



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

ZPRACOVÁNÍ PROJEKTU TEPELNÉHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

PROJECT OF SOLAR HEATING SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. WALTER ULLMANN

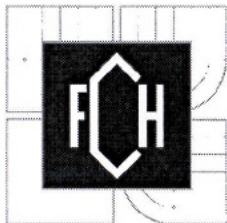
AUTHOR

VEDOUcí PRÁCE

Ing. JOSEF KOTLÍK, CSc.

SUPERVISOR

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce: **FCH-DIP0554/2010** Akademický rok: **2010/11**
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí
Student(ka): **Bc. Walter Ullmann**
Studijní program: Chemie a technologie ochrany životního prostředí (N2805)
Studijní obor: Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805T002)
Vedoucí práce: **Ing. Josef Kotlík, CSc.**
Konzultanti:

Název diplomové práce:

Zpracování projektu tepelného solárního systému

Zadání diplomové práce:

Zpracování projektu termického solárního systému s využitím integrované řídicí jednotky.

1. Navrhnout optimalizované vícezdrojové zásobování reálného objektu tepelnou energií.
2. Navrhnout konkrétní technické řešení a měření uzlových parametrů.
3. Zpracovat výkresovou dokumentaci.
4. Provést výpočet předpokládaných ekonomických přínosů.

Termín odevzdání diplomové práce: 13.5.2011

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

Bc. Walter Ullmann
Student(ka)

Ing. Josef Kotlík, CSc.
Vedoucí práce

doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 23.11.2010

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá zpracováním projektu termického solárního systému pro celoroční provoz. Cílem práce je provést dimenzování, návrh jednotlivých komponent a propočítat ekonomickou a ekologickou bilanci.

ABSTRACT

The diploma thesis studies the elaboration of project about thermal solar system for all-season service. The aim of the work was to make a proportioning, choosing the right parts and calculating the economic and ecologic balance.

KLÍČOVÁ SLOVA

Solární systém, solární kolektory, energie, regulace, dimenzování, bilancování

KEYWORDS

Solar system, solar collectors, energy, regulation, proportioning, balance

ULLMANN, W. *Zpracování projektu tepelného solárního systému*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 73 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Kotlík, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto chci poděkovat svojí manželce Silvii Ullmannové za spoustu trpělivosti a obrovskou podporu během studia.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis studenta

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	Solární energie.....	8
2.1	Slunce jako zdroj energie	8
2.2	Průchod slunečního záření atmosférou.....	8
2.3	Jednotlivé formy slunečního záření	9
2.4	Globální záření	10
2.5	Nabídka slunečního záření.....	11
3	možná Využití solární energie v Tepelných solárních zařízeních.....	12
3.1	Možnosti použití tepelných solárních systémů.....	12
3.1.1	Solární ohřev pitné vody	13
3.1.2	Solární vytápění.....	13
3.1.3	Ohřev vody v bazénech	14
3.2	Energeticky úsporný dům.....	15
4	Komponenty solárního systému.....	17
4.1	Solární kolektory	17
4.1.1	Spojení více kolektorů.....	19
4.2	Tepelný zásobník.....	20
4.2.1	Teplotní vrstvení v zásobníku	20
4.2.2	Vliv připojení potrubí.....	21
4.2.3	Tepelné ztráty	22
4.2.4	Standardní funkce zásobníku při úpravě teplé vody	24
4.2.5	Zásobníky tepla s teplotní stratifikací	24
4.2.6	Zásobníky tepla se změnou skupenství	26
4.3	Solární okruh	28
4.4	Teplonosné médium	28
4.4.1	Vlastnosti teplonosných médií	28
4.4.2	Použitelná teplonosná média.....	29
4.5	Potrubí	31
4.6	Čerpadlo.....	32
4.7	Regulační a řídicí zařízení	33
4.8	Pojistná zařízení.....	33
5	Charakteristia projektu	34
5.1	Umístění projektu a jeho charakteristika	34
5.2	Stavebně-technické parametry stavby	37

5.3	Ztráty tepla v budově	37
6	Dimenzování solární Soustavy	39
6.1	Skutečná a teoretická denní dávka sluneční energie na plochu kolektoru.....	40
6.2	Stanovení ideálního sklonu kolektorů projektu	44
6.3	Výpočet skutečné energie dopadající na osluněnou plochu	46
6.4	Stanovení potřebné energie pro ohřev pitné vody	48
6.5	Stanovení potřebné energie pro vytápění domu	51
6.6	Výběr vhodného solárního kolektoru a stanovení potřebné plochy	52
6.7	Stanovení potřebné plochy kolektorů a jejich počtu	53
6.8	Energetické zisky a výkon zvoleného počtu solárních kolektorů.....	55
6.9	Výběr vhodného čerpadla.....	57
6.10	Výběr expanzní nádoby	57
6.11	Výběr vhodného potrubí	57
6.12	Výběr tepelného zásobníku.....	57
6.13	Výběr vhodné teplotnosné kapaliny.....	58
6.14	Regulace systému.....	58
6.14.1	Distribuce tepla	58
6.14.2	Zajištění kvality teplé vody	59
6.14.3	Zajištění topení.....	59
6.14.4	Bazén.....	59
6.14.5	Natočení panelů.....	59
6.14.6	Provozní schéma	60
7	Stanovení ekonomických přínosů systému	62
7.1	Cenová kalkulace systému.....	62
7.2	Srovnání ceny energie s jinými zdroji	63
7.3	Návratnost projektovaného solárního systému	64
8	Stanovení ekologických přínosů systému	66
9	Závěr.....	68
10	Citované zdroje	69
11	Seznam použitých symbolů a zkratk	71
11.1	Symboly	71
11.2	Zkratky.....	72
12	Seznam příloh.....	73

1 ÚVOD

Pomalou se blíží doba, kdy se lidstvo bude muset uskromnit ve svých potřebách energie a začít se poohlížet po jejich nových zdrojích. Zásoby fosilních zdrojů energie se pomalu ztenčují a dříve či později dojde k jejich vyčerpání. Je třeba zaměřit výzkum v oblastech energetiky na nové možnosti zásobování energií.

Obnovitelné zdroje tyto možnosti nabízí. Bohužel byly však doposud velmi opomíjené. Ať už jde o energii vodních mas, větru nebo právě o energii solární. Jedná se o čisté zdroje energie, které nezatěžují životní prostředí. Navíc tyto zdroje jsou v podstatě nevyčerpatelné a nehrozí, že jednoho dne prostě dojdou. Ať chceme nebo ne, snížení spotřeby energie se musí týkat každého z nás. Především lidé z bohatých a průmyslově rozvinutých zemí světa by se měli zamyslet a omezit svoje energetické nároky. Tito lidé svým vysokým energetickým standardem ohrožují jak životní prostředí, tak i v podstatě další fungování společnosti jako takové. Bez nadsázky lze říci, že stabilita společnosti je na energii závislá. Proto lidé z rozvinutých zemí by si měli uvědomit, k čemu toto plýtvání energií vede.

Cílem této práce bude přiblížit možnosti solární energie jako takové, a v praktické části navrhnout, pro konkrétní novostavbu domu v Podolí u Brna, řešení zásobování tohoto domu tepelnou energií. V práci bude vypracován návrh technického řešení ohřevu vody a vytápění domu pomocí solárního systému. Dále budou vypočítány konkrétní energetické výnosy tohoto solárního systému během roku. V rámci návrhu systému budou vybrány konkrétní komponenty solárního systému a bude provedena jeho optimalizace. V závěru práce budou zhodnoceny jeho ekonomické a environmentální přínosy a bude provedeno porovnání s fosilními zdroji energie.

2 SOLÁRNÍ ENERGIE

2.1 Slunce jako zdroj energie

Solární energie patří mezi nevyčerpatelné zdroje energie. Její využití nemá žádné negativní dopady na životní prostředí. Množství využitelné energie závisí na klimatických podmínkách jednotlivých částí zemského povrchu. Lze ji dobře využívat nejen v oblastech s dlouhým slunečním svitem, ale i s vyšší nadmořskou výškou.

Sluneční záření přicházející z kosmu je z části odraženo zpět do kosmu mraky, částicemi obsaženými v atmosféře a povrchem, z části rozptýleno atmosférou a z části (především viditelné světlo) dorazí k zemskému povrchu a tam je pohlceno. Na druhé straně Země vyzařuje teplo v podobě infračerveného světla, které je absorbováno atmosférou a vyzařováno částečně do volného kosmu a částečně zpět k zemskému povrchu.

Sluneční záření je energie emitovaná, jako důsledek termonukleárních reakcí na slunci. Přeměnou atomů vodíku na hélium se uvolňuje obrovské množství energie ve formě elektromagnetického záření. Vzhledem k tomu, že vyčerpání zásob vodíku na Slunci je očekáváno až v řádu miliard let, je tento zdroj energie označován jako obnovitelný. Intenzita záření na povrchu slunce je asi 63 000 kW/m². Z tohoto množství energie obdrží země malou, ale přesto velmi značnou část. Samotná energie záření dopadajícího na zemský povrch činí 219 000 000 miliard kWh ročně, což odpovídá 2 000 násobku současných světových energetických potřeb. Na vnějším okraji atmosféry představuje průměrná intenzita záření 1 360 W/m² (tzv. sluneční konstanta). Ve skutečnosti není konstantní, neboť oběžná dráha Země kolem Slunce je eliptická, a to způsobuje kolísání ve velikosti solární konstanty přibližně 3% (asi 40 W/m²). Malé změny solární konstanty jsou též spjaty s cykly sluneční aktivity, ty ale dosahují maximálně desetin procenta.[9]

2.2 Průchod slunečního záření atmosférou

Během vlastního průchodu záření atmosférou dochází k absorpci, rozptylu, odrazu a emisi. Tím se vlastně zmenšuje intenzita slunečního záření. Mírou tohoto zmenšení intenzity je součinitel znečištění Z (je definován pomocí Linkeho vztahu), který závisí na obsahu příměsí ve vzduchu a na nadmořské výšce. Součinitel, udává, kolikrát by musela být čistá atmosféra hmotnější, aby měla stejnou propustnost pro sluneční radiaci, jako atmosféra znečištěná

Linkeho vztah: [8]

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_c}$$

kde

I_0 ... sluneční konstanta (1,36 kW/m²)

I_n ... intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění

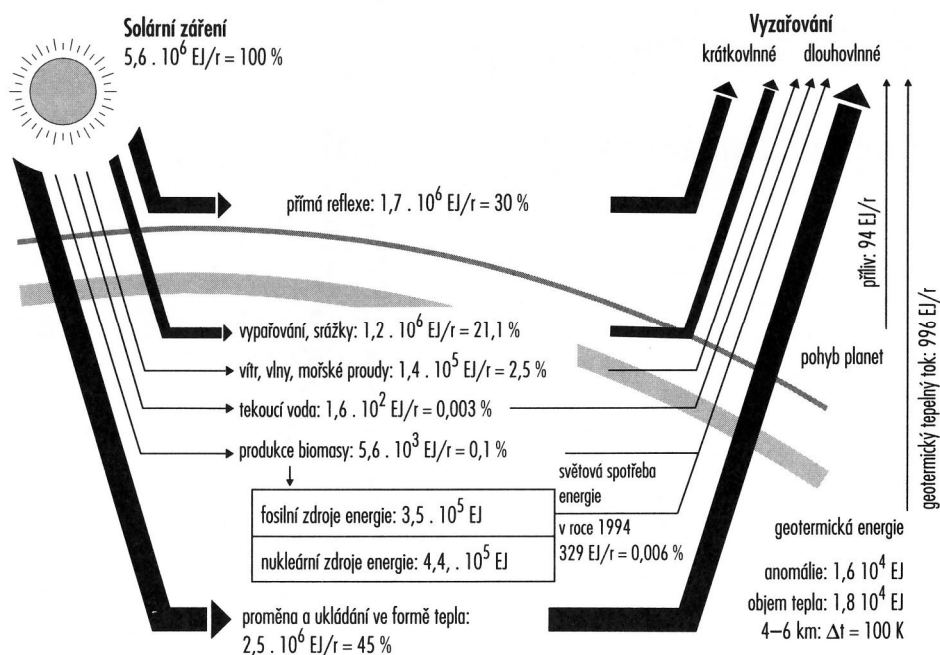
I_c ... intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší

Velikost součinitele znečištění atmosféry se během roku v daném místě mění. Závisí na teplotě během dne i roku a tím spojené množství vodní páry obsažené ve vzduchu. Se vzrůstající teplotou roste i množství vodní páry. Dále pak na výkyvech počasí a množství exhalací. Obecně lze říci, že s nadmořskou výškou hodnota součinitele znečištění klesá, naopak s nárůstem teploty zase stoupá.

2.3 Jednotlivé formy slunečního záření

Podle zákona zachování energie se sluneční energie, dopadající na planetu Zemi, přeměňuje beze zbytku v jiné formy: [2]

- Energie fosilních paliv, která vznikla v dávné minulosti z rostlinné nebo živočišné biomasy.
- Energie větru, lišící se intenzitou ohřevu jednotlivých částí planety vyvolává větrné proudění. Vítr může navíc vyvolávat na vodní hladině vznik vln.
- Energie biomasy, vzniklá přeměnou sluneční energie na energii chemických vazeb v organických sloučeninách fotosyntézou. Sem patří nejen energetické využití biomasy při spalování, ale i potravní využití živočichy (konzumenty).
- Vodní energie, kde sluneční energie představuje hybnou sílu pro koloběh vody.
- Teplo, které je většinou projevem ztrát při energetických přeměnách.
- Vlastní nepřeměněná sluneční energie.



Obrázek 2.1 Toky energie na Zemi. [3]

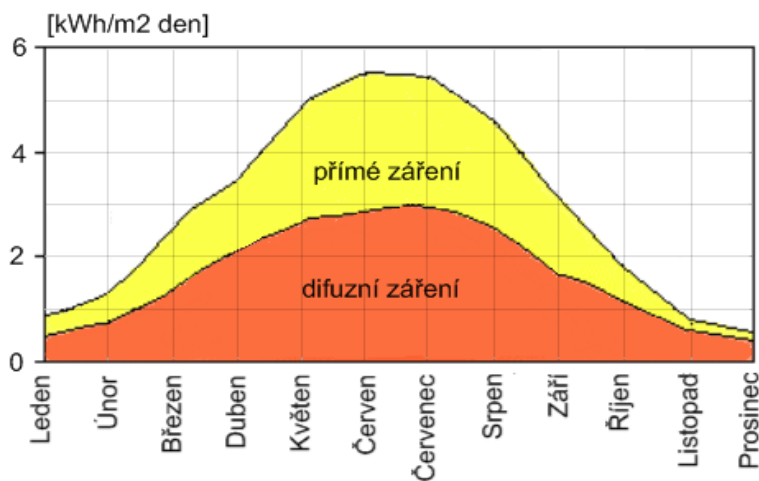
2.4 Globální záření

Jasná a bezmračná obloha umožňuje záření dopadat přímo na povrch Země bez toho, aby měnilo směr. Toto přímé záření I_p lze koncentrovat (čočky, zrcadla). Rozptylem toho záření v mracích a částicích v atmosféře vzniká difuzní záření I_d (záření oblohy), které nelze koncentrovat. Souhrn těchto záření se označuje jako globální záření.

$$I = I_D + I_p [11]$$

kde I je globální záření, I_D je difuzní záření a I_p je přímé záření, vše v jednotkách $[W/m^2]$

- Ve střední Evropě kolísá intenzita globálního slunečního záření v poledních hodinách od 100 do 1000 W/m^2 .
- Roční sumy globálního záření dopadajícího na 1 m^2 vodorovné plochy v ČR kolísají od 950 do 1250 kWh/m^2 .



Obrázek 2.2 Podíl difuzního záření v České republice.[9]

Čím více vodní páry obsahuje atmosféra a čím je tedy vyšší podíl difuzního záření, tím je energie globálního záření menší. V letních obdobích je podíl difuzního záření cca 50% z energie globálního a v zimních měsících je tento podíl asi 70%.

Tabulka 2.1 Specifické zářivé energie a podíl difuzního záření při různých povětrnostních podmínkách.[3]

	Záření (W/m^2)	Difuzní podíl
Modré nebe	800-1000	10
Zamlžené nebe	600-900	až 50
Mlhavý podzimní den	100-300	100
Zamračený zimní den	50	100
Celoroční průměr	600	50-60

2.5 Nabídka slunečního záření

Pro vlastní návrh konkrétních projektů solárních soustav je potřebné nějakým způsobem vyjádřit nabídku záření ze Slunce v konkrétních číslech. Celosvětově jsou na meteorologických stanicích měřeny dvě zajímavé hodnoty pro solární zařízení a to:

- *Délka slunečního svitu (měřená v hodinách měsíc či rok)*
- *Zářivá energie (dopadající na vodorovnou plochu, nebo přesněji denní nebo měsíční sumy globálního záření na vodorovnou plochu, měřené ve watthodinách na m^2 (Wh/m^2))*

3 MOŽNÁ VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE V TEPELNÝCH SOLÁRNÍCH ZAŘÍZENÍCH

Tepelná solární zařízení jsou systémy, které prostřednictvím tzv. solárních kolektorů (sběračů) využívají energii ze slunečního záření a přeměňují ji na energii tepelnou tak, že teplo je kolektorem předáváno kapalině solárního okruhu, která proudí potrubím do zásobníku, a tam je teplo díky výměníku dále využíváno. Základní soustava se skládá ze slunečního kolektoru, tepelného zásobníku a solárního okruhu. V rámci této diplomové práce budou popsány základní tepelné solární systémy a jejich funkce. Jednotlivé komponenty a princip jejich funkce si více přiblížíme v kapitole 4. Při stavbě těchto soustav je nutné jednotlivé komponenty optimalizovat a sladit tak, aby bylo co nejlépe využito střídavé a u nás nepříliš vydatné nabídky slunečního záření.

