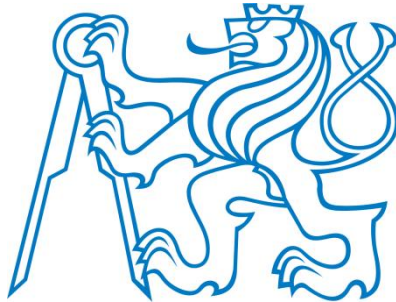


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VYTÁPĚNÍ/SOLÁRNÍ SOUSTAVY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

MARTINA KRAUSOVÁ

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Roman Musil, Ph. D.

2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební


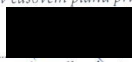
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Krausová	Jméno: Martina	Osobní číslo: 423187
Zadávající katedra: Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vytápění bytového domu	
Název bakalářské práce anglicky: Heating of Residential Building	
Pokyny pro vypracování: Předmětem bakalářské práce bude vytápění bytového domu ve stupni rozšířeného stavebního povolení. Součástí projektu budou všechny půdorysy M1:50, schéma otopné soustavy, schéma zapojení zdroje tepla, návrh otopných ploch a technická zpráva. Bude proveden výpočet tlakových ztrát otopné soustavy vzhledem k návrhu oběhového čerpadla. Projekt bude řešit kompletní vyvážení otopné soustavy. Prohlubující část bude pojednávat o typologii solárních soustav, základních návrhových parametrech solárních soustav a návrh konkrétní solární soustavy do řešeného bytového domu.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Roman Musil, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 7.3.2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

 Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
--	---

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího Ing. Romana Musila, Ph.d.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu této práce, Ing. Romanu Musilovi, Ph. D. za ochotné a trpělivé vedení této práce, za konzultace během tvorby této práce a také za veškeré doporučení a odkazování na potřebnou odbornou literaturu a pomůcky.

Solární soustavy

Solar systems

Anotace:

Obsah této rozšiřující části bakalářské práce je zaměřen na solární soustavy zaměřené na bytové domy. Práce se ze začátku zaměřuje na obecné principy sluneční energie, dále je řešena otázka aplikace solárních systémů na bytové domy, jednotlivé prvky solárních soustav a typologie solárních tepelných soustav.

Teoretickou část následuje výpočet konkrétní tepelné soustavy na přípravu teplé vody, aplikovaný na bytový dům, který je předmětem bakalářské práce. Výpočet je proveden podle TNI 73 0302 a zároveň pomocí německého programu T*Sol, výsledky jsou následně porovnány. Na závěr je vyhodnocena finanční výhodnost instalace solárního systému.

Klíčová slova: *Solární energie, kolektory, bytový dům, vytápění*

Abstract:

This expansion part of the bachelor thesis is aimed on solar systems in residential buildings. In the beginning of thesis, there is a brief description of basic principles of solar energy, then next part is about application of solar systems on residential buildings, elements and components of solar system and typology of solar thermal systems.

After theoretical part comes calculation of particular thermal system used for preparation hot water, which is applied on residential building, that is described in this bachelor thesis.

At first, calculation are done according to TNI 73 0302 and then with help of German software T*Sol. Both results are compared.

In the end, there is financial analysis on installation of this particular solar system.

Keywords: *Solar energy, Collectors, Residential Buildings, Heating*

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	2
1 Sluneční energie.....	4
1.1 Zdroj energie	4
1.2 Přímé a difuzní záření	4
1.3 Sluneční energie v ČR.....	5
2 Sluneční energie pro bytové domy	6
2.1 Důvody instalace solárních soustav v bytových domech.....	7
2.1.1 Ekonomické důvody.....	7
2.1.2 Energetické důvody.....	7
2.1.3 Společenské důvody.....	7
3 Prvky solárních soustav	8
3.1 Solární kolektory	8
3.2 Rozdělení solárních kolektorů.....	9
3.3 Charakteristiky solárních kolektorů	10
3.3.1 Účinnost a výkon kolektoru	11
3.4 Solární zásobníky	12
3.4.1 Teplotní vrstvení	14
4 Solární tepelné soustavy.....	15
4.1 Historie využívání sluneční energie v ČR.....	15
4.2 Typy solárních soustav	16
4.2.1 Předehřev nebo příprava teplé vody.....	16
4.2.2 Solární vytápění.....	17
4.2.3 Solární chlazení	18
4.2.4 Solární větrání	19
4.3 Charakteristické parametry solárních soustav	19
5 Návrh solární soustavy na konkrétní projekt.....	20
5.1 Výpočet dle TNI 73 0302.....	20
5.2 Návrh pomocí programu T*Sol.....	24
5.3 Porovnání výsledků výpočtů TNI 73 0302 a T*Sol.....	28
5.4 Finanční analýza.....	29
6 Závěr.....	31
Literatura.....	32
Seznam obrázků	33
Seznam tabulek.....	34

Seznam použitých symbolů

G_d	[W/m ²]	množství difuzního slunečního ozáření
G_b	[W/m ²]	množství přímého slunečního ozáření
G	[W/m ²]	celkové slunečního ozáření
η	[%]	účinnost solárního kolektoru
\dot{Q}_k	[W]	tepelný výkon solárního kolektoru
\dot{Q}_s	[W]	výkon slunečního ozáření jímací plochy kolektoru
$\dot{Q}_{z, o}$	[W]	optické ztráty kolektoru
$\dot{Q}_{z, t}$	[W]	tepelné ztráty kolektoru
A_k	[m ²]	vztažná plocha kolektoru
τ	[-]	propustnost zasklení
α	[-]	pohltivost absorbéru
t_{abs}	[°C]	střední povrchová teplota absorbéru
t_{abs}	[°C]	teplota okolního vzduchu
$\tau \cdot \alpha$	[-]	optická účinnost kolektoru
U	[W/(m ² ·K)]	součinitel prostupu tepla kolektoru
$\frac{(t_{abs}-t_e)}{G}$	[m ² ·K/W]	střední redukováný teplotní spád
A_A	[m ²]	plocha absorbéru
A_a	[m ²]	plocha apertury
A_G	[m ²]	celková obrysová plocha
q_{ssu}	[kWh/(m ² ·rok)]	měrné využití zisky solární soustavy
f	[%]	solární podíl (pokrytí)
η_{ss}	[%]	provozní účinnost solární soustavy
$Q_{pom, el}$	[kWh/rok]	pomocná elektrická energie
$Q_{ss, u}$	[kWh/rok]	využití tepelné zisky
$Q_{p, TV}$	[kWh/měs]	celková potřeba tepla na přípravu teplé vody
$V_{TV, den}$	[m ³ /den]	průměrná denní potřeba teplé vody
ρ	[kg m ⁻³]	hustota vody
c	[J/kg·K]	měrná tepelná kapacita
t_{SV}	[°C]	teplota studené vody
t_{TV}	[°C]	teplota teplé vody
z	[-]	přirážka pro zahrnutí tepelných ztrát
$Q_{p, c}$	[kWh/měs]	celková měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody
$Q_{k, u}$	[kWh/měs]	měsíční teoreticky využitelný zisk ze solární soustavy
a_1	[W/(m ² ·K)]	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
a_2	[W/(m ² ·K)]	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru

η_o	[%]	optická účinnost kolektoru
p	[-]	hodnota srážky z tepelných zisků sol. kolektorů
$H_{T, den}$	[kWh/(m ² ·den)]	skutečná denní dávka slunečního ozáření
η_k	[%]	střední denní (měsíční) účinnost solárního kolektoru
$t_{k, m}$	[°C]	střední denní teplota teplotnosné kapaliny v kolektorech
$t_{e, s}$	[°C]	střední venkovní teplota v době slunečního svitu
CZT	-	centrální zásobování teplem
TV	-	teplá voda
COP	-	výkonové číslo

1 Sluneční energie

1.1 Zdroj energie

Nositelem sluneční energie je Slunce, které je středem planetární soustavy, jejíž součástí je i naše planeta Země. Slunce se skládá z vodíku (70%), helia (28%) a zbylá část je nepatrné množství ostatních prvků (2%), uvedeno v hmotnostních procentech. V nitru Slunce probíhá za velmi vysoké teploty přeměna atomů vodíku na atomy helia. Tento proces, kdy dochází k přeměně jednoho prvku v druhý za vysoké teploty, se nazývá termonukleární reakce – jaderná fúze a je zdrojem sluneční energie. Na základě pravidla, aby bylo teplo přeneseno z horkých míst do míst s nízkou teplotou, vyzařuje Slunce svou energii z jádra v podobě rentgenového záření do mrazivého prostoru vesmíru. Rentgenové záření musí překonat velmi tlustou vrstvu nad jádrem tzv. radiační zónu, která má vysokou hustotu. V této vrstvě se pozvolna mění rentgenové fotony na více drobnějších fotonů o delší vlnové délce. Vnější viditelným obalem Slunce je energie do vesmírného prostoru už vyzařována jako ultrafialové, infračervené a převážně světelné záření. Tento proces je velmi zdoluhavý v řádu milionu let. Dle množství helia, které dodnes v jádru vzniklo, lze stáří Slunce odhadnout na přibližně 5 miliard let a předpokládat, že k jaderné fúzi bude docházet ještě dalších 5 – 10 miliard let, proto můžeme sluneční energii považovat za trvalý zdroj energie.

1.2 Přímé a difuzní záření

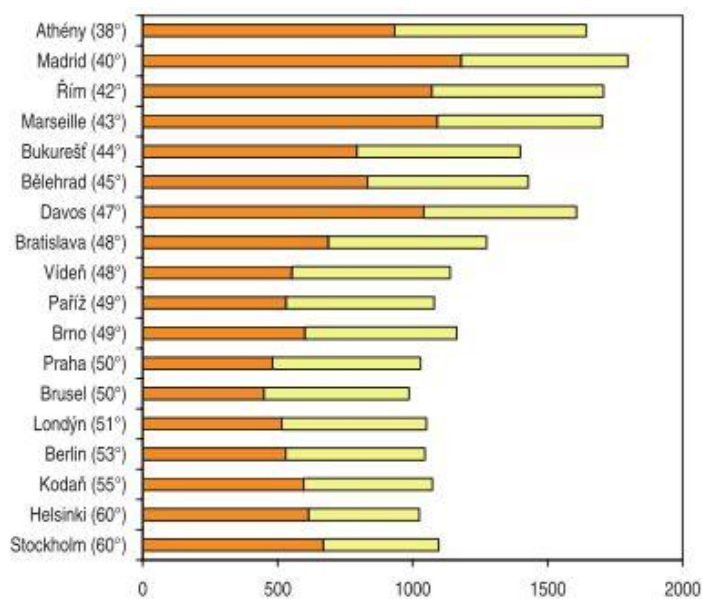
Od Slunce mířící sluneční záření dopadá na vnější povrch atmosféry v nerozptýlené formě. Po průchodu atmosférou dojde k rozptýlení, část potom přichází v rozptýlené formě difuzního slunečního záření, které nemá směrový charakter, přichází ze všech směrů. Difuzní záření zahrnuje i záření odražené z okolních ploch. Druhá část přichází ve formě přímého slunečního záření, které má výrazně směrový charakter a je závislé na úhlu dopadu.

