

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

SOLÁRNÍ TEPELNÉ SOUSTAVY PRO OHŘEV VODY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Venzara** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **424781**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Strojirenství**
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Solární tepelné soustavy pro ohřev vody

Název bakalářské práce anglicky:

Solar Thermal Systems for Water Heating

Pokyny pro vypracování:

Proveďte analýzu trhu solárních tepelných soustav pro ohřev vody v zadaném rodinném domě. Na základě informací k jednotlivým cenovým nabídkám stanovte roční přínosy každé solární soustavy a vyhodnotte jejich ekonomickou návratnost.

Seznam doporučené literatury:

Matuška, T.: Solární zařízení v příkladech, GRADA Publishing, 2012
Matuška, T.: Sešit projektanta - Solární tepelné soustavy, STP, 2009.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


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

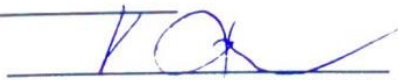
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.06.2017**

Platnost zadání bakalářské práce:


Podpis vedoucí(ho) práce

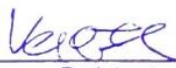

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


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

Cílem bakalářské práce je analyzovat trh solárních tepelných soustav pro ohřev vody v zadaném rodinném domě a stanovit jejich energetické a ekonomické zisky. Oslovil jsem řadu českých firem a dodavatelů a nechal si vypracovat cenové nabídky na solární soustavu pro přípravu teplé vody v rodinném domě. Pro každou nabídku na solární soustavu jsem pak stanovil roční energetické přínosy a vyhodnotil jejich ekonomickou návratnost.

Summary

The aim of the bachelor thesis is to analyze the market of solar thermal systems for water heating in a given family house and to determine their energy and economic gains. I approached a number of Czech companies and suppliers and got the price offer of a solar system for water heating in a family house. For each offer on the solar system, I then determined the annual energy benefits and evaluated their economic returns.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Solární tepelné soustavy pro 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 27. 6. 2017

Jakub Venzara

Obsah

Seznam značení	7
1. Úvod	9
2. Solární soustavy pro ohřev vody	10
2.1 Sluneční energie.....	10
2.2 Energetické parametry solárních soustav	13
2.2.1 Využité tepelné zisky solární soustavy	13
2.2.2 Měrné využité tepelné zisky solární soustavy	14
2.2.3 Dodatková energie	14
2.2.4 Solární pokrytí	14
2.2.5 Provozní účinnost solární soustavy.....	15
2.2.6 Spotřeba pomocné energie soustavy.....	15
2.3 Solární kolektory.....	16
2.3.1 Nekryté kolektory	17
2.3.2 Ploché atmosférické kolektory.....	17
2.3.3 Ploché vakuové kolektory.....	18
2.3.4 Trubkové vakuové kolektory	19
2.3.5 Koncentrační kolektory.....	21
2.4 Solární zásobníky teplé vody	22
2.4.1 Vodní solární zásobníky	23
2.5 Další prvky solárních soustav	25
2.5.1 Pojistný ventil	25
2.5.2 Expanzní nádoba.....	25
2.5.3 Potrubí.....	26
2.5.4 Tepelná izolace potrubí.....	27
2.5.5 Nosné konstrukce.....	27
3. Bilancování solárních soustav	29
3.1 Zjednodušené výpočty energetických přínosů.....	29
3.1.1 Potřeba tepla	30
3.1.2 Dopadá sluneční energie	30
3.1.3 Účinnost solárního kolektoru.....	31

3.1.4 Teoreticky využitelné zisky solárních soustav	31
3.1.5 Využitelné tepelné zisky solární soustavy	32
3.2 Ekonomické parametry	33
3.2.1 Investiční náklady	33
3.2.2 Provozní náklady	34
3.2.3 Cena energie a její předpokládaný růst.....	34
3.2.4 Časová hodnota investice.....	34
3.2.5 Návratnost vložených investic	35
4. Analýza	36
4.1 Popis objektu, odběr vody	36
4.2 Průzkum trhu.....	37
4.3 Vyhodnocení energetických přínosů solární soustavy.....	37
4.3.1 Měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody.....	38
4.3.2 Střední měsíční účinnost kolektoru.....	38
4.3.3 Měsíční teoreticky využitelný tepelný zisk	39
4.3.4 Měsíční využité tepelné zisky.....	39
4.3.5 Měsíční solární pokrytí	39
4.3.6 Celkové roční parametry.....	40
4.3.7 Uspořená energie	41
4.4 Vyhodnocení ekonomické návratnost.....	42
4.4.1 Tempo růstu cen energie.....	42
4.4.2 Reálná doba návratnosti.....	43
4.5 Výsledky analýz.....	45
5. Závěr	48
Literatura	50
Přílohy.....	51

Seznam značení

A_k	[m ²]	účinná plocha solárního kolektoru
$G_{T,m}$	[W/m ²]	střední hodnota slunečního ozáření
H_T	[kWh/m ² .měs]	dávka celkového slunečního ozáření
IN	[Kč]	investiční náklady
$P_{\check{c}}$	[kW]	příkon oběhových čerpadel
Q_d	[kWh/rok]	dodatková energie
$Q_{k,u,\check{c}erven}$	[kWh/měs]	červnový teoreticky využitelný tepelný zisk
$Q_{k,u,měs}$	[kWh/měs]	měsíční teoreticky využitelný tepelný zisk
Q_{pom}	[kWh/rok]	spotřeba pomocné energie
$Q_{p,c}$	[kWh/rok]	celková potřeba tepla
$Q_{p,c,\check{c}erven}$	[kWh/měs]	celková červnová potřeba tepla
$Q_{p,c,měs}$	[kWh/měs]	celková měsíční potřeba tepla
$Q_{p,TV,\check{c}erven}$	[kWh/měs]	červnová potřeba tepla na přípravu teplé vody
$Q_{p,TV,měs}$	[kWh/měs]	měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody
$Q_{ss,u}$	[kWh/rok]	celkové využití tepelné zisky
$Q_{ss,u,\check{c}erven}$	[kWh/měs]	červnové využití tepelné zisky
$Q_{ss,u,měs}$	[kWh/měs]	měsíční využitelné tepelné zisky
Q_{usp}	[kWh/rok]	uspořená energie
RU	[Kč/rok]	roční úspora nákladů
$V_{TV,den}$	[m ³ /den]	průměrná denní potřeba teplé vody
a_1	[W/m ² .K]	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
a_2	[W/m ² .K ²]	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru
c	[J/kg.K]	měrná tepelná kapacita vody
d	[-]	tempo růstu cen energie
f	[%]	celkové solární pokrytí potřeby tepla
$f_{\check{c}erven}$	[%]	červnové solární pokrytí potřeby tepla

m	[-]	počet let
n	[-]	počet dní v měsíci
p	[-]	hodnota srážky z tepelných zisků kolektorů
$q_{ss,u}$	[kWh/m ² .rok]	měrné využití tepelné zisky
r	[-]	diskontní míra
t	[rok]	doba
$t_{e,s}$	[°C]	střední venkovní teplota v době slunečního svitu
$t_{k,m}$	[°C]	střední teplota teplotnosné kapaliny
t_{SV}	[°C]	teplota studené vody
t_{TV}	[°C]	teplota teplé vody
y	[Kč/kWh]	cena kWh zemního plynu
z	[-]	přirážka na tepelné ztráty přípravy teplé vody
β	[°]	sklon střechy
γ	[°]	azimut
η_0	[-]	optická účinnost solárního kolektoru
η_{kotle}	[-]	účinnost stávajícího zdroje tepla
$\eta_{k,červen}$	[-]	střední červnová účinnost solárního kolektoru
$\eta_{k,měs}$	[-]	střední měsíční účinnost solárního kolektoru
η_{ss}	[-]	provozní účinnost solární soustavy
ρ	[kg/m ³]	hustota vody
τ_d	[rok]	reálná doba návratnosti
τ_p	[rok]	prostá doba návratnosti

1. Úvod

Solární zařízení je zdroj tepla využívající nevyčerpatelnou sluneční energii, která je dostupná na celé naší planetě, proto patří mezi obnovitelné zdroje energie s vysokým využitím. Solární tepelné soustavy představují zdroj tepla s téměř nulovým negativním dopadem na životní prostředí a jsou technologií, do které jsou investovány stále větší finanční prostředky pro dosažení vyššího pokrytí potřeby tepla.

Historie využívání sluneční energie v České republice sahá až do 70. let minulého století. Na přelomu tisíciletí došlo k výraznému nárůstu trhu se solárními zařízeními, jehož trend růstu stoupá až do současnosti o zhruba 30 % ročně. I přesto činí podíl solárního tepla na teple z obnovitelných zdrojů v České republice necelé 1 %.

Tato studie nabízí stručný přehled popisných a hodnotících informací o solárních tepelných soustavách. Analytická část práce vyhodnocuje a porovnává energetické a ekonomické přínosy solárních tepelných soustav pro ohřev vody v zadaném rodinném domě, pro který byly cenové nabídky od oslovených českých firem vypracovány.

2. Solární soustavy pro ohřev vody

Solární tepelné soustavy pro energetické zásobování budov s využitím sluneční energie mají poměrně velký aplikační potenciál. Z aktivních (nuceně poháněných) solárních soustav jsou v podmínkách ČR v naprosté většině využívány soustavy s kapalinovými solárními kolektory. Kapalinové soustavy jsou univerzálně využitelné, v ČR mají dlouhodobou tradici a nespočet úspěšných instalací [2].

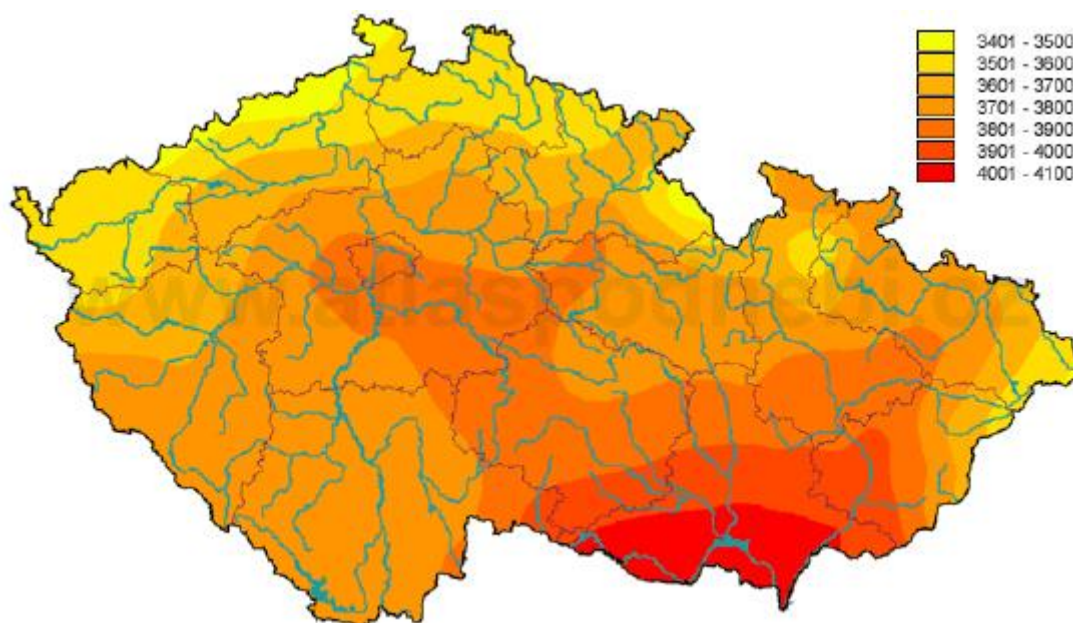
Solární kapalinové soustavy se mohou klasifikovat podle různých hledisek: aplikace; velikosti kolektorové plochy; měrného průtoku teplotnosné kapaliny kolektory; konstrukce. Tato studie se zaměří na solární soustavy pro ohřev vody. Dobrá využitelnost solárních soustav pro přípravu teplé vody (TV) je dána relativně rovnoměrnou potřebou tepla na TV v průběhu roku. Využívání sluneční energie pro přípravu teplé vody tvoří významnou část energetické potřeby budov, proto má tato aplikace vysoké uplatnění. U rodinných domů se používají malé solární soustavy pro ohřev vody, jejichž plocha nepřesahuje 20 m². Běžné potřebě TV (20 až 40 l/den.os) rodinného domu odpovídá návrhová plocha solárních kolektorů 4 až 6 m² a solární zásobník teplé vody o objemu 200 až 300 l. Maloplošné solární soustavy se vyznačují jednoduchým řešením, ale také výrazným podílem tepelných ztrát (20 až 30 %), které snižují využitelné tepelné zisky. V malých soustavách se využívá vysokých průtoků teplotnosné kapaliny (50 až 70 l/h.m² plochy kolektorů), při kterých dochází ke zvýšení teploty teplotnosné látky v kolektoru o 7 až 10 K. Většina solárních soustav pro ohřev vody pracuje jako uzavřená soustava.