Podle použití lze rozlišovat solární soustavy:

- *Pro přípravu teplé užitkové vody*
- *Pro přípravu teplé užitkové vody a přitápění*
- *Pro ohřev bazénové vody*
- *Jejich kombinace*

Podle plochy kolektoru:

- *Maloplošné*
- *Velkoplošné*

Podle provozních podmínek:

- *S nízkým průtokem*
- *S vysokým průtokem*
- *S proměnlivým průtokem*

Podle typu oběhu teplotonosné látky:

- *Uzavřené s nuceným oběhem*
- *Uzavřené s gravitačním oběhem (samotížné)*
- *Soustavy s vyprazdňováním*

3.1 Možnosti použití tepelných solárních systémů

Jak již bylo nasáno výše, tepelné solární systémy nabízí celou škálu možností využití. V praxi se můžeme nejčastěji setkat s tzv. „klasickým“ použitím v domácnostech, kdy tepelné solární systémy využíváme především k ohřevu vody, kterou pak využíváme k různým účelům. V poslední době se ovšem také rozmáhá použití v různých průmyslových odvětvích, kdy v době neustálého zvyšování výdajů za teplo mnoho firem sahá k tomuto způsobu zásobování svých výrobních prostor teplem.

V praxi, co se týče použití tepelných solárních soustav, existuje v první řadě jeden hlavní nedostatek a to, že jako mnohé jiné technické výrobky, nedokáže překonat nedokonalé vstupní podmínky. Nejčastější uplatnění solárních je:[3]

- *Ohřev vody v bazénech, především nekrytých*
- *Ohřev užitkové vody v letním a přechodném období, resp. předehřívání v zimě*
- *Vytápění, nejvíce vodou, řidčeji vzduchem (v přechodném období a zimě)*
- *Temperování výrobních a skladových hal vzduchovými kolektory*
- *Výroba procesního tepla pro průmyslové využití*
- *Solární sušení*
- *Solární vaření*
- *Destilace*

Vzhledem k tomu, že tato diplomová práce řeší solární ohřev pitné vody, solární vytápění a částečně se dotkne ohřevu vody v bazénech, bude v následujících podkapitolách řečeno něco málo informací k této problematice.

3.1.1 Solární ohřev pitné vody

Přestože se u tohoto požití solární energie neshoduje nabídka solární energie s potřebou, patří k nejdůležitějšímu využití v oblasti termické solární energie. Hlavním důvodem je to, že v letních měsících může být dům úplně zásobován teplou vodou (máme na mysli vodu o teplotě 45° - 60°C) jen za pomoci solárního zařízení, bez dodatečné cizí energie a kotelna může být po tuto dobu úplně odstavena. V případě přechodných období může solární zařízení ohřev vody kotlem výrazně podpořit.

Pro zásobování teplou vodou je požadována teplota nejméně 45°C, takže solární soustava musí ohřát vodu o více než 35°C (při teplotě vody 10°C z vodovodu). Při venkovních teplotách v průměru 12-25°C v letním období, musí být soustava schopna dosáhnout na kolektor resp. absorberu 50-70°C a přitom přeměnit záření na teplo s přijatelným stupněm účinnosti.[3]

Na rozdíl od solárních soustav pro ohřev vody pro bazény, zůstávají soustavy pro ohřev pitné vody v provozu i v zimním období, kdy i v tomto období mohou vyprodukovat zajímavý výnos tepla. Při použití soustavy pro ohřev pitné vody v zimě (kdy předpokládáme, že teplota klesne pod 0°C), je nutno, aby v teplotním médiu v primárním kolektorovém okruhu byl přítomen i prostředek k zabránění zamrznutí. Tento krok si ale žádá o použití tepelného výměníku, kdy je naprostá nutnost oddělit primární kolektorový okruh od pitné vody. Toto opatření je způsobeno tím, že jako přísada k zabránění zamrznutí se do teplotních médií používají různé nemrznoucí směsi, kde jsou hlavní složkou glykolové směsi, které jsou mnohdy jedovaté. Teplotní látky budou podrobněji řešeny v kapitole 4.4.

Nejjednodušší soustavy pro ohřev pitné vody se skládají ze solárních kolektorů, zásobníku na vodu a případného kotle k případnému dohřívání vody.

3.1.2 Solární vytápění

Pro vytápění at' už domů, nebo jiných objektů se v dnešní době používá velké množství fosilních nosičů energie. Vzhledem k těmto skutečnostem se ekologický způsob vytápění pomocí solárních kolektorů jeví jako zajímavým a důležitým prostředkem ke snižování emisí v ovzduší. Nevýhodou je, že nabídka sluneční energie a její spotřeba se jako v případě solárního ohřevu pitné vody časově nekryjí.

Zde se jako velmi výhodné ukázalo tzv. nízko-tepelné vytápění, kdy v podstatě jde o to, že se snížila teplota vody v topných okruzích domu a topných tělesech (nejčastěji klasický deskový radiátor na teplotu kolem 40°C. Tento krok je velmi výhodný především v tzv. energeticky úsporných domech, ať už se jedná o nízkoenergetických či dokonce pasivní domy (viz.kapitola 3.2).

V principu se solární soustava pro podporu vytápění skládá ze stejných komponent jako soustava pro solární ohřev pitné vody, kdy jsou pouze použity větší plochy solárních kolektorů a větší kapacity zásobníků. Velikost soustav závisí na požadovaném stupni solárního krytí energie.

3.1.3 Ohřev vody v bazénech

Ohřev vody v bazénech je asi technicky nejjednodušší solární soustava. Ohřev vody v bazénech má tož oproti solárnímu ohřevu pitné vody a solárnímu vytápění řadu výhod. Hlavní výhodou je, že nabídka sluneční energie přesně shoduje s poptávkou. Nekryté bazény jsou provozovány v letním období a v tomto období je nabídka sluneční energie největší. Ohřevu vody lze dosáhnou s kolektory nejjednodušších konstrukcí, kdy není potřeba jejich izolace.

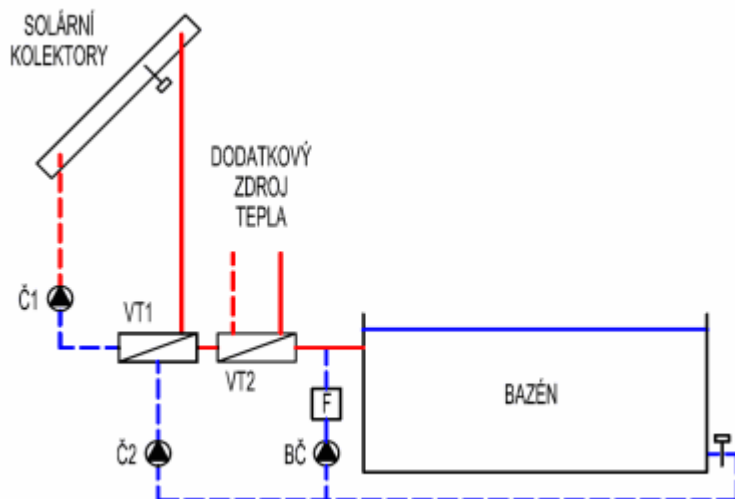
Dále pro solární soustavu pro ohřev vody v bazénech není potřeba tepelný zásobník. Tepelným zásobníkem v tomto případě je bazén sám. Bazén má přitom vzhledem ke svému objemu obrovskou akumulační schopnost a teplota v noci díky tomu klesá jen pomalu.

V praxi se ukázalo, že velmi výhodným krokem je zakrytí bazénové plochy přes noc, kdy tímto velmi výrazně snížíme unikání tepla z bazénu. Na 1m² vodní hladiny je třeba 0,5 až 0,8 m²kolektorové plochy. Kolektor by měl být stejnoměrně a relativně intenzivně protékán tak, aby bylo při plném oslnění dosaženo ohřevu vody v bazénu cca o 8°C.

Za těchto podmínek dosahují bazénové kolektory roční energetický zisk asi 200 – 300 kWh/m² plochy absorberu, využijí tedy z roční nabídky 1000 kWh/m² asi 20 - 30% energie. [3]

Tabulka 3.1 Typické zisky solárních soustav pro ohřev bazénové vody.[19]

Typ bazénu	Tepelný zisk
Venkovní bazény - sezónní	350 až 400 kWh/(m ² .rok)
Vnitřní bazény - celoroční	450 až 600 kWh/(m ² .rok)



Obrázek 3.1 Schéma solární soustavy pro ohřev bazénové vody (v obtoku filtrace).[19]

3.2 Energeticky úsporný dům

V současné době mnoho lidí při stavbě domu klade velký důraz na energetickou náročnost budovy. V literatuře se můžeme setkat s několika odbornými termíny, které jsou:[17]

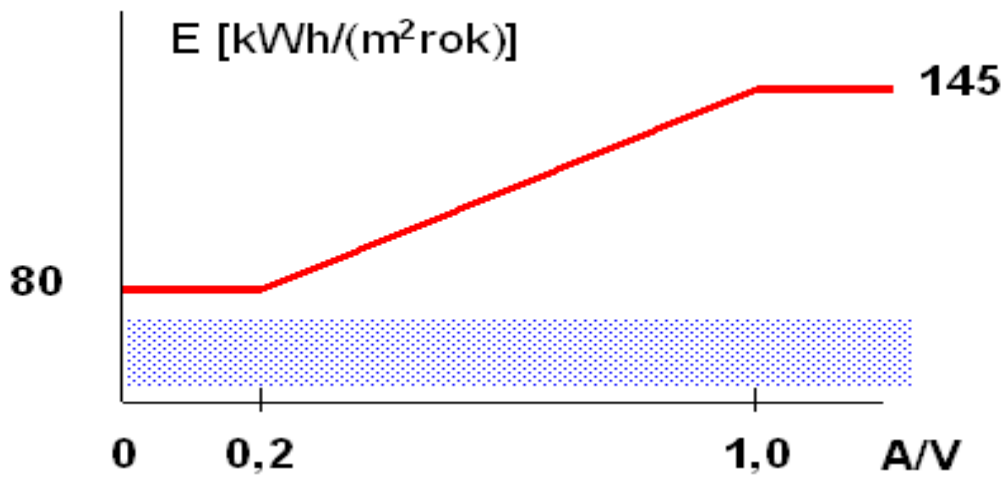
- *Nízkoenergetický dům*
- *Pasivní dům*
- *Nulový dům*

Nízkoenergetický dům tak lze nazvat budovu, která má potřebu tepla na vytápění výrazně nižší než je obvyklé v daném místě (regionu, zemi) a v čase. Názory na absolutní hodnotu potřeby tepla na vytápění se tedy v čase vyvíjejí, odvozeny od aktuálních předpisů. V posledních letech se většinou za nízkoenergetickou budovu považuje taková, jejíž měrná potřeba tepla na vytápění je menší než 50 kWh/(m²rok). Vztažnou plochou je podlahová plocha vytápěné části budovy.

Pasivní dům je taková budova, jejíž měrná potřeba tepla na vytápění je menší než 15 kWh/(m²rok), kdy vztažnou plochou je podlahová plocha vytápěné části budovy.

Nulový dům s nulovou potřebou tepla nebo hodnotou blízkou nule.

Dále se v literatuře vyskytuje termín energeticky úsporný dům, což je taková budova, jejíž měrná potřeba tepla na vytápění je menší než 75 kWh/(m²rok).



Obrázek 3.1 Potřeba tepla na vytápění v závislosti na geometrických parametrech budovy podle současných legislativních požadavků (červeně) a oblast nízkoenergetické výstavby (modře), A [m^2] - povrch budovy, V [m^3] - objem budovy.[17]

4 KOMPONENTY SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

Úvodem této kapitoly je třeba připomenout fakt, že kvalitní a hlavně efektivně fungující tepelný solární systém nedělá pouze solární kolektor. V každém tepelném solárním systému je totiž řada konstrukčních prvků a dílů, které jsou pro funkci naprosto nezbytné a je tudíž nutné, aby tyto prvky na sebe promyšleně navazovaly. Každý tepelný solární systém se tedy skládá z několika základních částí, a to konkrétně z:

- *Solární kolektor (jeden nebo více)*
- *Tepelný zásobník*
- *Solární okruh*
- *Teplonosné médium*
- *Tepelný výměník*

4.1 Solární kolektory

Sluneční kolektory využívají energii ze slunečního záření a přeměňují ji na energii tepelnou. Základní charakteristika, která ukazuje kvalitu kolektoru je účinnost. Tu lze definovat jako poměr výkonu a příkon kolektoru, což pro střední teplotu teplonosného média T_m vede ke vztahu, který vychází z tzv. kolektorové rovnice:[3]

$$\eta = \frac{W_N}{E} = \alpha \cdot \tau - k \cdot \frac{(T_m - T_a)}{E}$$

kde:

η ... účinnost kolektoru

W_N ... tepelný výkon kolektoru [W/m²], někdy též užitečný tepelný výkon

E ... sluneční záření [W/m²]

α ... součinitel absorpce absorberu

τ ... součinitel transmise transparentního krytu

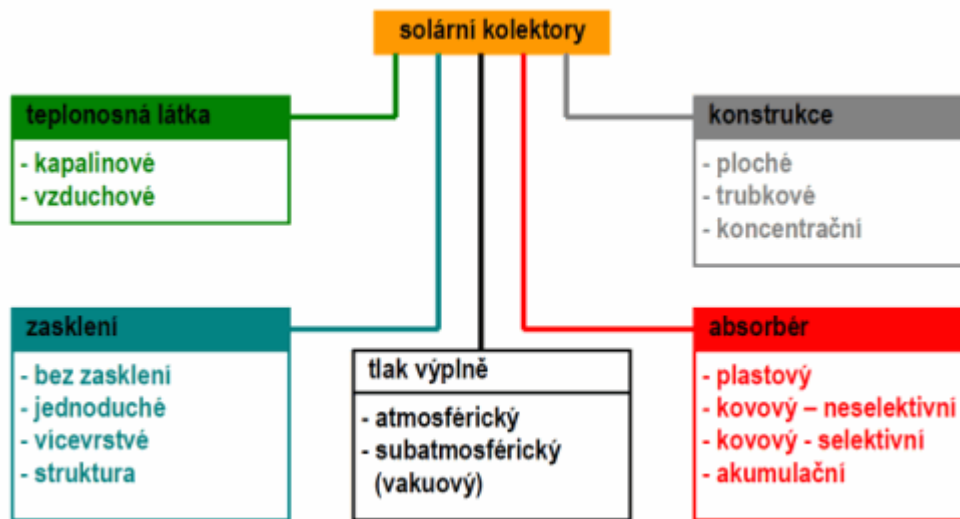
k ... součinitel měrné tepelné ztráty kolektoru [W/m²]

T_m, T_a průměrná teplota v solární soustavě, resp. střední teplota vzduchu v okolí kolektoru[°C]

Solární kolektory, ve kterých je používána kapalina jako teplonosná látka (voda, nemrznoucí směs vody a propylenglykolu), se využívají pro naprostou většinu aplikací v budovách. Solární vzduchové kolektory jsou v ČR využívány pouze okrajově pro předehřev čerstvého vzduchu pro větrání nebo oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění (teplovzdušné, sálavé - hypokaustické).

Běžné solární kapalinové kolektory, tzv. maloplošné kolektory, se vyrábí s účinnou plochou od 1,5 m² do 2,5 m². Jsou vhodné pro instalace do rodinných domů, kde celková plocha solárních kolektorů zpravidla nepřekročí hranici 15 m². Pro větší instalované plochy jsou

vhodné kolektory velkoplošné tvořené moduly o plochách 10 až 20 m². Výhodou je výrazně nižší pracnost montáže, zvláště při spojování kolektorových polí o plochách nad 100 m². [2]



Obrázek 4.1 Rozdělení solárních kolektorů. [2]

Solární kapalinové kolektory lze rozdělit podle řady hledisek (viz obr. 4.1). Z uvedeného rozdělení vyplývají konstrukční kombinace, se kterými je možné se v praxi setkat: [2]

- *Plochý nekrytý kolektor - zpravidla plastová rohož bez zasklení s vysokými tepelnými ztrátami závislými na venkovních podmínkách, zvláště na rychlosti proudění větru; nekryté kolektory jsou proto určeny hlavně pro sezónní ohřev bazénové vody o nízké teplotní úrovni;*
- *Plochý neselektivní kolektor - zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně neselektivním povlakem (např. černým pohltivým nátěrem); neselektivní kolektory mohou být vzhledem ke značným tepelným ztrátám vlivem sálání absorbéru v zimním období využity pouze pro sezónní předehřev vody při nízké teplotní úrovni; na trhu se v současné době příliš nevyskytují;*
- *Plochý selektivní kolektor - zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a s tepelnou izolací na boční a zadní straně kolektorové skříně; vzhledem k výrazně sníženým tepelným ztrátám sáláním absorbéru se ploché selektivní kolektory využívají pro solární ohřev vody a vytápění celoročně a tvoří naprostou většinu zasklených kolektorů na trhu;*
- *Plochý vakuový kolektor - zasklený deskový kolektor v těsném provedení s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a tlakem uvnitř kolektoru nižším než atmosférický tlak v okolí kolektoru (absolutní tlak cca 1 až 10 kPa) pro zajištění nízké celkové tepelné ztráty; ploché vakuové kolektory jsou určeny pro celoroční solární ohřev vody a vytápění, případně průmyslové aplikace s provozními teplotami okolo 100 °C;*
- *Trubkový jednostěnný vakuový kolektor - kolektor s plochým spektrálně selektivním absorbérem umístěným ve vakuované skleněné trubce (absolutní tlak < 10⁻³ Pa); výrazné omezení tepelných ztrát (nízkoemisivní absorbér, vakuová izolace) a vysoký přenos tepla z absorbéru do teplonosné kapaliny svařovaným spojem poskytuje*

vysokou účinnost kolektoru v celém teplotním rozsahu, kolektor je použitelný pro většinu aplikací, avšak vzhledem k relativně vysoké ceně především pro kombinované soustavy pro vytápění či průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty nad 100 °C);

- *Trubkový dvojitý (Sydney) vakuový kolektor - kolektor s válcovým spektrálně selektivním absorberem (absorpční skleněná trubka) umístěným ve vakuované skleněné trubce (absolutní tlak $< 10^{-3}$ Pa); vzhledem k problematickému zajištění přenosu tepla z absorpční trubky do teplotnosné kapaliny pomocí hliníkové teplosměnné lamely se Sydney kolektory vyznačují obecně nižší účinností při nízkých teplotách (např. oproti plochým kolektorům) a používají se především pro kombinované soustavy pro vytápění či průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty nad 100 °C);*
- *Soustředující (koncentrační) kolektor - obecně kolektor, ve kterém jsou použita zrcadla (reflektory), čočky (refraktory) nebo další optické prvky k usměrnění a soustředění přímého slunečního záření, procházejícího aperturou kolektoru, do ohniska (absorbéru) o výrazně menší ploše než je vlastní plocha apertury. Ploché kolektory vybavené vnějším zrcadlem nebo kolektory s vakuovanými Sydney trubkami opatřené reflektorem jsou rovněž považovány za soustředující kolektory. Pro účinné použití koncentračních kolektorů je základní podmínkou dostatek energie přímého slunečního záření během roku.*

Nejčastějšími typy kolektorů, se kterými je možné se na trhu v ČR setkat jsou bazénové nekryté absorbery (40 až 50 tis. m² v roce 2008), ploché atmosférické selektivní kolektory (26,5 tis. m² v roce 2008) a trubkové vakuové kolektory, často také nazývané trubicové (8,5 tis. m² v roce 2008).[1] Koncentrační kolektory tvoří zatím na českém trhu zanedbatelný podíl.

