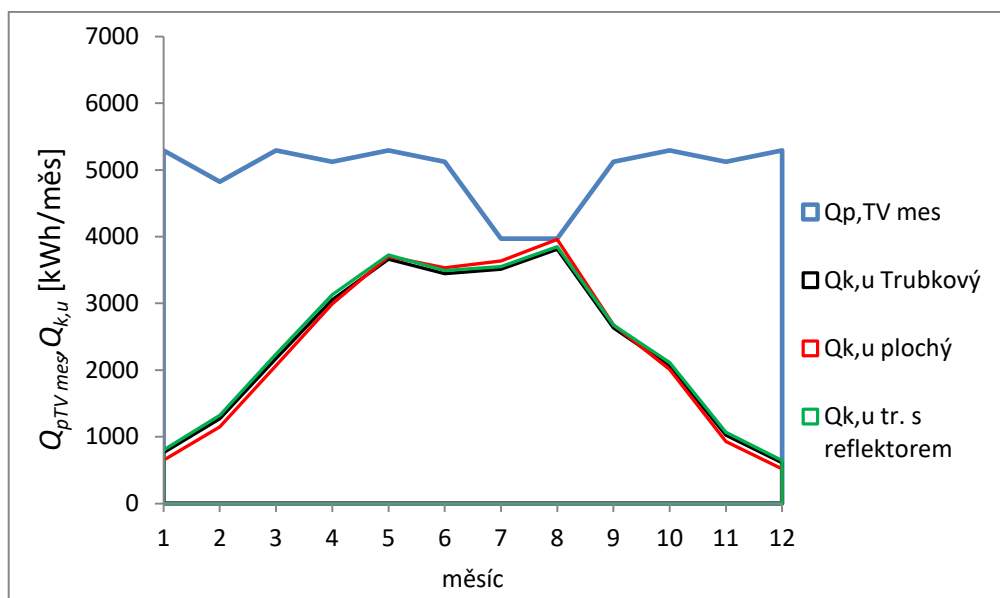


Obr. 5.2 Průběh solárních zisků a potřeby energie v roce pro dané soustavy**Tab. 5.3** Zisky a solární podíl soustav s maximálním možným počtem kolektorů

Kolektor	Plochý	Trubkový	Trubkový s reflektorem
Počet kolektorů	36	31	31
$A_{a,c}$ [m ²]	69,1	46,2	66,7
$Q_{ss,u,rok}$ [kWh/rok]	35235	28006	36190
$q_{ss,u}$ [kWh/m ² .rok]	510	606	543
f [%]	59,0	46,9	60,6

Jak je vidět v tab. 5.3, důsledkem malé celkové plochy apertury $A_{a,c}$ [m²] u trubkového kolektoru je také nejnižší solární podíl f oproti ostatním kolektorům. Naopak měrné roční využitelné zisky $q_{ss,u}$ jsou pro soustavu s trubkovými kolektory nejvyšší. Pro bytové domy není vhodné instalovat solární systémy s letními nevyužitelnými přebytky. Zefektivnění soustav se provede snížením počtu kolektorů tak, aby se eliminovaly letní přebytky, ale zůstal co možná nejvyšší solární podíl.

Další výpočet byl tedy proveden pro plochý a trubkový kolektor s reflektorem při sníženém počtu kolektorů oproti maximální možné hodnotě. Výsledky jsou uvedeny na obr. 5.3 a v tab. 5.4.

**Obr. 5.3** Průběh solárních zisků a potřeby energie v roce pro soustavy se sníženým počtem panelů

Tab. 5.4 Zisky a solární podíl soustav s redukováným počtem kolektorů

Kolektor	Plochý	Trubkový	Trubkový s reflektorem
Počet kolektorů	24	31	22
$A_{p,c}$ [m ²]	46,1	46,2	47,3
$Q_{ss,u,rok}$ [kWh/rok]	27815	28006	28603
$q_{ss,u}$ [kWh/m ² .rok]	604	606	605
f [%]	49,6	46,9	47,9

Z výsledků vyplývá, že při snížení počtu kolektorů za účelem eliminace přebytků v letních měsících všechny tři systémy vykazují prakticky stejné hodnoty jak měrných využitelných zisků, tak solárního podílu.