2.1 Sluneční energie

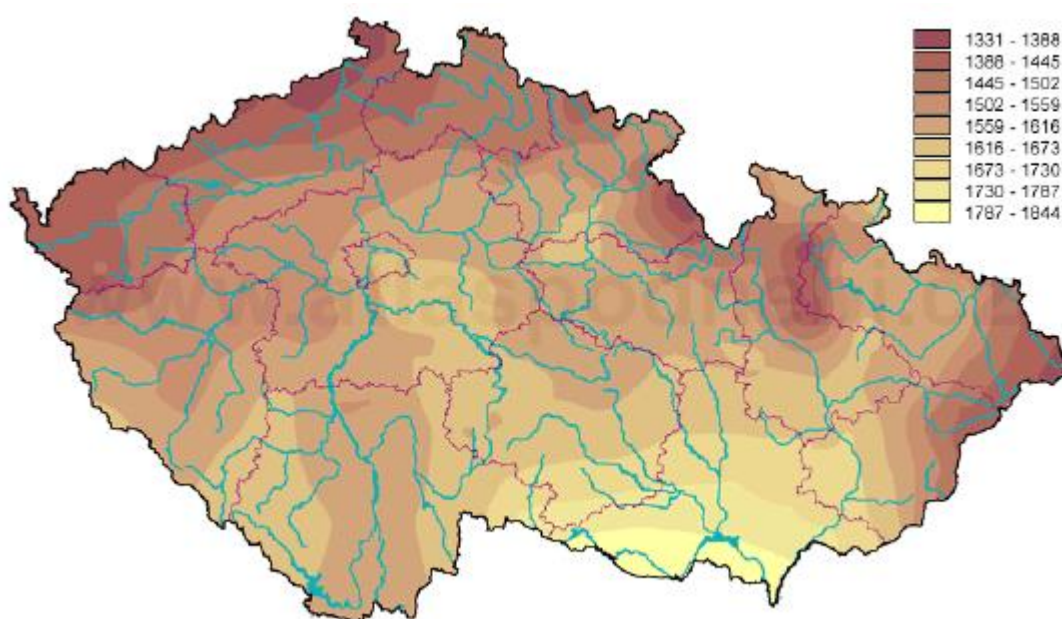
Slunce a jeho energie je zdrojem veškeré energie pro naši planetu. V nitru Slunce dochází k termonukleárním reakcím (jaderná fúze), při kterých se přeměňuje vodík na helium za velmi vysokých teplot (desítky milionů K) a tlaků (desítky milionů MPa). Celkový vyzařovaný výkon činí téměř 4×10^{26} W. Hustota zářivého toku energie na povrchu slunce je zhruba 60 MW/m². Slunce září jako absolutně černé těleso s povrchovou teplotou okolo 5800 K. Vlnové délky slunečního záření mohou být v rozsahu 10⁻¹⁰ m až několik metrů. Z předpokladů, že jaderná fúze bude pokračovat dalších 5 až 10 miliard let, můžeme Slunce považovat za nevyčerpatelný a trvalý zdroj energie.

Téměř všechna vyzařovaná sluneční energie se rozptýlí do mezihvězdného prostoru a pouze zlomek (miliardtina výkonu) dopadá na Zemi. Zhruba ve výšce 60 km nad zemským povrchem vstupuje sluneční záření do atmosféry. Dusík a kyslík obsažený v atmosféře pohlcují sluneční ultrafialové a rentgenové záření a ionizují se. Ve výšce 20 až 30 km se nachází ozonoféra, vrstva s vysokým obsahem ozonu, který pohlcuje zbývající nebezpečné ultrafialové záření. V nejnižších vrstvách atmosféry (troposféra) dochází k pohlcování slunečního záření vodní párou, oxidem uhličitým, prachem a kapkami vody v mracích. Na zemský povrch dopadá rozptýlené (difúzní) a nerozptýlené (přímé) sluneční záření. Výkonová hustota přímého slunečního záření je oproti difúznímu značně závislá na úhlu dopadu. Energie slunečního záření se popisuje dvěma základními veličinami, slunečním ozářením G ve W/m^2 určující výkonovou hustotu zářivého toku slunečního záření a dávkou slunečního ozáření H v kWh/m^2 popisující hustotu dopadající energie za časový úsek.

Dávka slunečního ozáření je závislá na sklonu a azimutu plochy. Roční dopadá sluneční energie na optimálně orientované plochy se v České republice pohybuje mezi 1000 až 1200 kWh/m^2 . Pomocným parametrem pro určení charakteristik slunečního záření je skutečná doba trvání slunečního svitu, která závisí na oblačnosti a používá se v praktických výpočtech ke korekci teoretických dávek slunečního ozáření. Průměrná doba trvání slunečního svitu pro Českou republiku se pohybuje mezi 1400 až 1900 h/rok. Na *obrázku 2.1* je znázorněno rozložení dopadající sluneční energie v ČR a na *obrázku 2.2* je znázorněna mapa průměrné doby trvání slunečního svitu pro ČR.



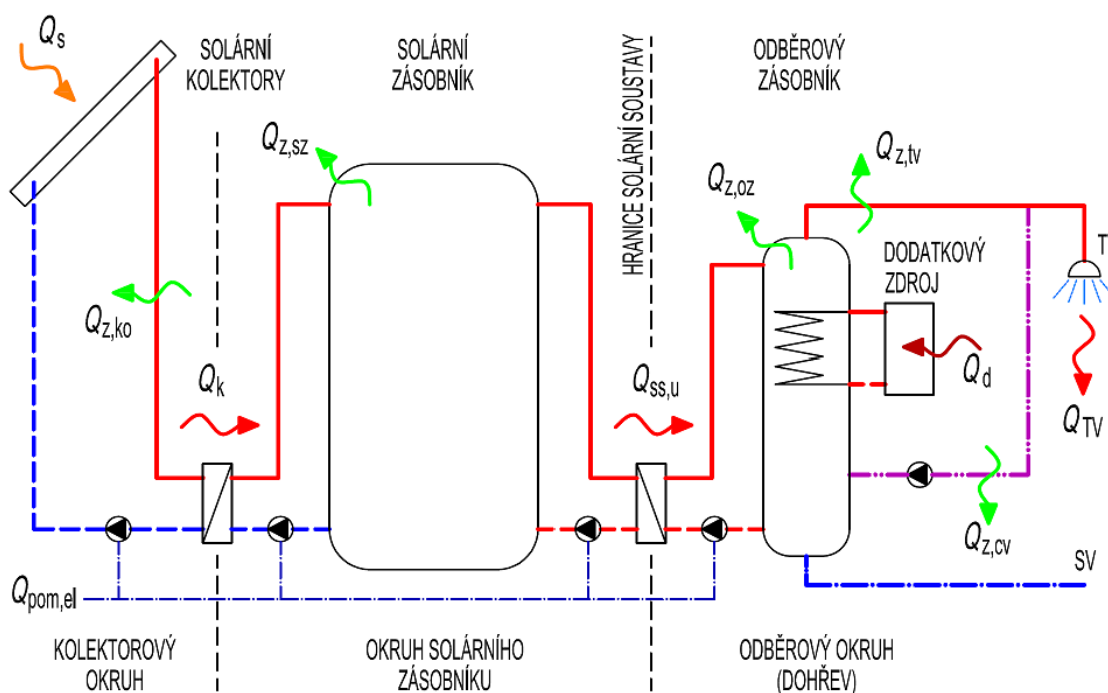
Obr. 2.1 Roční dávky slunečního záření na vodorovnou plochu v ČR v MJ/m².rok [5]



Obr. 2.2 Roční doba slunečního svitu v ČR v hodinách [5]

2.2 Energetické parametry solárních soustav

Energetické charakteristiky solárních soustav a efektivitu jejich provozu lze vyjádřit několika parametry. Jsou to skutečně využitelné tepelné zisky solární soustavy a vlastní spotřeba tepla v aplikaci, kterou má solární soustava pokrýt. Parametry slouží jako podklad k energetickému (úspora energie), ekologickému (úspora emisí) a ekonomickému (návrátost) vyhodnocení solárních tepelných soustav [1].



Obr. 2.3 Zjednodušené schéma solární soustavy pro přípravu TV a její energetická bilance [7]

2.2.1 Využití tepelné zisky solární soustavy

Využití zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ [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 (viz obr. 2.3.). 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. 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.

2.2.2 Měrné využití tepelné zisky solární soustavy

Měrné 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] (plocha apertury). Roční měrný zisk v podstatě ukazuje dosaženou úsporu z 1 m² instalované plochy kolektorů, která se může porovnávat s měrnými investičními náklady na pořízení solární soustavy.

2.2.3 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, neboť 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

$$Q_{p,c} = Q_d + Q_{ss,u} \text{ [kWh/rok]} \quad (2.1)$$

2.2.4 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

$$f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} = \frac{Q_{p,c} - Q_d}{Q_{p,c}} = 1 - \frac{Q_d}{Q_{p,c}} \text{ [-]} \quad (2.2)$$

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

$$f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{ss,u} + Q_d} \text{ [-]} \quad (2.3)$$

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.

V zásadě platí, že pro běžné aplikace bez významných spotřebičů letních přebytků energie ze solárních kolektorů, jsou solární pokrytí a měrné tepelné zisky solárních soustav v protikladu. Snaha o maximalizaci solárního pokrytí a tedy náhrady primárních paliv či úspory emisí (ekologický přístup) je v protikladu ke snahám o maximální úsporu z m² instalovaných kolektorů (ekonomický přístup) [1].

2.2.5 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

$$\eta_{ss} = \frac{Q_{ss,u}}{Q_s} = \frac{Q_{ss,u}}{H_T \cdot A_k} [-] \quad (2.4)$$

kde je H_T dávka celkového slunečního ozáření [kWh/m².měs];
 A_k účinná plocha solárního kolektoru [m²].

Účinnost solární soustavy nezohledňuje různé klimatické podmínky, je závislá na kvalitě prvků solární soustavy a dimenzování plochy kolektorů vůči potřebě tepla.

2.2.6 Spotřeba pomocné energie soustavy

Solárním soustavám s nuceným oběhem je nutné dodat elektrickou energii na pohon, případně regulaci. Potřeba pomocné elektrické energie se stanoví z elektrického příkonu solární soustavy a doby běhu elektrických zařízení. Výpočet se zjednodušuje stanovením příkonu oběhových čerpadel v pracovním návrhovém bodě a uvažováním doby jejich běhu 2000 h/rok. Spotřeba pomocné energie Q_{pom} se potom spočítá podle vztahu.

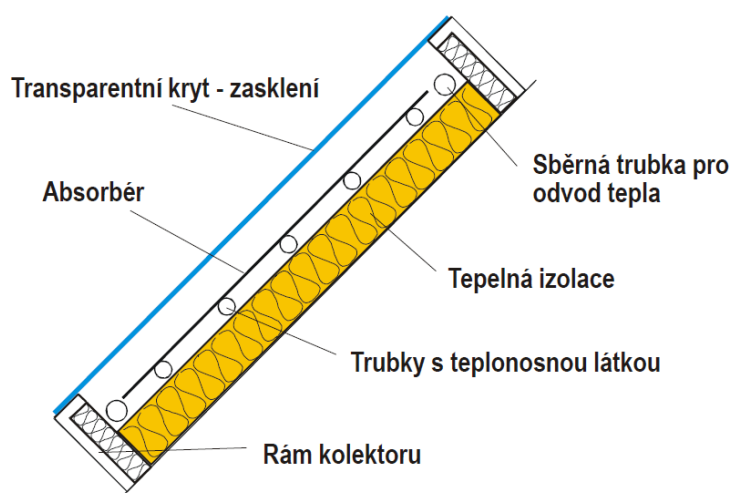
$$Q_{pom} = P_{\check{c}} \cdot (2000 \cdot 10^{-3}) [\text{kWh/rok}] \quad (2.5)$$

Kde je $P_{\check{c}}$ příkon oběhových čerpadel [kW].

2.3 Solární kolektory

Solární tepelný kolektor je zařízení, které pohlcuje sluneční záření a přeměňuje ho na tepelnou energii. Dochází tedy k fototermální přeměně, která spočívá v absorpci slunečního záření na povrchu kapalin nebo tuhých látek, kdy se energie dopadajících fotonů mění v teplo. Sluneční záření se pohlcuje na absorpční ploše (dále jen absorbér) kolektoru, která se tím ohřívá. Tepelná energie se pak z absorbérova odvádí teplotnosnou látkou, což může být voda, nemrznoucí směs vody a propylenglykolu nebo vzduch. V obytných budovách se nejčastěji využívají kapalinové kolektory, jejichž absorbér je tvořený trubkami protékajícími teplotnosnou kapalinou, která odvádí teplo z povrchu absorbérova. Vzduchové kolektory jsou využívány jen okrajově, například pro předehřev větracího vzduchu nebo oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění.

Solární kolektory se podle různých konstrukčních provedení rozdělují na určité druhy a poddruhy, které se vyznačují rozdílnými vlastnostmi. U většiny kolektorů se pro snížení tepelných ztrát z absorbérova využívá transparentní kryt (zasklení), který propouští sluneční záření a omezuje tepelné ztráty sáláním. Zasklení nepropouští dlouhovlnné záření a vytváří vzduchovou vrstvu, která zajišťuje tepelný odpor mezi absorbérova a okolním prostředím. Kolektor je po stranách a zezadu opatřen tepelnou izolací. Schéma solárního kolektoru v řezu viz *obr. 2.4*.



Obr. 2.4 Základní součásti solárního tepelného kolektoru (plochý) [6]

Na trhu se lze setkat s těmito druhy kapalinových kolektorů:

- Plochý nekrytý kolektor
- Plochý neselektivní kolektor
- Plochý selektivní kolektor
- Plochý vakuový kolektor
- Trubkový vakuový kolektor
- Soustředující (koncentrační) kolektor

2.3.1 Nekryté kolektory

Výhodou nekrytého kolektoru jsou jeho lepší optické vlastnosti. Není vybaven krytem a tak nenastávají ztráty odrazem slunečního záření od zasklení. Absence krytu je zároveň nevýhodou, protože dochází k vysokým tepelným ztrátám. Zatímco u krytých kolektorů vzduchová mezera mezi zasklením a absorberem snižuje tepelné ztráty absorberu, u nekrytých jsou výkon a účinnost kolektoru významně ovlivňovány venkovními podmínkami (nejvíce prouděním okolního vzduchu).