4.1.1 Spojení více kolektorů

Drtivá většina solárních soustav se skládá z více než jednoho solárního kolektoru. V praxi vyvstává otázka, jak tyto jednotlivé solární kolektory z hlediska průtočnosti co nejefektivněji sestavit do jedné plochy. Pro dosažení výkonnosti soustavy a efektivního odběru získaného tepla má rozhodující rovnoměrný průtok všemi solárními kolektory a celou plochou jednotlivých absorberů.

V praxi se používají tři způsoby zapojení:

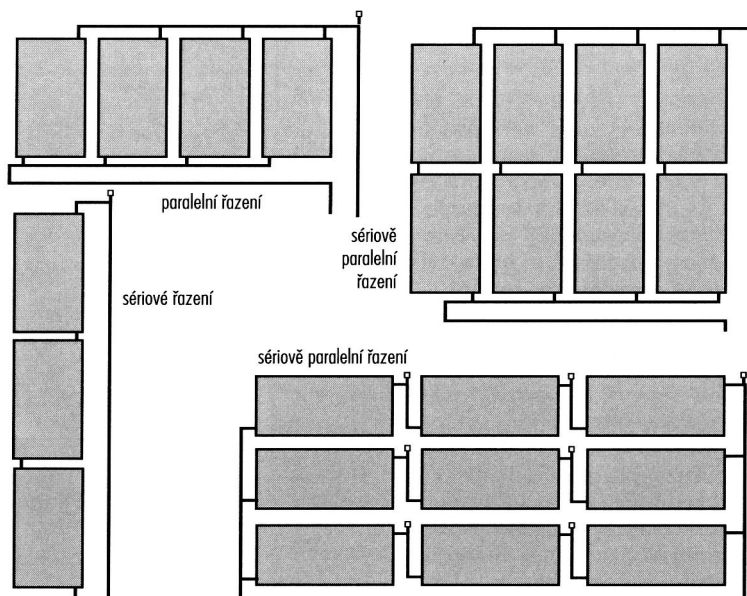
- *Sériově*
- *Paralelní*
- *Sériově-paralelní*

Sériové řazení - má tu výhodu že jsou všechno kolektory protékány stejně. Nevýhoda však je, že s rostoucím počtem kolektorů stoupá značně teplota odváděného teplotnosného média a také exponenciálně roste průtočný odpor daný součtem jednotlivých odporů všech kolektorů. Proto se nedoporučuje sériové zapojení více než tři kolektorů.

Paralelní řazení - má výhodu nízkého odporu vůči proudění teplotnosné kapaliny. Realizuje se napojením všech kolektorů na jedno horní a jedno dolní sběrné potrubí. Aby byl proud

teplonosného média rozdělen rovnoměrně, musí mít sběrné potrubí větší průměr (nižší hydraulický odpor) a cesty průtoku kolektoru musí být stejně dlouhé (stejný odpor proudění).

Sériově paralelní řazení - spojuje výhody obou základních řazení - rovnoměrné průtoky a přijatelný odpor vůči proudění.



Obrázek 4.2 Možnosti propojení více kolektorů.[3]

4.2 Tepelný zásobník

Musíme si uvědomit, že nabídka solární energie se v průběhu roku většinou nekryje s momentálními potřebami. Proto je nedílnou součástí solárních soustav tepelný zásobník. Ten přijímá přebytečné teplo z kolektoru a je schopen ho akumulovat pro využití v době, kdy nabídka solárního záření klesá. V případě našeho projektu, kdy uvažujeme přehřev teplé vody a vytápění domu je tepelný zásobník naprosto klíčovým prvkem celého systému.

S trochou nadsázky lze říci, že zásobník tepla je srdcem solární soustavy. Pokud je jeho akumulací kapacita špatně navržena, buď vzhledem k potřebě tepla v objektu, nebo vzhledem k ploše kolektorů, projeví se to výrazně na konečných parametrech solární soustavy (solární podíl, měrné zisky). Trendem v oblasti zásobníků tepla je snaha řídit proces "nabíjení" zásobníku a tím zvýšit využitelnost solárních zisků v okruhu spotřeby tepla (zvýšit energii), a dále zmenšit zastavěný objem použitím látek s vysokou hustotou akumulace (látky se změnou skupenství).

4.2.1 Teplotní vrstvení v zásobníku

Vhodné teplotní rozvrstvení (stratifikace) objemu zásobníku má významný vliv na účinnost kolektorů a na schopnost pokrýt nepravidelným solárním ziskem nepravidelnou potřebu tepla (solární podíl). Snahou je zajistit v horní části zásobníku dostatečnou teplotu využitelnou pro odběr tepla bez nutnosti dodatkového ohřevu a v dolní části udržet nízkou teplotu v místě výměníku solární soustavy (vysoká účinnost kolektoru). To lze zajistit jednak přirozeným vrstvením ve vhodně konstruovaných zásobnících bez nutnosti dalších prvků nebo řízeným vrstvením, kdy se využívají speciální prvky (stratifikační vestavby, ventily).[6]

Přirozené vrstvení objemu zásobníku podle teploty se uplatní především při odběru teplé a přívodu studené vody. Schopnost přirozené stratifikace je dána geometrickou charakteristikou zásobníku, především jeho štíhlostí. Čím vyšší štíhlost (poměr výšky k průměru), tím lepší chování z hlediska vrstvení. Doporučovaný poměr výška/průměr je minimálně 2,5. Štíhlý zásobník zaručuje omezené míchání studené vody s teplejší ve vyšších vrstvách a udržuje dolní část zásobníku v okolí solárního výměníku při nízké teplotě. Studená oblast pak zaručuje, že i při nízké hladině slunečního záření může solární soustava pracovat s vysokou účinností. Při dohřevu horní části zásobníku (pohotovostní zásoba tepla) nedochází u štíhlých zásobníků k významnému ovlivnění spodní části vlivem konvekčních proudů. V případě dohřevu elektrickou vložkou se například vytváří velmi zřetelný "ostrý" přechod mezi částí zásobníku nad vložkou s výrazně vyšší teplotou než v části pod vložkou.[6]

V praxi však vysoké zásobníky mohou mít problémy s instalací v místnostech s omezenou světlou výškou. Navíc je nutné vždy zohlednit příčný výškový rozměr zásobníku (při naklopení) v poměru ke světlé výšce místnosti, v níž má být zásobník instalován.

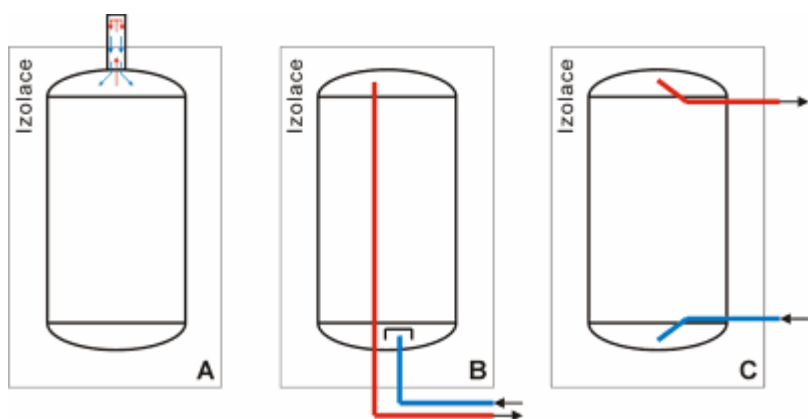
Zcela nevhodné pro použití v solární technice jsou horizontální zásobníky, které vykazují nízkou schopnost vrstvení, případně pokud jsou doplněny dodatkovým zdrojem tepla (teplovodní nebo elektrické vložka). Při dohřevu dochází k promíchání teplotního pole v zásobníku a účinnost soustavy je tak řízeně degradována.

Velký vliv na intenzitu promíchávání zásobníku má také způsob nabíjení a vybíjení zásobníku tepla (přímo přívodem teplotnosné látky, nepřímo přes vestavěné teplosměnné plochy), poloha teplosměnných ploch (vložek) v zásobníku, apod. Téma si však заслужuje hlubší rozbor v samostatném článku.[6]

4.2.2 Vliv připojení potrubí

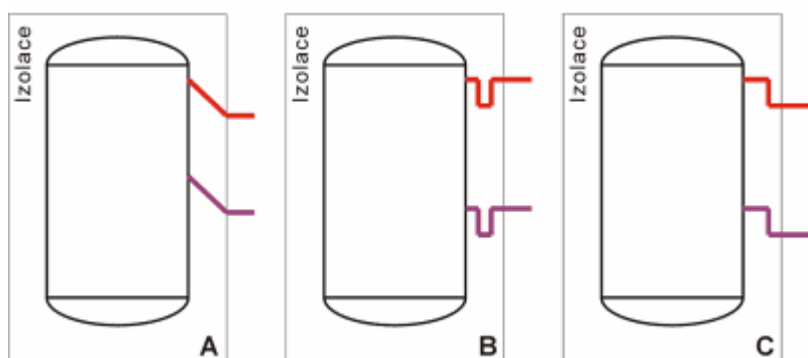
Druh způsobu připojení potrubí přívodu a odběru otopné nebo užitkové vody ze zásobníku může výrazně ovlivnit jednak vrstvení zásobníku a jednak tepelné ztráty. Často jednoduchým konstrukčním řešením připojení potrubí k zásobníku tepla je možné tyto vlivy eliminovat.

Pro zamezení míchání objemu zásobníku přívodem studené vody při současném odběru teplé se využívají hydraulické brzdy - přepážky, které zbrzdí proud studené vody vstupující do zásobníku. Obdobnou funkci zajišťuje vhodný tangenciální přívod vstupního potrubí do zásobníku, kdy vstupující proud je brzděn o stěny v dolní části zásobníku. Další možností je připojení studené vody potrubím a přírubou o dostatečné světlosti zaručující pokles rychlosti na vstupu do zásobníku při maximálním průtoku pod 0,1 m/s.[6]



Obrázek 4.3 Odběr teplé vody ze zásobníku a přívod studené vody (2a - špatně, 2b,c - dobře).[6]

U běžných zásobníků je teplá voda odebírána v horní části a potrubí je vedeno shora do zásobníku. Při takovém řešení odběru dochází k postupnému chladnutí teplé vody, která zůstává v odběrném potrubí. Ochlazená voda se snaží dostat dolů (je těžší) do horní části zásobníku a vytlačuje do potrubí lehčí teplejší vodu (viz obrázek 4.2 varianta 2a). Dochází tak k přirozenému proudění v rámci jedné trubky, což může způsobit degradaci rozvrstvení v horní části zásobníku ochlazenou vodou a tepelné ztráty tímto způsobem mohou činit až 15 % [4] z celkové tepelné ztráty zásobníku. Řešením je vést odběr teplé vody z horní části vnitřním objemem zásobníku a vyústit jej níže (viz obr. 1b,c), případně vést odběr z horní části do strany izolací zásobníku s ohybem potrubí o 180° (sifon) nebo vést odběr šikmo dolů izolací zásobníku (viz obrázek 4.2). Taková řešení zajišťují přirozenou zpětnou klapku, kdy voda ochlazená v potrubí vně zásobníku je těžší než teplá voda uvnitř a nemůže překonat volným prouděním výškový rozdíl.[6]



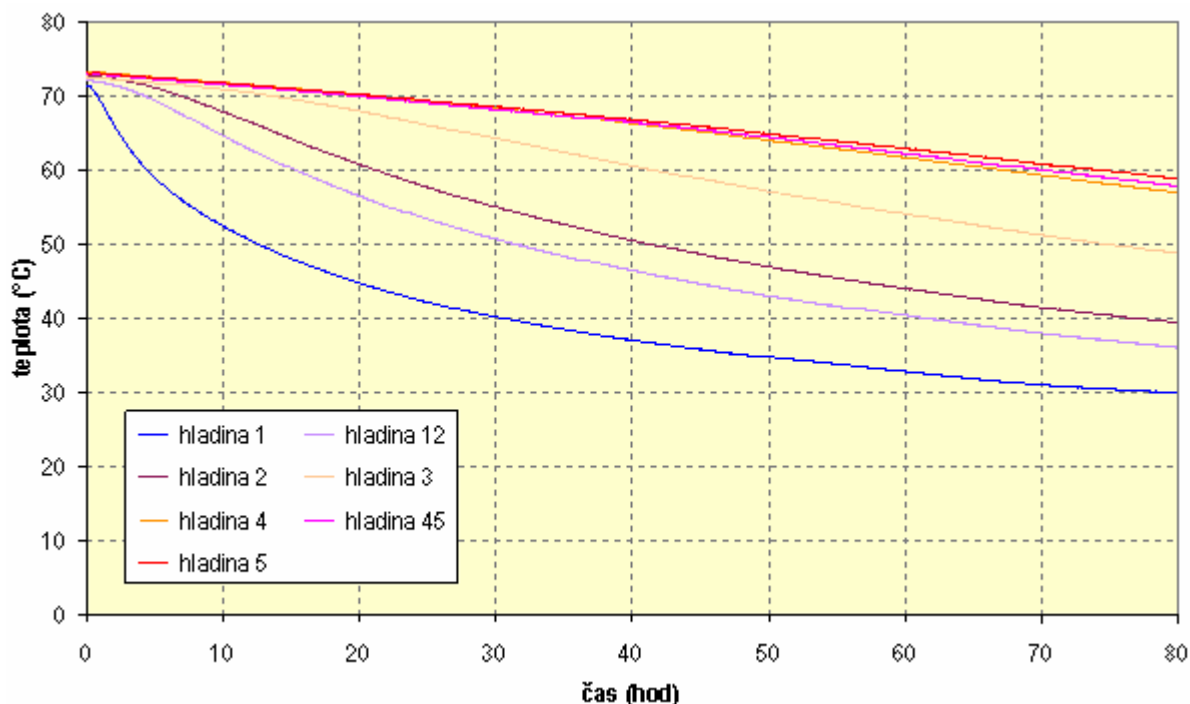
Obrázek 4.4 Vhodná řešení připojení přívodů a odběrů teplotné látky (teplé vody) k zásobníku.[6]

4.2.3 Tepelné ztráty

Zásobníky tepla by měly být dostatečně tepelně izolovány. Podobně jako u potrubí je možné se při návrhu izolace zásobníku tepla držet stále ještě platné vyhlášky [5], která stanovuje minimální tloušťku tepelné izolace zásobníků tepla 100 mm při uvažování tepelné izolace s $\lambda \leq 0,045 \text{ W/m.K}$, případně takovou, aby bylo dosaženo součinitele prostupu tepla $k \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{.K}$. Samozřejmě je nutné zohlednit funkci zásobníku a jeho umístění. Zásobník tepla

umístěný v chladném suterénu bude vyžadovat větší tloušťky tepelné izolace než zásobník umístěný v obytné části domu, kde jeho tepelné ztráty navíc přispívají k vytápění prostoru. U zásobníků tepla pro zvláštní aplikace (velmi nízké nebo velmi vysoké rozdíly teplot mezi objemem zásobníku a okolím, dlouhodobé a sezónní zásobníky tepla) je nutné stanovit tloušťku izolace optimalizačním výpočtem. Příkladem může být nadzemní zásobník tepla pro sezónní akumulaci sluneční energie v Domě s pečovatelskou službou ve Slatiňanech. Zásobník o celkovém objemu 1100 m³ má ve svém plášti tepelnou izolaci z minerální vlny o tloušťce 70 cm (!). Tepelnou ztrátu zásobníku je možné také vyjádřit hodnotou součinu součinitele prostupu tepla a povrchu zásobníku $U.A$ [W/K]. Celková měrná tepelná ztráta zásobníku tepla pro běžné solární aplikace by neměla přesáhnout 2 W/K. Takový zásobník při průměrném rozdílu teplot 30 K ztrácí ročně okolo 500 kWh, což odpovídá ziskům z více jak 1 m² kolektoru.[6]

Tepelná izolace by měla být dostatečná především v horní části zásobníku, která je častěji na vyšší teplotě než spodní část, zvláště v případě bivalentních zásobníků s neustálým dohřevem v horní části. Tepelná izolace by měla tvořit dokonale přilnavý plášť. Netěsnosti ve formě vzduchových mezer, zvláště v případech odnímatelné izolace, mohou způsobit tepelné ztráty a ochlazování zásobníku prouděním vzduchu mezi izolačním pláštěm a zásobníkem. Tepelná izolace zásobníku tepla by měla být souvislá po celém povrchu zásobníku. Na obr. 3 jsou uvedeny naměřené charakteristiky zásobníku tepla, u kterého nebylo tepelně izolováno dno. Zásobník byl natopen na teplotu 72 °C a bez odběru tepla ponechán po několik dní v místnosti se špatně izolovanou podlahou (simulace suterénní strojovny). Sálání zásobníku vůči podlaze vychlazovalo spodní část zásobníku a způsobilo degradaci využitelných solárních zisků v zásobníku. Teplota ve spodní části (hladina 1) klesla během 10 hodin (přes noc) o 20 K, zatímco v horní izolované části (hladina 4-5) se příliš nemění. Během dvou dnů dosáhla teplota v dolní části 35 °C, zatímco v horní části byla stále teplota okolo 65 °C.[6]



Obrázek 4.4 Průběh teplot při chladnutí zásobníku tepla (objem 750 l).[6]

4.2.4 Standardní funkce zásobníku při úpravě teplé vody

V podstatě se při přípravě teplé vody v současné době používají dvě standardní funkce:

- *Ochrana proti legionelle*
- *Cirkulace teplé vody mezi místem odběru a zásobníkem, které mohou mít nepříznivý vliv na provoz solárního zásobníku tepla.*