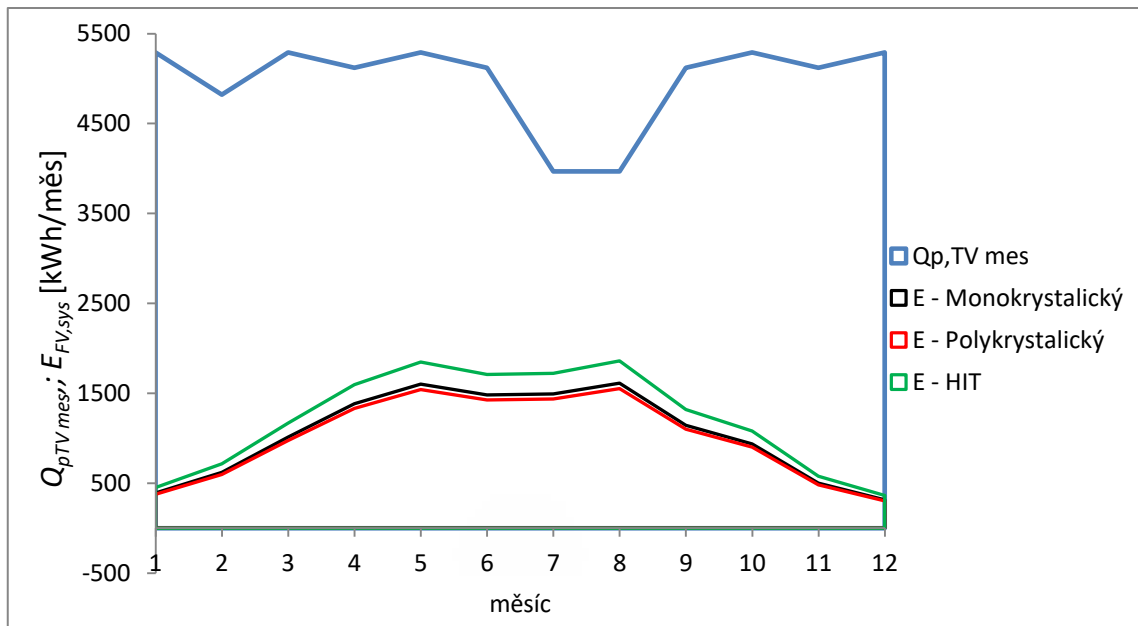
5.3.2 Fotovoltaické systémy

Výpočet byl proveden pro tyto fotovoltaické panely: Monokrystalický panel IBC MonoSol 265 CS, polykrystalický panel IBC PolySol 260 CS od firmy IBC Solar s.r.o. a modul Panasonic HIT-N245. Vstupní parametry pro výpočet jsou uvedeny v tab. 5.5.

Tab. 5.5 Vstupní parametry pro výpočet fotovoltaických systémů

Panel	IBC MonoSol 265 CS	IBC PolySol 260CS	Panasonic HIT-N245
A_{FV} [m ²]	1,53	1,53	1,22
η_{ref} [-]	0,162	0,159	0,194
NOCT [°C]	46	48	44
γ [%/K]	-0,493	-0,43	-0,29
$\Delta\eta_G$ [%]	2,18	4,29	0,9

Výpočet byl proveden pro systémy s maximálním možným počtem panelů, které se dají umístit na střechu objektu. Výsledky výpočtů jsou znázorněny na obr. 5.4 a v tab. 5.6.



Obr. 5.4 Průběh solárních zisků a potřeby energie v roce pro FV soustavy

Tab. 5.6 Zisky a solární podíl FV soustav

Panel	IBC MonoSol 265 CS	IBC PolySol 260CS	Panasonic HIT- N245
$Q_{ss,u,rok}$ [kWh/rok]	12509	12038	14428
$q_{ss,u}$ [kWh/m ² .rok]	157	151	188
f [%]	20,9	20,2	24

Z výsledků je patrné, že důsledkem omezené plochy střechy jsou všechny hodnoty výrazně nižší v porovnání s fototermickými systémy. Toto ovšem nic nenapovídá o ekonomické stránce systému, ale z pohledu energetických zisků je fototermické systémy předčí.