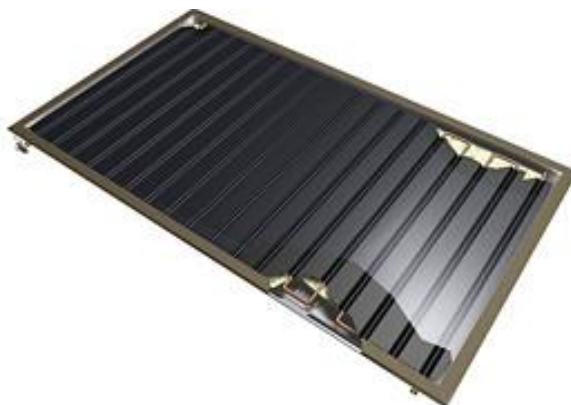
Absorbér u nekrytých kolektorů se většinou vyrábí z plastu (plastová rohož) odolného vůči UV záření (EPDM, polypropylen). Plasty obecně mají omezenou odolnost vůči extrémním podmínkám, proto se mohou vyskytovat i kovové nekryté absorbery z nerezů s trvanlivými vysoce pohltivými povlaky. Nekryté kolektory jsou tedy vhodné pro sezónní ohřev bazénové vody o nízké teplotní úrovni nebo přehřev studené vody.

2.3.2 Ploché atmosférické kolektory

Ploché solární kolektory mají nejčastěji plochý kryt i absorber. Absorbér je vyráběný z tepelně vodivých materiálů jako je měď, hliník, ojedinele ocel. Konstrukce absorberu může být tvořena jedním plechem (celoplošný absorber) nebo dělená do lamel. Ploché kolektory se vyrábí se spektrálně selektivním nebo neselektivním povlakem absorberu. Kolektory se selektivním povrchem na bázi keramicko-kovových vrstev nebo galvanických povlaků se u nás na trhu vyskytují nejčastěji. Na rozdíl od kolektorů s neselektivním povrchem (např. černým pohltivým nátěrem), které se objevují okrajově především pro sezónní aplikace. Absorpční plocha se navařuje (ultrazvukově, laserově), napájí nebo nalisovává na trubkový registr, kterým je teplotně odolnou kapalinou odváděno

využitelné teplo. Rám kolektoru bývá zpravidla výlisek nebo je složený z profilů a může být vyplněn tepelnou izolací. Atmosférické kolektory pracují se stejným tlakem vzduchu uvnitř kolektorové skříně jako je v okolním prostředí a jsou opatřeny větracími otvory pro odvod vlhkosti a zamezení rosení zasklení kolektoru. Ploché kolektory s dvojitým zasklením se objevují okrajově. Uplatnění mají v aplikacích pro vyšší teplotní úrovně. Jejich výhodou je nižší přestup tepla konvekcí a sáláním z absorberu do okolí.

Ploché solární kolektory se z architektonického hlediska mohou u novostaveb a řešených projektů využít jako část obálky budovy. Integrací plochého kolektoru do střešního pláště nebo fasády získáme vyšší účinnost kolektoru při kontaktní instalaci, možnost využití zimních pasivních zisků, snížení tepelné ztráty pláštěm budovy a snížení period extrémních stagnačních podmínek v letním období. Ploché selektivní kolektory jsou určeny pro celoroční solární ohřev vody a vytápění.



Obr. 2.5 Řez plochým atmosférickým solárním kolektorem [9]

2.3.3 Ploché vakuové kolektory

Ploché vakuové kolektory se vyznačují nízkým tlakem v prostoru skříně kolektoru (absolutní tlak 1 až 10 kPa), což zajišťuje celkově nižší tepelné ztráty. Dochází k omezení volného proudění vzduchu mezi absorberem a krytem nebo zadní stěnou kolektoru. Skříň kolektoru musí být velmi těsná, proto je tvořena lisováním jako bezešvá vana, kterou v přední části uzavírá tabule solárního skla napojená na vanu tepelně odolným těsněním. Aby se zamezilo prasknutí skla vlivem vnějšího atmosférického tlaku nebo poškození nárazem předmětů, je vyztuženo rastrově uspořádanými nerezovými podpurnými elementy, které nesmí být v tepelném kontaktu s absorberem, aby se vyloučily tepelné mosty.

Kromě zajištění těsnosti uvnitř kolektorové skříně je důležitá možnost opětovného vakuování kolektoru. Plochý vakuový kolektor je konstruován ze samotěsnících částí, které se pod tlakem utěšňují. V případě potřeby vakuování vnitřního prostoru je vana kolektoru vybavena ventilem pro připojení k vývěvě. Kolektor je vakuován vývěvou až po namontování na střechu. Ztráty vakua a nárůst tlaku v kolektoru indikuje manometr, který je součástí instalace. Zbytkový vzduch může být nahrazen vzácným plynem kryptonem (argonem) s nižší tepelnou vodivostí. Ploché vakuové kolektory jsou určeny pro celoroční solární ohřev vody a vytápění, případně pro průmyslové aplikace s provozními teplotami okolo 100 °C.



Obr. 2.6 Řez plochým vakuovým solárním kolektorem [9]

2.3.4 Trubkové vakuové kolektory

Trubkové vakuové solární kolektory se vyznačují válcovým zasklením, které se vyrábí z boritokřemičitého skla s nízkou tepelnou roztažností. Mezi absorbérem a zasklením je kolektor vakuován na extrémně nízký tlak (pod 10^{-3} Pa). Vlivem vysokého vakua nedochází k téměř žádnému přenosu tepla vedením a konvekcí, pouze sáláním. Kombinací vakuové izolace a nízkoemisivního povrchu absorbéru dochází k minimálním tepelným ztrátám i při velmi rozdílných teplotách mezi absorbérem a okolním prostředím. Mohou se tedy používat při vysokých provozních teplotách (nad 100 °C) v aplikacích využívajících průmyslové a technologické teplo nebo solární chlazení.

Trubkové vakuové kolektory se rozdělují podle konstrukčního provedení na dva základní typy:

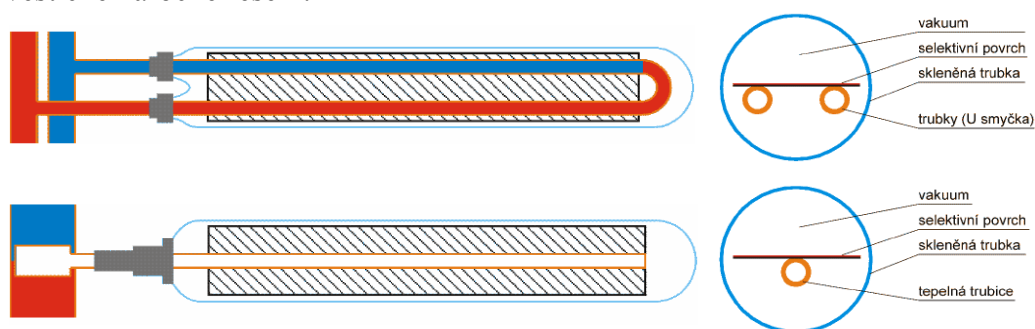
- Trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou a plochým absorbérem
- Trubkové kolektory s dvoustěnnou trubkou a válcovým absorbérem (Sydney)

Dále se podle konstrukčního uspořádání odvodu tepla dělí na další poddruhy:

- Přímě protékané (koncentrické potrubí, U-registr) = teplo z absorberu se předává přímo do teplotnosné kapaliny
- S tepelnou trubicí (suché/mokré napojení) = absorber je vodivě spojen s výparníkem, kde se vypařuje pracovní látka

Trubkové kolektory s jednostěnnou trubicí

Trubkový vakuový kolektor využívá jednostěnnou uzavřenou skleněnou trubku s plochou lamelou absorberu se selektivním povrchem. Teplo z absorberu může být odváděno přímo protékaným potrubím nebo tepelnou trubicí. Obě tyto konstrukce se na absorber ultrazvukově nebo laserově navařují, čímž zajišťují velmi dobrý přestup tepla z absorberu do teplotnosné látky. Důležité je dokonalé utěsnění prostupu potrubí skleněnou vakuovou trubicí. Nejvhodnějším těsnicím materiálem jsou slitiny niklu a železa, které mají velmi podobný součinitel tepelné roztažnosti jako boritokřemičité zasklení trubky. Na rozdíl od jiných druhů solárních kolektorů pracují tyto kolektory s vysokou účinností v celém provozním rozsahu, bohužel pro většinu aplikací jde o investičně náročné řešení.

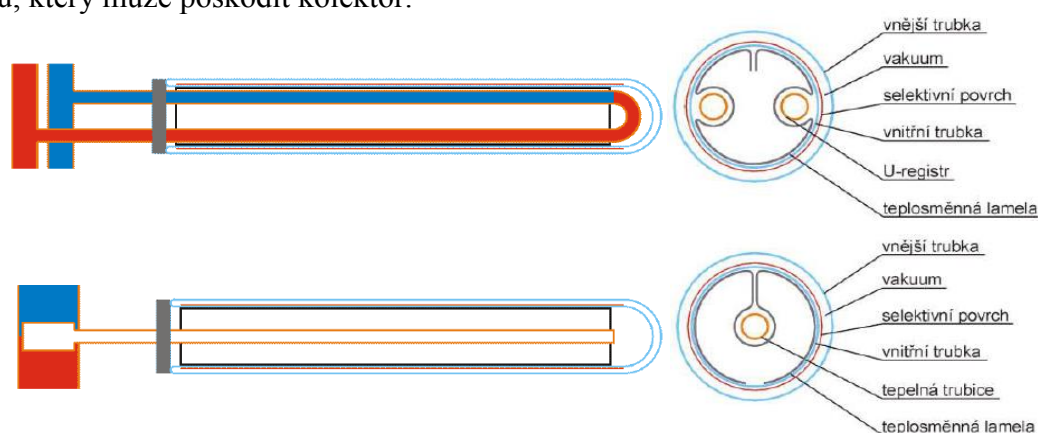


Obr. 2.7 Nahoře řez jednostěnnou vakuovou trubicí s přímo protékaným U-registrem
dole řez jednostěnnou vakuovou trubicí s tepelnou trubicí [6]

Trubkové kolektory s dvoustěnnou trubicí

Čínský typ válcové dvoustěnné koncentrické celoskleněné trubky, která se konstrukcí podobá Dewarově nádobě (termosce). Vnější trubka slouží jako kryt (zasklení) a vnitřní trubka jako absorber s válcovým povrchem. Prostor mezi skleněnými trubicími je vakuován a vnější povrch válcového absorberu je opatřen spektrálně selektivním povlakem na bázi nitridu hliníku. Stejně jako u jednostěnných trubkových kolektorů je u dvoustěnných teplo odváděno protékaným potrubím nebo tepelnou trubicí. Dochází však k problematickému přenosu tepla z vnitřního povrchu válcového absorberu na povrch potrubí, ve kterém protéká teplotnosná kapalina. Tento

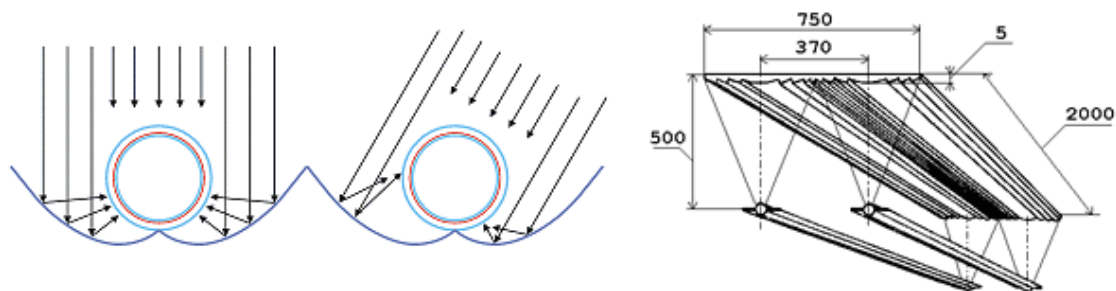
problém je řešen použitím teplosměnné lamely z hliníku nebo mědi, která musí být vodivě v kontaktu s vnitřním povrchem válcového absorberu i s potrubím s teplotonosnou kapalinou. Pokud toho není dostatečně docíleno, dochází ke špatnému přenosu tepla a klesá tak celková účinnost kolektoru. Na rozdíl od kolektorů s jednostěnnou trubkou s plochým absorberem se u dvoustěnných trubek s válcovým absorberem nemusí řešit problém s utěšňováním vakua a jsou tedy levnější. Dvoustěnné trubkové kolektory mohou využívat reflektory pro zvýšení množství dopadající energie na absorber, což snižuje počet potřebných trubek v kolektoru a zvětšuje aktivní plochy kolektoru, ale může to mít také negativní vliv na kolektor s ohledem na zachycování sněhu a tvorbu ledu, který může poškodit kolektor.