Požadavky na ochranu zásobníků proti množení bakterií druhu legionella platí samozřejmě i v oblasti solárních zásobníků pro akumulaci pitné vody. Teplá voda by měla být průběžně ohřívána na teplotu vyšší než 60 °C (nutnost nastavení dohřevu v horní pohotovostní části zásobníku). Přísná pravidla (např. v Německu) nařizují teplotní ochranu proti legionelle v zásobnících o objemu větším než 400 l. Jelikož zvýšená teplota v solárním zásobníku nad běžnou potřebnou mez může způsobovat tepelné ztráty zásobníku a nižší účinnosti, vede toto nařízení výrobce zásobníků k novým konstrukcím, např. "nádrž v nádrži", kde pohotovostní objem teplé vody podléhající teplotní ochraně bude mít objem menší než zmíněných 400 l, případně vestavěné trubkové výměníky pro průtokovou přípravu teplé vody.[6]

V případě zavedení cirkulace pro zajištění komfortní dodávky teplé vody na odběrných místech je nutné si uvědomit možný rušivý vliv na teplotní vrstvení zásobníku. Pokud je vůbec cirkulace instalována je nutné vracející se cirkulační potrubí zapojit do zásobníku v oblasti těsně pod vložku dodatkového dohřevu zásobníku, nikdy do spodní části či do přívodu studené vody do zásobníku. Dimenze připojovacího potrubí a nátrubku by měla samozřejmě odpovídat nastavenému cirkulačnímu průtoku. Čím větší bude průtok, tím méně se voda v cirkulačním potrubí vychladí a tím víc bude teplota vracející se vody na úrovni teploty v horní části zásobníku. Cirkulační potrubí by mělo být samozřejmě opatřeno dostatečnou tepelnou izolací, podobně jako potrubí teplé vody. Cirkulační čerpadlo by mělo být vždy řízeno spínacími hodinami s nastavitelnými periodami provozu, případně ještě termostatem, který sníží dobu provozu cirkulace až na 10 % doby nastavené uživatelem. Tepelné ztráty cirkulací mohou v malých instalacích (rodinné domy) v případě nevhodného provozu dosáhnout 100 a více procent z celkové potřeby tepla na přípravu teplé vody.[6]

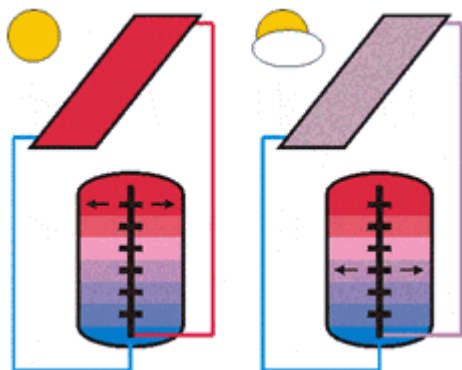
Částečně eliminovat negativní vliv obou provozních funkcí na provoz zásobníku teplé vody je možné realizací předřazeného monovalentního akumulárního zásobníku pouze se solárním výměníkem. Výstup teplé vody je zapojen do běžného elektrického bojleru nebo plynového ohříváče, kde dochází již jen k dohřevu, tepelné ochraně proti legionelle, případně se do něj zapojuje cirkulace. Výhodou je, že solární zásobník pak pracuje v optimálních podmínkách bez rušivých vlivů. Takové řešení je vhodné především pro rekonstrukce s možností zachování stávající přípravy teplé vody. Přívod studené vody se připojí k solárnímu zásobníku a do pohotovostního ohříváče jde předehřátá voda a pouze v případě potřeby se dohřívá na požadovanou teplotu.[6]

4.2.5 Zásobníky tepla s teplotní stratifikací

Mezi nejběžnější a nejpoužívanější zásobníky tepla v solární technice patří vodní zásobníky (kapalinové solární soustavy), případně v daleko menší míře šterkové (vzduchové solární soustavy), obojí využívající citelného tepla. V oblasti vodních zásobníků (tlakové, netlakové) se v poslední době začínají i na tuzemském trhu objevovat tzv. stratifikační zásobníky,

využívané především ve velkých solárních soustavách v kombinaci s nízkým průtokem teplotnosné látky kolektory (low-flow).

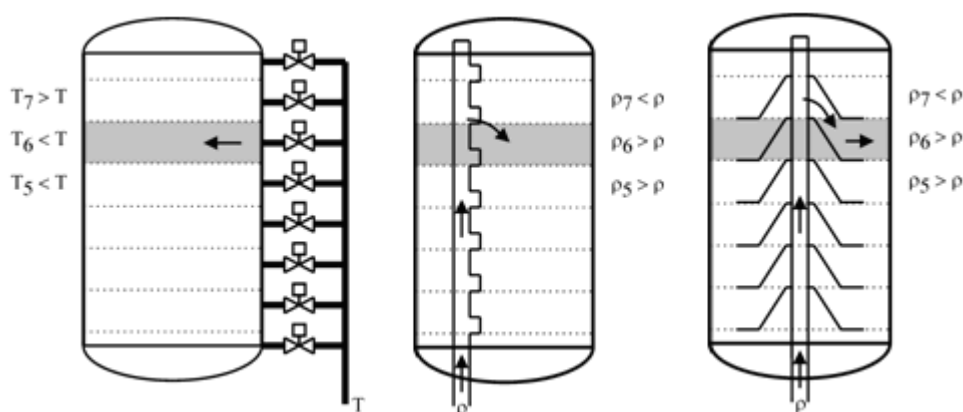
Teplotní stratifikací (vrstvení) se rozumí vrstvení objemu zásobníku podle teploty řízeným ukládáním tepla do vrstev o stejné nebo podobné teplotě (princip viz. obrázek 4.5)



Obrázek 4.5 Princip teplotní stratifikace v zásobníku solární soustavy.[7]

Pokud je ze solárních kolektorů k dispozici tepelná energie o vysoké teplotě odpovídající teplotě v horní vrstvě zásobníku, ukládá se teplo do této vrstvy (viz obrázek 4.5 vlevo). Pokud je k dispozici teplota nižší (např. vlivem klimatických podmínek), ukládá se teplo do odpovídající chladnější vrstvy (viz obrázek 4.5 vpravo). Výsledkem je takové rozvrstvení zásobníku, kde v horní části je teplota výrazně vyšší než ve spodní části. Kvalitní stratifikační zásobníky, oproti běžným bez vrstvení, umožňují dodávat teplo o požadované teplotě (bez potřeby dohřevu) do okruhu spotřeby již během náběhu akumulacího zásobníku, což samozřejmě zvyšuje solární podíl solární soustavy. Navíc spodní část zásobníku zůstává chladná až do úplného nabití a na vstupu do solárních kolektorů se udržuje během nabíjení zásobníku nízká teplota, což zaručuje vysokou účinnost. Použití stratifikačního zásobníku je zásadně výhodné u soustav s nízkým průtokem (low-flow), u kterých je možné na výstupu z kolektoru docílit vysokých teplot, při zachování nízkých teplot na vstupu.[7]

Teplotní stratifikace objemu zásobníku může probíhat do určité míry přirozeně volným prouděním, např. u vysokých a štíhlých zásobníků, nebo zejména řízeně při použití tzv. stratifikačních vestaveb. Na obrázku 4.6 jsou uvedeny různé typy řízení stratifikace. První způsob (vlevo) je řízení stratifikace ovládanými ventily na základě porovnávání teploty v dané vrstvě zásobníku a teploty přiváděné teplotnosné látky. Přívodní potrubí s ventily do zásobníku je nutné dimenzovat s ohledem na nízkou vstupní rychlost a konstrukčně řešit tak, aby přiváděný proud nenarušil teplotní rozvrstvení objemu zásobníku. Jednodušším způsobem bez nároku na regulaci a elektrickou energii jsou samočinné trubkové vestavby, které pracují na základě rozdílu hustot mezi přiváděnou teplotnosnou látkou z výměníku a vrstvami akumulacího zásobníku. Teplotnosná látka o hustotě ρ (kg/m^3) je přiváděna vždy pod vrstvu, která má nižší hustotu. Trubkové vestavby (uprostřed) jsou levné prvky, zpravidla z plastového PVC potrubí. Odbočky jsou často vybaveny velmi lehkými plovoucími zpětnými klapkami, které zabraňují znehodnocení teploty přiváděné teplotnosné látky přisáváním z dolní chladnější části zásobníku. Speciální talířové vestavby (vpravo) mají toto vyřešeno vlastní konstrukcí (přirozená-gravitační zpětná klapka). U trubkových vestaveb je důležité udržet nízkou rychlost v přívodním potrubí pod 0,1 m/s, aby nebylo teplotní rozvrstvení narušeno účinkem kinetické energie proudu.[7]



Obrázek 4.6 Různé typy řízené stratifikace.[7]

4.2.6 Zásobníky tepla se změnou skupenství

Změna skupenství (fáze) pevná látka - kapalina (tání, tuhnutí) je provázená uvolněním, resp. jímáním, skupenského tepla tání, někdy nazývaného též latentní teplo tání nebo vázané teplo. Akumulace tepla s využitím změny skupenství látek poskytuje mnohem větší akumulační kapacitu oproti akumulaci citelného tepla při stejném teplotním rozdílu ΔT (viz obr. 3). Změna skupenství kapalina - plyn (vypařování, srážení) není prakticky vhodná pro akumulaci energie vzhledem k velké změně objemu akumulační látky s tím spojené.[7]

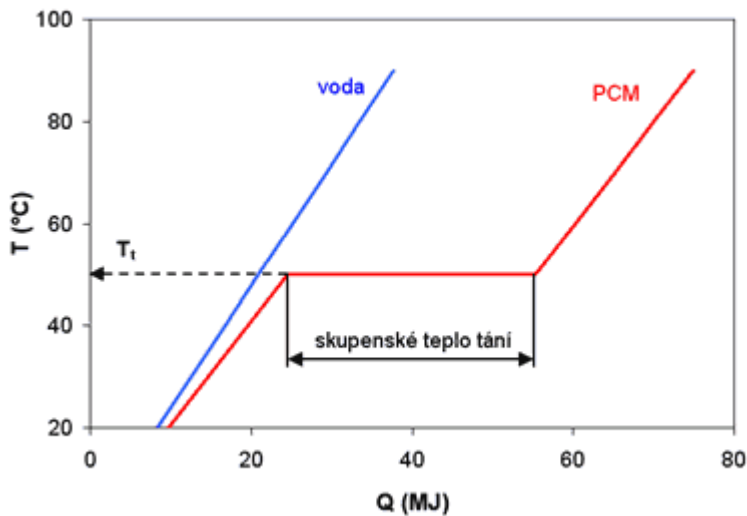
Látky vhodné pro akumulaci tepla se změnou skupenství (Phase Change Materials - PCM) by se měly vyznačovat především vysokou hodnotou skupenského tepla tání l_t (kJ/kg), vysokou tepelnou vodivostí λ (W/m.K) a bodem tání T_t (°C) ležícím ve vhodném rozsahu pro danou aplikaci (u solárních soustav 35 až 70 °C, nejčastěji 40 až 50 °C). Z hlediska praktického použití by PCM měly být chemicky stálé, levné, netoxické a nekorozivní. Důležitá je také stabilita vlastností při dlouhodobém cyklickém použití a omezení jevů jako přechlazování akumulační látky, vylučování fáze, atd. Posledních 40 let byly vyvíjeny a zkoumány látky především na bázi hydratovaných solí, parafinových vosků, mastných kyselin a eutektik organických a anorganických látek.[7]

Komerční (technické) parafinové vosky jsou levné s průměrnou hodnotou skupenského tepla tání ($l_t \sim 200$ kJ/kg nebo 150 MJ/m³) a velkým rozsahem teplot tání (od 30 do 70 °C, nejběžnější parafíny mají teploty tání $T_t = 44, 53, 64$ °C). Vyznačují se chemickou netečností, minimálním přechlazováním, bez vylučování fáze. Nicméně, mají nízkou tepelnou vodivost ($\lambda \sim 0,2$ W/m.K) a je nutné je kombinovat s kovovými maticemi, lamelami a výplňovými strukturami pro zvýšení vodivosti.[7]

Vhodnými kandidáty pro zásobníky se změnou skupenství jsou mastné kyseliny (kaprinová, laurová, palmitová, stearová) a jejich binární směsi. Teplota tání kyselin leží v rozsahu od 30 do 65 °C, skupenské teplo tání se pohybuje od 150 do 180 kJ/kg.[7]

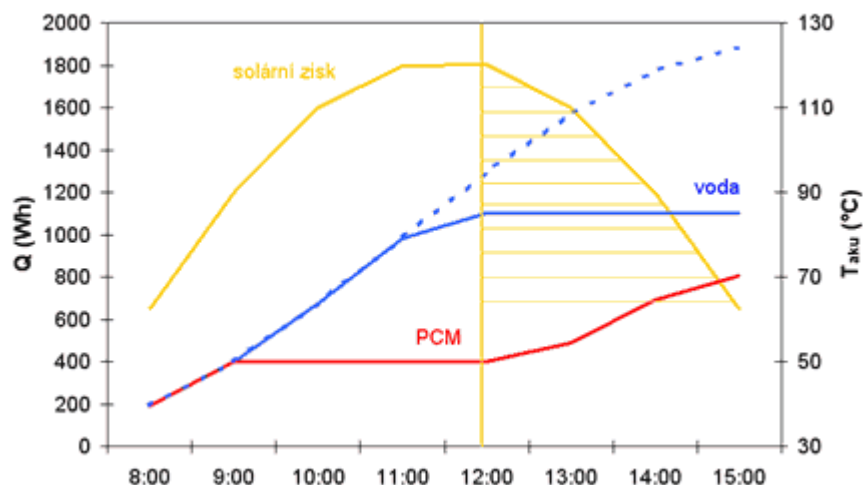
Hydratované soli jsou výraznými látkami z hlediska jejich vysoké hodnoty skupenského tepla tání v objemovém vyjádření ($l_t \sim 350$ MJ/m³), relativně vysoké tepelné vodivosti ($\lambda \sim 0,5$ W/m.K) a nízké ceny srovnatelné s parafíny. Nejznámější je Glauberova sůl ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ s poměrem 44 % Na_2SO_4 a 56 % H_2O) s teplotou tání 32,4 °C a skupenským teplem tání 254 kJ/kg (377 MJ/m³), která je jedním z nejlevnějších materiálů pro akumulaci se změnou skupenství. Použití solí je však omezeno vzhledem k problémům s vylučováním fáze a s

přechlazováním, dlouhodobě se také snižuje jejich akumulací hustota. Tyto překážky lze překonat zatím pouze za cenu snížení tepelně-akumulačních parametrů vlastní látky.[7]



Obrázek 4.7. Porovnání akumulací kapacity zásobníku citelného tepla (vodní) a zásobníku tepla se změnou skupenství (PCM zásobník).[7]

Použití zásobníků tepla se změnou skupenství v solárních aplikacích má několik výhod. První z nich je již zmíněná vysoká akumulací schopnost při malých rozdílech teplot, což vede ke snížení potřebného objemu zásobníku a úspoře prostoru ve strojovnách. Druhou podstatnou výhodou je využití přebytků ve špičkách příkonu sluneční energie a eliminace podmínek tzv. chodu naprázdno (stagnace). Na obr. 4 je znázorněn průběh nabíjení solárního zásobníku během letního slunného dne v případě, že během předchozího dne nebyl zásobník zcela vybit (nižší odběr) nebo byl z pohotovostních důvodů udržován např. dodatkovým zdrojem tepla na teplotě 40 °C. Solární vodní zásobník dosahuje limitní teploty pro zásobník 85 °C již zhruba okolo slunečního poledne a po zbytek dne nejsou solární zisky z kolektoru odebírány (stagnace, maření zisků v kolektoru). U solárního zásobníku s látkou procházející změnou skupenství při $T_t = 50$ °C dochází k akumulaci skupenského tepla během tavení objemu zásobníku, a dále (zhruba od 12h) pokračuje akumulace citelného tepla (v závislosti na měrné tepelné kapacitě látky v kapalném skupenství). Ke stagnačním podmínkám během dne vůbec nedojde, solární zisky jsou akumulovány v zásobníku tepla. Akumulované teplo v zásobníku je nyní možné využít pro běžný odběr např. TUV při teplotě 50 °C cca 2 dny bez slunečního záření. To vede k vyššímu solárnímu podílu solárních soustav a k omezení provozně nepříznivých jevů doprovázejících stagnaci.[7]



Obrázek 4.8 Průběh teplot při nabíjení vodního zásobníku a zásobníku se změnou skupenství v solární soustavě.[7]

4.3 Solární okruh

Solární okruh slouží k tomu, aby se kolektorem vyprodukované teplo převedlo do zásobníku nebo k přímé spotřebě a to přečerpáváním teplonosného média. Součástí solárního okruhu je celá řada komponent:

- *Tepelný výměník*
- *Teplonosné médium*
- *Potrubí*
- *Čerpadlo*
- *Regulační a řídicí zařízení*
- *Armatury*
- *Pojistná zařízení*

4.4 Teplonosné médium

Pro přenos tepla v solárních soustavách z místa zdroje (kolektorů) do místa spotřeby (zpravidla akumulční zásobník) se využívá různých teplonosných látek, nejčastěji vzduchu (vzduchové solární soustavy) nebo kapaliny (kapalinové solární soustavy), velmi vzácně pevných látek (sytký písek). Pro celoroční použití kapalinových solárních soustav je pak nejrozšířenější použití nemrznoucí směsi s ohledem na ochranu soustavy v zimním období před poškozením mrazem. Nemrznoucím směsím je proto v článku věnováno nejvíce prostoru.