Při zatažené obloze převažuje difuzní záření a při jasné obloze převažuje záření přímé. Množství difuzního slunečního ozáření (G_d) lze změřit přístrojem zvaným pyranometr, přístroj má stínící prsteneček, který ochraňuje čidlo před přímou složkou slunečního záření. Množství přímého slunečního ozáření (G_b) se měří pomocí přístroje pyrheliometr (někdy také nazýván aktinometr), který měří ozáření přicházející přímo ze Slunce a malou část oblohy okolo. Celkové sluneční ozáření (G) je součet obou složek.

	$G = G_b + G_d$	Poměr G_d / D
Jasná obloha	700 – 1000 W/m ²	10 – 20 %
Lehce zataženo	200 – 700 W/m ²	20 – 80 %
Silně zatažen	100 – 200 W/m ²	80 – 100 %

Tab. 1: Hodnoty celkového slunečního ozáření [1]

V tab. 1 jsou uvedeny typické hodnoty celkového slunečního ozáření G pro různé stavy oblačnosti. Úroveň slunečního ozáření není tolik ovlivněna ročním obdobím jako oblačností a sklonem přijímací plochy.



Obr. 1: Podíl přímého (tmavá) a difuzního (světlá) slunečního záření během roku pro různá místa Evropy při optimálním sklonu [1]

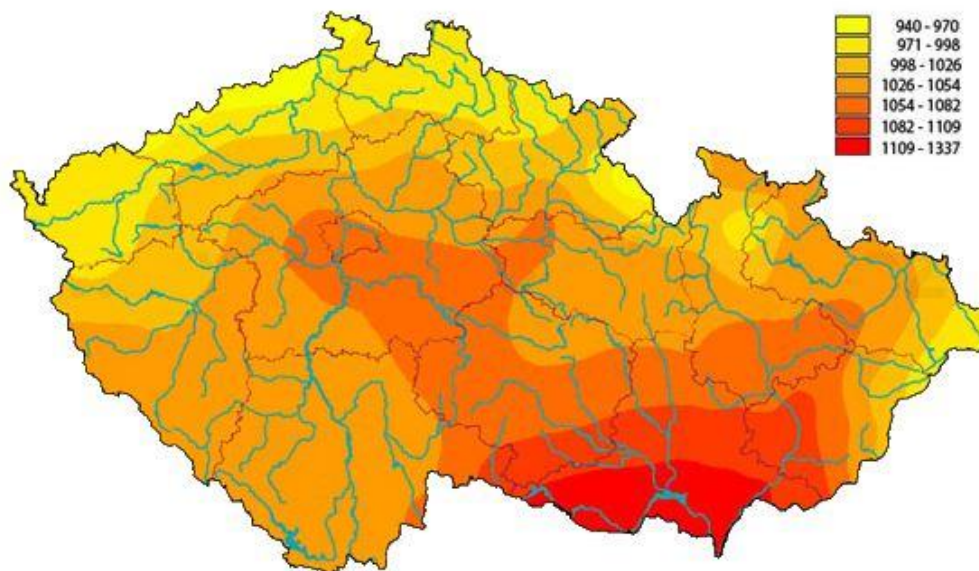
Z podílu přímé složky dopadající energie slunečního záření (obr. 1) lze usuzovat na vhodnost lokality pro použití optických prvků pro soustředění slunečního záření, např. reflektorů či čoček. V České republice se solární kolektory s vysokými koncentračními faktory neprosazují právě z důvodů nepříliš vhodných klimatických podmínek s nízkým podílem energie přímého záření. [1]

1.3 Sluneční energie v ČR

Pro stanovení sluneční energie na území ČR, ale i pro účely navrhování a posuzování je nutné znát různé druhy informací a údajů o slunečním záření. Jedná se o údaje, které jsou dlouhodobě ukládány, shromažďovány s různou časovou prodlevou a s různými okrajovými podmínkami. Tyto údaje jsou shromažďovány u jednotlivých zdrojů jako Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), PVGIS nebo Meteonorm.

Roční úhrny sluneční energie dopadající na vodorovnou rovinu v ČR se v průměru pohybují mezi 1000 – 1200 kWh/(m².rok), tzn. 3600 – 4300 MJ/(m².rok). Obdobné hodnoty lze uvažovat i pro optimálně skloněné plochy orientované na jih. [1]

Na obr. 2 je znázorněna mapa znázorňující úhrn slunečního záření pro celou ČR, která je z ČHMÚ.



Obr. 2: Roční dávky slunečního záření na vodorovnou plochu v ČR v MJ/(m².rok)[1]

V porovnání s našimi sousedy, co se týče množství slunečního ozáření, je na tom Německo velice podobně na většině svého území. Oproti tomu Rakousko začíná tam, kde my končíme, jeho nejnižší úhrny slunečního záření jsou okolo 1200 kWh/(m²/rok). Z tohoto důvodu je pro nás výhodnější přebírat zkušenosti z Německa, protože využívají stejné druhy solárních soustav, na rozdíl od Rakouska, které některé typy kolektorů téměř nepoužívá.

Pomocný parametr pro určení charakteristik slunečního záření se nazývá skutečná doba trvání slunečního svitu. Na rozdíl od teoretické doby trvání slunečního svitu, kterou lze stanovit z geometrie slunečního záření, je nutné skutečnou dobu slunečního svitu naměřit. ČHMÚ poskytuje data o době trvání slunečního svitu pro 22 lokalit v ČR.

Vzhledem k podmínkám v ČR je nejvhodnější orientace kolektoru na jižní stranu pod úhlem 45°.

2 Sluneční energie pro bytové domy

Podle výsledků průzkumu ENERGO 2004 a za předpokladu, že roční spotřeba tepla ČR je na úrovni 380 PJ, se zásobování domů teplem podílí na celkové bilanci cca 21 %. Vytápění a příprava teplé vody v domácnostech tvoří tedy podstatnou část spotřeby energie v budovách. Z tohoto pohledu je zřejmé, že úspora v této oblasti je více než žádoucí.

V případě zavádění úspor v bytových domech je využití sluneční energie pro přípravu teplé vody a vytápění logickým krokem po:

- omezení tepelných ztrát prostupem – zateplení budov, výměna oken;
- omezení tepelných ztrát větráním – využití mechanického větrání se zpětným získáváním tepla;
- využití pasivních solárních zisků – zasklení lodžii;
- rekonstrukci otopné soustavy – instalace termoregulačních ventilů, hydraulické vyvážení rozvodů otopných soustav;
- rekonstrukci zdroje tepla – rekonstrukce výměňkové stanice, instalace energeticky a emisně úsporného zdroje tepla v případě odpojení od CZT. [2]

2.1 Důvody instalace solárních soustav v bytových domech

V dnešní době jsou solární tepelné soustavy na znatelně vyšší úrovni než v minulých letech a jsou předmětem certifikace. Přináší tedy řadu výhod jako např. ekonomické, energetické, ekologické, společenské a politické.

2.1.1 Ekonomické důvody

V porovnání s rodinnými domy mají solární tepelné soustavy pro bytové domy výrazně nižší investiční a provozní náklady. Díky dotačním podporám (např. Zelená úsporám) se výrazně snižuje doba návratnosti. Do budoucnosti se neočekává výrazný nárůst cen solárního tepla na rozdíl například od biopaliv. Dalším důvodem může být, že díky solární soustavě se stává dům atraktivnější a zvyšuje svou hodnotu a lépe se pronajímá.

2.1.2 Energetické důvody

Instalace solární soustavy na bytovém domě je spolehlivým zdrojem úspory tepla. Sluneční energie je nevyčerpatelným zdrojem energie dostupným prakticky všude. Místní produkce a spotřeba energie, tj. získávání tepla ze střechy nebo fasády bytového domu a jeho využití přímo v domě, přispívá k decentralizaci energetického zásobování a zvýšení bezpečnosti dodávky tepla. [2]

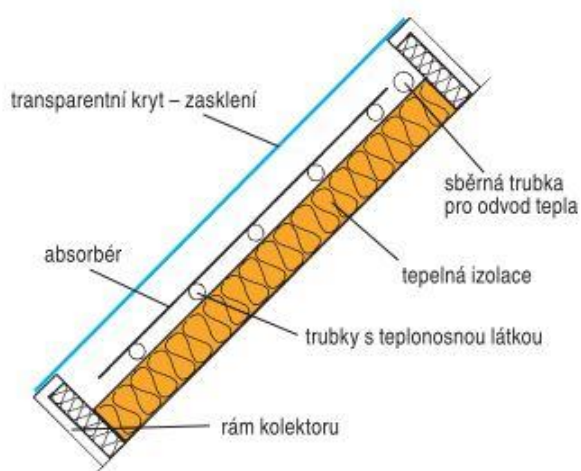
2.1.3 Společenské důvody

Solární soustavy představují pomyslnou vizitku vlastníka. Ze zkušeností vyplývá, že domy se solárními soustavami snižují neobydlenost, vytváří pocit zodpovědnosti k životnímu prostředí. Soustavy představují záložní zdroj energie, tedy novou profesi, a tím představují i nová pracovní místa. Dochází tedy k eliminaci dováženého paliva a nahrazením energií místní prací.

3 Prvky solárních soustav

3.1 Solární kolektory

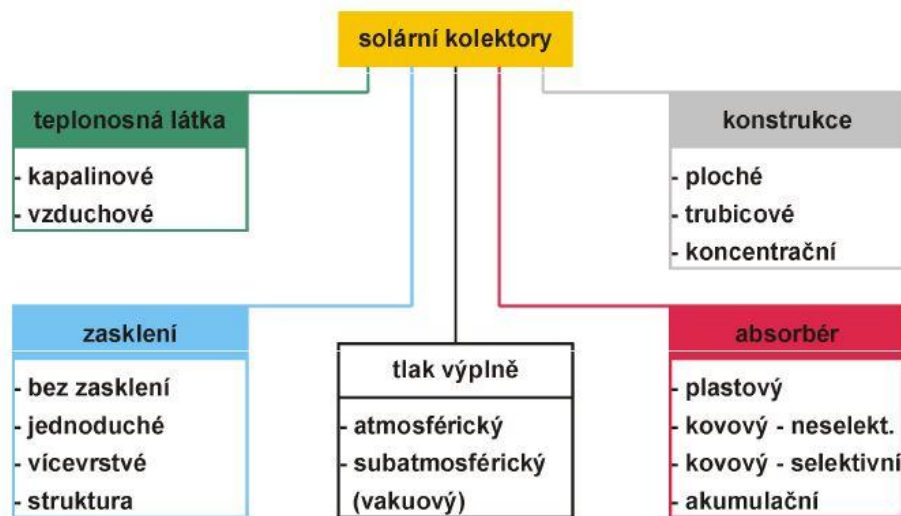
Solární tepelný kolektor je zařízení určené k pohlcení slunečního záření a jeho přeměně na tepelnou energii, která je předávána teplotně látky odváděné z kolektoru. Užívání termínu „panel“ se potlačuje, aby se předešlo nežádoucím záměnám s fotovoltaickými panely. Naprostá většina solárních kolektorů využívá pro přenos tepla z kolektoru do místa využití teplotněných kapalin (kapalinové kolektory), malá část využívá vzduch (vzduchové kolektory). [2]



Obr. 3: Základní součásti solárního tepelného kolektoru [1]

Na obr. 3 je zobrazeno zjednodušené schéma solárního kolektoru. Transparentní kryt – zasklení propouští sluneční záření, které chrání absorbér před velkými tepelnými ztrátami. Na stranách, které nepřijímají sluneční záření, chrání absorbér před tepelnými ztrátami izolace uložená v rámu kolektoru.