Obr. 2.8 Nahoře řez dvoustěnnou vakuovou trubkou s přímo protékaným U-registrem
dole řez dvoustěnnou vakuovou trubkou s tepelnou trubicí [6]

2.3.5 Koncentrační kolektory

Koncentrační (soustředující) kolektory využívají koncentrace přímého solárního záření odrazem od zrcadel (reflektorů) nebo lomem čočkami (refraktory) do ohniska, ve kterém je umístěn absorber s menší plochou než je plocha přijímací sluneční záření. Poměr velikostí přijímací a absorpční plochy určuje stupeň koncentrace. Koncentrační kolektory se rozlišují podle tvaru ohniska. Můžeme se setkat s kolektory s lineárním ohniskem (parabolický reflektor, kolektor s lineární Fresnelovou čočkou) nebo s bodovým ohniskem (paraboloidní reflektor, fasetové reflektory, heliostaty). Základní podmínkou pro účinné využívání koncentračních kolektorů je dostatek přímého slunečního záření během roku a natáčení přijímací plochy podle pohybu Slunce. Solárními kolektory s vysokými koncentračními poměry (10 až 40) je možné dosáhnout vysokých teplot při minimalizaci tepelných ztrát (průmyslové aplikace s teplotami 100 až 300 °C).



Obr. 2.9 Vlevo složený parabolický reflektor, vpravo kolektor s lineární Fresnelovou čočkou [9]

2.4 Solární zásobníky teplé vody

Solární zásobníky se považují za srdce solárních soustav. Hlavní funkcí solárního zásobníku je akumulace tepelné energie a uchování tepelných zisků solární soustavy z určitého časového úseku do jiného v době potřeby tepla. Použití nevhodně navrženého zásobníku bude vždy vykazovat celkově nižší solární zisky a nižší pokrytí potřeby tepla nehledě na to, jak kvalitní a drahý solární kolektor bude instalován.

Tepelnou energii je možné akumulovat různými způsoby a podle druhu akumulární látky a využití fyzikálních dějů lze rozdělit na tyto principy:

- akumulace s využitím citelného tepla – využívá tepelné kapacity pracovní akumulární látky; uvolňování tepla je provázeno ohřevem nebo ochlazením teploty pracovní látky; hustota akumulace 100 až 300 MJ/m³;
- akumulace s využitím skupenského tepla – využívá skupenské teplo tání-tunutí a tepelnou kapacitu látky; citelné teplo látky v pevném a kapalném stavu; uvolňování skupenského tepla za přibližně stálých teplotních podmínek; hustota akumulace 200 až 500 MJ/m³;
- akumulace s využitím sorpčního tepla – využívá akumulace vodní páry vázáním na povrchu tuhé látky (adsorpce) nebo v kapalně látce (absorpce); teplo ze zásobníku uvolňováno při sorpci; tepelná energie dodávána pro regeneraci zásobníku; hustota akumulace 500 až 1000 MJ/m³;
- akumulace s využitím chemických reakcí – využívá vratné chemické reakce vhodných látek; v jednom směru endotermická reakce spojená s jímáním a akumulací tepla, v opačném směru exotermická reakce spojená s uvolňováním tepla; hustota akumulace až 3000 MJ/m³.

Podle časových parametrů akumulace lze zásobníky rozdělit na tyto principy:

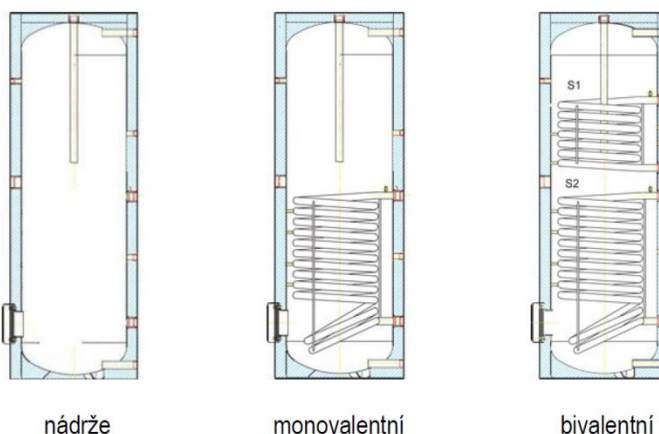
- Krátkodobé zásobníky – denní či vícedenní zásobníky, využívané pro akumulaci tepla ze dne do noci, případně ze dne na den;
- Dlouhodobé zásobníky – zásobníky tepla, které dlouhodobě (řádově měsíce) uchovávají solární zisky pro využití v jiném ročním období (např. z léta do zimy).

2.4.1 Vodní solární zásobníky

Nejpoužívanější zásobníky tepla pro solární kapalinové soustavy jsou vodní zásobníky. Hlavní výhodou používání vody je její dostupnost, cena, vynikající přenosové vlastnosti a vysoká tepelná kapacita. Nevýhodou je omezený rozsah teplotního využití (0 až 100 °C), korozivita a malé povrchové napětí podporující úniky netěsnostmi.

Podle počtu teplosměnných ploch (výměníků tepla) lze vodní zásobníky rozdělit na:

- Akumulační nádrže
- Monovalentní zásobníky
- Bivalentní zásobníky



Obr. 2.10 Rozdělení solárních zásobníků podle počtu teplosměnných ploch [8]

Akumulační nádrže se používají u velkoplošných solárních soustav, které pro přenos výkonu solárních kolektorů do zásobníku využívají externích výměníků tepla. Monovalentní zásobníky se nejčastěji používají při dodatečné instalaci solární soustavy pro předehřev vody. Zásobník je instalován před stávající ohřivač vody, který vodu dohřívá, ale nijak neovlivňuje teplotu v solárním zásobníku, což má pozitivní vliv na solární zisky. Nevýhodou instalace dvou zásobníků jsou větší nároky na prostor. Bivalentní zásobníky mají největší uplatnění v novostavbách nebo při rekonstrukci přípravy teplé vody nebo vytápění. Spodní výměník je určen pro přenos tepla ze solárního okruhu a horní zajišťuje dohřev vody dodatkovým zdrojem tepla.

Podle tlaku vody v zásobníku můžeme dále solární zásobníky rozlišit na:

- Tlakové zásobníky
- Beztlaké zásobníky

Velké tlakové zásobníky se nejčastěji instalují v novostavbách ve fázi hrubé stavby nebo se potřebný akumulační objem rozdělí na větší počet menších zásobníků. Tlakové zásobníky vyžadují expanzní nádobu, jejíž objem je nezbytné stanovit výpočtem, pro vyrovnání tlaku objemu vody zvětšeného vlivem teplotní roztažnosti. Beztlaké zásobníky se nejvíce používají při rekonstrukci, kdy je potřeba zásobník umístit ve špatně přístupných prostorech a je nutné jej sestavit na místě. Výhodou beztlakých zásobníků je menší tlakové namáhání způsobené otevřenou nádobou s volnou hladinou. Z toho vyplývají menší nároky na tloušťku stěn zásobníku nebo použití lehkých a levných materiálů (např. plastů, sklolaminátů, apod.). U beztlakých zásobníků odpadá expanzní nádoba, změna objemu vodní náplně se vlivem teploty v zásobníku projeví zvýšením volné hladiny. Vůči soustavě přípravy teplé vody nebo vytápění se musí beztlaký zásobník oddělit dalším výměníkem, což snižuje využitelnou teplotu.

Podle účelu použití lze solární zásobníky rozlišit na:

- Zásobníky teplé vody
- Zásobníky otopné vody
- Kombinované zásobníky

Zásobníky teplé vody slouží k akumulaci tepla přímo do připravované teplé vody a podléhají hygienickým požadavkům na pitnou vodu. Zásobníky otopné vody mají uplatnění především v kombinovaných soustavách pro přípravu teplé vody a vytápění. Z důvodu velmi odlišné teplotní úrovně se zásobníky otopné vody provozují odděleně nebo se s přípravou teplé vody kombinují. Kombinované zásobníky se používají ve snaze uspořít místo pro instalaci sdružením akumulačního objemu pro otopnou vodu s přípravou teplé vody buď v plovoucím zásobníku vloženém do zásobníku otopné vody, nebo průtokovým způsobem v trubkovém výměníku. Vlastní zásobník tepla není vystaven tlaku vodovodní sítě.

2.5 Další prvky solárních soustav

Solární systém a jeho kompletní návrh se kromě solárních kolektorů a zásobníků skládá z dalších funkčních součástí. Prvky solárních soustav se vzhledem k odlišnému chování zdroje tepla (výkonové a teplotní stability) obecně liší od klasických tepelných soustav. Většina prvků se navrhuje podle dané plochy solárních kolektorů a zohledňuje extrémní provozní stavy solární soustavy. Stejně jako u ostatních tepelných soustav, musí být solární soustavy vybaveny pojistnými a zabezpečovacími zařízeními. U uzavřených solárních soustav jde především o pojistný ventil a expanzní nádobu.

2.5.1 Pojistný ventil

Pojistný ventil je zařízení chránící primární okruh solární soustavy proti nedovolenému tlaku. Otevírací přetlak pojistného ventilu určuje maximální tlak v soustavě s ohledem na tlakovou odolnost nejslabšího prvku solární soustavy, tlakový stupeň expanzní nádoby a nepřímo i její velikost. Každý zdroj musí být vybaven neuzavíratelně připojeným pojistným zařízením a každý pojistný úsek (mezi kolektorem a pojistným ventilem) nesmí obsahovat žádné uzavírací prvky. Pojistný ventil by měl být odolný vůči extrémním teplotním podmínkám dosažitelným v soustavě a teplotně odolná látce. Průřez pojistného ventilu se dimenzuje podle průtoku páry. Návrh spočívá v přepočtení tepelného výkonu kolektorů na množství syté páry při požadovaném otevíracím tlaku pojistného ventilu. V pojistném potrubí by nemělo docházet k akumulaci nečistot nebo k zarůstání vodním kamenem. Odvodní potrubí by mělo být uspořádáno tak, aby unikající teplotně odolná látka nepředstavovala riziko pro uživatele nebo okolní zařízení. Odtok pojistného ventilu se zapouští do uzavřené nádoby s dostatečným objemem pro zachycenou teplotně odolnou kapalinu. Pojistný ventil podléhá pravidelným revizím.

2.5.2 Expanzní nádoba

Expanzní nádoba je zařízení, které umožňuje změny objemu teplotně odolné látky vlivem tepelné roztažnosti bez nedovoleného zvýšení tlaku. Expanzní nádoba může být uzavřená nebo otevřená. U otevřených solárních soustav se roztažnost teplotně odolné látky projevuje zvýšením hladiny v otevřeném zásobníku, který je umístěn v nejvyšším místě soustavy. Častější jsou uzavřené solární soustavy, kde je nutné použít tlakovou expanzní nádobu uprostřed rozdělenou pružnou membránou. Membrána odděluje

teplonosnou kapalinu solárního okruhu a stlačený plyn (dusík, vzduch). Plynová náplň je nastavena z výroby na počáteční tlak. Expanzní nádoba musí být dimenzována na zajištění minimálního objemu teplonosné látky v nádobě ve studeném stavu, na změnu objemu teplonosné látky v soustavě ze studeného stavu do ohřátí na maximální provozní teplotu a na vytlačení celého objemu teplonosné kapaliny z kolektorů při vytvoření páry. Nejvýhodnější umístění expanzní nádoby je na studené straně primárního okruhu kvůli nižšímu tepelnému namáhání. Správnou instalací by se mělo zamezit zavzdušňování expanzní nádoby. Každý rok by se měla provést kontrola plnicího tlaku expanzní nádoby.

2.5.3 Potrubí

Rozvody potrubí solárních soustav spojují zdroj tepla (kolektor) s místem akumulace a spotřeby (zásobník). Potrubí musí být odolné teplonosné látce i teplotám a tlakům v soustavě. Materiál potrubí musí odpovídat typu a použití solární soustavy.

Pro solární soustavy s celoročním využíváním sluneční energie pro přípravu teplé vody resp. vytápění se používají kovové potrubí (teploty 150 až 250 °C). Nejpoužívanějším materiálem jsou měděné trubky, které umožňují rychlou montáž. Pro velké solární soustavy se používají ocelové potrubí, protože měď je velmi drahá. U ocelových trubek se ale setkáváme s velmi pracnou a zdlouhavou montáží.

Při kladení rozvodů potrubí je nutné věnovat pozornost tepelné roztažnosti potrubí a zohlednit délkovou dilataci vhodným vedením a správným umístěním pevných bodů a kluzných uložení. Dilatační prvky by se měli umísťovat cca po 10 metrech, aby se zabránilo poškození potrubí vlivem vnitřního pnutí. Vratné potrubí od kolektorů s ohřátou teplonosnou látkou je vhodné vést co nejkratší cestou. Stejně tak potrubí vedené venkovním prostředím by mělo být co nejkratší, aby nedocházelo k tepelným ztrátám. Potrubí by mělo být navrženo tak, aby umožnilo snadné odvzdušnění a vypuštění celé soustavy. Kovové potrubí by mělo být napojeno na uzemnění domu.

Dimenzování potrubí u solárních soustav se odvíjí podle způsobu provozu daným hodnotou měrného průtoku kolektorovým polem. Soustavy s vysokým průtokem (50 až 70 l/h.m²) kolektorové plochy mají uplatnění u maloplošných soustav pro rodinné domy. Soustavy s nízkým měrným průtokem (10 až 15 l/h.m²) se většinou

využívají u větších soustav. Návrh světlosti potrubí se určuje metodou ekonomických rychlostí proudění (0,3 až 0,6 m/s). Objem přívodního a zpětného potrubí ke kolektorům by měl být stejný jako objem kolektorů.