4.4.1 Vlastnosti teplonosných médií

Teplonosné médium má za úkol transportovat teplo od kolektoru k tepelnému zásobníku, resp. k uživateli. Na teplonosné jsou proto kladeny následující požadavky:

- *Nízký bod tuhnutí (nejlépe kolem -25 až -30 °C)*
- *Dobré tepelně-fyzikální vlastnosti (tepelná kapacita, viskozita), co nejvíce podobné vodě*
- *Nehořlavost*

- *Ochrana proti korozi*
- *kompatibilita s těsníci materiály*
- *ekologické aspekty (netoxická, biologicky rozložitelná)*
- *dlouhodobá stálost vlastností- teplotní odolnost*
- *rozumná cena*

Téměř ideálně splňuje většinu těchto požadavků voda. Ta však při teplotách pod 0°C zamrzá, může být bez příměsí použita pouze v systémech pro letní provoz (převážně soustavy bez tepelných výměníků). Pitná voda mimoto vykazuje v mnoha místech vlivem obsažených iontů (chloridy, dusičnany aj.) a vlivem zvýšeného obsahu kyslíku korozivní účinky, takže solární soustavy bez tepelných výměníků mohou používat jen materiály dostatečně odolné vůči korozi (např. měď ušlechtilá ocel, plasty)

4.4.2 Použitelná teplotně odolná média

Voda je netoxická, nehořlavá a levná. Je ideální z hlediska vysoké tepelné kapacity a tepelné vodivosti a nízké viskozity. Bohužel, voda má nízký bod varu a především vysoký bod uhnutí, což ji předurčuje pro použití pouze v sezónních solárních soustavách s letním provozem. Voda může způsobovat korozi, pokud její pH (hladina kyselosti-zasáditosti) není udržována na neutrální hodnotě 7, a dále samozřejmě při nevhodné kombinaci faktorů jako obsah kyslíku, teplota, koncentrace dalších rozpuštěných chemických látek či elektrochemický potenciál přítomných kovů. V případě použití vody s vysokým obsahem minerálů (tvrdá voda) může docházet k vylučování minerálních usazenin při vyšších teplotách v kolektorech (zarůstání).[8]

Glykolové nemrzoucí směsi mohou být dvojího druhu: směs etylenglykolu a vody nebo propylenglykolu a vody, zpravidla v objemovém ředění 40-50 % glykolu podle potřebné teploty tuhnutí. Etylenglykol je vysoce jedovatý a měl by být používán pouze v takových soustavách, kde je primární okruh oddělen od pitné vody dvěma teplosměnnými plochami. V současné době se od jeho použití upouští a upřednostňuje se směs netoxického propylenglykolu a vody s potřebnými inhibitory koroze. Korozivita čisté směsi propylenglykol-voda je totiž významně vyšší než u čisté vody nebo čistého glykolu, je nepřímo úměrná koncentraci glykolu. Inhibitory, rozpuštěné v kapalině, umožňují zamezit korozi vytvořením tenké ochranné vrstvy na povrchu kovů. Zatímco solární soustavy obsahují různé materiály (měď, bronz, ocel, litina), v současné době není k dispozici univerzální inhibitor a problém se zpravidla řeší kombinací několika různých (organických, anorganických) inhibitorů s ochranným potenciálem pro specifický kov.[8]

Nemrzoucí směsi propylenglykolu a vody mají sklon ke stárnutí vlivem vysokých teplot při stagnačních podmínkách v kolektorech. Stagnací nazýváme stav, kdy z kolektoru není odebíráno teplo, dochází k přehřívání kolektoru a teploty dosahují hodnot až 200 °C (kvalitní ploché kolektory) nebo 300 °C (kvalitní vakuové kolektory)

Při nárůstu teploty nad bod varu směsi dochází k tvorbě bublinek páry a vypařování kapaliny. U dobře navržených kolektorů a soustav dochází k přeměně v páru pouze u malého množství směsi, vznikající pára vytlačí ostatní kapalinu z kolektorů do míst o nižší teplotě (vytlačený objem by měla pohltit expanzní nádoba). Rozpuštěné inhibitory (pevné neodpařitelné látky) se vylučují na stěnách. Při ochlazení kolektoru kapalina zpětně kondenzuje a zaplavuje

kolektor. Aby při opakovaném působení stagnačních podmínek nedocházelo k postupnému vyloučení inhibitorů na stěny potrubí v kolektorech a tím k degradaci jak teplotně odolné látky, tak kolektorů, měla by být kvalitní teplotně odolná látka schopná zpětně rozpustit vyloučené inhibitory. Postupující degradace teplotně odolné látky se projevuje změnou barvy (tmavnutí kapaliny), pomalu se snižující hodnotou pH a tvorbou pevných látek na stěnách potrubí kolektorů (vylučování inhibitorů). U propylenglykolu dochází k rozkladu v důsledku oxidačních reakcí, tvoří se kyseliny, a při opakovaném přehřívání dochází k poklesu pH kapaliny pod hodnotu 7. Rychlost degradace propylenglykolu je přímo úměrná teplotním stresům a obsahu kyslíku. Proto se doporučuje vždy sledovat hodnotu pH, bod tuhnutí a koncentraci inhibitorů pro včasnou výměnu a ochranu okruhu před zvýšenou korozí.[8]

Tabulka 4.1 - Teplotně odolné látky na bázi směsi glykolových směsí[8]

Teplotně odolná látka	Složení	Výrobce	t_f [°C]
Solaren EKO	propylenglykol (1,2 propan diol) s inhibitory	Velvana a.s.	-31
Kolektor P Super	monopropylenglykol (1,2 propan-diol) s inhibitory	Agrimex, s.r.o., Třebíč	-30
Tyfocor L	propylenglykol (1,2 propan diol) s inhibitory	Tyforop Chemie GmbH	-50
Tyfocor LS	propylenglykol (1,2 propan diol) s inhibitory	Tyforop Chemie GmbH	-28
Antifrogen N	monoethylenglykol (1,2 etan diol) s inhibitory	Gerling, Holz & CO Handels, GmbH	-70
Antifrogen SOL	propylenglykol s inhibitory	Gerling, Holz & CO Handels, GmbH	-34

Alkoholy (metanol, etanol) se častěji než u kolektorů používají v primárních okruzích tepelných čerpadel s ohledem na nízký bod tuhnutí. Tepelná kapacita je výrazně nižší než u vody (téměř o 40 %) a pro použití jako teplotně odolná látka v okruzích solárních soustav je nevýhodný také nízký bod varu (metanol 64 °C, etanol 78 °C). Metanol a etanol jsou těkavé a toxické látky. Využití etanolu v solární technice se omezuje pouze na technologii tepelných trubíc, kde zajišťuje přenos tepla s fázovou změnou z absorberu kolektoru do sekundární teplotně odolné látky.[8]

Silikonové oleje mají velmi nízký bod tuhnutí a velmi vysoký bod varu. Nejsou korozivní a mají vysokou životnost. Na druhou stranu se vyznačují vysokou viskozitou a nízkou tepelnou kapacitou (poloviční než u vody), což vede k vyšší spotřebě energie pro pohon oběhových čerpadel (vyšší průtok, vyšší tlakové ztráty). Silikonové oleje jsou také vztlínivé, snadno unikají z uzavřeného okruhu mikroskopickými netěsnostmi. Jejich použití se omezuje pro vysokoteplotní aplikace a kolektory (koncentrační).[8]

4.5 Potrubí

Pro přenos tepla mezi kolektorem a zásobníkem je potřebné potrubí, které musí materiálem a světlostí odpovídat danému účelu. Vlastní výběr materiálu potrubí závisí na velikosti soustavy a materiálu absorbéru. Je třeba si uvědomit, že nelze kombinovat hliníkové absorbéry s měděnými trubkami. Pro solární systémy připadají v úvahu materiály[9]:

- *měděné trubky (tvrdé nebo měkké)*
- *ocelové trubky*
- *trubky z polyethylenu*

Plasty se pro použití v solárních soustavách neosvědčily, protože nejsou vhodné pro obrovské zatížení při chodu solární soustav naprázdno (teploty mnohdy dosahují přes 140°C a tlak nad 2,5 Bar). Pozinkované trubky rovněž pro použití v solárních soustavách nejsou vhodné, protože zinek se nesnáší s glykolem, který je nejčastěji používaný do teplotnosných kapalin, kdy vytváří bahnitě sraženiny. Ocel je vhodná především při použití ve velkých solárních soustav. Práce s ocelí je dosti náročná, avšak soustavy vykazují velkou odolnost. Měď je v současnosti nejčastěji používaným materiálem. Používáme jak měď měkkou, tak měď tvrdou. Přednost však dáváme mědi tvrdé díky její přizpůsobivosti.

Průměr potrubí má být volen tak, aby tlaková ztráta všech trubek větší než 100 mbar a aby rychlost proudění potrubí nepřekročila kvůli možnému šumu 1 m/s. Spodní hranice je stanovena na 0,5 m/s.

Při montáži potrubí je také třeba uvědomit si, že potrubí musí být navržena tak aby:

- *Cesta mezi solárním kolektorem, zásobníkem a místem spotřeby byl o nejmenší.*
- *Potrubí vedle co nejsuššími místy a izolace byla co nejméně pracná.*
- *Byl dostatek prostoru pro izolace.*
- *Všechny místa, kde by mohla vzniknout vzduchová kapsa, musí být odvzdušněna.*
- *Aby bylo možno celý systém úplně vyprázdnit.*

Pokládání potrubí je při realizaci projektu solárních systémů jednou z nejdůležitějších činností. Rozložení a izolace potrubí mnohdy rozhoduje o tom, jak bude solární systém fungovat. Dále je třeba si uvědomit, že délku potrubí zbytečně neprodlužujeme, protože každý metr navíc je jen místem ztrát tepla.

V praxi se při volbě průměru potrubí řídit následující tabulkou:

Tabulka 4.2 Doporučené směrné hodnoty průměrů trubek pro soustavy s nemrznoucí směsí. [3]:

Soustavy s čerpáním	Délka potrubí				
	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Plocha kolektorů	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Do 8 m ²	15x1	15x1	15x1	18x1	18x1
Do 15 m ²	15x1	18x1	22x1	22x1	28x1,5
Do 25 m ²	22x1	22x1	28x1,5	28x1,5	28x1,5
Samotížné soustavy	Výškový rozdíl mezi kolektorem a zásobníkem				
	0,5 m	1 m	2 m	4 m	6 m
Plocha kolektorů	0,5 m	1 m	2 m	4 m	6 m
Do 4 m ²	22x1	22x1	18x1	18x1	15x1
Do 10 m ²	28x1,5	28x1,5	22x1	22x1	18x1
Do 20 m ²	42x2	35x1,5	28x1,5	28x1,5	22x1

V současnosti se výzkum v této oblasti znovu ubírá směrem plastů. I když se v minulosti ukázalo, že jsou pro použití v solárních systémech méně vhodné, tak vývojem nových a nových materiálů vznikají plasty, které odolávají stále větším a větším teplotám a tlakům. Dá se tedy očekávat, že v blízké budoucnosti budou plasty znovu používány

4.6 Čerpadlo

V solárních systémech s nuceným během jsou všeobecně používána obvykle čerpadla oběhová používaná pro ústřední vytápění. Tato čerpadla jsou:

- *Osvědčené a spolehlivé*
- *Zvládnou dostatečný objem kapalin*
- *Cenově dostupné*
- *Mají vysokou tepelnou odolnost až do 110°C*
- *Jsou vhodná pro čerpání vodních směsí s mrazuvzdornými přísadami*

Všichni výrobci dodávají dnes velká čerpadla s říditelnými otáčkami, kde je jejich výkon ovládán variabilně.

4.7 Regulační a řídicí zařízení

Řídicí jednotka je mozek solárních soustav a řídí veškeré úkony v solárním okruhu. Řídicí jednotka soustavy plní dva základní úkoly:

- *Řídit oběhová čerpadla, v solárních okruzích za účelem optimalizace zisků z kolektorů a zásobníku*
- *Udržovat hraniční teploty v zásobníku*

Dále řídicí jednotka plní mnoho vedlejších funkcí, které jsou pro fungování soustavy také důležité. Například se jedná o analýzu chování soustavy, kontrolu funkce a sledování zisků a v neposlední řadě také poruch a bezpečnost. V praxi platí, že čím je solární soustava komplikovanější (čím více má prvků), tím vyžaduje komplikovanější řízení a tím je složitější řídicí jednotku nastavit.

V poslední době se uplatňují především řídicí jednotky s mikroprocesorem, které jsou dostatečně robustní a cenově dostupné.

4.8 Pojistná zařízení

V solárních soustavách uzavřeným okruhem jsou potřeba zabezpečovací mechanismy, které v případě poruchy dokážou snížit tlak v soustavě. Takové mechanismy buď: [3]

- *Membránová expanzní nádoba, která vyrovná tlakové změny, podmíněně teplotou teplotnosné kapaliny a udržuje tak tlak v soustavě částečně konstantní*
- *Pojistný ventil nebo přetlakový ventil se při jistém tlaku jistěném okruhu otevírá a nechá část kapaliny odtéct, čímž zabrání možným škodám v systému. Případně až prasknutí v některé části. Přetlakový ventil je umístěn tak, aby nemohlo být uzavřeno spojení se zdrojem tepla (solárním kolektorem). Od vývodu přetlakového ventilu má být vyveden odtok do záchytné nádrže, aby mohla být případně vytékající kapalina zachycena a znovu použita.*

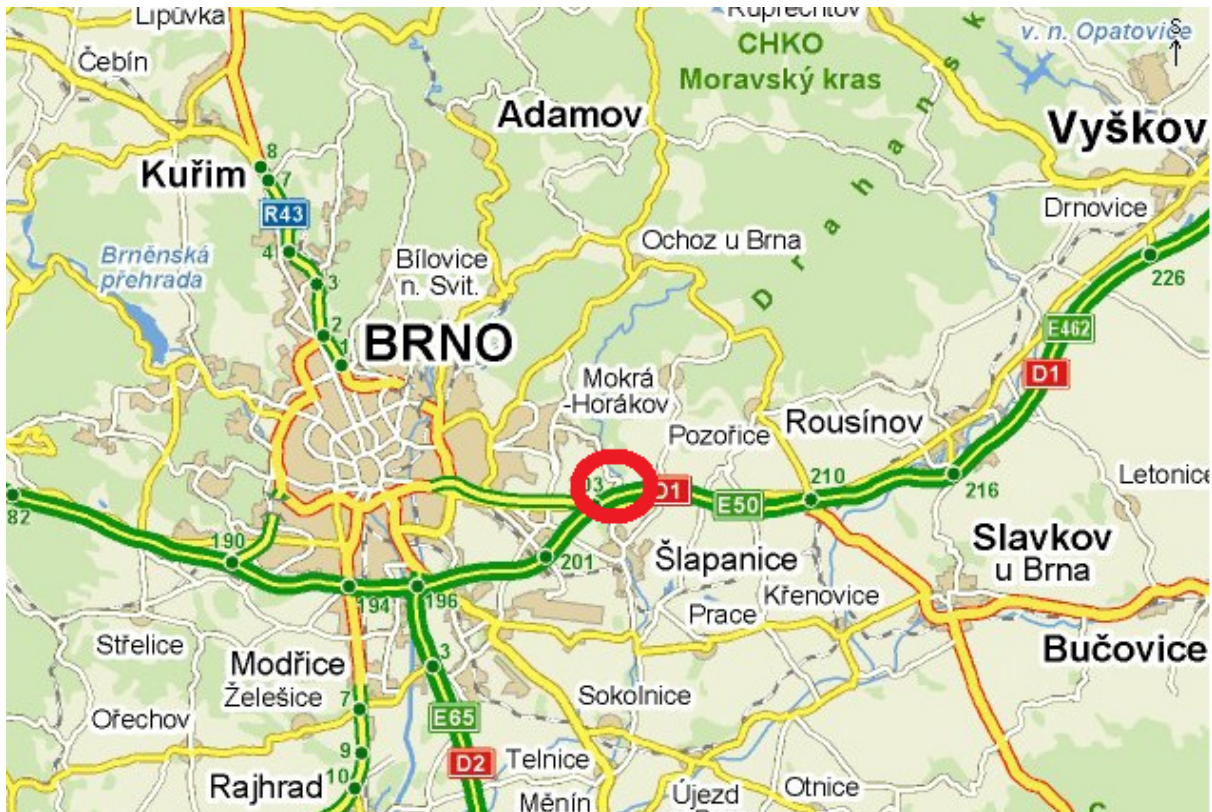
Pojistná zařízení, ať už expanzní nádoba nebo očištný ventil, často zabrání i vlastnímu poškození soustavy a proto by každá soustava měla mít dostatek těchto prvků.

5 CHARAKTERISTIA PROJETU

V této kapitole bude řešen popis projektu a uvedení do základních problémů s tímto projektem spojených. Jak již bylo řečeno v předcházejících kapitolách, tak záměrem tohoto projektu je komplexní řešení zásobování novostavby domu v obci Podolí u Brna teplou vodou a částečné vytápění. V následujících kapitolách proto bude charakterizován projekt, kdy budou uvedeny stavebně-technické parametry budovy, popis pozemku, jeho umístění a jeho charakteristiky vzhledem k možnému využití tepelného solárního zařízení k zásobování objektu teplem. Dále bude proveden výpočet potřeby energie pro ohřev teplé vody, tepelných ztrát objektu a spotřeby teplé vody a tepla v budově dle potřeb.

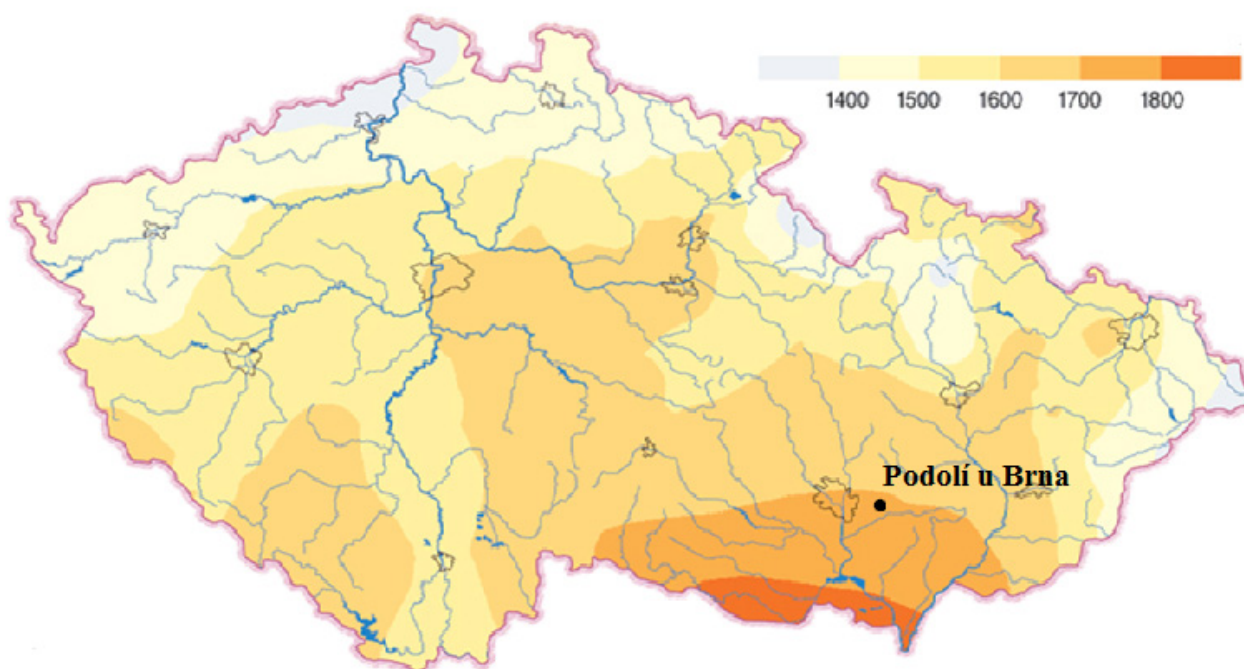
5.1 Umístění projektu a jeho charakteristika

Jak již bylo řečeno v úvodu a předchozích kapitolách, jedná se novostavbu samostatně stojícího rodinného domu v obci Podolí u Brna (kód obce 583 634) v k.ú. Podolí u Brna 724254, parcelní číslo 1264/51,52,53,54 a 11. Firmou provádějící stavební práce a odpovědnou za tuto stavbu je firma Kaláb-stavební firma spol. s r.o., IČ 49436589 Vídeňská 849/15, 639 00, Brno. Termín dokončení stavby je dle projektu plánován na 11/2011.