3.2 Rozdělení solárních kolektorů



Obr. 4: Rozdělení solárních kolektorů[4]

Obr. 4 zobrazuje základní rozdělení solárních kolektorů. Obecně můžeme dělit kolektory podle řady kritérií. Základní kritérium pro rozdělení je charakter teplonosné látky, která rozděluje kolektory na dva druhy a to kapalinové a vzduchové. Ve většině případů v ČR se využívají kolektory s kapalinovou teplonosnou látkou.

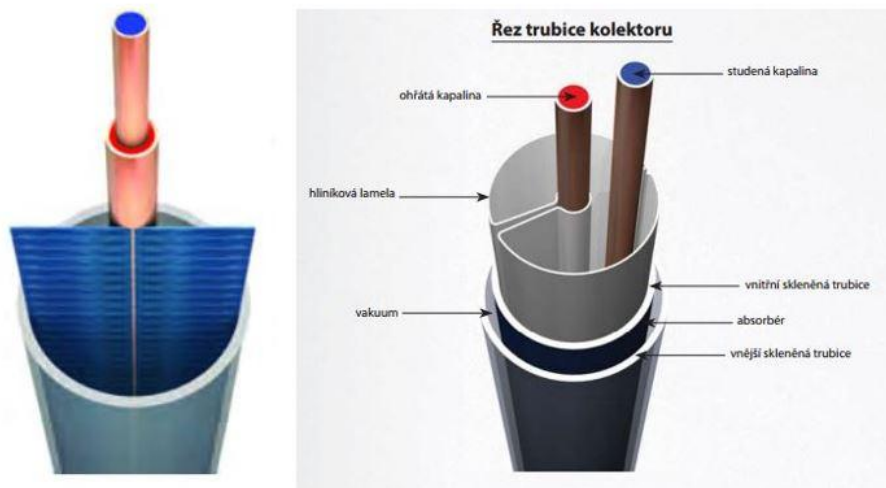
Nekryté (nezasklené) kolektory se vyznačují tím, jak už název napovídá, že jim chybí kryt (zasklení). Tento fakt přináší výhodu v tom, že kryt nezpůsobuje odraz paprsků a tím zlepšuje optické vlastnosti kolektoru. Na druhou stranu to sebou nese i nevýhody, hlavní nevýhodou je fakt, že díky absenci krytu a tím pádem i vzduchové mezery dochází k velkým tepelným ztrátám, které jsou ovlivňovány obzvlášť klimatickými podmínkami.

Ploché kolektory jsou typický svým plochým tvarem zasklení i absorbérem. Nejběžněji se setkáváme s jednoduchým zasklením, s dvojitým zasklením se setkáváme zřídka u vyšších teplotních úrovních. Tepelně vodivý absorbér může být buď celoplošný, nebo dělený. Absorpční plocha je navařena nebo nalisována na trubky, kterými dopravuje teplonosná látka využitelné teplo. Rám kolektoru je vyplněn podle potřeby teplenou izolací a je chráněn proti vzniku vlhkosti a rosení skla pomocí odvětrávání.

Ploché solární kolektory s jednoduchým zasklením jsou nejrozšířenějšími solárními kolektory pro běžné aplikace, jako je příprava teplé vody nebo přitápění, tvoří okolo 80% trhu. Je to dáno především poměrem mezi jejich výkonem a cenou a dále určitou tradicí instalací v ČR. [1]

Trubkové vakuové kolektory se vyznačují válcovým zasklením. Prostor mezi zasklením a absorbérem je vakuován na velmi nízké tlaky, což tvoří vakuovou izolaci. Trubkové kolektory mají vysokou škálu konstrukčních provedení, mezi nejzákladnější patří trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou (tradiční „evropský“ typ) a trubkové kolektory s dvojitěnnou trubkou (Sydney, čínský typ).

Na obr. 5 je zobrazen na pravé straně tradiční „evropský“ typ a na levé straně typ Sydney. První druh trubkového kolektoru je tedy uzavřená skleněná trubice, která má uvnitř plochý absorbér, který je navařen na trubky s teplonosnou látkou. To zajišťuje velmi dobrý přestup tepla z absorbérů do teplonosné látky. Kolektory mají velmi vysokou účinnost a dosahují velmi dobré technické kvality. Omezení jejich použití je způsobeno vysokou finanční náročností. Druhý typ kolektorů, který je převážně vyráběn v Číně, se skládá z dvou trubek, kdy vnitřní trubka plní funkci absorbérů, který je ve tvaru trubky, vnější trubka chrání kolektor před atmosférickými vlivy. Prostor mezi trubkami je vakuován. Teplo z absorbérů je odváděno vnitřkem trubky pomocí teplosměnné vodící lamely, která je příčinou hlavního rozdílu kvality mezi výrobci. Dále se mohou kolektory rozdělit na přímo protékané (koncentrické potrubí, potrubí ve tvaru U – registru) a s tepelnou trubicí (suché napojení, mokré napojení).



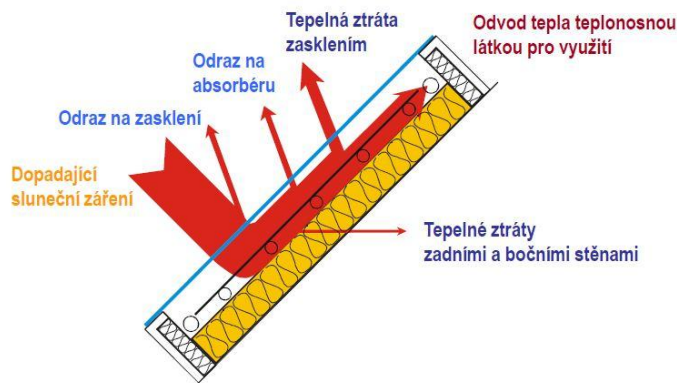
Obr. 5: Jednostěnná vakuová trubka (plochý absorbér) a dvojitěnná vakuová trubka (válcový absorbér, teplosměnná lamela)[5]

3.3 Charakteristiky solárních kolektorů

Pro komplexní popis tepelného chování solárního kolektoru, pro navrhování a hodnocení solárních soustav je nutné znát jeho charakteristické parametry a jejich závislost na provozních a klimatických podmínkách:

- tepelná účinnost η indikuje, jak kolektor pohlcuje záření a ztrácí teplo, určuje jeho okamžitý tepelný výkon \dot{Q}_k při daných klimatických a provozních podmínkách;
- modifikátor úhlu dopadu K_θ určuje vliv úhlu dopadu slunečního záření na účinnost a výkon kolektoru, někdy se označuje jako optická charakteristika kolektoru;
- časová konstanta τ a tepelná kapacita C vyjadřuje vliv tepelné setrvačnosti hmot kolektoru na jeho okamžitý výkon. [1]

3.3.1 Účinnost a výkon kolektoru



Obr. 6: Schematické znázornění energetické bilance kolektoru [4]

Na obr. 6 je graficky znázorněna energetická bilance kolektoru, která popisuje funkci solárního tepelného kolektoru. Pro výpočty lze bilanci popsat rovnicí v ustáleném stavu

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_s - \dot{Q}_{z,o} - \dot{Q}_{z,t} \quad (3.1)$$

kde je

\dot{Q}_k tepelný výkon solárního kolektoru [W];

\dot{Q}_s výkon slunečního ozáření jímací plochy kolektoru [W];

$\dot{Q}_{z,o}$ optické ztráty kolektoru [W];

$\dot{Q}_{z,t}$ tepelné ztráty kolektoru [W].

Dosažením a úpravou lze získat rovnici využitelného výkonu solárního kolektoru vyjádřenou v závislosti na povrchové teplotě absorběru

$$\dot{Q}_k = G \cdot A_k \cdot \tau \cdot \alpha - U \cdot A_k \cdot (t_{abs} - t_e) \quad (3.2)$$

kde je

G celkové sluneční ozáření [W/m^2];

A_k vztažná plocha kolektoru [m^2];

τ propustnost zasklení;

α pohltivost absorběru;

t_{abs} střední povrchová teplota absorběru [$^{\circ}\text{C}$];

t_e teplota okolního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$].

Účinnost solárního kolektoru η_k je za ustálených podmínek definována jako poměr výkonu odváděného z kolektoru \dot{Q}_k „příkonu“ slunečního záření dopadajícího na kolektor $\dot{Q}_s = G \cdot A_k$

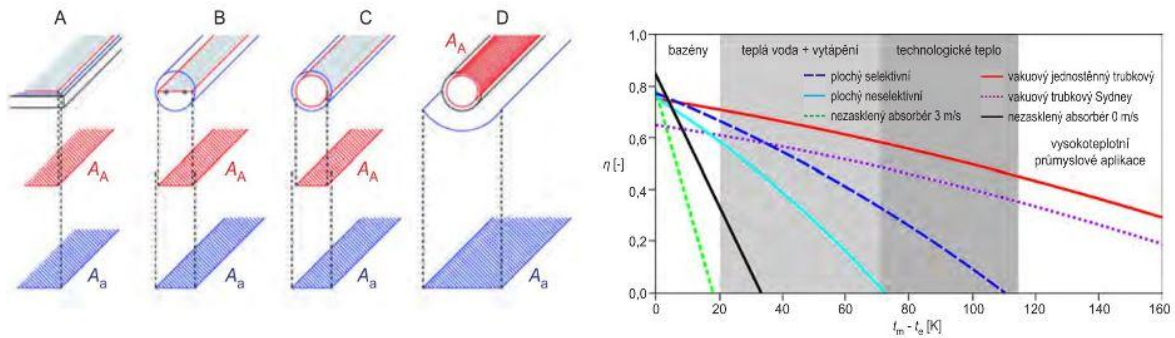
$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{G \cdot A_k} = \tau \cdot \alpha - U \cdot \frac{(t_{abs} - t_e)}{G} \quad (3.3)$$

kde je

$\tau \cdot \alpha$ optická účinnost kolektoru (bezrozměrná);

U součinitel prostupu tepla kolektoru [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]

$\frac{(t_{abs} - t_e)}{G}$ střední redukovaný teplotní spád mezi povrchem absorběru a okolím [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$].



Obr. 7: Definice plochy zasklení a absorbtéru solárních kolektorů: A) plochý; B) trubkový s plochým absorbtérem; C) trubkový s válcovým absorbtérem; D) trubkový s válcovým absorbtérem a reflektorem [2]

Obr. 8: Typické křivky účinnosti různých konstrukcí solárních kolektorů [2]

Účinnost kolektoru se vždy váže s vztážnou plochou solárního kolektoru. Na obr. 7 jsou zobrazené plochy absorbtérů a plochy zasklení pro různé druhy kolektorů. Rozlišujeme celkem 3 druhy ploch, ke kterým můžeme vztáhnout účinnost kolektoru:

- plocha absorbtéru A_A – plocha, na které dochází k přeměně slunečního záření v teplo;
- plocha apertury A_a – plocha průmětu otvoru (zasklení), kterým vstupuje do kolektoru nesoustředěné sluneční záření;
- celková obrysová (hrubá) plocha A_G – plocha průmětu celkového obrysu solárního kolektoru [2]

Na obr. 8 jsou znázorněny typické křivky účinnosti základních typů solárních kolektorů, které jsou vyjádřené v závislosti na teplotním spádu pro hodnotu slunečního ozáření 800 W/m^2 .