5.4 Výpočet návratnosti a úspory

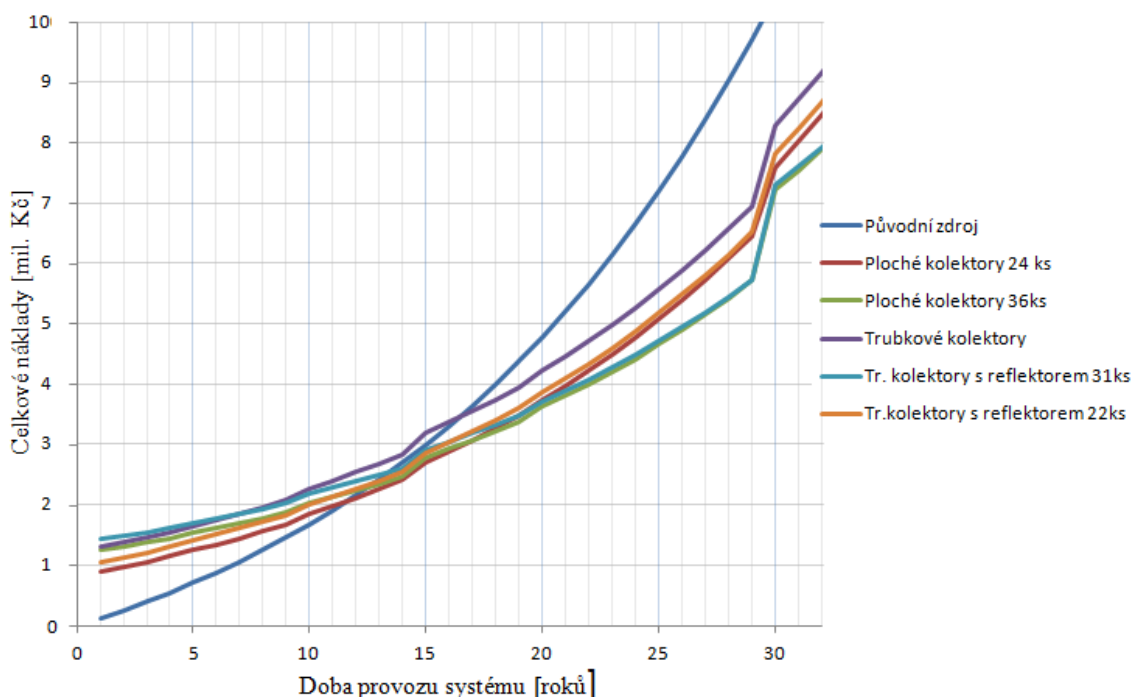
Hodnocení solárních soustav bylo prováděno porovnáváním dvou parametrů. Prvním parametrem je doba návratnosti τ_n [roků] investovaných financí do soustavy důsledkem úspory energie původního zdroje. Druhým parametrem je celková provozní úspora financí po 25 letech provozu soustavy U_{25} [Kč]. Důvodem hodnocení soustav po 25 letech je výměna většiny komponentů po 30 letech a tím zvýšené náklady a tedy nelinearita křivky nákladů s časem v tomto období. Hodnotit energetické a finanční zisky soustav po 30 a více letech je při neznalosti proměnných jako jsou cena a růst

ceny energie nevhodné, protože po takovém čase jsou výsledky výpočtů příliš nepřesné a spíše se blíží domněnkám. Také je třeba brát v úvahu, že po tomto období budou jednotlivé komponenty soustav v jiných cenových relacích nebo nebudou již dostupné. Předpokladem je také technologický vývoj a tedy zdokonalování technologií využívající solární energii.

Křivka celkových nákladů na pořízení a provoz soustav za 25 let byla zhotovena pro všechny varianty solárních systémů a porovnáním s křivkou nákladů při výrobě tepla pouze původním zdrojem byly stanoveny zmíněné parametry τ_n a U_{25} . Nejprve byly porovnány fototermické systémy, viz tab. 5.7.