2.5.4 Tepelná izolace potrubí

Hlavní funkcí tepelné izolace potrubí je minimalizování tepelné ztráty z potrubí do okolí, čímž dochází ke zlepšení celkové účinnosti solární soustavy. S ohledem na tepelné ztráty ovlivňující konečné zisky se optimalizuje vhodná tloušťka izolace. Při návrhu tloušťky tepelné izolace se lze řídit vyhláškou určenou pro tepelné soustavy, která stanovuje minimální požadovaný součinitel prostupu tepla pro různé rozsahy světlosti potrubí. Rozvod potrubí by se měl izolovat celý včetně fitinek, ventilů, atd. Úchyty potrubí by se měly umístit až na tepelnou izolaci potrubí, aby nedocházelo k tvorbě tepelných mostů.

U tepelných izolací se klade důraz především na jejich životnost, která je ovlivňována vysokými teplotami (nad 150 °C), degradací, atmosférickými vlivy, apod. Nejčastějším materiálem tepelné izolace potrubí jsou EPDM s uzavřenou strukturou, minerální vlna kaširovaná hliníkovou sítovou fólií, případně izolace opláštěná hliníkovým plechem, který chrání potrubí před vlhkostí a mechanickým poškozením.

2.5.5 Nosné konstrukce

Pomocí nosných konstrukcí, které patří k prvkům solární soustavy, se kolektory uchycují ke konstrukci budovy nebo na terén. Nejčastěji se kolektory umísťují na šikmé nebo ploché střechy.

Nosné konstrukce určené pro montáž kolektorů na šikmou střechu se skládají z háků uchycovaných na konstrukci střechy a uzpůsobených úchytok, které se liší podle druhu krytiny. Střešní konstrukce by měla mít dostatečnou nosnost, neboť kolektory uchycované nad krytinou zvýší zatížení střechy o více než 20 kg/m². Další možností uchycení kolektorové plochy je integrace do střešní krytiny. Kolektor nahrazuje střešní krytinu a vlastní zatížení střechy se může i snížit.

Nosné konstrukce kolektorů pro ploché střechy se dají rozdělit na dva typy. Jedním jsou stojany uchycované přímo do konstrukce budovy a druhým stojany volně položené a dostatečně zatížené na pochozí části střechy. Při uchycování stojanů do nosné konstrukce budovy musí být řádně zajištěna těsnost průchodu patek, aby se zamezilo tvorbě tepelných mostů a pronikání vody do budovy. Rozšířenějším způsobem je volné položení nosné konstrukce na ploché střeše, které nijak nezasahuje do konstrukce budovy. Pro zajištění stability musí být stojany dostatečně zatíženy např. betonovými tvárnicemi. Při instalaci kolektorů na plochou střechu se musí dbát rozestupů mezi kolektorovými řadami pro omezení vzájemného stínění během roku. Vzdálenost rozestupů ovlivňuje roční období a denní doba (výška Slunce nad obzorem). Pro celoročně provozované solární soustavy se doporučuje vzdálenost rozestupů stanovit pro podmínky panující v poledne v zimním období.

3. Bilancování solárních soustav

Jako podklad k energetickému, ekologickému a ekonomickému hodnocení nerealizovaných solárních tepelných soustav je nezbytné správně vyhodnotit energetické přínosy dané instalace výpočtem. Energetické přínosy solárních soustav nejsou závislé pouze na kvalitě navržených komponent (kolektor, zásobník), ale především na návrhu plochy solárních kolektorů vzhledem k potřebě tepla, resp. na požadovaném pokrytí potřeby tepla, na tepelných ztrátách soustavy (potrubí, solární zásobník) a samozřejmě na orientaci a sklonu solárních kolektorů [2].

Energetické přínosy solárních soustav se vyhodnocují výpočtem nebo měřením. Výsledky velmi záleží na správnosti postupu obou způsobů. Vždy však musíme předpokládat, že výpočty jsou ovlivňovány zjednodušováním, zanedbáváním nebo nepřesným stanovením vstupních parametrů.

3.1 Zjednodušené výpočty energetických přínosů

Pro potřeby bilančních výpočtů v rámci energetického hodnocení solárních soustav byla standardizována bilanční metoda v TNI 73 0302 [4]. Zjednodušená bilanční metoda je určena ke stanovení přibližných energetických zisků a je použitelná pro výpočet pomocí běžného tabulkového procesoru. Výpočet energetických zisků solárních soustav je založen na bilanci potřeby tepla v dané aplikaci (příprava TV, kombinované solární soustavy, ohřev bazénové vody), tepla dodaného solárními kolektory, tepelných ztrát solární soustavy a využitelnosti solárního tepla pro krytí potřeby tepla v dané aplikaci.

Použitá zjednodušení pro energetické bilance využitelných měsíčních zisků solárních tepelných soustav jsou:

- započtení tepelných ztrát dané aplikace paušální přírůžkou k potřebě tepla;
- uvažování konstantní střední teploty v kolektorech v celém roce;
- započtení tepelných ztrát solární soustavy paušální srážkou ze zisků;
- vliv optických charakteristik kolektoru (modifikátor úhlu dopadu);
- nezohlednění velikosti akumulčního zásobníku.

Vstupními parametry o solární soustavě pro zjednodušený výpočet jsou účinná plocha kolektoru A_k a konstanty křivky účinnosti η_0 , a_1 a a_2 vztažené k účinné ploše kolektoru. Výpočet využívá jednotné klimatické podmínky pro jednotlivé měsíce, které jsou tabelovány.

3.1.1 Potřeba tepla

Vlastní stanovení potřeby tepla v dané aplikaci je základním předpokladem pro bilancování využitelných zisků solární tepelné soustavy. Pro bilancování reálných tepelných zisků solární soustavy pro přípravu TV se využívají změřené nebo předpokládané údaje o celkové měsíční potřebě tepla. Zjednodušený výpočet celkové měsíční potřeby tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV,měs}$ se stanoví dle vztahu

$$Q_{p,TV,měs} = (1 + z) \frac{n \cdot V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6} \text{ [kWh/měs]} \quad (3.1)$$

- 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 na tepelné ztráty přípravy teplé vody [-].

Celková měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,c,měs}$ [kWh/měs] pro bilancování solární tepelné soustavy pro přípravu TV je potom $Q_{p,c,měs} = Q_{p,TV,měs}$.

3.1.2 Dopadlá sluneční energie

V přílohách TNI 73 0302 jsou pro zjednodušení výpočtů tabelovány hodnoty měsíční dávky celkového slunečního ozáření H_T [kWh/ m^2 .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/m^2] na různě orientovanou a skloněnou plochu.

3.1.3 Účinnost solárního kolektoru

Střední měsíční účinnost solárního kolektoru $\eta_{k,měs}$ se stanoví z rovnice křivky účinnosti

$$\eta_{k,měs} = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \quad [-] \quad (3.2)$$

kde je η_0 „optická“ účinnost kolektoru, při nulových ztrátách [-];
 a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W/m^2 \cdot K$];
 a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W/m^2 \cdot K^2$];
 $G_{T,m}$ střední denní sluneční ozáření plochy kolektorů [W/m^2];
 $t_{e,s}$ střední venkovní teplota v době slunečního svitu [$^{\circ}C$];
 $t_{k,m}$ střední teplota teplotonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne [$^{\circ}C$], pro přípravu teplé vody vychází ze vztahu

$$t_{k,m} = 25 + 11\,000 \frac{A_k}{Q_{p,c}} \quad [^{\circ}C] \quad (3.3)$$

kde je A_k účinná plocha solárních kolektorů [m^2];
 $Q_{p,c}$ celková roční potřeba tepla [kWh/rok].

3.1.4 Teoreticky využitelné zisky solárních soustav

Měsíční teoreticky využitelný tepelný zisk ze solární soustavy $Q_{k,u,měs}$ [$kWh/měs$] je dán vztahem

$$Q_{k,u,měs} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_T \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad [kWh/měs] \quad (3.4)$$

kde je η_k střední měsíční účinnost solárního kolektoru [-];
 H_T měsíční dávka slunečního ozáření [$kWh/m^2 \cdot měs$];
 A_k účinná plocha solárních kolektorů [m^2];
 p hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy [-], pro přípravu teplé vody vychází ze vztahu

$$p = \frac{0,26}{A_k} + 100 \frac{A_k}{Q_{p,c}} \quad [-] \quad (3.5)$$

kde je A_k účinná plocha solárních kolektorů [m^2];
 $Q_{p,c}$ celková roční potřeba tepla [kWh/rok].

Hodnoty klimatických údajů v jednotlivých měsících jsou k dispozici v příloze TNI 73 0302. Konstanty křivky účinnosti η_0 , a_1 a a_2 vztažené k účinné ploše kolektoru A_k by měly být poskytnuty výrobcem nebo dodavatelem solárního kolektoru.

3.1.5 Využitelné tepelné zisky solární soustavy

Využití zisky solární soustavy $Q_{ss,u,měs}$ [kWh/měs], pokrývající měsíční potřebu tepla v dané aplikaci, se vyjádří jako průnik celkové potřeby tepla $Q_{p,c,měs}$ a teoreticky využitelných zisků solární soustavy $Q_{k,u,měs}$ dle vztahu

$$Q_{ss,u,měs} = \min(Q_{p,c,měs}; Q_{k,u,měs}) \text{ [kWh/měs]} \quad (3.6)$$

Celkové roční využitelné tepelné zisky v kWh/rok se stanoví jako součet měsíčních hodnot. Z ročních využitelných zisků se určí měrné roční využití tepelné zisky $q_{ss,u}$ [kWh/m².rok] dle vztahu

$$q_{ss,u} = \frac{\sum_I^{XII} Q_{ss,u,měs}}{A_k} \text{ [kWh/m}^2\text{.rok]} \quad (3.7)$$

Z měsíčních a ročních hodnot využitých tepelných zisků $Q_{ss,u}$ a celkové potřeby tepla $Q_{p,c}$ se stanoví procentní pokrytí potřeby tepla v dané aplikaci tepelnými zisky solární soustavy v daném období. Solární pokrytí f je tedy dáno vztahem

$$f = 100 \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} \text{ [%]} \quad (3.8)$$

3.2 Ekonomické parametry

Ekonomické parametry solárních soustav jsou předmětem řady více či méně číslu podložených diskuzí, neboť výsledky ekonomických analýz vždy výrazně závisí na kvalitě vstupních údajů. Pro vlastní ekonomické zhodnocení solárních soustav je nutné určit řadu parametrů, které ekonomickou výhodnost instalace solární soustavy významně ovlivňují:

- *investiční náklady solární soustavy;*
- *provozní náklady;*
- *energetické zisky solární soustavy;*
- *úspora energie instalací solární soustavy;*
- *diskontní sazba (míra ceny investovaného kapitálu);*
- *místní cena energie a její předpokládaný růst [3].*

3.2.1 Investiční náklady

Investiční náklady obsahují všechny výdaje spojené s instalací solární soustavy (cena projektu, materiál, doprava a montáž). Do investičních nákladů se nezapočítávají náklady vynucené vlastní nezbytnou rekonstrukcí stavby (např. střechy). Náklady na instalaci solární soustavy jsou závislé na instalované ploše a druhu solárních kolektorů.

Obecně platí, že čím větší je solární soustava, tím nižší jsou měrné investiční náklady na solární soustavu vztažené na 1 m² instalované plochy solárního kolektoru a tím více celkové náklady závisí na ceně solárního kolektoru [3].

Cena solárních kolektorů výrazně ovlivňuje celkovou cenu investičních nákladů. Z porovnání měrné ceny solárního kolektoru vychází plochý atmosférický kolektor lépe než trubkový vakuový kolektor zhruba o polovinu. Na velikosti instalované plochy solárních kolektorů závisí velikost i cena všech prvků solární soustavy. Cena solárního zásobníku a jeho příslušenství se liší podle účelu použití a podle použitých materiálů. U solární soustavy pro přípravu TV se dává přednost levnějším smaltovaným zásobníkům teplé vody před trvanlivějšími a výrazně dražšími nerezovými zásobníky. Velikost kolektorové plochy taktéž významně ovlivňuje světlost instalovaného potrubí, která má velký vliv na cenu potrubních rozvodů i tepelnou izolaci potrubí. Nejčastějším materiálem solárního potrubí je měď, u té však s velikostí světlosti potrubí výrazně roste

cena, proto je u větších soustav nahrazována ocelí, jejíž obtížnější montáž je kompenzována nižší cenou potrubí. Tloušťka tepelné izolace solárního potrubí se běžně doporučuje rovná průměru potrubí, ale na základě analýzy ekonomické tloušťky tepelné izolace je možné stanovit i menší tloušťky.

3.2.2 Provozní náklady

Provozní náklady na chod solární soustavy jdou proti úsporám poskytovaným solární soustavou. Významnou roli mají náklady na pomocnou energii (elektrická energie pro pohon soustavy), dále servisní náklady na obsluhu a údržbu solární soustavy, opravy, pojištění, atd. Čím je solární soustava větší, tím jsou poměrné provozní náklady vztažené k dosaženému zisku menší.

3.2.3 Cena energie a její předpokládaný růst

Cena nahrazované energie zásadně ovlivňuje ekonomiku solární soustavy a je nezbytné vycházet z konkrétní místní situace, konkrétní ceny za teplo dodávané nahrazovaným zdrojem tepla pro daný účel [3].

Cena elektrické energie (2016, sazba pro kategorie domácností (D), nízký tarif) se pohybuje od 1,9 do 2,4 Kč/kWh včetně DPH. Do ceny elektrické energie pro výpočet návratnosti solární soustavy se nezapočítávají stálé poplatky za instalovaný jistič. Růst cen elektrické energie pro domácnosti za posledních 10 let je cca 30 % [10].

Cena energie zemního plynu (leden 2016, odběr 15 až 25 MWh/rok) se pohybuje okolo 1,3 Kč/kWh včetně DPH. Do ceny energie zemního plynu pro výpočet návratnosti solární soustavy se nezapočítává stálý měsíční plat. Růst ceny energie zemního plynu za posledních 10 let je cca 5 % [10].