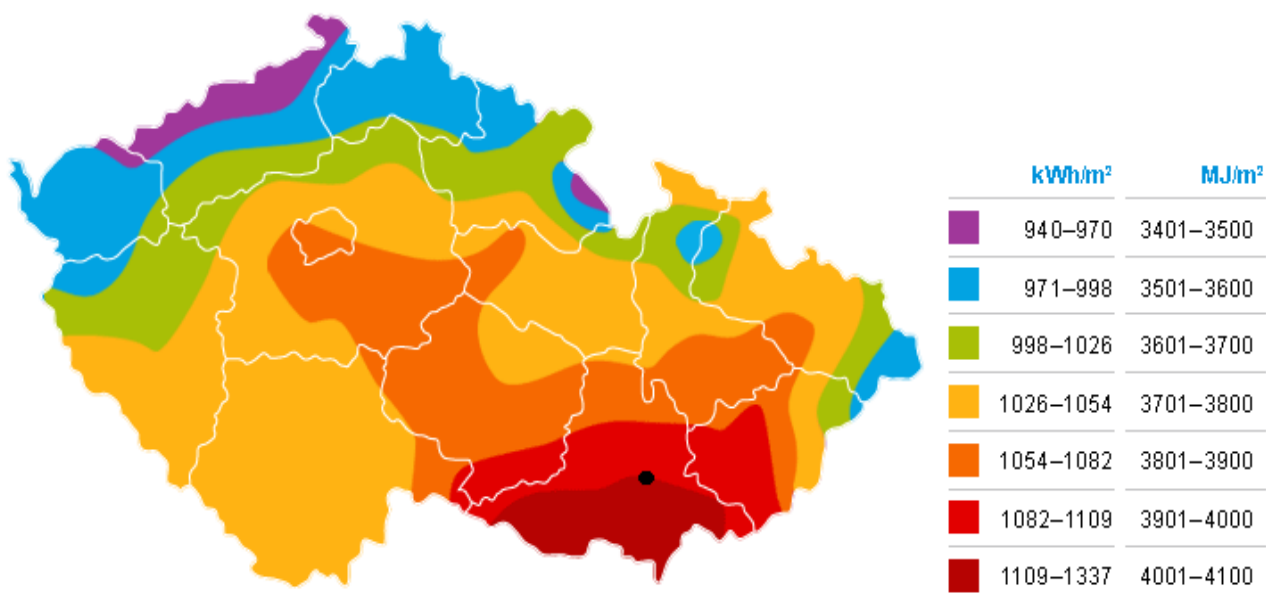
Obrázek 5.1. Mapa Podolí u Brna

Obec Podolí u Brna jak je vidět z obrázku se rozkládá 8 Km východně od Brna, na jižních svazích Dražanské vrchoviny a je součástí mikroregionu Rokytnice. Nadmořská výška středu obce je 238 m. Obec má 1149 obyvatel.



Obrázek 5.2. Roční úhrn doby trvání slunečního svitu se znázorněním oblasti Podolí u Brna

Jak z obrázku 5.2 vyplývá, oblast Podolí u Brna se nachází v pásmu, kde roční úhrn slunečního svitu je v rozmezí 1 700 – 1 800 hodin za rok. Lokalita je tedy vhodná pro provoz solárních systémů.



Obrázek 5.3 Roční úhrn globálního záření v Podolí u Brna



Obrázek 5.4 Fotomapa Podolí u Brna s umístěním pozemku výstavby.

5.2 Stavebně-technické parametry stavby

Jedná se o řadový rodinný dům, dvoupodlažní, nepodsklepený s obytným podkrovím. Obvodové konstrukce jsou tvořeny keramickými tvárnicemi POROTHERM P + D 36,5 mm e zateplením BAUMIT 80 mm, otvorové výplně EURO. Podlaha je tvořena betonovým potěrem s keramickou dlažbou, nebo plovoucími podlahami zateplená PES 70 mm. Střecha je sedlová, zateplená AIRLOCK 120 + 80 mm.

V následující tabulce jsou uvedeny technické údaje budovy, které budou následně využity k dalším výpočtům.

Tabulka 5.1 Základní technické údaje stavby

Zastavěná plocha S_z [m²]	97
Užitná plocha S_u [m²]	159,7
Celková podlahová plocha A_c [m²]	221
Objem budovy V [m³]	680,16
Objemový faktor	0,9
Regulace otopné soustavy	Ekvitermní regulace

5.3 Ztráty tepla v budově

K projektu stavby domu byl dle ustanovení § 6a zákona číslo 406/2000 Sb. a vyhlášky číslo 148/2007 zpracován průkaz energetické náročnosti budovy. Z tohoto průkazu lze vyčíst mimo jiné základní údaje o ztrátách tepla v budově. Vybrané hodnoty byly přeneseny do tabulky 5.1. Z hodnot uvedených v tabulce 5.1, mimo jiné vyplývá, že velikost celkové ochlazované plochy je 678,97 m². Touto plochou ztrácí budova v průběhu energii do okolního prostředí. Jak je z tabulky dále vidět nejvíce tepla dům ztrácí obvodovými zdmi a střechu. Pro další potřebu projektu (hlavně pro stanovení potřeby tepla pro vytápění) bude využit energetický průkaz budovy, kde jsou stanoveny energetické potřeby budovy. Z údajů uvedených v tabulce 5.1 sice lze stanovit únik tepla pro jednotlivé měsíce, ale vzhledem k tomu, že nejsou k dispozici potřebná data získaná během provozu domu, budou použita data výše uvedeného průkazu energetické náročnosti budovy.

Tabulka 5.1 Měrné ztráty budovy prostupem tepla $H_T[W/K]$ vtažené na plochu konstrukcí $A[m^2]$. [21]

Ochlazovaná konstrukce		Plocha všech konstrukcí $A[m^2]$	Součinitel prostupu tepla $U[W/(m^2K)]$	Měrná ztráta konstrukce prostupem tepla $H_T[W/K]$
1.	POROTHERM P+D 36,5	234,8	0,22	51,66
2.	POROTHERM P+D 36,5	55,1	0,22	12,12
3.	POROTHERM P+D 30	26,7	0,77	20,56
4.	Strop po terasou	6,0	0,28	1,39
5.	Strop garáže	39,00	0,60	19,42
6.	Podlaha RD	79,80	0,45	14,36
7.	Podlaha garáž	39,00	0,45	7,02
8.	Střecha šikmá	160,0	0,24	31,87
9.	Otvorové výplně EURO - SZ	7,70	1,20	10,63
10.	Otvorové výplně EURO - SV	4,50	1,20	6,21
11.	Otvorové výplně EURO - JZ	14,80	1,20	20,42
12.	Otvorové výplně EURO - JV	4,40	1,20	6,07
13.	Otvorové výplně střešního okna JV	0,87	1,50	1,50
14.	Otvorové výplně střešního okna JZ	2,70	1,50	4,66
15.	Otvorové výplně střešního okna SV	1,80	1,50	3,11
16.	Otvorové výplně střešního okna SZ	1,80	1,50	3,11

6 DIMENZOVÁNÍ SOLÁRNÍ SOUSTAVY

Před zahájením vlastního zpracování dimenzování projektu je v první řadě potřeba stanovit, pro co vlastně budeme solární systém v domě využívat. V projektu je řešeno zásobování domu teplem pro ohřev vody a pro vytápění domu. Je předem jasné, že není reálné (a ani ekonomické) vytvářet solární systém pro 100% pokrytí jak potřeby energie pro přípravu teplé vody tak pro vytápění domu. Hlavní prioritou tedy bude ohřev vody a ze zbytkového tepla bude realizováno vytápění. Pro další práci bude tedy vycházeno z těchto předpokladů:

- *Využít co největší množství energie ze solárního systému pro přípravu teplé vody*
- *Zbytkové teplo použít pro vytápění domu*
- *V ideálním případě využít přebytky energie v letních měsících*

Jak již bylo zmíněno v kapitolách výše, průchodem atmosférou se intenzita sluneční energie zmenšuje. Dochází k tomu díky odrazu od molekul plynů a prachu či absorpci víceatomovými plyny (CO₂, H₂O, O₃). Mírou zmenšení intenzity tohoto záření je tzv. součinitel znečištění Z, který závisí na obsahu příměsí a atmosférickém tlaku vzduchu. Tento úbytek jsem schopni určit pomocí tzv. Linkeho vztahu (kapitola 2.2). V rámci tohoto projektu nemáme však dostatek dat pro stanovení přesné hodnoty součinitele znečištění. Pro další práci proto určíme součinitel znečištění dle dostupných informací o lokalitě a informací z literatury.

Tabulka 6.1 Průměrné měsíční součinitele Z pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší ve střední Evropě[12]

Měsíc	Horské oblasti	Venkov	Města	Průmyslové oblasti
Leden	1,5	2,1	3,1	4,1
Únor	1,6	2,2	3,2	4,3
Březen	1,8	2,5	3,5	4,7
Duben	1,9	2,9	4,0	5,3
Květen	2,0	3,2	4,2	5,5
Červen	2,3	3,4	4,3	5,7
Červenec	2,3	3,5	4,4	5,8
Srpen	2,3	3,3	4,3	5,7
Září	2,1	2,9	4,0	5,3
Říjen	1,8	2,6	3,6	4,9
Listopad	1,6	2,3	3,3	4,5
Prosinec	1,5	2,2	3,1	4,2

Roční průměr	1,9	2,75	3,75	5,0
--------------	-----	------	------	-----

Velikost součinitele znečištění atmosféry se během roku v daném místě mění. Závisí na teplotě během dne i roku a tím spojené množství vodní páry obsažené ve vzduchu. Se vzrůstající teplotou roste i množství vodní páry. Dále pak na výkyvech počasí a množství exhalací. Obecně lze říci, že s nadmořskou výškou hodnota součinitele znečištění klesá, naopak s nárůstem teploty zase stoupá. Přibližně lze počítat s průměrnými hodnotami uvedené níže:

- $Z = 2$ pro místa nad 2 000 m n. m
- $Z = 2,5$ pro místa nad 1 000 m n. m
- $Z = 3$ pro venkov bez průmyslových exhalací
- $Z = 4$ pro města

pozn. V nárazech mohou hodnoty součinitele znečištění atmosféry dosahovat i hodnot přesahující $Z = 8$ a to hlavně v oblastech s vysokým znečištěním ovzduší, především velká města v ranní dopravní špičce (Praha, Brno, Ostrava...)

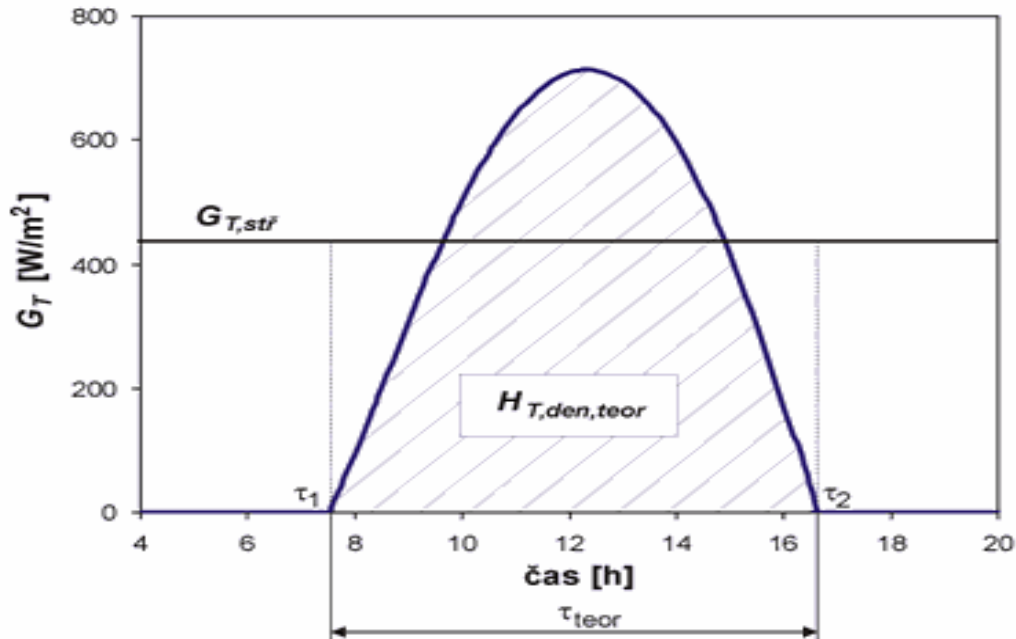
Tyto hodnoty lze použít při návrhu solárního systému pro vytápění a ohřev TV, důležité je zjistit celkovou energii dopadající na osluněnou plochu. Ta však kromě intenzity solárního záření je závislá na statisticky zjištěných hodnotách doby slunečního svitu, řadí se do kategorie náhodných veličin způsobené oblačností a zamračeným podnebím. Proto je zde i při použití dlouhodobého průměru součinitele znečištění zanedbatelný vliv na spolehlivost výsledku.

Obec Podolí u Brna se nachází v blízkosti Brna, kde nedochází k nadměrnému znečištění průmyslovými exhalacemi, kdy exhalace z dopravy v místě, vzhledem k nízkému provozu, jsou zanedbatelné. Vzhledem k tomu si pro další práci určíme pro náš projekt hodnotu součinitele znečištění $Z = 3$.

6.1 Skutečná a teoretická denní dávka sluneční energie na plochu kolektoru

Pro stanovení sluneční energie dopadlé na plochu kolektoru během dne určeného referenčního období (denní dávka slunečního ozáření, denní dávka sluneční energie) je nutné znát teoretickou denní dávku ozáření plochy $H_{T,den,teor}$ [kWh/m².den]. V podstatě jde o energii přímého slunečního záření dopadlou během dne bez jakékoli oblačnosti na danou plochu. Teoreticky je možné hodnotu $H_{T,den,teor}$ získat integrací slunečního ozáření (výkonu) G_T [W/m²] dané plochy od východu T_1 do západu T_2 Slunce tj. za teoretickou dobu slunečního svitu τ_{teor} . [13]

$$H_{T,den,teor} = \int_{T_1}^{T_2} G_T dt \quad [12]$$



Graf 6.1. Průběh slunečního ozáření G_T při jasném dni [13]

Hodnoty G_T je možné stanovit teoreticky výpočtem z geometrie slunečního záření vycházejícím ze solární konstanty. Prakticky se hodnoty $H_{T,den,teor}$ odečítají z tabulek určených pro danou oblast. Hodnoty $H_{T,den,teor}$ vhodné pro ČR jsou tabelované v literatuře pro různé sklony a orientace uvažované plochy a různé oblasti (horské oblasti, venkov, město, průmyslové oblasti). [13]

Skutečná denní dávka ozáření plochy $H_{T,den}$ [kWh/m².den] je dána vztahem:

$$H_{T,den} = t_r \cdot H_{T,den,teor} + (1 - t_r) \cdot H_{T,den,dif} \quad [13]$$

kde t_r je poměrná doba slunečního svitu a $H_{T,den,dif}$ [kWh/m².den] je denní dávka difúzního slunečního ozáření. Poměrná doba slunečního svitu t_r se určuje z dlouhodobých průměrů na základě skutečné doby slunečního svitu, tedy doby s přímým slunečním zářením (měření slunoměrem nebo dvojicí pyranometrů). [13]

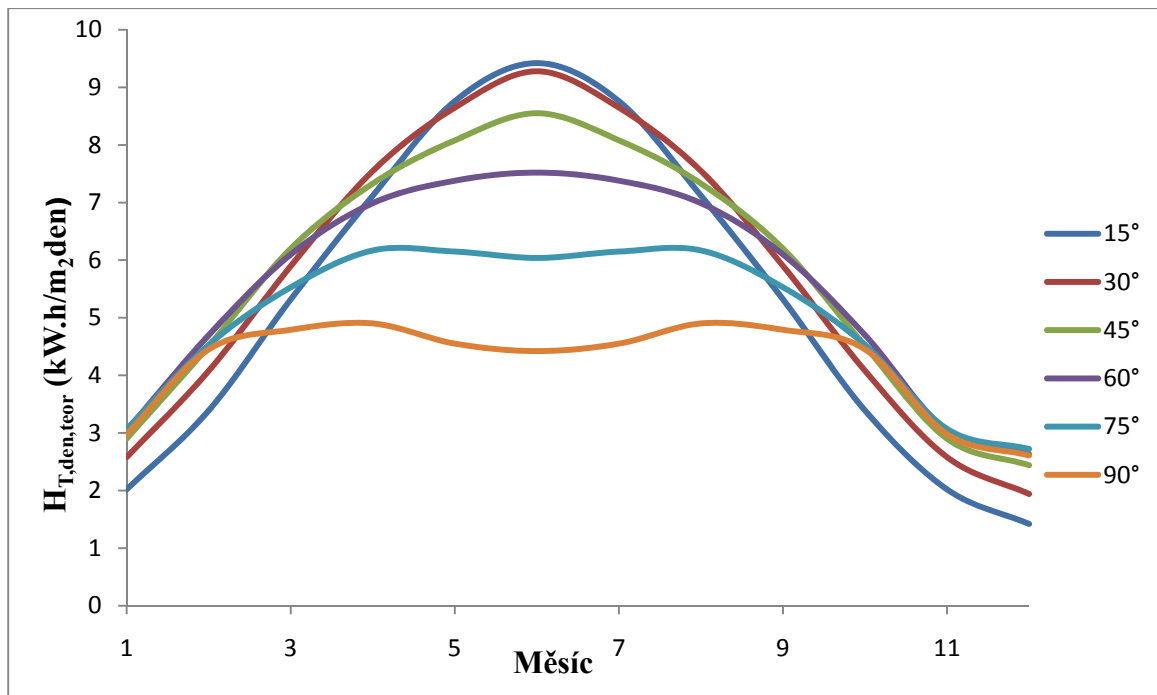
Pro účel tohoto projektu bude tedy dále využito tabelovaných hodnot teoretické denní dávky přímého ozáření plochy $H_{T,den,teor}$ (kW.h/m²den) a $H_{T,den,dif}$ převzatých z dostupné literatury.