Tab. 5.7 Ekonomické parametry fototermických systémů

Systém	Počet kolektorů	Investiční náklady [tis Kč]	τ_n [roků]	U_{25} [tis Kč]
Ploché kolektory KPC1+	36	1 205	12,5	2 530
Ploché kolektory KPC1+	25	827	11,5	2 160
Trubkové k. KTU 15	31	1 230	16,5	1 620
Tr. k. s reflektorem KTU 9B2	31	1 387	13,5	2 480
Tr. k. s reflektorem KTU 9B2	22	997	13	2 020



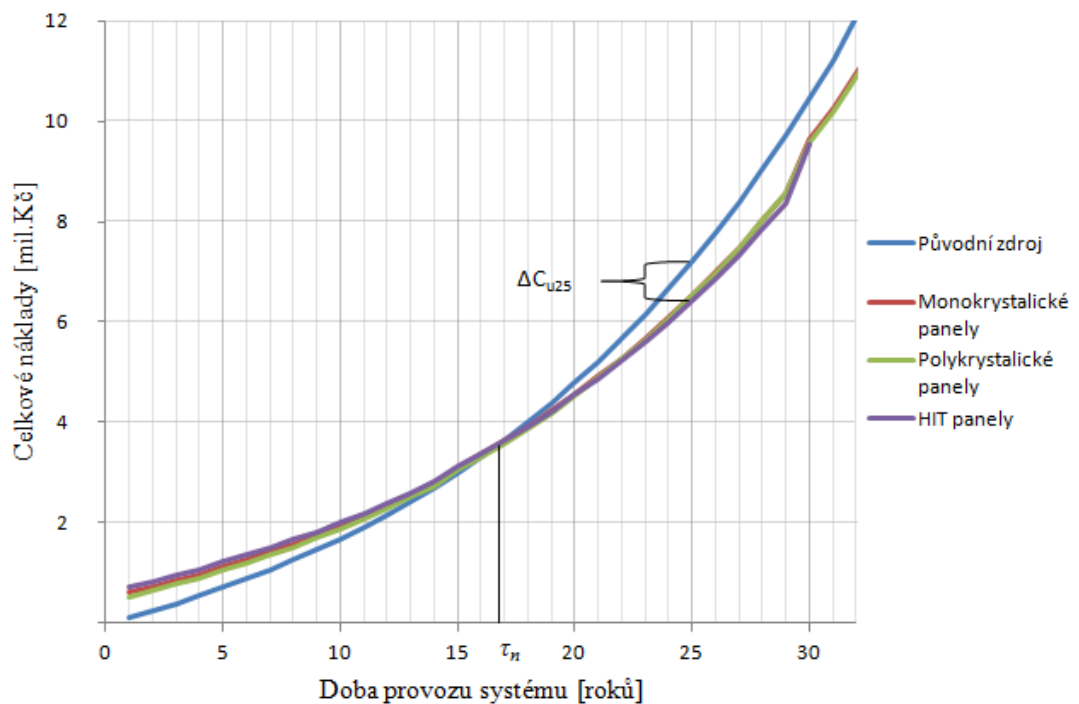
Obr. 5.5 Křivky nákladů fototermických systémů

Je patrné, že systém s trubkovými kolektory KTU 15 je ekonomicky nejméně výhodný, disponuje relativně vysokými investičními náklady a z pohledu návratnosti a úspory financí je nejhorší, proto s ním nebylo v dalších porovnáních uvažováno. Při porovnání systému se stejnými druhy kolektorů je patrný rozdíl v návratnosti ve prospěch systému s nižším počtem kolektorů, naopak systémy s maximálním možným počtem kolektorů vykazují vyšší celkovou úsporu. Sledované parametry vyšly přibližně stejně porovnáním soustav s kolektory KPC1+ a kolektory KTU 9B2 s reflektory. Ve všech ohledech jsou mírně výhodnější systémy s plochými kolektory.

Fotovoltaické systémy byly hodnoceny stejným způsobem, na rozdíl od fototermiky nebyly do výpočtu zahrnuty náklady na pomocnou energii (pohon oběhových čerpadel) a náklady na výměnu potrubí a teplotně nosné látky. Také zde byly stanoveny hodnotící parametry τ_n a U_{25} (viz tab. 5.8 a obr. 5.6).