3.2.4 Časová hodnota investice

Časová hodnota investovaných finančních prostředků slouží pro reálnější odhad ekonomických přínosů instalace solárních soustav. Zavádí se tzv. diskontní míra, která zohledňuje časovou hodnotu peněz a převádí budoucí hodnotu investice na současnou. Jako diskontní míru lze uvažovat například úrokovou míru uložených finančních prostředků v bance nebo úrok úvěru při nutné půjčce od banky.

3.2.5 Návratnost vložených investic

Návratnost vložených investic do solární soustavy na úsporu energie se hodnotí prostou dobou návratnosti a reálnou (diskontovanou) dobou návratnosti.

Prostá doba návratnosti τ_p slouží jen jako pomocné investiční kritérium, neboť nezohledňuje skutečnou časovou hodnotu peněz a peněžní toky za dobu návratnosti. Proto je její vypovídací schopnost omezená a zkresluje pohled na efektivnost investice. Stanoví se poměrem mezi investičními náklady na solární soustavu IN [Kč] a roční úsporou nákladů instalací solární soustavy RU [Kč/rok].

$$\tau_p = \frac{IN}{RU} \text{ [rok]} \quad (3.9)$$

Reálná doba návratnosti τ_d zohledňuje diskontní míru a tempo růstu ceny nahrazované energie. Lze tedy stanovit dobu návratnosti o lepší vypovídací hodnotě než má prostá návratnost. Reálná doba návratnosti τ_d je definována podle podmínky

$$\sum_{t=1}^{\tau_d} RU \frac{(1+d)^t}{(1+r)^t} = IN \quad (3.10)$$

kde je IN	investiční náklady na solární soustavu [Kč];
RU	roční úspora nákladů instalací solární soustavy [Kč/rok];
d	tempo růstu cen energie [-];
r	diskontní míra [-];
t	doba [rok].

Pokud se tempo růstu cen energie d rovná diskontní míře r , jedná se o prostou návratnost. Předpokládá-li se tempo růstu cen energie vyšší než diskontní míra ($d > r$), reálná doba návratnosti se pak oproti prosté zkracuje.

4. Analýza

V této části práce je provedena analýza trhu solárních tepelných soustav pro ohřev vody v zadaném rodinném domě a na základě informací k jednotlivým cenovým nabídkám byly stanoveny roční přínosy každé solární soustavy a vyhodnocena jejich ekonomická návratnost.

4.1 Popis objektu, odběr vody

Zadaný objekt, nacházející se v obci Lukavice nedaleko Chrudimi, je dvoupodlažní rodinný dům postavený v roce 2007, ve kterém žijí 4 osoby. Příprava teplé vody v domě je zajišťována centrálním zásobníkovým ohřevem a zdrojem teplé vody je plynový teplovodní kotel Dakon BEA 24 BK. Studená voda je odebírána z obecního vodovodu. Zdrojem energie je zemní plyn.

Velikost plochy poskytnuté k budoucí instalaci solárních kolektorů je zhruba 7 m^2 a nachází se na domovním přístřešku vzdáleném cca 15 m od technické místnosti, do které bude dle předpokladu umístěn zbytek solární soustavy (solární zásobník, expanzní nádoba, apod.). Přístřešek je ve sklonu 30° od vodorovné roviny a je orientován 40° na jihovýchod (viz obr. 4.1).



Obr. 4.1 Pohled na přístřešek a jeho orientace

4.2 Průzkum trhu

V České republice lze pro návrh a instalaci solárních tepelných soustav volit z velkého výběru větších či menších firem, které se zabývají problematikou solární energie a jejím využíváním. Adresovaných firem, kterým jsem zaslal dotazník na solární soustavu pro ohřev vody na zadaný rodinný dům, bylo více než 60. Odpovězeno mi bylo zhruba třetinou firem a z toho jsem vybral 16 cenových nabídek, pro které jsem spočítal roční přínosy a vyhodnotil jejich ekonomickou návratnost. Dotazník na solární systém pro přípravu teplé vody viz příloha č. 17.

Jako vzorové zhodnocení energetických zisků a ekonomické návratnosti jsem vybral jednu z poskytnutých nabídek firmy (A), kterou v následující části práce vyhodnotím. Stručně a přehledně vyhodnocení všech 16 cenových nabídek je uvedeno v přílohách č. 1 až 16.

Cenová nabídka firmy (A)

Tab. 4.1 Cenová nabídka firmy (A)

Cena solárního systému	75 468 Kč
<i>Kolektor SUNTIME 2.1, 2 ks</i>	22 980 Kč
<i>Zásobník teplé vody SUNTIME 200</i>	13 990 Kč
<i>Pojišťovací ventil DUCO</i>	488 Kč
<i>Solární expanzní nádoba 18 litrů</i>	1 840 Kč
<i>Solární potrubí 2 x DN 16 - 20 metrů, včetně izolace PES 20</i>	8 400 Kč
<i>Instalační a propojovací sada - 2 kolektory Suntime 2.1</i>	3 860 Kč
Montáž a doprava	10 190 Kč
Cena celkem (bez DPH)	85 658 Kč
DPH 15 %	12 849 Kč
Cena celkem (s DPH)	98 507 Kč

4.3 Vyhodnocení energetických přínosů solární soustavy

Výpočty zahrnující měsíční hodnoty jsem demonstroval na měsíci červen. Výsledky z ostatních měsíců v roce jsou uvedeny v *tabulce 4.2*.

4.3.1 Měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody

Výpočet červnové potřeby tepla na přípravu teplé vody vychází ze vztahu (3.1).

Počet dní v měsíci: $n = 30$ dní;

průměrná denní spotřeba teplé vody: $V_{TV,den} = 0,16 \text{ m}^3/\text{den}$

($V_{TV,den} = \text{počet osob} \times \text{potřeba teplé vody na osobu za den} [\text{m}^3/(\text{os} \cdot \text{den})] = 4 \times 0,04$);

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

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

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

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

přirážka na tepelné ztráty přípravy teplé vody: $z = 0,15$.

$$Q_{p,TV,\text{červen}} = (1 + 0,15) \frac{30 \cdot 0,16 \cdot 998 \cdot 4187 \cdot (60 - 15)}{3,6 \cdot 10^6} = 288 \text{ kWh/měs} \quad (4.1)$$

$$Q_{p,TV,\text{červen}} = Q_{p,c,\text{červen}}$$

4.3.2 Střední měsíční účinnost kolektoru

Výpočet střední měsíční účinnosti solárního kolektoru vychází ze vztahu (3.2).

Parametry rovnice křivky účinnosti nabízeného solárního kolektoru:

$$\eta_0 = 0,803; a_1 = 3,824 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}; a_2 = 0,006 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^2.$$

Střední denní sluneční ozáření (pro červen, $\beta = 30^\circ$, $\gamma = -40^\circ$): $G_{T,m} = 525 \text{ W/m}^2$.

Střední venkovní teplota v době slunečního svitu (červen): $t_{e,s} = 18,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Střední teplota teplotonosné kapaliny v solárním kolektoru v průběhu dne $t_{k,m}$ se pro přípravu teplé vody stanoví dle vztahu

$$t_{k,m} = 25 + 11\,000 \frac{A_k}{Q_{p,c}} = 25 + 11\,000 \frac{3,684}{3508} = 36,6 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.2)$$

a střední účinnost kolektoru v měsíci červen podle vztahu

$$\eta_{k,\text{červen}} = 0,803 - 3,824 \cdot \frac{36,6 - 18,6}{525} - 0,006 \cdot \frac{(36,6 - 18,6)^2}{525} = 0,67 \quad (4.3)$$

4.3.3 Měsíční teoreticky využitelný tepelný zisk

Výpočet měsíčního teoreticky využitelného tepelného zisku ze solární soustavy vychází ze vztahu (3.3) na základě veličin:

střední denní účinnost solárního kolektoru (pro červen): $\eta_{k,červen} = 0,67$;

dávka slunečního ozáření (pro červen, $\beta = 30^\circ$, $\gamma = -40^\circ$): $H_T = 146,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{měs}$;

plocha apertury nabízených solárních kolektorů ($2 \times 1,842 \text{ m}^2$): $A_k = 3,684 \text{ m}^2$.

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

$$p = \frac{0,26}{A_k} + 100 \frac{A_k}{Q_{p,c}} = \frac{0,26}{3,684} + 100 \frac{3,684}{3508} = 0,176 \quad (4.4)$$

a teoreticky využitelný tepelný zisky pro měsíc červen podle vztahu

$$Q_{k,u,červen} = 0,9 \cdot 0,67 \cdot 146,4 \cdot 3,684 \cdot (1 - 0,176) = 268 \text{ kWh/měs} \quad (4.5)$$

4.3.4 Měsíční využití tepelné zisky

Výpočet využitých zisků solární soustavy, pokrývající měsíční potřebu tepla pro ohřev vody, vychází ze vztahu (3.4).

Celková potřeba tepla (pro červen): $Q_{p,c,červen} = 288 \text{ kWh/měs}$;

teoreticky využitelné tepelné zisky (pro červen): $Q_{k,u,červen} = 268 \text{ kWh/měs}$.

$$Q_{ss,u,červen} = \min(288; 268) = 268 \text{ kWh/měs} \quad (4.6)$$

4.3.5 Měsíční solární pokrytí

Solární pokrytí potřeby tepla pro ohřev vody tepelnými zisky solární soustavy pro červen se stanoví na základě veličin:

využití tepelné zisky: $Q_{ss,u,červen} = 268 \text{ kWh/měs}$;

celková potřeba tepla: $Q_{p,c,červen} = 288 \text{ kWh/měs}$.

$$f_{červen} = 100 \frac{268}{288} = 93 \% \quad (4.7)$$

Tab. 4.2 Výsledky měsíčních hodnot energetických přínosů solární soustavy

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
n [den]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]	298	269	298	288	298	288	298	298	288	298	288	298
H_T [kWh/m ² .měs]	29,0	48,1	85,3	124,3	151,8	146,4	144,1	146,3	97,9	72,9	36,3	22,8
$G_{T,m}$ [W/m ²]	308	384	463	498	519	525	517	499	464	399	323	280
$t_{e,s}$ [°C]	1,8	2,7	6,3	10,7	16,0	18,6	20,5	21,1	17,1	11,7	6,4	3,6
η_k [-]	0,35	0,45	0,54	0,60	0,65	0,67	0,68	0,68	0,64	0,56	0,43	0,33
$Q_{k,u}$ [kWh/měs]	28	59	126	203	268	268	268	273	171	111	43	21
$Q_{SS,u}$ [kWh/měs]	28	59	126	203	268	268	268	273	171	111	43	21
f [%]	9	22	42	70	90	93	90	92	59	37	15	7

4.3.6 Celkové roční parametry

Sečtením jednotlivých měsíčních hodnot využitých tepelných zisků vypočteme celkové roční využitě tepelné zisky solární soustavy.

$$Q_{SS,u} = \sum_I^{XII} Q_{SS,u,měs} = 1837 \text{ kWh/rok} \quad (4.8)$$

Měrné roční využitě zisky vychází ze vztahu (3.7).

$$q_{SS,u} = \frac{\sum_I^{XII} Q_{SS,u,měs}}{A_k} = \frac{1837}{3,684} = 499 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok} \quad (4.9)$$

Solární pokrytí potřeby tepla pro ohřev vody tepelnými zisky solární soustavy za celý rok vychází ze vztahu (3.8).

Celkové roční využitě tepelné zisky: $Q_{SS,u} = 1837 \text{ kWh/rok}$;

celková roční potřeba tepla $Q_{p,c}$ se stanoví dle vztahu

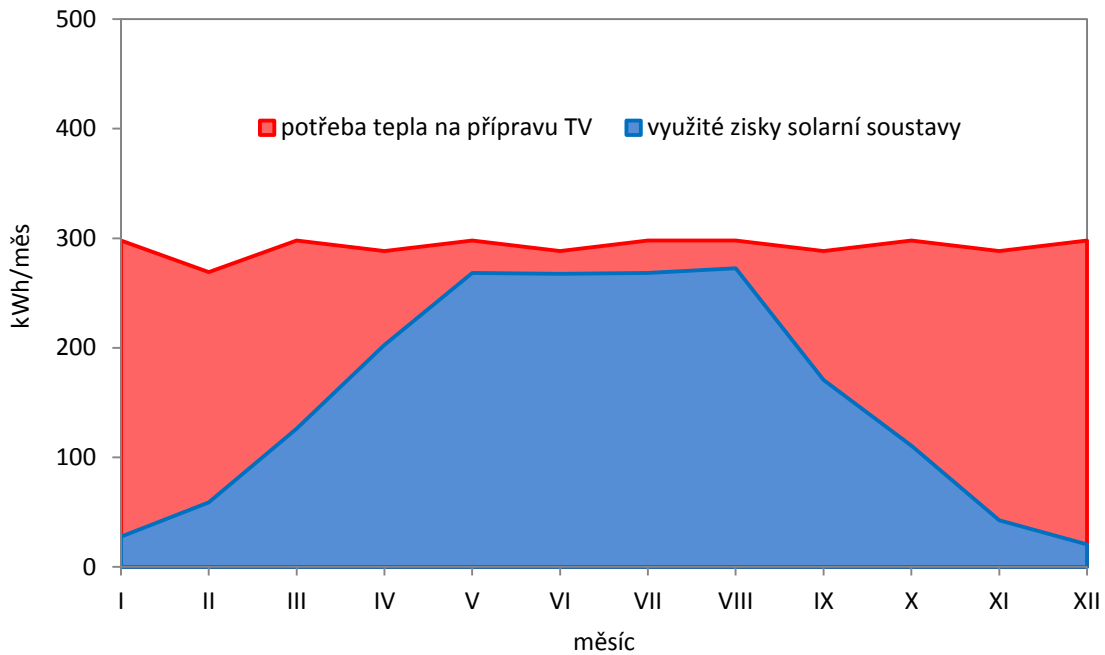
$$Q_{p,c} = (1 + z) \frac{365 \cdot V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6} \text{ [kWh/rok]} \quad (4.10)$$

$$Q_{p,c} = (1 + 0,15) \frac{365 \cdot 0,16 \cdot 998 \cdot 4187 \cdot (60 - 15)}{3,6 \cdot 10^6} = 3508 \text{ kWh/rok}$$

a solární pokrytí potřeby tepla pro ohřev vody podle vztahu

$$f = 100 \frac{Q_{SS,u}}{Q_{p,c}} = 100 \frac{1837}{3508} = 52 \% \quad (4.11)$$

Na *obrázku 4.2* je graficky znázorněn průběh využitých tepelných zisků solární soustavy pro přípravu teplé vody při solárním pokrytí 52 %.