Úhel sklonu osluněné plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
15°	2,02	3,39	5,32	7,12	8,76	9,42	8,76	7,12	5,32	3,39	2,02	1,42
30°	2,58	4,08	5,90	7,55	8,65	9,28	8,65	7,55	5,90	4,08	2,58	1,94
45°	2,90	4,51	6,20	7,33	8,08	8,55	8,08	7,33	6,20	4,51	2,90	2,44
60°	3,04	4,70	6,10	6,99	7,38	7,52	7,38	6,99	6,10	4,70	3,04	2,63
75°	3,07	4,53	5,53	6,17	6,15	6,04	6,15	6,17	5,53	4,53	3,07	2,72
90°	2,98	4,45	4,79	4,90	4,55	4,42	4,55	4,90	4,79	4,45	2,98	2,61

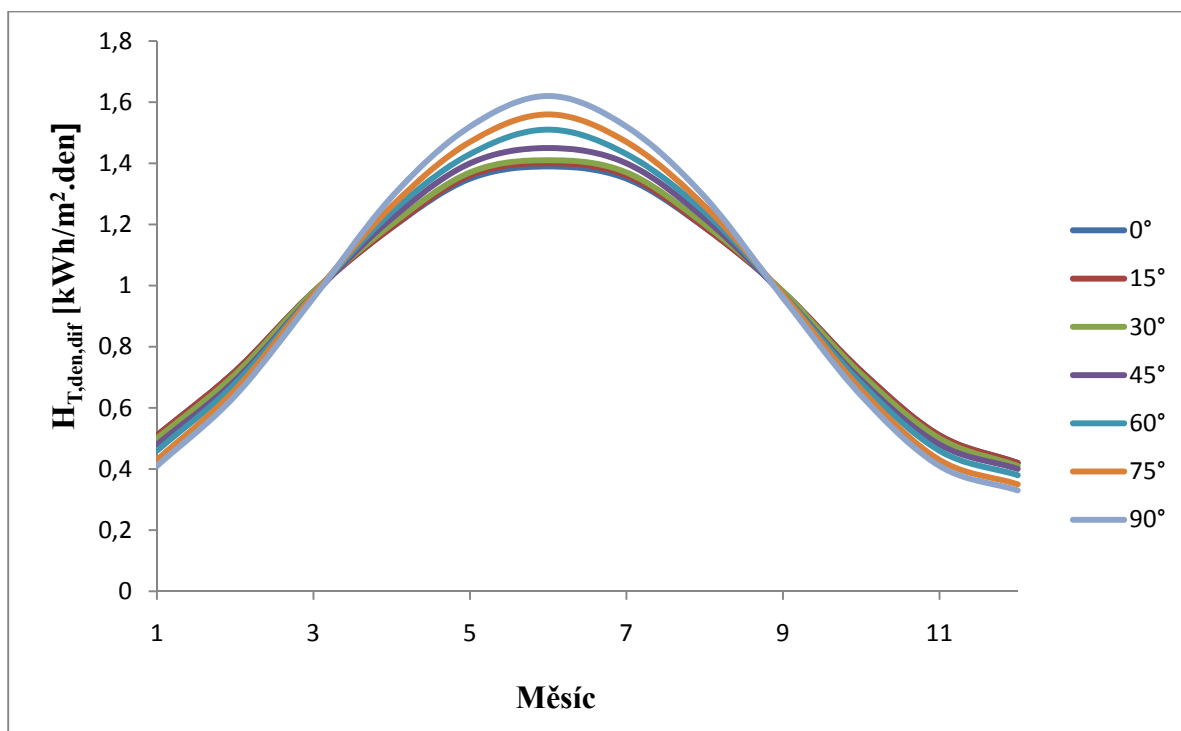
Tabulka 6.2 Teoretická denní dávka ozáření plochy $H_{T,den,teor}$ na různé skloněné plochy; platí pro 50° severní šířky, součinitel znečištění $Z = 3$, plocha orientovaná s odklonem $\pm 30^\circ$ od jihu [12].

Úhel sklonu osluněné plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
0°	0,51	0,72	0,98	1,19	1,35	1,39	1,35	1,19	0,98	0,72	0,51	0,42
15°	0,51	0,72	0,98	1,19	1,36	1,40	1,36	1,19	0,98	0,72	0,51	0,42
30°	0,50	0,71	0,98	1,20	1,37	1,41	1,37	1,20	0,98	0,71	0,50	0,41
45°	0,48	0,69	0,97	1,22	1,40	1,45	1,40	1,22	0,97	0,69	0,48	0,40
60°	0,46	0,68	0,97	1,24	1,43	1,51	1,43	1,24	0,97	0,68	0,46	0,38
75°	0,43	0,66	0,97	1,26	1,47	1,56	1,47	1,26	0,97	0,66	0,43	0,35
90°	0,41	0,64	0,96	1,29	1,52	1,62	1,52	1,29	0,96	0,64	0,41	0,33

Tabulka 6.3 Denní dávka difúzního slunečního ozáření $H_{T,den,dif}$ [$kWh/m^2 \cdot den$] dopadající na různé skloněné plochy v jednotlivých měsících; platí pro 50° severní šířky a součinitel znečištění $Z = 3$ [12].



Graf 6.2 Roční průběh denní dávky přímého ozáření plochy $H_{T,den,teor}$ (kWh/m^2den) pro různé sklony ploch, při odklonu 30° od jihu.



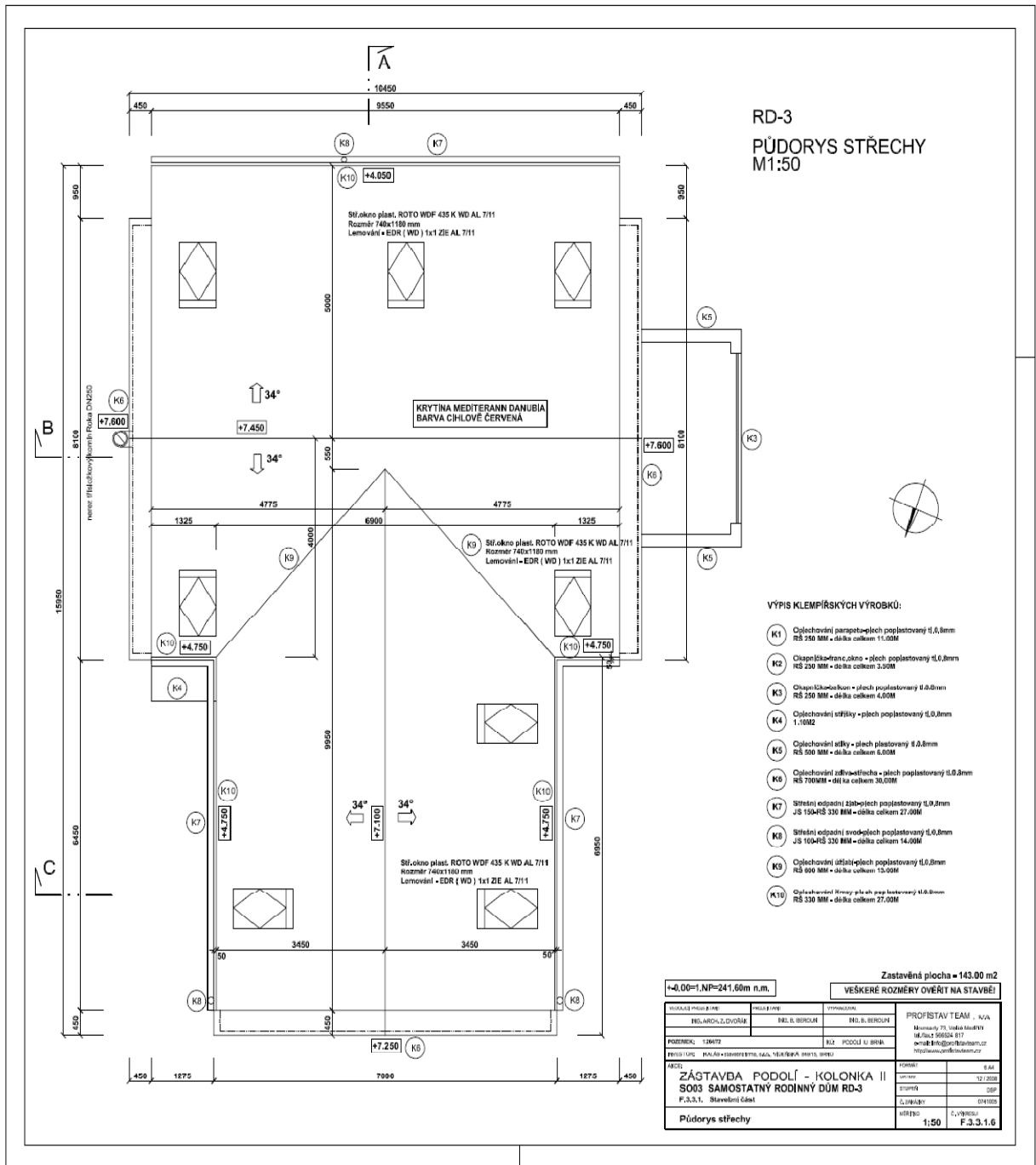
Graf 6.3 Roční průběh energie difúzního záření $H_{T,den,dif}$ [$kWh/m^2.den$] pro různé sklony ploch.

6.2 Stanovení ideálního sklonu kolektorů projektu

Energetické výnosy solárních kolektorů se v průběhu roku mění, velikost sklonu solárních kolektorů jak je z grafů a tabulek v kapitole 6.1 patrné, je pro velikost energetických výnosů solárních soustav jeden z nejdůležitějších faktorů. Jelikož solární systém v našem projektu budeme požívat přednostně pro zásobování domu teplou vodou a částečné vytápění, volíme proto tedy sklon solárních kolektorů 60° . Tímto krokem sice přijdeme o vysoké energetické zisky v průběhu letních měsíců, ale v těchto měsících bude solární soustava produkovat nadměrné množství, které vzhledem k tomu, že během těchto měsíců nebude potřeba dům vytápět, nebude využito.

V případě, kdy by bylo využito pro letní maxima dodávané energie (například doplnění o bazén) lze uvažovat o variantě, která umožňuje změnu sklonu solárních kolektorů. Tento problém lze vyřešit speciálními nosíky solárních panelů s měnitelným polohováním.

Problém v případě našeho projektu bude se střechou domu. Pro náš projekt byl určen ideální sklon solárních kolektorů na 60° , ale dle projektové dokumentace bude dům osazen střechou, kdy její sklon vzhledem k ploše bude 34° . Proto před usazením kolektorů na střechu bude potřeba osadit střechu nosíky, které zajistí potřebný sklon kolektorů 60° a jak bylo uvedeno výše, lze uvažovat o použití speciálních polohovatelných nosníků, které by umožňovaly změnu sklonu kolektoru v průběhu roku.



Obrázek 6.1 Půdorys střechy domu

6.3 Výpočet skutečné energie dopadající na osluněnou plochu

V této kapitole bude vypočítáno skutečné množství energie dopadající na plochu solárního kolektoru. Ve výše uvedených kapitolách byl určen optimální sklon solárních kolektorů pro náš projekt solárního systému, kdy byl stanoven na 60°. S tímto sklonem tedy bude pracováno dále.

Skutečná denní dávka ozáření plochy $H_{T,den}$ [kWh/m².den] jak již bylo uvedeno v kapitole 6.1 je dána vztahem:

$$H_{T,den} = t_r \cdot H_{T,den,teor} + (1 - t_r) \cdot H_{T,den,dif} \quad [13]$$

kde t_r je poměrná doba slunečního svitu, $H_{T,den,teor}$ [kWh/m².den] je teoretická denní dávka ozáření plochy (uvedena v tabulce 6.1) a $H_{T,den,dif}$ [kWh/m².den] je denní dávka difúzního slunečního ozáření (uvedena v tabulce 6.2)

Poměrnou dobu slunečního svitu t_r jak bylo uvedeno v kapitole 6.1 určujeme z dlouhodobých průměrů na základě skutečné doby slunečního svitu, tedy doby s přímým slunečním zářením. Tato práce nebude výjimkou a proto pro další práci budou použity tabelované hodnoty poměrné doby slunečního svitu t_r pro oblast Brno uvedené v následující tabulce.

Tabulka 6.4 Poměrná doba slunečního svitu t_r pro oblast Brno [12].

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
t_r	0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53	0,53	0,53	0,5	0,37	0,23	0,12

Příklad výpočtu skutečné dávky energie pro jednotlivé měsíce pro sklon 60° v měsíci lednu:

$$H_{T,den,teor} = 3,04 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{den} \quad (\text{viz. tabulka 6.1})$$

$$H_{T,den,dif} = 0,46 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{den} \quad (\text{viz. tabulka 6.2})$$

$$t_r = 0,18 \quad (\text{viz. Tabulka 6.3.})$$

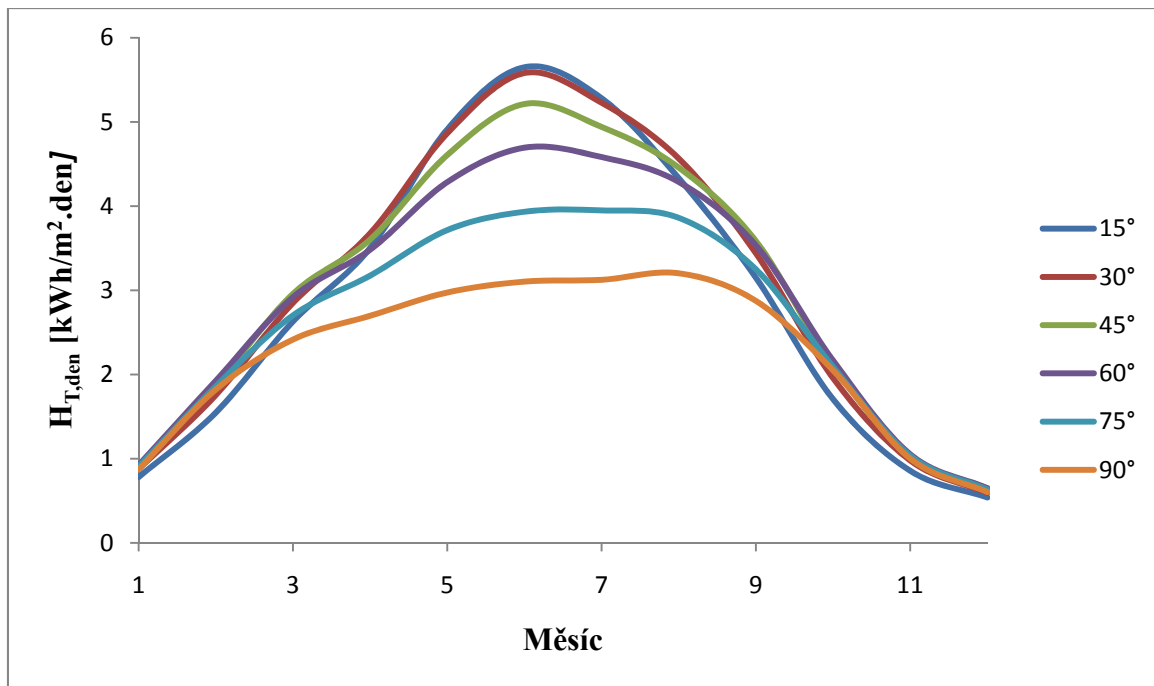
$$H_{T,den} = 0,18 \cdot 3,04 + (1 - 0,18) \cdot 0,46 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{den}$$

$$H_{T,den} = 0,9224 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{den}$$

Výsledky výpočtů skutečné energie pro jednotlivé měsíce jsou zapsány v následující tabulce 6.4

Tabulka 6.5 Skutečné denní dávky ozáření plochy $H_{T,den}$ [$kWh/m^2 \cdot den$] pro jednotlivé měsíce různé sklony ploch.

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
15°	0,7818	1,5477	2,6292	3,5027	4,9120	5,6506	5,2820	4,3329	3,1503	1,7079	0,8573	0,5400
30°	0,8744	1,7547	2,8496	3,6765	4,8644	5,5811	5,2284	4,5655	3,4404	1,9569	0,9784	0,5936
45°	0,9156	1,8742	2,9574	3,6029	4,6064	5,2130	4,9404	4,4583	3,5850	2,1034	1,0366	0,6448
60°	0,9244	1,9262	2,9194	3,4825	4,2860	4,6953	4,5835	4,2875	3,5305	2,1674	1,0534	0,6501
75°	0,9052	1,8597	2,7028	3,1749	3,7164	3,9344	3,9504	3,8623	3,2502	2,0919	1,0372	0,6344
90°	0,8726	1,8211	2,4154	2,6979	2,9744	3,1040	3,1259	3,2033	2,8750	2,0497	1,0011	0,6036



Graf 6.4 Skutečná denní dávka ozáření plochy $H_{T,den}$ [kWh/m².den] pro jednotlivé měsíce různé sklony ploch.