Tepelný výkon solárního kolektoru je dán vztahem

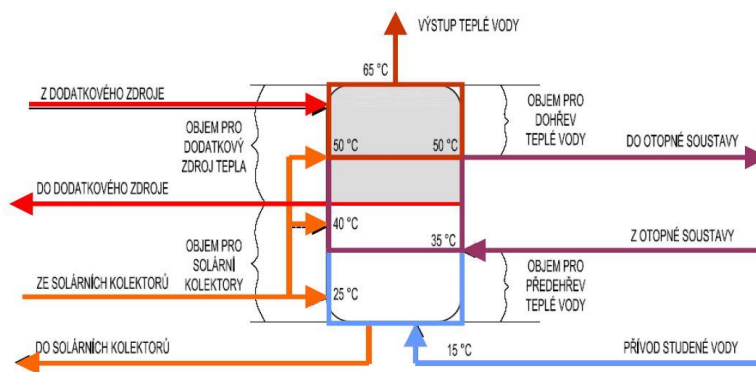
$$\dot{Q}_k = A_k \cdot [G \cdot \eta_0 - a_1 \cdot (t_m - t_e) - a_2 \cdot (t_m - t_e)^2] \quad (3.4)$$

3.4 Solární zásobníky

Solární zásobníky, často také nazývány jako srdce soustavy, jsou nedílnou a velice významnou součástí solární soustavy. Přestože bychom měli vysoce výkonný kolektor a k němu nevhodně navržený zásobník, celá soustava by se jevila jako velmi málo účinná a tepelné zisky by byly velmi nízké. Zásobníky slouží pro akumulaci tepelné energie přiváděné z kolektorů. Nejčastějším a pro bytové domy ekonomicky nejpríjemnějším druhem je vodní zásobník.

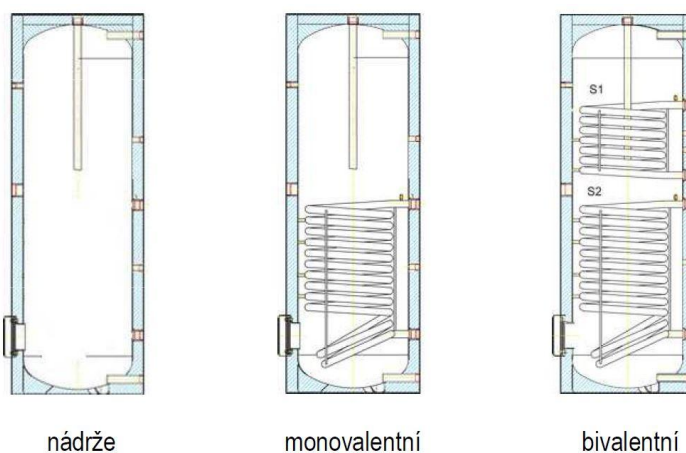
Zásobníky můžeme dělit podle velké řady kritérií, základní jsou:

- Podle účelu použití: zásobníky teplé vody; zásobníky otopné vody, zásobníky tepla, kombinované
- Podle (počtu) teplosměnné plochy: nádrže (0); monovalentní (1); bivalentní (2);...
- Podle tlaku: tlakové; netlakové
- Podle periody akumulace: krátkodobé (denní, několika denní); dlouhodobé (sezónní)



Obr. 9: Vodní zásobník kombinovaný (TV+VYT) [4]

Na obr. 9 je zobrazené schéma kombinovaného vodního zásobníku, který slučuje akumulací objem pro teplou vodu a přípravu teplé vody za účelem uspořené místa.

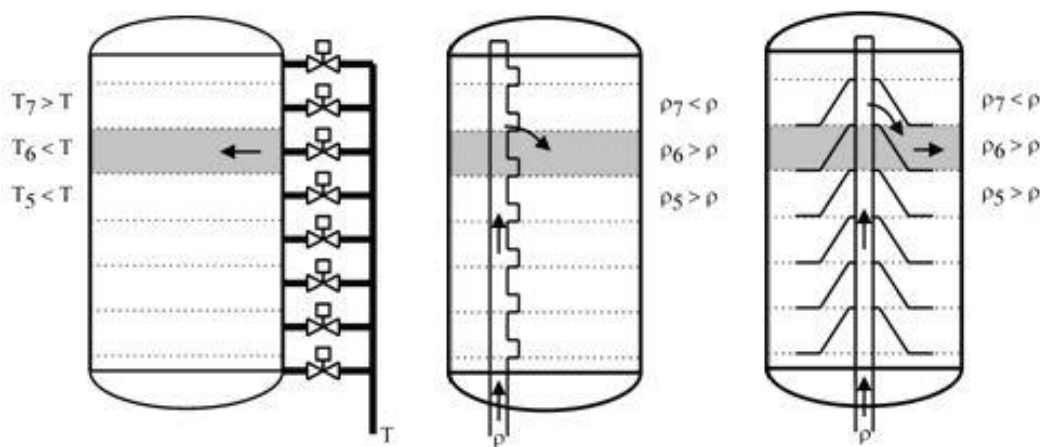


Obr. 10: Rozlišení zásobníků podle počtu výměníků [4]

Na obr. 10 vlevo je zobrazena nádrž, která se nejčastěji používá u velkoplošných soustav a pro přenos tepla z kolektorů se používá vnější výměník; na obr. 10 uprostřed je monovalentní zásobník s jedním výměníkem, který je uvnitř zásobníku a předává teplo z kolektorů. Nejčastěji se používá při dodatečné instalaci solární soustavy. U bivalentního zásobníku (na obr. 10 vpravo) se nacházejí 2 výměníky tepla, kdy horní výměník zajišťuje dohřev dodatkovým zdrojem tepla a spodní výměník slouží stejně jako u monovalentního zásobníku k přenosu tepla z kolektorů.

3.4.1 Teplotní vrstvení

Ke zvýšení využitelnosti akumulovaného tepla ze solárních kolektorů se využívá teplotní stratifikace neboli řízené vrstvení objemu zásobníku podle teploty. Těžší studená voda se drží u dna zásobníku, teplejší voda stoupá nahoru. Při slunečných dnech, kdy je k dispozici dostatečná tepelná energie, je přiváděna energie teplotnosnou látkou do horní teplejší části výměníku. Při zatažené obloze a nižším množství slunečního záření dochází ke snížení množství tepelné energie v teplotnosné látce a je přiváděna do nižších vrstev o příslušné teplotě. Předpoklady pro správné fungování stratifikačního zásobníku jsou, aby voda z kolektorů byla přiváděná do správné teplotní vrstvy, nesmí dojít k promíchání vrstev například vlivem přívodu vody o velké rychlosti.



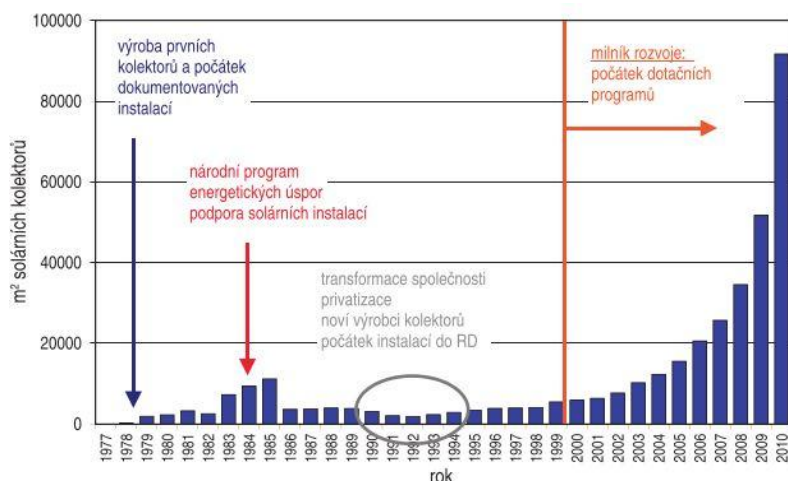
Obr. 11: Různé způsoby řízeného teplotního vrstvení [3]

Přívod vody z kolektorů a následné rozdělení může být vyřešeno několika způsoby (viz obr. 11). První způsob (viz obr. 11 vlevo) je pomocí ventilů, které řídí stratifikaci na základě porovnání teploty vody přiváděné a vody v jednotlivých vrstvách. Důležitá je regulace ventilů, aby přívodní rychlost nebyla příliš vysoká a nezpůsobila rozvrstvení. Jednodušší způsob, u kterého se nemusí řešit regulování ventilů, jsou samočinné trubkové stratifikační vestavby, které pracují na základě rozdílu hustoty vody přiváděné a vody v určité vrstvě. Na obr. 11 jsou dva druhy těchto sestav, uprostřed je sestava složená z plastového potrubí a odbočky jsou vybaveny zpětnými klapkami. Vpravo jsou speciální talířové vestavby, které tvoří svou konstrukcí přirozené zpětné klapky.

4 Solární tepelné soustavy

4.1 Historie využívání sluneční energie v ČR

Historie využívání sluneční energie v ČR sahá až do Československa, odkud pochází první zdokumentované solární kolektory z roku 1977. Tomuto období předcházela ropná krize z roku 1973, která měla za následek nástup výzkumu nefosilních paliv.



Obr. 12: Vývoj solárních kolektorů v historii ČR [1]

Na obr. 12 jsou vidět hlavní milníky ve vývoji solárních kolektorů na území ČR. Po roce 1985 přichází první útlum způsobený nízkou životností kolektorů a špatnou ekonomikou. Po roce 1992 přichází nová vlna solárních panelů. Přichází nové výrobní společnosti, začíná instalace v rodinných domech a roste obecný zájem o sluneční energii z důvodu nárůstu cen paliv. Před začátkem nového tisíciletí byly zahájeny první dotační programy.



Obr. 13: První firemní prospekt československého kolektoru SP 79 [19]

Z celé řady kolektorů vyráběných v bývalém Československu můžeme vybrat například kolektory SALK (Závod SNP Žiar nad Hronom), ocelové kolektory ES (Elektrosvit, Nové Zámky), koncentrační kolektory Winstonova typu (ČVUT – Inklemo) a kolektory SP (Okresní podnik služeb Kroměříž), firemní prospekt k tomuto typu můžeme vidět na obr. 13, kde je vidět, že dříve dnešní absorbér byl nazýván výměníkem.