Tab. 5.8 Ekonomické parametry fotovoltaických systémů

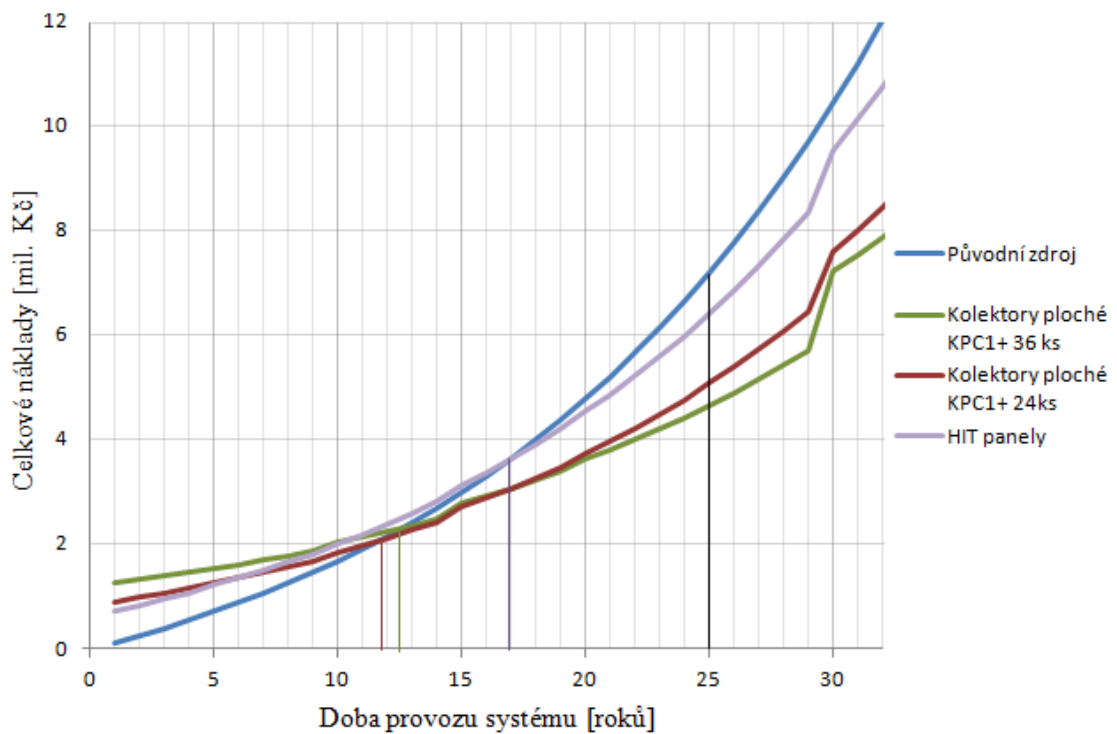
Systém	Počet panelů	Investiční náklady [tis Kč]	τ_n [roků]	U_{25} [tis Kč]
Polykrystalické panely	52	427	16	690
Monokrystalické panely	52	503	16,5	670
HIT panely	63	621	17	770



Obr. 5.6 Křivky nákladů fotovoltaických systémů

Jak je vidět v tabulkovém či grafickém zobrazení výsledků, všechny tři FV systémy vykazují obdobné doby návratnosti τ_n . Vymyká se pouze hodnota celkové úspory financí U_{25} pro systém s HIT moduly, a to cca o 13 % oproti ostatním systémům.

Na obr. 5.7 jsou porovnávány fototermické systémy s plochým kolektory v obou variantách počtu kolektorů a fotovoltaický systém s HIT panely. Je patrné, že z pohledu doby návratnosti i celkové úspory energie fototermické systémy výrazně předčí ty fotovoltaické.



Obr. 5.7 Křivky nákladů vybraných solárních systémů

6. ZÁVĚR

Cílem práce bylo porovnat fotovoltaický a fototermický systém pro ohřev vody pro bytový dům. Zdrojem tepla pro přípravu teplé vody je lokální plynová kotelna. Navržené solární systémy budou sloužit jako předeřev teplé vody a tím sníží náročnost objektu na primární paliva. Pro daný objekt byla stanovena denní potřeba TV objektu a byla stanovena celková potřeba tepla na přípravu TV. Byly stanoveny využitelné tepelné zisky solárních soustav. Výpočet byl proveden pro tři druhy solárních kolektorů a tři druhy fotovoltaických modulů. Nakonec bylo provedeno srovnání systémů z ekonomického hlediska a z hlediska úspory primární energie potažmo úspory nákladů na přípravu TV. Byly určeny investiční a provozní náklady. Z těchto parametrů byly zhotoveny závislosti celkových nákladů na době provozu soustav. Porovnáním těchto křivek jednotlivých soustav byla stanovena doba návratnosti a celková úspora financí důsledkem instalace solárních soustav.