Obr. 4.2 Průběh využitých tepelných zisků solární soustavy pro přípravu teplé vody

4.3.7 Uspořená energie

Uspořená energie Q_{usp} [kWh/rok] (zemního plynu) instalací solární tepelné soustavy se stanoví na základě veličin:

celkové roční využité tepelné zisky: $Q_{ss,u} = 1837$ kWh/rok;

účinnost stávajícího zdroje tepla: $\eta_{kotle} = 0,75$.

$$Q_{usp} = \frac{Q_{ss,u}}{\eta_{kotle}} = \frac{1837}{0,75} = 2449 \text{ kWh/rok} \quad (4.12)$$

4.4 Vyhodnocení ekonomické návratnosti

Energie pro zadaný rodinný dům nahrazovaná energií ze solárního systému je zemní plyn. Ceny energie zemního plynu od roku 2008 do roku 2016 byly převzaty z vyúčtování za sdružené služby dodávky plynu pro rodinný dům (viz *tab. 4.3*).

Tab. 4.3 Spotřeba a cena plynu v zadaném domě

rok	spotřeba plynu [kWh]	cena plynu vč. DPH [Kč]	cena za kWh vč. DPH [Kč]
2008	20404	19024	0,932
2009	20539	24354	1,186
2010	20150	21043	1,044
2011	20156	23401	1,161
2012	19253	28704	1,491
2013	21142	32725	1,548
2014	17539	25088	1,430
2015	17635	25264	1,433
2016	17697	25416	1,436

4.4.1 Tempo růstu cen energie

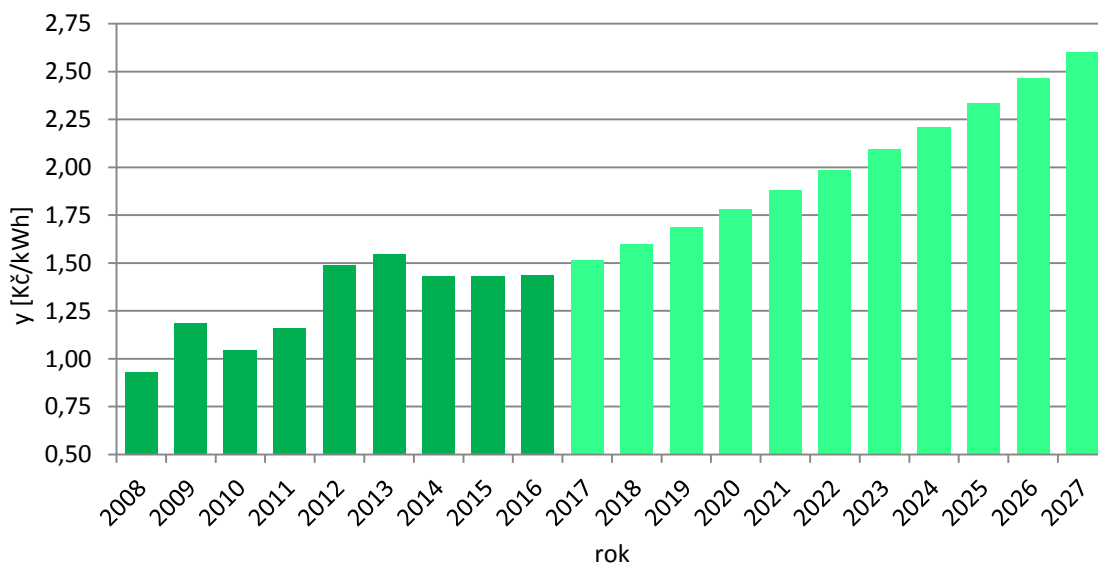
Ze získaných cen zemního plynu za 1 kWh jsem vypočítal tempo růstu ceny energie d podle vztahu

$$d = \frac{y_2 y_3 y_4 \dots y_m}{y_1 y_2 y_3 \dots y_{m-1}} = \frac{y_m}{y_1} = \sqrt[m-1]{\frac{1,436}{0,932}} = 1,0555 \Rightarrow 5,55 \% \quad (4.13)$$

kde je m počet let [-];

y přibližné ceny 1 kWh v daném roce [Kč/kWh].

Z vypočítaného tempa růstu ceny lze předpovědět cenu 1 kWh zemního plynu například ve výhledu 10 let. Z grafického znázornění na *obrázku 4.3* lze vyčíst, že cena plynu v roce 2027 by mohla překročit 2,50 Kč/kWh včetně DPH.



Obr. 4.3 Minulý a předpokládaný vývoj ceny zemního plynu za 1 kWh

4.4.2 Reálná doba návratnosti

Pro výpočet ekonomické návratnosti jsou potřeba následující hodnoty:

ušořená energie instalací solární soustavy: $Q_{usp} = 2449$ kWh/rok;

investiční náklady na solární soustavu: $IN = 98\,507$ Kč;

provozní náklady na pomocnou energii a servis jsem v této studii zanedbal;

cena energie (zemní plyn, 2016): $y = 1,436$ Kč/kWh;

růst ceny energie: $d = 5,55$ %;

diskontní míru r jsem volil 0 %;

roční úspora nákladů instalací solární soustavy v prvním roce se stanoví součinem zisku ze solární soustavy Q_{usp} a ceny energie y : $RU = 2449 \times 1,436 = 3518$ Kč/rok.

Reálná doba návratnosti τ_d se stanoví podle podmínky (3.8). Vlivem růstu ceny energie d se během přibývajících let zvyšují roční úspory nákladů RU a jejich suma se přibližuje hodnotě investičních nákladů IN . Když se docílí splnění podmínky (3.8) a součet ročních úspor nákladů se rovná investici na solární soustavu, lze stanovit reálnou dobu návratnosti τ_d .

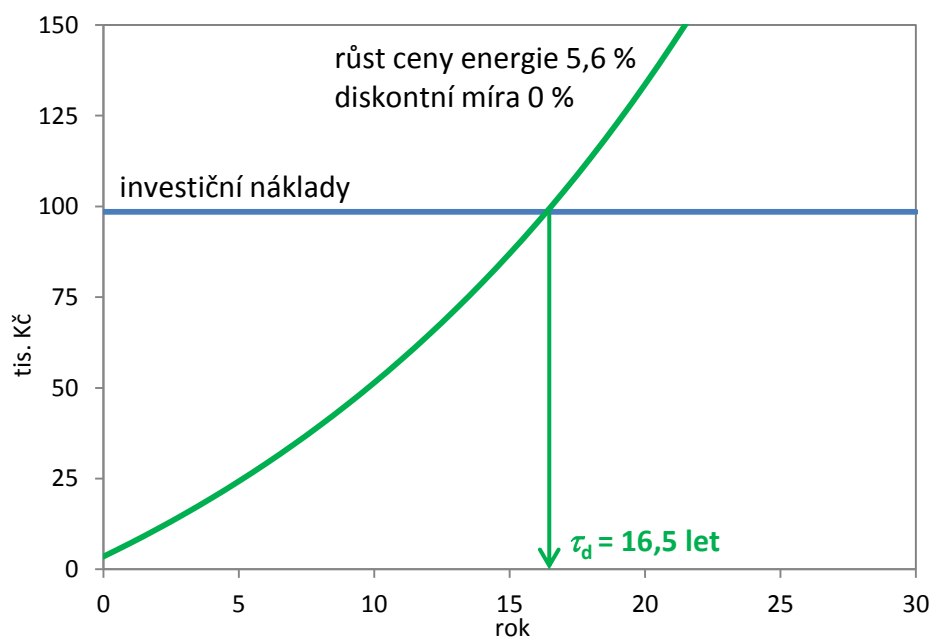
Pro solární soustavu nabízenou firmou (A) vyšla po kompletním výpočtu reálná doba návratnosti zhruba 16,5 let. Do podmínky (3.8) tedy pro představu dosadíme 16. a 17. rok o instalaci solárního systému. Tabelovaný výpočet je k dispozici na příloženém CD.

$$\sum_{t=1}^{\tau_d} RU \frac{(1+d)^t}{(1+r)^t} = IN \quad (3.8)$$

$$\sum_{t=1}^{16} 2180 \frac{(1+0,0555)^{16}}{(1+0)^{16}} = 95\,383 \text{ Kč} < 98\,507 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

$$\sum_{t=1}^{17} 2180 \frac{(1+0,0555)^{17}}{(1+0)^{17}} = 104\,194 \text{ Kč} > 98\,507 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

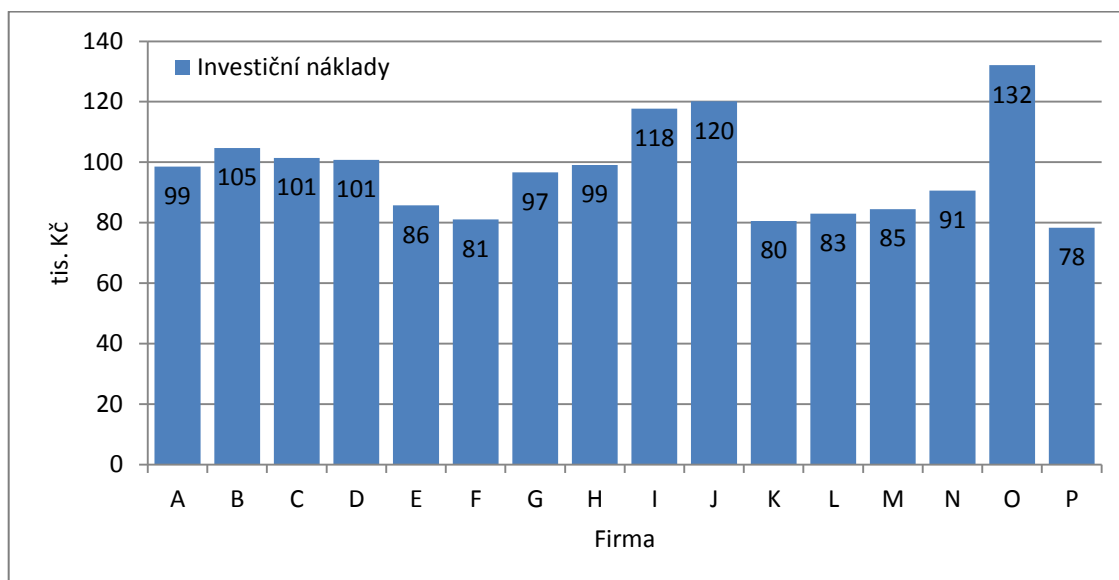
Na *obrázku 4.4* je reálná doba návratnosti solární soustavy nabízené firmou (A) znázorněna graficky. Ekonomická návratnost se odčte v místě, kde hodnota investičních nákladů protne parabolickou křivku ročních úspor instalací solární soustavy zahrnující diskontní míru a růst ceny energie. Pokud by hodnoty diskontní míry a růst ceny energie byly stejné, výsledná křivka by byla lineární (reálná doba návratnosti by se tedy prodloužila).