4.2 Typy solárních soustav

Pro aktivní využití solární energie v bytových domech připadají více či méně v úvahu následující typy solárních soustav níže rozdělené podle typu aplikace:

- předehřev nebo příprava teplé vody;
- příprava teplé vody a vytápění (kombinované solární soustavy);
- solárně podpořené chlazení, resp. klimatizace;
- předehřev větracího vzduchu. [2]

Dále můžeme výše uvedené typy rozdělit podle velikosti kolektorové plochy:

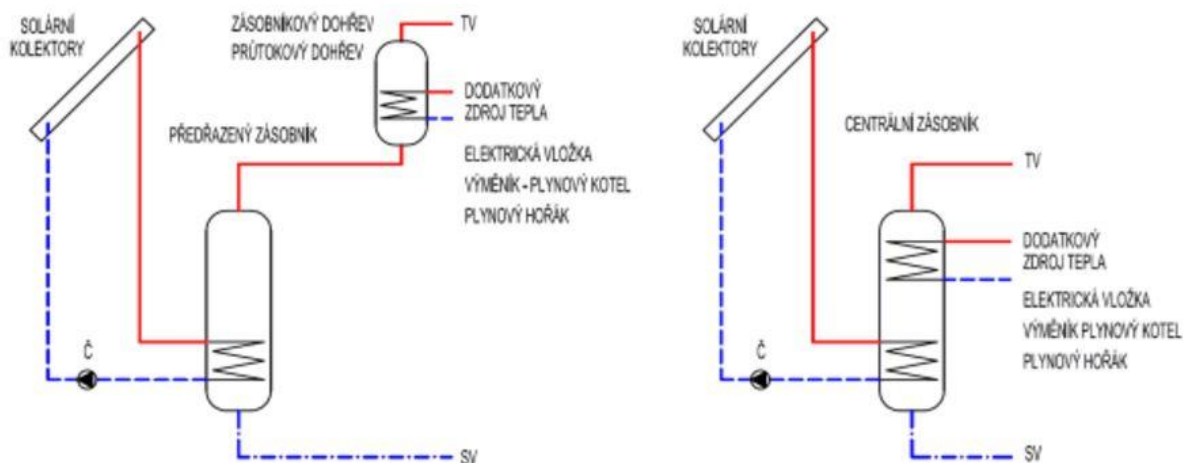
- malé solární soustavy ($< 20 \text{ m}^2$) – bytové domy, rodinné domy, ...
- střední solární soustavy ($< 200 \text{ m}^2$) – zdravotnická, sociální, sportovní zařízení, ...
- velké solární soustavy ($> 200 \text{ m}^2$) – výtopy pro sídliště, sportovní stadiony, ...

Dále podle měrného průtoku teplotnosné kapaliny kolektory se navrhuje solární soustavy:

- s vysokým průtokem (high – flow): $50 - 90 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$
- s nízkým průtokem (low – flow): $10 - 20 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$
- s proměnným průtokem (matched – flow): $10 - 40 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$

4.2.1 Předehřev nebo příprava teplé vody

Využití sluneční energie pro přípravu teplé vody je výhodné vzhledem k celoročně přibližně konstantní spotřebě tepla. Solární soustavy pro přípravu teplé vody proto mají dobrou využitelnost, jsou rozšířené, známé a veřejností jsou vnímány jako smysluplné opatření. [2] Před návrhem solární soustavy by se měla provést úsporná opatření: úsporné výtokové armatury, individuální měření spotřeby teplé vody, minimalizace rozvodů teplé vody, omezení tepelných ztrát rozvodů teplé vody a cirkulace, ...



Obr. 14: Solární soustava s a) předřazeným solárním zásobníkem teplé vody a s b) bivalentním solárním zásobníkem teplé vody [3]

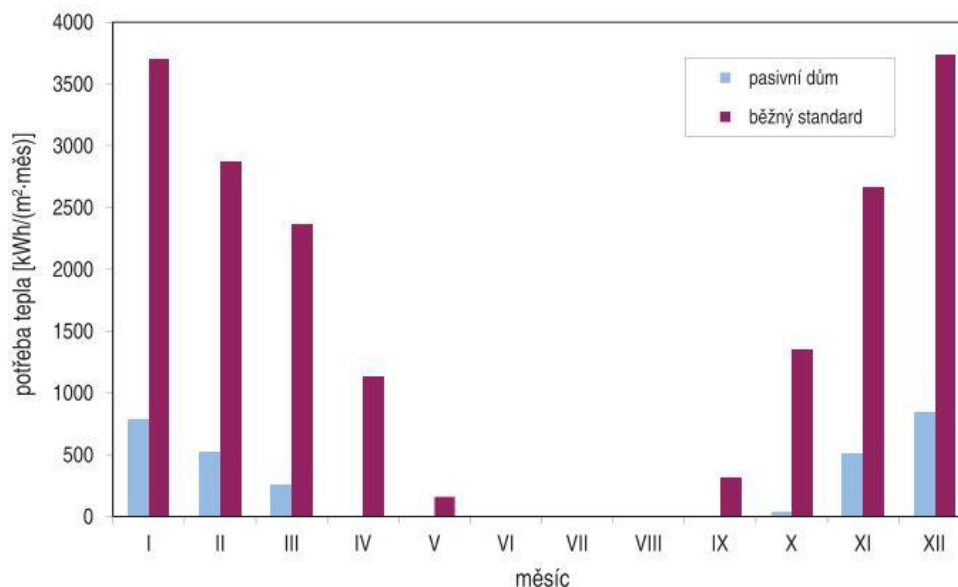
Pro malé soustavy se používají soustavy ve dvou variantách (viz obr. 14). První varianta je s předehřívacím zásobníkem. Monovalentní předřazený zásobník zajišťuje pomocí spodního výměníku předehřev vody. Ze zásobníku je voda vedena do zásobníkového průtokového ohřivače. Pokud voda, která sem dorazí, není dostatečně ohřátá, je zde dohřívána pomocí dodatkového zdroje tepla. Ve druhé variantě je bivalentní zásobník, který obsahuje dva výměníky tepla. Horní výměník slouží jako dodatkový zdroj tepla a udržuje horní část zásobníku na požadované teplotě.

4.2.2 Solární vytápění

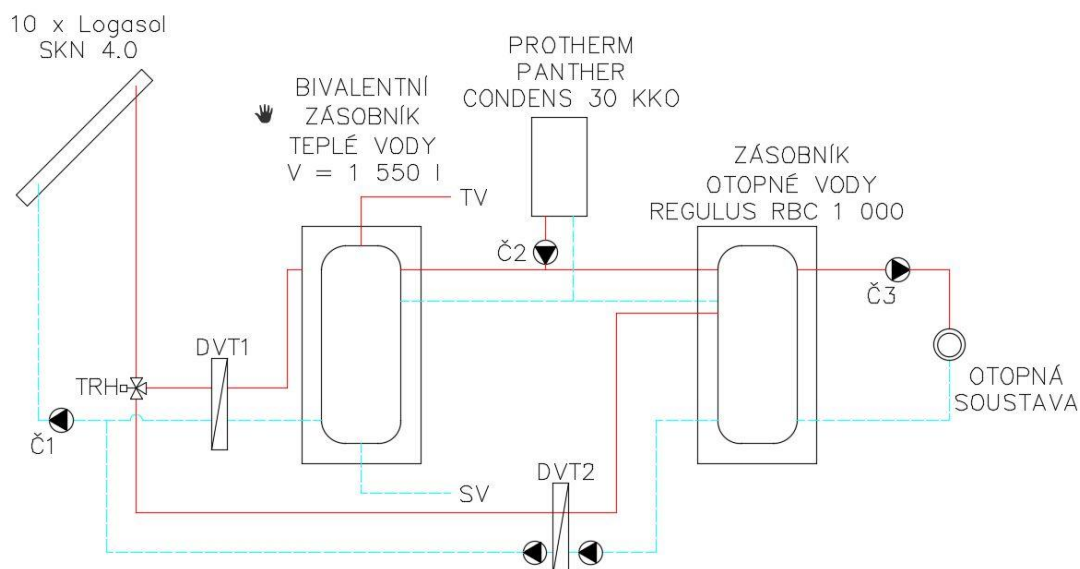
Se snižováním potřeby tepla na vytápění budov (nízkoenergetické domy, energeticky pasivní domy) nacházejí stále větší uplatnění solární soustavy sdružující přípravu teplé vody a vytápění, tzv. kombinované soustavy. Nižší tepelné ztráty budov vedou k rozvoji nízkoteplotní soustav, které umožňují účinně využít sluneční energii. [1]

Snížení energetické náročnosti budov na vytápění neznamena pouze celoroční nižší potřebu tepla, ale také odlišný průběh potřeby během roku. U nízkoenergetických a pasivních domů, které jsou obecně považovány za vhodné pro uplatnění solárních soustav kombinovaných s vytápěním, je v přechodovém období (duben – květen, září – říjen) potřeba tepla téměř nulová (viz obr. 15). [1]

Na obr. 16 je zobrazena možnost zapojení solární soustavy pro bytový dům v případě kombinované soustavy, tato soustava by se aplikovala i na bytový dům, který je předmětem této bakalářské práce.



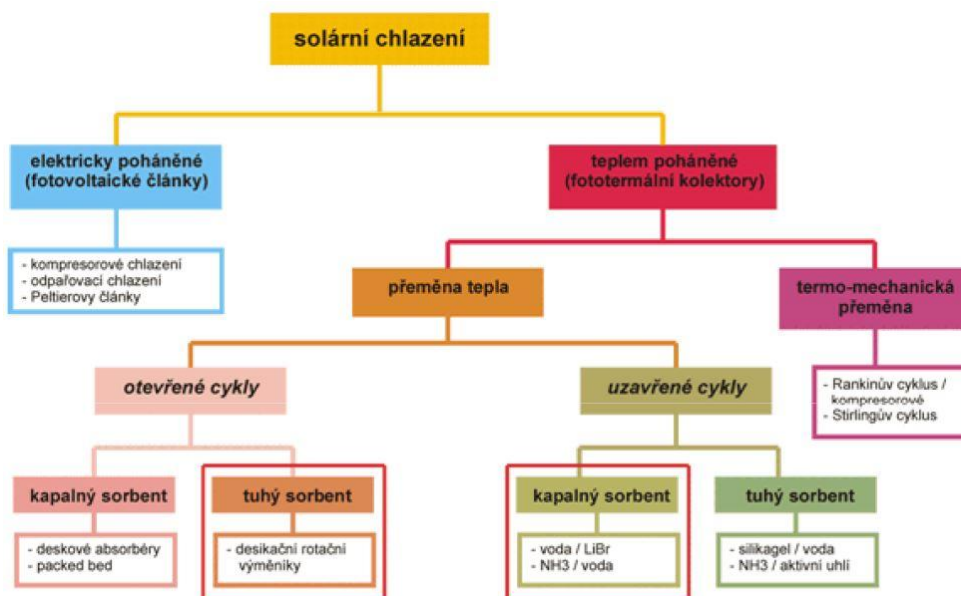
Obr. 15: Porovnání průběhu tepla na vytápění u běžného a pasivního domu [1]



Obr. 16: Solární soustava se dvěma zásobníky s dodatkovým zdrojem pro oba zásobníky

4.2.3 Solární chlazení

Zvyšující se nároky na tepelnou pohodu v obytných budovách v letním období na jedné straně a na druhé straně problémy přenosových sítí vlivem odběrových špiček způsobených provozem elektricky poháněných kompasových chladicích jednotek vedly k rozvoji teplem poháněných chladicích a klimatizačních zařízení. Právě v letním období, kdy běžně využívané solární soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění mají přebytky tepla vlivem sníženého odběru, je možné nadbytečnou tepelnou energii využít pro produkci chladu v solárních soustavách. [2]



Obr. 17: Možnosti využití sluneční energie pro chlazení a klimatizace.[4]

Na obr. 17, kde jsou zobrazeny možnosti využití sluneční energie pro chlazení a klimatizace, je vidět, že způsobů využití je několik. Z hlediska způsobu zacházení s chladivem lze rozlišit otevřené (absorpční, adsorpční) a uzavřené (desikační) cykly. V dnešní době jsou nejčastěji aplikovány absorpční jednotky v uzavřeném oběhu na bázi dvojice látek LiBr – voda nebo NH₃ – voda a otevřený oběh s desikačním rotačním výměníkem.