Při snížení počtu kolektorů u fototermických systémů byla snížena doba návratnosti, ovšem z hlediska celkové úspory energie vykazovaly tyto systémy nižší hodnoty. To je důkazem toho, že v této aplikaci se z dlouhodobějšího hlediska vyplatí vyšší solární pokrytí systému na úkor mírných nevyužitelných přebytků v letních měsících. Výsledky porovnání fototermických a fotovoltaických systémů naznačují vhodnost instalace fototermických systému. I přes průměrně vyšší investiční náklady byly doby návratnosti znatelně nižší než u systému fotovoltaických. U celkových úspor byl rozdíl ještě markantnější. Celkové úspory, které byly sledovány po 25 letech provozu soustav byly u fototermických systému průměrně více než trojnásobně vyšší než u fotovoltaických. Důsledkem nízké účinnosti a tudíž nedostatečnou celkovou činnou plochou panelů není možné získat takové hodnoty solárního pokrytí jako je tomu v případě použití solárních kolektorů.

Seznam literatury

- [1] KALINA, J, Pražský projektový ústav, 1986. *Podrobná dokumentace OP 1.11 – II. Etapa, Barrandov I – 3. stavba, objekt 3.102 – vrchní stavba*. Praha.
- [2] STANĚK, Kamil. *Fotovoltaika pro budovy*. Praha, Grada Publishing: 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.
- [3] MATUŠKA, Tomáš. *AZE-P1-slunecni_energie* [online] [cit. 10. 6. 2017]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=68
- [4] ČSN EN 15 316-3-1 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy*. ČNI, 2008.
- [5] MMR, 2012. *Průměrná užitná plocha na byt a na osobu*. mmr.cz [online] [cit. 8. 6. 2017] Dostupné z: [http://www.mmr.cz/cs/Uzemni-a-bytova-politika/Bytova-politika/Statistiky-Analyzy/Statistiky-z-oblasti-bytove-politiky/Vybrane-udaje-o-bydlen/Archiv/Vybrane-udaje-o-bydleni-2004/8-Mezinarodni-srovnani/Prumerna-uzitna-plocha-na-byt-a-na-osobu-\(m2\)](http://www.mmr.cz/cs/Uzemni-a-bytova-politika/Bytova-politika/Statistiky-Analyzy/Statistiky-z-oblasti-bytove-politiky/Vybrane-udaje-o-bydlen/Archiv/Vybrane-udaje-o-bydleni-2004/8-Mezinarodni-srovnani/Prumerna-uzitna-plocha-na-byt-a-na-osobu-(m2))
- [6] TNI 73 0302 *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup*. UNMZ, 2009.
- [7] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha, Grada Publishing: 2013. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [8] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. Praha, Grada Publishing: 2010. ISBN 978-80-247-3503-0.
- [9] Terms, 2013. *Tenkovrstvé panely*. *Eshop.terms.eu* [online]. Terms [cit. 15.3.2017] Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68831/tenkovrstve-panely.html>
- [10] BECHNÍK, Bronislav, 2014. *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaike*. *oze.tzb-info.cz* [online] [cit. 23. 6. 2017] Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaike>
- [11] MATUŠKA, Tomáš, 2015. *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaiických instalací, Vytápění, větrání, instalace*. Praha: Společnost pro techniku prostředí. 2015. č. 5. 188-191. ISSN 1210-1389.

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Bilance zisků solárních soustav	(.xls)
Příloha č. 2 - Finanční hodnocení soustav	(.xls)
Příloha č. 3 - Náklady na výměnu prvků soustav	(.pdf)
Příloha č. 4 - Rozpočty soustav	(.pdf)
Příloha č. 5 - Výchozí rozpočty	(.pdf)
Příloha č. 6 - Technické listy solárních kolektorů a modulů	(.pdf)