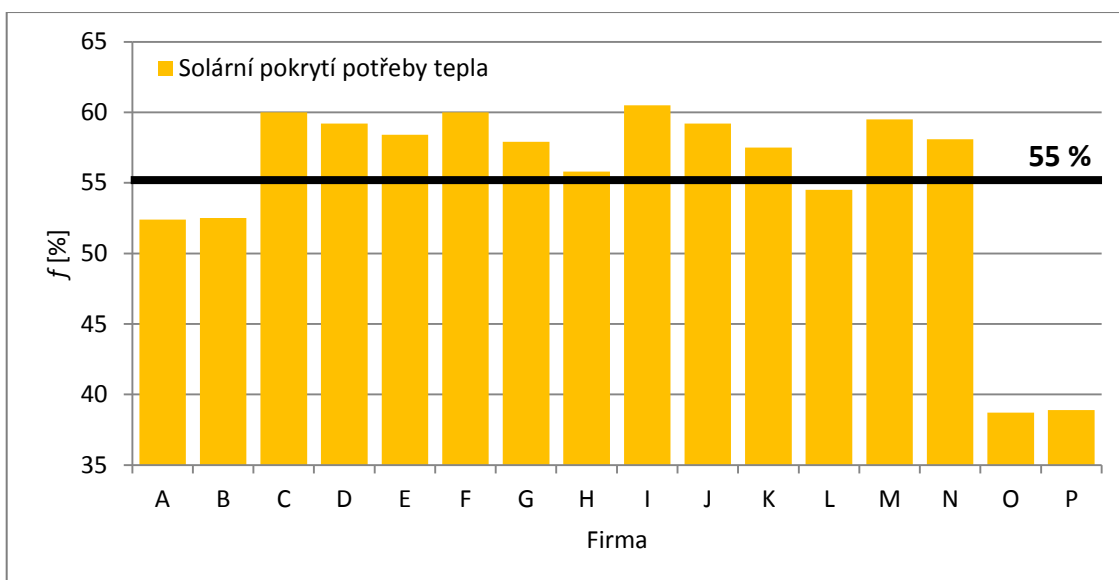
Obr. 4.4 Grafické znázornění reálné doby návratnosti

4.5 Výsledky analýz

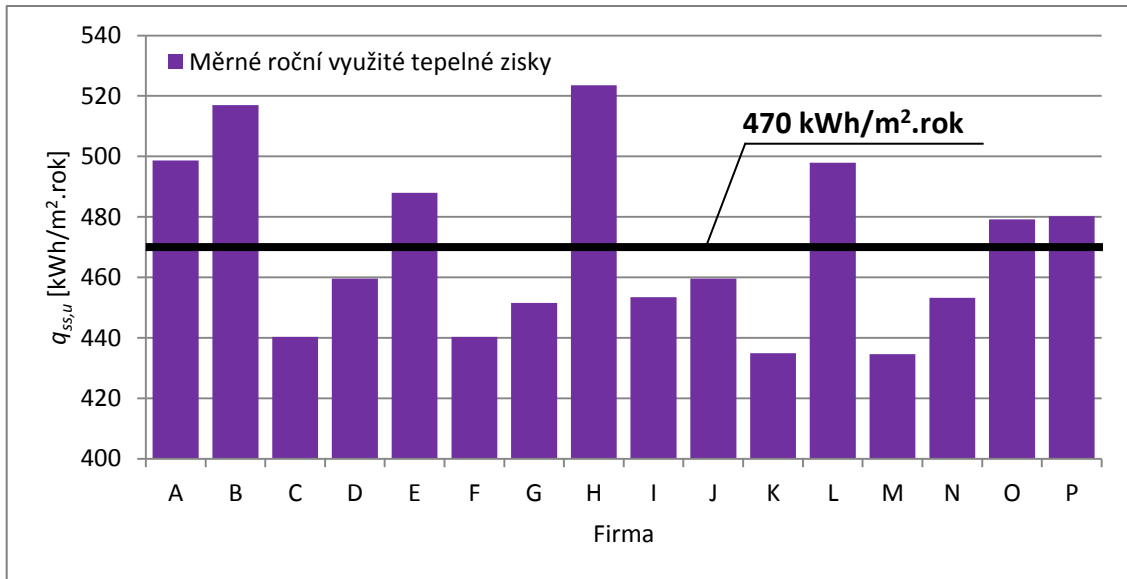
Porovnání výsledků průzkumu trhu solárních tepelných soustav pro ohřev vody a jejich průměrných hodnot jsou vyobrazené na *obrázcích 4.5 až 4.9*. Z důvodu zachování anonymity jsou jména firem nahrazena a označena písmeny A až P.



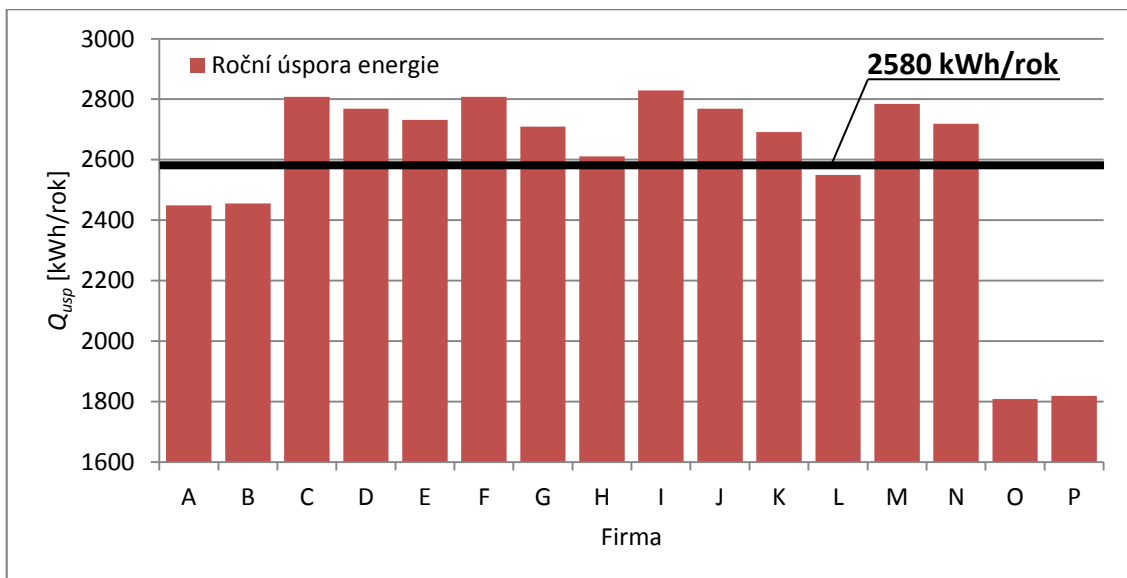
Obr. 4.5 Investiční náklady na solární systém pro ohřev vody



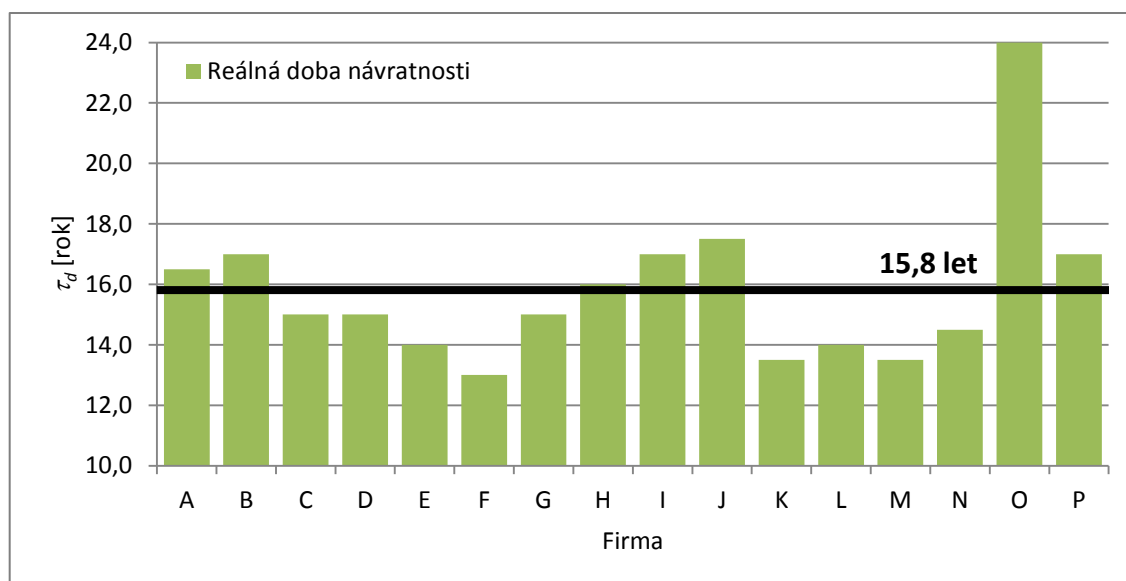
Obr. 4.6 Solární pokrytí potřeby tepla a jeho průměrná hodnota



Obr. 4.7 Měrné roční využití tepelné zisky a jejich průměrná hodnota



Obr. 4.8 Roční úspora energie a její průměrná hodnota



Obr. 4.9 Reálná doba návratnosti instalace solárního systému a její průměrná hodnota

Z porovnání cenových nabídek (A až P) na solární systém pro ohřev vody pro zadaný rodinný dům vycházejí tyto průměrné hodnoty (viz obr. 4.6 až 4.9):

- ⇒ solární pokrytí potřeby tepla: $f = 55 \%$;
- ⇒ měrné roční využití tepelné zisky: $q_{ss,u} = 470 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$;
- ⇒ roční úspora energie: $Q_{usp} = 2580 \text{ kWh/rok}$;
- ⇒ reálná doba návratnosti: $\tau_d = 15,8 \text{ let}$.

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat trh solárních tepelných soustav pro ohřev vody v zadaném rodinném domě a na základě informací k jednotlivým cenovým nabídkám stanovit jejich energetické a ekonomické zisky.

V teoretické části práce jsem se věnoval sluneční energii a jejím hodnotám v České republice a dále energetickým parametrům solárních soustav. V následující části jsem charakterizoval jednotlivé druhy solárních kolektorů, solárních zásobníků a dalších prvků solárních soustav. Dále jsem popsal bilancování energetických přínosů solárních tepelných soustav podle TNI 73 0302 a ekonomické parametry instalace solárních soustav.

V analytické části práce jsem popsal stávající objekt (rodinný dům), pro který jsem sestavil dotazník na solární systém pro přípravu teplé vody. Ze získaných cenových nabídek jsem vybral 16 dostatečně obsáhlých pro následné bilancování. Pro ukázkou postupu výpočtu jsem zvolil cenovou nabídku firmy (A), ostatní nabídky jsou vyřešeny a stručně vyobrazeny v přílohách č. 1 až 16. Pomocí TNI 73 0302 jsem vypočítal potřebu tepla na přípravu teplé vody. Výpočty zahrnující měsíční hodnoty jsem demonstroval na měsíci červen a výsledky z ostatních měsíců v roce jsou pak shrnuty v tabulce. Nakonec jsem vypočítal celkové využití zisky solární soustavy, solární pokrytí potřeby tepla a uspořené energie. Pro ekonomické zhodnocení instalace solární soustavy pro ohřev vody jsem musel zjistit ceny nahrazované energie (zemního plynu) odebírané v zadaném rodinném domě. Ceny energie zemního plynu od roku 2008 do roku 2016 jsem převzal z vyúčtování za sdružené služby dodávky plynu pro rodinný dům. Ze získaných cen zemního plynu za 1 kWh jsem vypočítal tempo růstu ceny energie 5,6 % a následně reálnou dobu návratnosti instalace solární soustavy 16,5 let pro zvolenou cenovou nabídku. Získanou hodnotu ekonomické návratnosti by mohly ovlivnit zanedbané provozní náklady, reálný budoucí růst ceny energie a další nepřesně stanovené vstupní údaje, proto je nutné brát tyto výsledky s rezervou a považovat je spíše za orientační zhodnocení.

Na závěr jsem graficky porovnal cenové nabídky všech 16 firem (A až P) a stanovil průměrné hodnoty zásadních parametrů. Solární pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody pro zadaný rodinný dům vyšlo 55 %, měrné roční vyžité tepelné zisky 470 kWh/m².rok, roční úspora energie 2580 kWh/rok a průměrná doba návratnosti investice necelých 16 let.

Ze znalostí a zkušeností získaných při tvorbě této práce bych v budoucnu, v případě reálné instalace solární soustavy, volil takovou firmu nebo dodavatele, kteří za sebou mají dlouhodobou zkušenost a nespočet zrealizovaných instalací podložených kladnými hodnoceními.

Literatura

- [1] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. GRADA Publishing, a.s., 2013. ISBN 978-80-247-3525-2
- [2] MATUŠKA, Tomáš. *Sešit projektanta č. 1 – Solární tepelné soustavy*. Společnost pro techniku prostředí, 2009. ISBN 978-80-02-02186-5
- [3] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. GRADA Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3503-0

Normy

- [4] TNI 73 0302 *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup*. ÚNMZ, 2014.

Webové stránky

- [5] *Tomáš Matuška, AZE-P1-slunecni_energie* [online]. FS ČVUT.
[vid. únor 2015]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=68
- [6] *Tomáš Matuška, AZE-P2-solarni kolektory* [online]. FS ČVUT.
[vid. únor 2015]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=68
- [7] *Tomáš Matuška, AZE-P3-solarni_soustavy* [online]. FS ČVUT.
[vid. únor 2015]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=68
- [8] *Tomáš Matuška, AZE-P4- sezonní akumulace zásobníky* [online]. FS ČVUT.
[vid. únor 2015]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=68
- [9] *Solární kolektory, typy solárních kolektorů* [online]. TZB-INFO. [vid. 2011].
Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [10] *Ceny paliv a energií* [online]. TZB-INFO. [vid. 1. 1. 2017].
Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi>

Přílohy

Příloha č. 1 – Cenová nabídka firmy (A) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 2 – Cenová nabídka firmy (B) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 3 – Cenová nabídka firmy (C) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 4 – Cenová nabídka firmy (D) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 5 – Cenová nabídka firmy (E) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 6 – Cenová nabídka firmy (F) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 7 – Cenová nabídka firmy (G) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 8 – Cenová nabídka firmy (H) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 9 – Cenová nabídka firmy (I) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 10 – Cenová nabídka firmy (J) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 11 – Cenová nabídka firmy (K) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 12 – Cenová nabídka firmy (L) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 13 – Cenová nabídka firmy (M) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 14 – Cenová nabídka firmy (N) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 15 – Cenová nabídka firmy (O) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 16 – Cenová nabídka firmy (P) + energetická a ekonomická bilance

Příloha č. 17 – Dotazník solární systém pro přípravu teplé vody

Přílohy na přiloženém CD

1. Energetická bilance
2. Ekonomická bilance
3. Výsledky analýz
4. Přílohy č. 1 až 17
5. Bakalářská práce – elektronická podoba