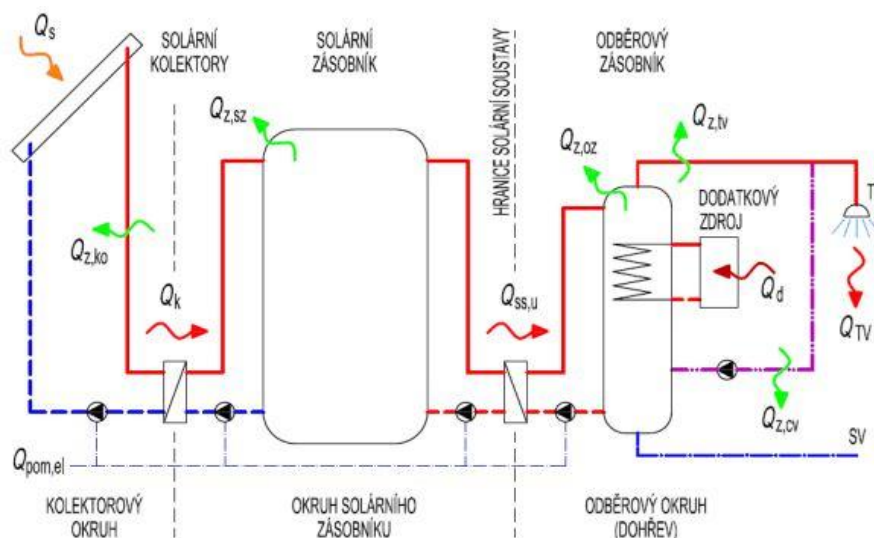
4.2.4 Solární větrání

V dnešní době kdy je snaha, co nejlépe izolovat domy a to také mimo jiné se stále těsnějšími okny, narůstají požadavky na řádné větrání, které splňuje hygienické požadavky. S větráním souvisí tepelné ztráty, které je třeba pokrýt. Kombinace konvekčních větracích systémů a využití sluneční energie umožňuje jednak snížit energetickou náročnost větrání a také snížit spotřebu tepla na vytápění. Omezenou využitelnost mají systémy v letním období.

4.3 Charakteristické parametry solárních soustav

Základním parametrem solárních soustav jsou celkové využití tepelné zisky, z nichž je možno odvodit další parametry pro hodnocení např.:

- roční úspora energie;
- měrné využití tepelné zisky solární soustavy $q_{ss, u}$ v kWh/(m²·rok);
- dodatková energie;
- solární pokrytí, solární podíl f v [%];
- provozní účinnost solární soustavy η_{ss} v [%];
- pomocnou elektrickou energii pro pohon soustavy $Q_{pom, el}$ a výkonové číslo COP.



Obr. 18: Zjednodušené schéma solární soustavy pro přípravu TV a její energetická bilance[3]

Za využití tepelné zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ v kWh/rok nebo GJ/rok jsou považovány ty, které solární soustava včetně zohlednění všech svých ztrát dodá do dodané aplikace pro krytí potřeby tepla. Tepelné zisky solární soustavy je vhodné v optimálním případě stanovit na skutečné hranici mez vlastní solární soustavou a danou aplikací (viz. obr. 18). [2]

5 Návrh solární soustavy na konkrétní projekt

V této kapitole bude proveden výpočet solární soustavy, návrh solárních kolektorů a zásobníku. Budou provedeny dva výpočty, jeden podle TNI 73 0302 a druhý výpočet bude proveden pomocí německého programu T*Sol.

5.1 Výpočet dle TNI 73 0302

Nejprve se vypočítá celková potřeba tepla pro náš konkrétní bytový dům s 27 osobami:

$$Q_{p,TV} = (1 + z) \frac{n \cdot V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6} \quad (5.1)$$

kde

n je počet dní v daném měsíci;

$V_{TV,den}$ průměrná denní potřeba teplé vody (při teplotním spádu 60/15 °C) v m³/den, stanoví se podle reálné spotřeby, případně z měrné potřeby teplé vody vztažené na měrnou jednotku, pro bytové domy – střední standart 40 l/os/den, v letních měsících 0,75-40 l/os/den;

ρ hustota vody, v kg/m³;

c měrná teplotní kapacita vody, v J/(kg·K);

t_{SV} teplota studené vody, uvažována celoročně 15°C;

t_{TV} teplota teplé vody, uvažována celoročně 60 °C;

z přírůžka pro zahrnutí tepelných ztrát souvisejících s přípravou teplé vody (rozvody TV a CV, zásobníkový ohřivač teplé vody), centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace = 0,15.

$$Q_{p,TV} = (1 + 0,15) \frac{n \cdot 1,08 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot (60 - 15)}{3,6 \cdot 10^6}$$

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n [dny]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]	2015	1820	2015	1950	2015	1950	1511	1511	1950	2015	1950	2015

Tab. 2: Potřeba tepla na přípravu teplé vody v daném měsíci

Celková měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody (viz tab. 2):

$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} \text{ [kWh/měs]} \quad (5.2)$$

Stanovení plochy kolektorů (pro měsíc červenec):

Značka: Buderus

Typ: Logasol SKN 4.0

Plocha apertury solárního kolektoru A_k : 2,25 m²

Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru a_1 : 3,126 W/m²·K

Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_2 : 0,015 W/m²·K

Optická účinnost kolektoru η_0 : 76,6 %

Úhel sklonu: 45°

$$A_{k,vyp} = \frac{Q_{p,c}}{q_k} = \frac{(1+p) \cdot Q_p}{\eta_k H_{T,den}} \quad (5.3)$$

kde

p je hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy, odhad 0,1 dle normy z roku 2009 pro přípravu teplé vody od 10 do 50 m²;

Q_p potřeba tepla;

$H_{T,den}$ skutečná denní dávka slunečního ozáření, kWh/(m²·den);

η_k střední denní (měsíční) účinnost solárního kolektoru.

Střední měsíční účinnost solárního kolektoru se stanoví z rovnice křivky účinnosti:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \left(\frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \quad (5.4)$$

kde

η_0 je optická účinnost kolektoru;

a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru;

a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru;

$t_{k,m}$ střední denní teplota teplotonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne ve °C, hodnota se uvažuje celoročně konstantní, odhad 40 °C dle normy z roku 2009 pro přípravu teplé vody, pokrytí 35 % < pokrytí 70 %.

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

$G_{T,m}$ střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů, ve W/m².

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$G_{T,m}$ [W/m ²]	418	489	535	527	521	517	512	515	516	488	427	387
$t_{e,s}$ [°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

Tab. 3: Hodnoty pro $G_{T,m}$ a $t_{e,s}$ v daném měsíci

$$\eta_k = 0,766 - 3,216 \cdot \left(\frac{40-20,50}{512} \right) - 0,015 \cdot \frac{(40-20,50)^2}{512} = 0,65$$

$$A_{k,vyp} = \frac{Q_{p,c}}{q_k} = \frac{(1+0,1) \cdot 2015,10}{0,65 \cdot 136,90} = 23,28 \text{ m}^2$$

Počet kolektorů:

$$n_k = \frac{23,28}{2,25} = 10,35 \rightarrow 11 \text{ solárních kolektorů}$$

$$A_{k,skut} = 11 \cdot 2,25 = 24,75 \text{ m}^2$$

Měsíční teoreticky využitelný tepelný zisk ze solární soustavy (viz tab. 4):

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot n \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad (5.5)$$

kde

η_k je střední denní (měsíční) účinnost solárního kolektoru;

n počet solárních kolektorů;

$H_{T,den}$ skutečná denní dávka slunečního ozáření, kWh/(m²·den), viz tab. 3;

A_k plocha apertury solárních kolektorů, v m²;

p hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy.

Střední měsíční účinnost solárního kolektoru se stanoví z rovnice křivky účinnosti:

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

Střední denní teplota teplotonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne:

$$t_{k,m} = 25 + 11\,000 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,c}} \quad (5.6)$$

kde

A_k je celková plocha solárních kolektorů, v m²;

$Q_{p,c}$ roční potřeba tepla v aplikaci pro krytí solární soustavou, v kWh/rok.

$$t_{k,m} = 25 + 11\,000 \frac{24,75}{22\,718,61} = 36,98 \text{ °C}$$

Hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy:

$$p = \frac{0,26}{A_k} + 100 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,c}} \quad (5.7)$$

kde

A_k je celková plocha solárních kolektorů, v m^2 ;

$Q_{p,c}$ roční potřeba tepla v dané aplikaci pro krytí solární soustavou, v kWh/rok.

$$p = \frac{0,26}{24,75} + 100 \cdot \frac{24,75}{22\,718,61} = 0,11$$

$$\eta_k = 0,776 - 3,216 \cdot \left(\frac{36,98-20,50}{512}\right) - 0,014 \cdot \frac{(36,98-20,50)^2}{512} = 0,65$$

Využitelný zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ v kWh/měs, pokrývající měsíční potřebu tepla v dané aplikaci, se vyjádří jako průnik celkové potřeby tepla a teoreticky využitelných tepelných zisků solárních kolektorů (viz tab. 4). Matematicky vyjádřeno:

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,c}) \quad (5.8)$$

Měrné roční využitelné tepelné zisky:

$$q_{ss,u} = \frac{\sum_{I}^{XII} Q_{ss,u}}{A_k} \quad (5.9)$$

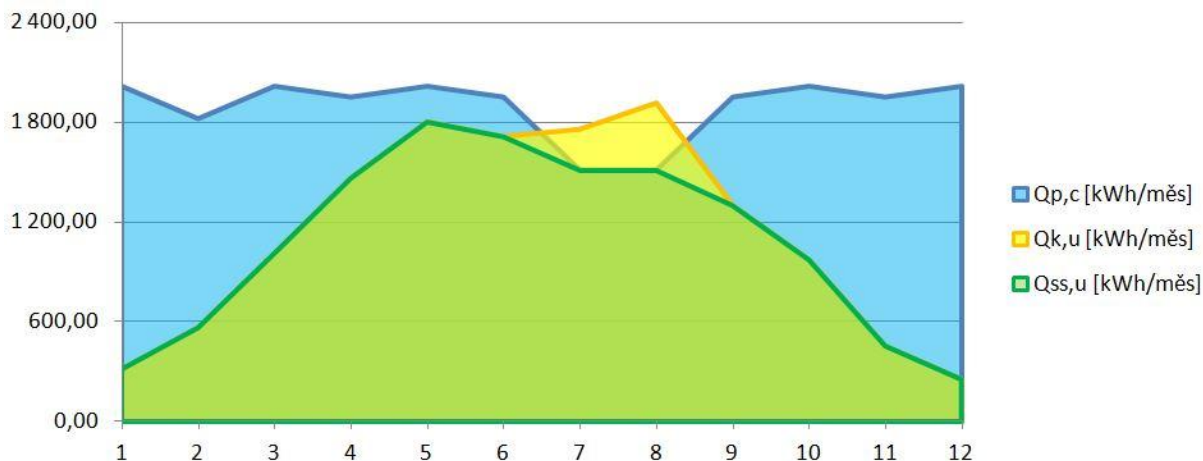
$$q_{ss,u} = \frac{12\,877}{24,75} = 520 \text{ kWh/rok}$$

Solární podíl f [%], tj. procentní pokrytí potřeby tepla v dané aplikaci využitelnými tepelnými zisky v daném období (viz tab. 4).

$$f = 100 \cdot \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} \quad (5.10)$$

měsíc	n [dny]	$Q_{p,c}$ [kWh/měs]	η_k [-]	t_{es} [°C]	$G_{T,m}$ [W/m ²]	$H_{T,měs}$ [kWh/m ² .měs]	$A_{k,skut}$ [m ²]	$Q_{k,u}$ [kWh/měs]	$Q_{ss,u}$ [kWh/měs]	f %	
leden	31	2 015,10	0,45	1,80	418	35,70	24,75	315,723	315,723	15,67	
únor	28	1 820,09	0,50	2,70	489	57,10	24,75	564,999	564,999	31,04	
březen	31	2 015,10	0,56	6,30	535	93,00	24,75	1012,681	1012,681	50,25	
duben	30	1 950,10	0,59	10,70	527	127,40	24,75	1464,191	1464,191	75,08	
květen	31	2 015,10	0,62	16,00	521	147,30	24,75	1802,268	1802,268	89,44	
červen	30	1 950,10	0,64	18,60	517	136,10	24,75	1713,397	1713,397	87,86	
červenec	31	1 511,32	0,65	20,50	512	136,90	24,75	1757,471	1511,324	116,29	
srpen	31	1 511,32	0,66	21,10	515	148,10	24,75	1915,666	1511,324	126,75	
září	30	1 950,10	0,63	17,10	516	105,10	24,75	1299,922	1299,922	66,66	
říjen	31	2 015,10	0,58	11,70	488	85,60	24,75	973,355	973,355	48,30	
listopad	30	1 950,10	0,50	6,40	427	46,10	24,75	454,641	454,641	23,31	
prosinec	31	2 015,10	0,45	3,60	387	29,00	24,75	253,341	253,341	12,57	
		Σ 22718,60966	[kWh/rok]					Σ 12877,167	[kWh/rok]		

Tab. 4: Souhrn všech výsledků pro jednotlivé měsíce



Obr. 19: Graf bilance energie

5.2 Návrh pomocí programu T*Sol

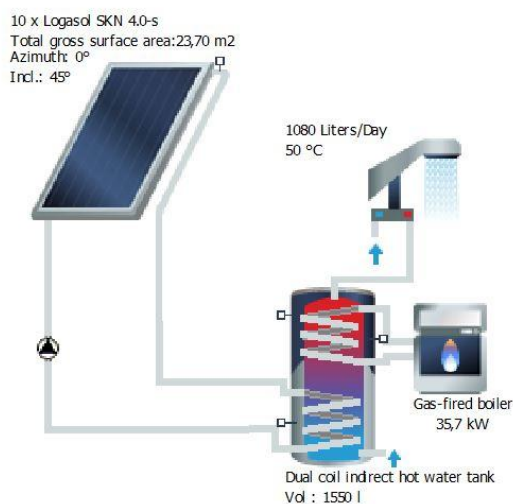
Okrajové podmínky:

Klimatické podmínky: program T*Sol má databázi více než 8 000 lokalit a k nim klimatická data, proto byla jen vybrána oblast, ve které se nachází řešený bytový dům.

Údaje související s ohřevem teplé vody:

- Průměrná potřeba vody: 1 080 l
- Profil spotřeby: bytový dům

Bytový dům Sylvie



Results of annual simulation

Installed collector power:		16,59 kW
Installed solar surface area (gross):		23,7 m ²
Irradiation on collector surface (active):	26 735,80 kWh	1 188,26 kWh/m ²
Energy delivered by collectors:	11 543,74 kWh	513,06 kWh/m ²
Energy delivered by collector loop:	11 100,19 kWh	493,34 kWh/m ²
DHW heating energy supply:		18 491,05 kWh
Solar energy contribution to DHW:		10 826,55 kWh
Energy from auxiliary heating:		8 399,8 kWh
Natural gas (H) savings:		1 539,5 m³
CO₂ emissions avoided:		3 255,47 kg
DHW solar fraction:		56,3 %
Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):		57,3 %
System efficiency:		40,5 %

Bytový dům Sylvie

Site Data

Climate data

Location:	Řevnice
Climate data record:	Řevnice
Total annual global irradiation:	1070,52 kWh/m ²
Latitude:	49,91 °
Longitude:	-14,24 °

Domestic hot water

Average daily consumption:	1,08 m ³
Desired temperature:	50 °C
Consumption profile:	Multiple dwelling (VDI 6002)
Cold water temperature:	February: 6,5 °C August: 12,5 °C
Circulation:	no

System

Collector loop

Manufacturer:	Buderus
Type:	Logasol SKN 4.0-s
Number:	10,00
Total gross surface area:	23,7 m ²
Total active solar surface area:	22,5 m ²
Inclination (Tilt Angle):	45 °
Orientation:	180 °
Azimuth:	0 °

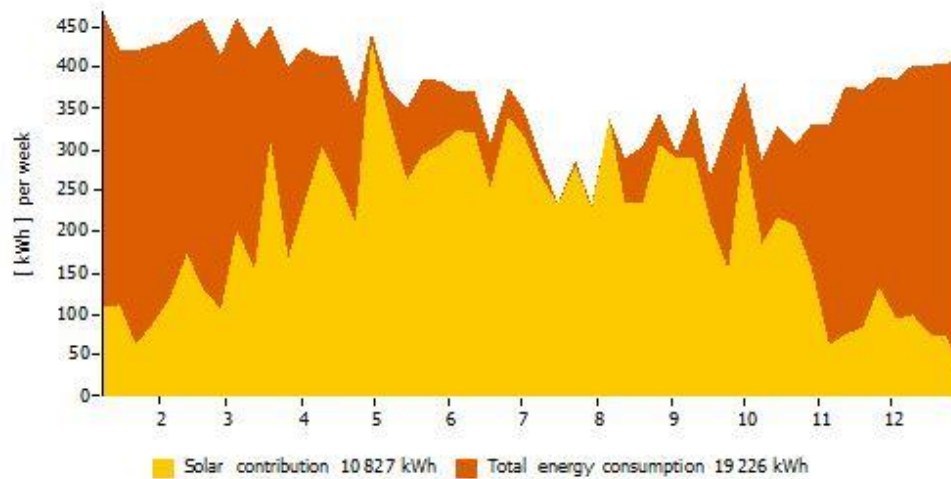
Dual coil indirect hot water tank

Manufacturer:	Standard
Type:	Dual coil indirect hot water tank
Volume:	1,55 m ³

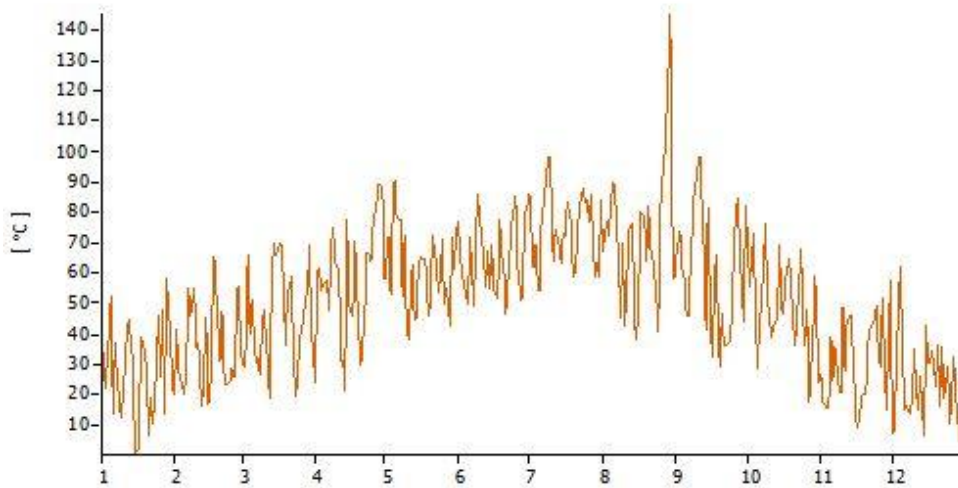
Auxiliary heating

Manufacturer:	Standard
Type:	Gas-fired boiler
Nominal output:	35,7 kW

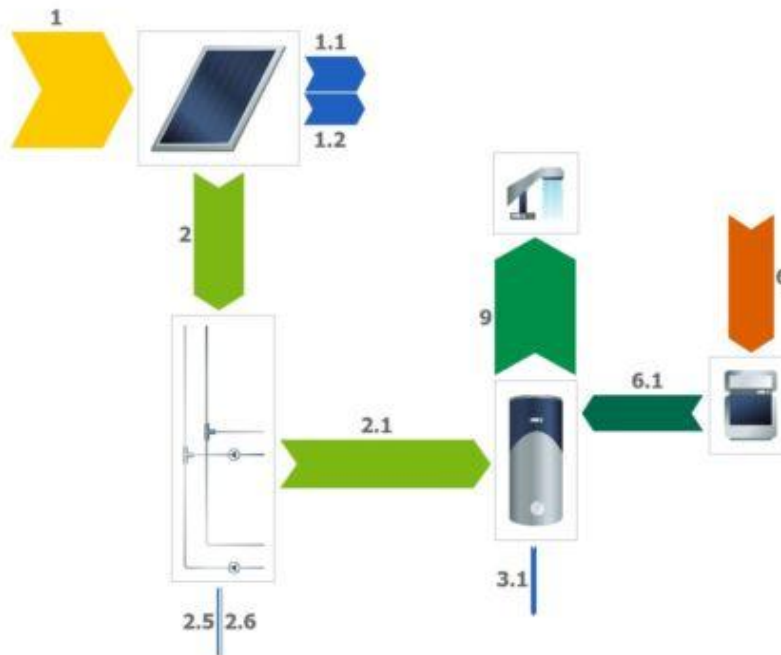
Solar energy consumption as percentage of total consumption



Daily maximum collector temperature



Energy balance schematic



Legend

1	Irradiation on collector surface (active)	26 736 kWh
1.1	Optical collector losses	8 051 kWh
1.2	Thermal collector losses	7 141 kWh
2	Energy from collector array	11 544 kWh
2.1	Solar energy to storage tank	11 100 kWh
2.5	Internal piping losses	366 kWh
2.6	External piping losses	78 kWh
3.1	Tank losses	1 026 kWh
6	Final energy	10 401 kWh
6.1	Supplementary energy to tank	8 400 kWh
9	DHW energy from tank	18 491 kWh

Obr. 20: Výstup z programu T*Sol

Podle programu T*Sol bylo navrženo 10 solárních kolektorů Buderus Logasol SKN 4.0 o celkové aktivní ploše 22,5 m². Bivalentní zásobník byl navržen na objem 1,55 m³.

Využitelné zisky solární soustavy $Q_{ss,u} = 10\,827$ kWh.

Celková potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,c} = 19\,226$ kWh

5.3 Porovnání výsledků výpočtů TNI 73 0302 a T*Sol

			TNI 73 0302	T*Sol
Celková plocha	A_k	m ²	24,75	22,5
Počet kolektorů	n	ks	11	10
Celková roční potřeba tepla na přípravu TV	$Q_{p,c}$	kWh/rok	22 719	19 226
Celkové využitelné zisky solární soustavy	$Q_{ss,u}$	kWh/rok	12 877	10 827
Měrné roční využitelné tepelné zisky	$q_{ss,u}$	kWh/rok	520	481

*Tab. 5: Porovnání výsledků výpočtů dle TNI 73 0302 a T*Sol*

Výsledky obou výpočtů vyšly přibližně podobné. Odchylna výpočtů je pravděpodobně dána tím, že program počítá podle detailnějších informací o klimatických podmínkách a také například zohledňuje denní profil spotřeby teplé vody. Mimo jiné se musí brát v potaz, že výpočet dle TNI 73 0302 je pouze zjednodušený výpočtový postup.

5.4 Finanční analýza

V následující tabulce (tab. 6) jsou uvedené hrubé cenové odhady, které jsou podloženy cenami z katalogů výrobců, převážně firma Buderus, nejedná se tedy o přesnou cenu.

Položka	Pozn.	Cena celkem v Kč
Solární kolektory Logasol SKN 4.0	10 ks	161 000
Bivalentní zásobník	1550 l	81 900
Solární stanice	-	11 200
Solární látka	10 l	1 160
Montážní sady	2 řady	6 840
Hydraulické připojení:		
Připojovací sada	2 řady	3240
Odvzdušňovací sada	2 řady	5 020
Expanzní nádoba	25 l	2 040
Potrubí	20 m	5 020
Práce:		
Montáž	-	7 000
Plnění solární látkou	-	1 200
Cena celkem	Σ	285 620
Rezerva	15%	38 793
Konečná cena	Σ	328 463

Tab. 6: Hrubý cenový odhad investice

V následujících výpočtech budeme uvažovat výsledky, které máme z programu T*Sol. Množství potřeby tepla na ohřev teplé vody, které nezvládnou pokrýt panely:

$$Q_{p,c} - Q_{ss,u} = 19\,226 - 10\,827 = 8\,399 \text{ kWh/rok}$$

Potřeba paliva na dohřev $B_r \text{ m}^3/\text{rok}$:

$$B_r = \frac{Q_r \cdot 3\,600}{\eta \cdot H} \quad (5.11)$$

kde

Q_r je roční potřeba tepla na přípravu teplé vody, v MWh/rok;

η roční účinnost kotle;

H výhřevnost paliva, v MJ/m³, pro zemní plyn 34 MJ/m³.

$$B_r = \frac{8,399 \cdot 3\,600}{0,98 \cdot 34} = 907,5 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Pokud budeme uvažovat stejnou průměrnou denní potřebu vody jako v případě návrhu solárních kolektorů, tedy 40 l/os/den, ale nebudeme využívat k ohřevu teplé vody solární energii, ale pouze energii dodanou z plynového kotle, množství potřeby tepla na ohřev teplé vody bude dle výpočtu níže:

Potřeba tepla odebraného z ohřivače E_{2p} v Wh/den:

$$E_{2p} = E_{2t} + E_{2z} \quad (5.12)$$

kde

E_{2t} je teoretické teplo na ohřátí množství V_{2p} , ve Wh/den;

E_{2z} teplo ztracené při ohřevu a dopravě, ve Wh/den.

$$E_{2t} = V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (5.13)$$

kde

V_{2p} je potřeba TV za časovou periodu, v m^3 /den, 1,08 m^3 /den;

ρ hustota vody, 1000 kg/m^3 ;

c měrná tepelná kapacita vody, 4182 J/kg.K, 1,163 Wh/kg.K;

t_1 teplota studené vody, 10 °C;

t_2 teplota teplé vody, 55 °C.

$$E_{2t} = 1,08 \cdot 1\,000 \cdot 1,163 \cdot (55 - 10) = 56\,522 \text{ Wh/den}$$

$$E_{2z} = E_{2t} \cdot z \quad (5.14)$$

kde

z je ztráta tepla při ohřevu.

$$E_{2z} = 56\,522 \cdot 0,5 = 28\,261 \text{ Wh/den}$$

$$E_{2p} = 56\,522 + 28\,261 = 84\,783 \text{ Wh/den}$$

Roční potřeba tepla na přípravu TV:

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \frac{55-t_{svl}}{55-t_{svz}} \cdot (N - d) \quad (5.15)$$

kde

$Q_{TV,d}$ je denní potřeba tepla na přípravu TV = E_{2p} ;

d počet dnů za rok s teplotou < 13°C, 254 dnů viz tab. dle ČSN 38 3350 a ČSN 06 0210;

t_{svl} teplota studené vody v létě, 15 °C;

t_{svz} teplota studené vody v zimě, 8 °C;

N počet pracovních dní soustavy v roce, 360 dnů.

$$Q_{TV,r} = 84\,783 \cdot 254 + 0,8 \cdot 84\,783 \cdot \frac{55-15}{55-8} \cdot (360 - 254) = 27\,653\,591 \text{ Wh/rok.}$$

Potřeba paliva pro pokrytí této potřeby tepla je:

$$B_{r,2} = \frac{Q_r \cdot 3\,600}{\eta \cdot H} = \frac{27,65 \cdot 3\,600}{0,98 \cdot 34} = 2\,987,8 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Při ceně paliva 9,51 Kč/m³ nám vyjdou roční náklady pro dohřev 8 630 Kč/rok a v případě, že budeme vytápět pouze pomocí kotle, nás vyjdou roční náklady na 28 414 Kč/rok. Se solárními panely tedy ušetříme 19 784 Kč/rok oproti variantě, kdy vytápíme pouze pomocí kotle.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ušetřím	0	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784
Výdaje	328 463	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630
CF	-328 463	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154
kum CF	-328 463	-317 309	-306 155	-295 001	-283 847	-272 693	-261 539	-250 385	-239 231	-228 077	-216 923
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Ušetřím	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	19 784	
Výdaje	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	8 630	
CF	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	11 154	
kum CF	-205 769	-194 615	-183 461	-172 307	-161 153	-149 999	-138 845	-127 691	-116 537	-105 383	

Obr. 21: Návratnost investice

Jestliže budeme uvažovat životnost solárních panelů 20 let, můžeme na obr. 21 vidět, že ani po 20 letech se nám investovaná částka 385 587 Kč nevrátí z ušetřených peněz za palivo, tudíž bychom mohli dojít k závěru, že se na tento konkrétní projekt panely nevyplatí. V této analýze nejsou ovšem zahrnuty všechny položky, které by mohly hrát velkou roli, jedná se pouze o základní přehled. Například velkou roli by hrály dotace, které by mohly pokrýt značnou část nákladů, popřípadě výhodné tarify cen zemního plynu. Na druhé straně nejsou zde zahrnuty i výdaje například na údržbu kolektorů.

6 Závěr

V úvodu práce se pojednává o úplném počátku sluneční energie, jak se energie dostává a v jaké formě z vesmíru až k nám na zemský povrch. Využívání sluneční energie v odvětví solárních tepelných soustav je čím dál tím více populární, tato energie má nevyčerpatelný zdroj, který je zadarmo a představuje zdroj energie, který chrání životní prostředí.

Dále tato práce řeší základní druhy kolektorů, jejich konstrukci a princip jakým se pohlcená energie dostává dále do solární soustavy. Jsou zde řešeny jednotlivé části solární soustavy a na závěr jsou zmíněny typy solárních soustav aplikované na bytové domy. Je zmíněna i historie ČR, co se solárních soustav týče, která sahá až do Československa.

Výpočtová část této práce porovnává dva způsoby výpočtů. Jeden je proveden dle TNI 73 0302 a druhý pomocí programu T*Sol. Další částí je základní finanční přehled a vyhodnocení investice do solárních kolektorů, která pro tento konkrétní projekt vyšla negativně. Nebyly zahrnuty všechny vlivy, které mohou hrát velkou roli.

Literatura

- [1] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 9788024735252.
- [2] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. Praha: Grada, 2010. Profi & hobby. ISBN 9788024735030.
- [3] <http://www.tzb-info.cz/>
- [4] Sborník přednášek k 1. části kurzu. *Solární tepelné soustavy*. Centrum technologických informací a vzdělání – CTIV. Fakulta strojní ČVUT v Praze.
- [5] <http://www.regulus.cz/>
- [6] TNI 73 0302. *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 16 p.

Seznam obrázků

Obr. 1: Podíl přímého (tmavá) a difuzního (světlá) slunečního záření během roku pro různá místa Evropy při optimálním sklonu [1]	5
Obr. 2: Roční dávky slunečního záření na vodorovnou plochu v ČR v MJ/(m ² .rok)[1].....	6
Obr. 3: Základní součásti solárního tepelného kolektoru [1]	8
Obr. 4: Rozdělení solárních kolektorů[4]	9
Obr. 5: Jednostěnná vakuová trubka (plochý absorbér) a dvojstěnná vakuová trubka (válcový absorbér, teplosměnná lamela)[5]	10
Obr. 6: Schematické znázornění energetické bilance kolektoru [4]	11
Obr. 7: Definice plochy zasklení a absorbéru solárních kolektorů: A) plochý; B) trubkový s plochým absorbérem; C) trubkový s válcovým absorbérem; D) trubkový s válcovým absorbérem a reflektorem [2]	12
Obr. 8: Typické křivky účinnosti různých konstrukcí solárních kolektorů [2]	12
Obr. 9: Vodní zásobník kombinovaný (TV+VYT) [4]	13
Obr. 10: Rozlišení zásobníků podle počtu výměníků [4]	13
Obr. 11: Různé způsoby řízeného teplotního vrstvení [3].....	14
Obr. 12: Vývoj solárních kolektorů v historii ČR [1].....	15
Obr. 13: První firemní prospekt československého kolektoru SP 79 [19]	15
Obr. 14: Solární soustava s a) předřazeným solárním zásobníkem teplé vody a s b) bivalentním solárním zásobníkem teplé vody [3]	17
Obr. 15: Porovnání průběhu tepla na vytápění u běžného a pasivního domu [1].....	18
Obr. 16: Solární soustava se dvěma zásobníky s dodatkovým zdrojem pro oba zásobníky	18
Obr. 17: Možnosti využití sluneční energie pro chlazení a klimatizace.[4]	19
Obr. 18: Zjednodušené schéma solární soustavy pro přípravu TV a její energetická bilance[3].....	20
Obr. 19: Graf bilance energie	24
Obr. 20: Výstup z programu T*Sol	27
Obr. 21: Návrh investice	31

Seznam tabulek

Tab. 1: Hodnoty celkového slunečního ozáření [1].....	5
Tab. 2: Potřeba tepla na přípravu teplé vody v daném měsíci.....	21
Tab. 3: Hodnoty pro $G_{T,m}$ a $t_{e,s}$ v daném měsíci	22
Tab. 4: Souhrn všech výsledků pro jednotlivé měsíce	23
Tab. 5: Porovnání výsledků výpočtů dle TNI 73 0302 a T^*Sol	28
Tab. 6: Hrubý cenový odhad investice	29