Jak je vidět z tabulky 6.4, nejnižší denní dávky ozáření plochy jsou v průběhu roku v rozmezí listopad až Leden. Vůbec nejnižší jsou hodnoty pro měsíc prosinec. Dále z tabulky je možno vidět, že volba úhlu sklonu solárních kolektorů 60° byla správná, protože z tabulky je dobře patrné, že právě v těchto měsících je nejvyšších hodnot dosahováno právě při úhlu sklonu kolektorů 60°.

Pro další výpočty bude tedy vyházeno ze skutečnosti, že k ohřevu vody pro domácnost si budeme muset vystačit s hodnotou $H_{T,den} = 0,65$ [kWh/m².den], kdy toto množství energie bude muset potřebovat teplé vody a také bude podle toho vybírán druh kolektoru a následně počet kolektorů.

6.4 Stanovení potřebné energie pro ohřev pitné vody

Při vlastním dimenzování je potřeba vycházet z reálných hodnot, které lze získat u stávajících budov dlouhodobým měřením. Ideální je měření alespoň po dobu jednoho roku, v případě nedostatku času je dostačující i několik celodenních měření příložnými průtokoměry na patě objektu. U novostaveb, kde nejsou k dispozici reálná data, nezbyvá než použít s velkou opatrností směrných hodnot z literatury, podle normy ČSN 06 0320.[14] Standardizované hodnoty uvedené v normě jsou určeny pro návrh zdroje teplé vody a její bezpečné zajištění v daném objektu.

Orientačně jsou níže uvedeny hodnoty pro typické aplikace podle uvedené normy: [14]

- *Bytové objekty: potřeba teplé vody 82 l/os.den (60 / 10 °C) odpovídající denní potřebě tepla $Q_{TV} = 4,3$ kWh/os.den*
- *Administrativa: potřeba teplé vody 25 l/os.den (60 / 10 °C) odpovídající denní potřebě tepla $Q_{TV} = 1,3$ kWh/os.den*

Tyto hodnoty však musí být brány s jistou rezervou neboť každý obyvatel domu má jiné nároky na spotřebu TUV a tudíž je nutno přihlídnout k individuálním požadavkům jedince. Například dítě má jinou spotřebu než dospělý, starší lidé mají vyšší spotřebu než lidé v produktivním věku apod.

V případě projektu výstavby v Podolí u Brna se jedná o novostavbu domu, kdy dokončení projektu je datováno na 11/2011 a není proto možno provést měření konkrétní spotřeby vody pro tento objekt. Pro potřebu našeho projektu nebude dále vycházeno ze standardizovaných hodnot vycházejících z normy ČSN 06 0320[14], kdy tato uvádí, jak bylo řečeno výše spotřebu teplé vody 82 l/os.den, ale pro potřebu další práce bude stanovena spotřeba vody na 50 l/os.den. Tento krok je učiněn vzhledem k tomu, že v dnešní době je uživatelům domu k dispozici velké množství elektrospotřebičů, které potřebu teplé vody (myšleno teplou vodou ze zásobníku) snižují. Příkladem takového spotřebičem např. myčka na nádobí. Ta se v poslední době stává standardem v každé domácnosti a snižuje spotřebu spotřebu vody celkově, ale také spotřebu teplé vody ze zásobníku, neboť myčky nádobí mají vlastní ohřívání vody. Další úvaha vedoucí ke požadavku na množství teplé vody projektu je ta, že předpokládáme, že rodina, která si pořídí nízkoenergetický dům, se bude snažit snížit spotřebu energie na minimum. Co se týče množství osob žijících v domě, bude dále uvažováno, se čtyřmi osobami.

Vlastní stanovení potřebného množství energie Q_{pc} [kWh/den], které je nutno denně dodat pomocí solárního systému, bude provedeno výpočtem pomocí kalorimetrické rovnice[3]:

$$Q_{pc} = (1 + p) \cdot Q_{TV} = (1 + p) \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6} \text{ [kWh/den]}$$

kde V [m³/den] je průměrná denní potřeba teplé vody v objektu, ρ [kg/m³] je hustota vody, c [J/kg.K] je měrná tepelná kapacita vody, t_2 [°C] je požadovaná teplota teplé vody a t_1 [°C] je teplota studené vody. p [%] jsou tepelné ztráty u solárních soustav pro přípravu teplé vody, volí se v rozsahu od 5 do 15 %.

Použitím této kalorimetrické rovnice se stanoví potřebné množství energie pro spotřebu domu v projektu. Spotřeba teplé vody je tedy uvažována na 50 l/os.den, tedy v případě projektu, kdy je počítáno se čtyřmi osobami, je spotřeba teplé vody 200 l/den. Teplota teplé vody dle normy ČSN 06 0320[14] má být 60°C a teplotu studené vody přiváděné do domu prostřednictvím vodovodní sítě bude uvažována 10°C.

Vlastní výpočet:

$V = 0,2 \text{ m}^3/\text{den}$ (stanoveno dle normované spotřeby na počet čtyř osob)

$\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$ (tabelovaná hodnota) [20]

$c = 4 184 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ (tabelovaná hodnota) [20]

$t_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ [14]

$t_2 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ [14]

$p = 5 \text{ } \%$ (zvolená hodnota pro reálnou soustavu)

$$Q_{pc} = (1 + 0,05) \cdot \frac{0,2 \cdot 999,7 \cdot 4184 \cdot (60 - 10)}{3,6 \cdot 10^6} \text{ kWh} \cdot \text{den}$$

$$Q_{pc} = 12,1997 \text{ kWh/den}$$

Výpočtem tedy bylo stanoveno, že denní spotřeba teplé vody domu je 12,1997 kWh.den.

Dále tedy bude hodnota 12,1997 kWh.den, brána jako minimální množství energie, které bude muset solární systém dodávat. V měsících, kdy bude nadprodukce energie nad tuto hranici, bude zbytek energie v měsících, kdy se bude dům vytápět použita pro vytápění domu. Zda-li je množství energie 12,1997 kWh.den reálné pro pokrytí potřeby v každém měsíci (např. i v prosinci), bude stanoveno v kapitolách dále.

6.5 Stanovení potřebné energie pro vytápění domu

Vytápění budovy je společně s ohřevem vody nejvíce energeticky náročnou činností. Pro další práci bude potřeba stanovit potřebu tepla pro jednotlivé dny. V projektu novostavby byl vypracován zpracován průkaz energetické náročnosti budovy, kdy z tohoto průkazu vyplývá, že měrná spotřeba tepla pro vytápění domu je 42,76 kWh/(m²rok). Z tohoto údaje tedy vyplývá, že dům splňuje požadavky na tzv. nízkoenergetický dům (viz. kapitola 3.5). Dále z dokumentace stavby domu vyplývá, že vytápěná plocha domu je 173 m². Z těchto údajů tedy vyplývá, že měrná spotřeba tepla pro dům je tedy 7397,48 kWh/rok.

Počet dní, po které je třeba dům vytápět stanovíme, stanovíme podle údajů topné sezóny 2009/2010, které pro oblast Brno jsou uvedeny v následující tabulce:

Topná sezóna 2009/2010	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen
Počet dní vytápění	31	30	31	31	28	31	26	18

Tabulka 6.5 Počet topných dní topné sezóny 2009/2010 pro oblast Brno v jednotlivých měsících.[18]

Z tabulky vyplývá, že v topné sezóně 2009/2010 se topilo celkem 226 dní průběhu měsíce října 2009 až května 2010. Předvídat předem jak bude probíhat topná sezóna 2011/2012, která bude aktuální pro tento projekt (dokončení stavby je plánováno 11/2011) je nemožné, proto pro potřeby projektu bude vytvořena modelová topná sezóna, která bude vypadat následovně:

Tabulka 6.6 Modelová topná sezóna 2010/2011

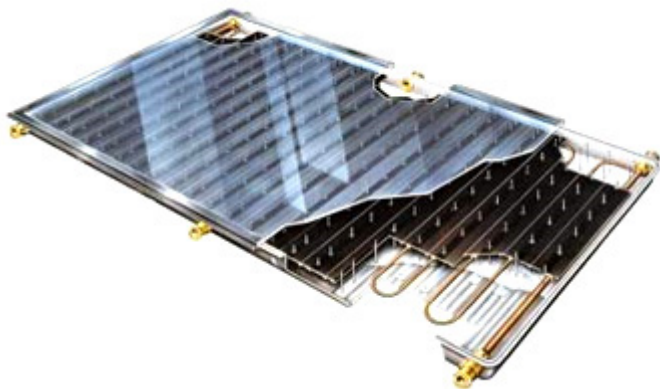
„Topná sezóna model“	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Říjen	Listopad	Prosinec
Počet dní vytápění	31	28	31	30	31	31	30	31

Jak je vidět z tabulky 6.6 uvažujeme, že „Topná sezóna model“ bude trvat od 1.1. do 31.5 a dále potom od 1.10. do 31.12. Celkem tedy v topné sezóně model bude 243 topných dní. Je to sice nárůst topných dnů o 17 dní oproti topné sezóně 2009/2010 a ke konci května již většinou není třeba přitápět, ale je třeba si uvědomit, že září roku 2009 bylo nadprůměrně teplé a nebylo třeba topit.

Z těchto údajů je tedy možno stanovit energii potřebnou pro vytápění domu. Z průkazu energetické náročnosti budovy bylo stanoveno, že měrná spotřeba tepla pro celou plochu domu je 7397,48 kWh/rok, což podle „Topné sezóny model“ odpovídá 243 topných dní. Na jeden topný den proto připadá 30,4423 kWh/den.

6.6 Výběr vhodného solárního kolektoru a stanovení potřebné plochy

V předchozích kapitolách byly uvedeny požadavky projektu. Hlavní požadavkem pro výběr kolektoru je, že solární soustava bude použita celoročně, tedy i v zimních měsících, kdy hrozí tepelné ztráty z kolektorů a je kladen velký důraz na kvalitu kolektorů. Vzhledem k těmto požadavkům byl vybrán solární kolektor slovenské firmy THERMO/SOLAR Žiar s.r.o. Žiar nad Hronom a to plochý vakuový kolektor TS 400.



Obrázek 6.2 Plochý vakuový kolektor TS 400.[15]

Solární kolektor TS 400 V představuje nový typ vysokovýkonného plochého slunečního kolektoru s vakuovou izolací. Vana kolektoru je vylisovaná z plechu korozi odolné hliníkovo-hořčíkové slitiny. Spojování rychlospojkami vylučuje použití letování, šroubování a jiných pracných standardních technologií montáže potrubí. Integrace sběrných trubek v solárních kolektorech využívá vynikající izolační vlastnosti vakua a zjednodušuje montáž.[15]

Půdorysná plocha	2.03 m ²
Absorpční plocha	1.76 m ²
Rozměr	1040 x 2040 mm
Krycí sklo	bezpečnostní, solární, tloušťka 4 mm
Připojovací vývody	přírubové, Ø 40 mm
Tepelná izolace	vakuum < 100 Pa
Celkový kapalinový obsah	1.30 l
Celková hmotnost	48 kg
Konverzní vrstva	vysokoselektivní na bázi oxidu hlinitého pigmentovaného koloidním niklem
Sluneční absorbitivita	minimálně 0.94
Tepelná emisivita při 82°C	maximálně 0.16

Optická účinnost	81 %
Doporučená pracovní teplota	pod 100 °C
Klidová teplota při záření 1000W/m ² a teplotě okolí 25°C	219 °C
Maximální přetlak teplotnosné kapaliny	600 kPa
Doporučený průtok teplotnosné kapaliny	30 - 100 l/h jeden kolektor
Rám kolektoru	výlisek z nekorodujícího Al-Mg plechu
Energetický zisk	800 - 1200 kWh/rok

Tabulka 6.5 Technické parametry plochého vakuového kolektoru TS 400.[15]

6.7 Stanovení potřebné plochy kolektorů a jejich počtu

Stanovení potřebné plochy kolektorů $S_{kol}[m^2]$ je velmi důležitou součástí vlastního dimenzování. Potřebnou plochu lze stanovit několika způsoby. V našem projektu bude potřebná energie stanovena podle potřeb energie pro ohřev vody stanovené v kapitole 6.4 prostřednictvím výpočtu:

$$S_{kol} = \frac{Q_{pc}}{Q_{s\ den} \cdot \eta} [m^2]$$

kde Q_{pc} [kWh/den] je potřebné množství energie pro ohřev vody na potřebnou teplotu (viz. kapitola 6.4), $Q_{s\ den}$ [kWh/m²] je skutečná energie dopadající na osluněnou plochu za jeden den se sklonem 60° a odklonem od azimutu plochy orientované na jih 30° (tabulka 6.4) a η_{kol} je účinnost kolektoru (našem případě 81 %).

Příklad výpočtu pro měsíc leden:

$$Q_{pc} = 12,1997 \text{ kWh/den (viz. kapitola 6.4)}$$

$$Q_{s\ den} = 0,9244 \text{ kWh/m}^2 \text{ (viz. Tabulka 6.4.)}$$

$$\eta_{kol} = 81\% \text{ (viz. Tabulka 6.5)}$$

$$S_{kol} = \frac{12,1997}{0,9244 \cdot 0,81} m^2$$

$$S_{kol} = 16,2931 m^2$$

Tímto byla tedy stanovena potřebná plocha kolektorů pro jednotlivé měsíce. Dále pro další práci je třeba stanovit potřebné množství kolektorů n_{kol} . Toto množství, když známe účinnou plochu použitého plochého vakuového kolektoru TS 400, lze jednoduše spočítat podle vztahu:

$$n_{kol} = \frac{S_{kol}}{S_{absorb}}$$

Kde S_{kol} [m^2] je potřebná plocha kolektorů a S_{absorb} [m^2] je absorpční plocha kolektoru, která je stanovena výrobcem.

Příklad výpočtu potřebného počtu kolektorů pro měsíc leden:

$$S_{kol} = 16,2931 \text{ m}^2 \text{ (viz. kapitola 6.7)}$$

$$S_{absorb} = 1,76 \text{ m}^2 \text{ (údaj výrobce viz. kapitola 6.6)}$$

$$n_{kol} = \frac{16,2931}{1,76}$$

$$n_{kol} = 9,2575$$

Počet kolektorů je uveden v desetinném tvaru s přesností na čtyři desetinná místa, ale tento údaj je pochopitelně pouze informativního charakteru pro stanovení konkrétního pochopitelně zaokrouhlíme na celá čísla.

Tabulka 6.6 Potřebná plocha solárních kolektorů S_{kol} [m^2] a potřebné množství kolektorů n_{kol} pro měsíce leden až červen.

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
$S_{kol}(m^2)$	16,2931	7,8192	5,1591	4,3249	3,5141	3,2078
n_{kol}	9,2575	4,4427	2,9313	2,4573	1,9966	1,8226

Tabulka 6.7 Potřebná plocha solárních kolektorů S_{kol} [m^2] a potřebné množství kolektorů n_{kol} pro měsíce červenec a prosinec.

Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$S_{kol}(m^2)$	3,2860	3,5129	4,2661	6,9490	14,2979	23,1678
n_{kol}	1,8670	1,9959	2,4239	3,9483	8,1238	13,1635

Z hodnot uvedených v tabulkách 6.6 a 6.7 je vidět, že pro 100% pokrytí energií pro ohřev teplé vody solárním ohřevem, je v průběhu roku zapotřebí od dvou kusů plochých vakuových kolektorů TS 400 až po třináct kusů v soustavě. Dva kolektory by dostačovaly v měsících květen až srpen a třináct kolektorů by byla potřeba v prosinci.

Z ekonomického hlediska není výhodné se za každou cenu snažit dosáhnout 100% pokrytí a to jak vzhledem k pořizovacím cenám solárního zařízení, kdy cena kolektorů je v podstatě určující pro celkovou cenu projektu (v případě použití plochého vakuového kolektoru TS 400 určitě), údržbě zařízení, tak i možnostmi střechy domu.

V projektu totiž není uvažováno, že by bylo použito varianty, kdy solární kolektory jsou umístěny na zemi. Celá plocha solárních kolektorů je tedy umístěna na střechu domu (viz. obrázek 6.1). Hmotnost jednoho kolektoru bez náplně je 48 kg na plochu 2,03 m² (viz. tabulka 6.5) z čehož vyplývá, že na třináct kolektorů by připadala zátěž na střechu 624 kg a považujeme kolektory bez náplně a při situaci, kdy není zasněžená střecha.

Z těchto důvodů je pro další práci zvoleno 8 paralelně zapojených kolektorů se sklonem 60° při použití čerpadla pro nucený běh. Systém bude zapojen celoročně, kdy jak bylo uvedeno v kapitolách výše, bude hlavní prioritou ohřev teplé vody a při přebytku energie bude zbylá energie použita k vytápění domu. Přebytky v energeticky silných měsících v roce (květen až srpen) by bylo vhodné využít dalším způsobem než je vytápění a ohřev vody. Vhodným způsobem je např. bazén nebo sušení čerstvého dřeva na zimu. Toto využití dále zvýší ekonomickou výnosnost projektu, a tedy zkrátí jeho návratnost.

6.8 Energetické zisky a výkon zvoleného počtu solárních kolektorů

V této podkapitole bude proveden výpočet skutečného energetického zisku zvoleného počtu solárních kolektorů (plochých solárních kolektorů TS 400). Při výpočtu bude vycházeno z výpočtů uvedených v kapitolách výše.

Výpočet skutečné energie absorbované navrhovaným systémem $Q_{skut,den}$ [kWh/den] absorbované navrhovaným systémem za den bude vypočten ze vztahu:

$$Q_{skut,den} = H_{T,den} \cdot \eta_{kol} \cdot S_{absorb \times 8} \text{ kWh/den}$$

Kde $H_{T,den}$ [kWh/m².den] je skutečná dávka denního ozáření plochy, η_{kol} [%] je účinnost kolektoru a $S_{absorb \times 8}$ [m²] je absorbní plocha kolektorů osmi kolektorů.

Veličina	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$H_{T,den}$ [kWh/m ² .den]	0,9244	1,9262	2,9194	3,4825	4,2860	4,6953	4,5835	4,2875	3,5305	2,1674	1,0534	0,6501
Počet dní v měsíci	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$HT_{,m\acute{e}s\acute{ic}}$ [kWh/m ² .měsíc]	28,6564	53,9336	90,5014	104,4750	132,8660	140,8590	142,0885	132,9125	105,9150	67,1894	31,6020	20,1531
Počet kolektorů n	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Účinnost kolektorů η_{kol} [%]	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Plocha kolektorů S_{kol} [m ²]	14,08	14,08	14,08	14,08	14,08	14,08	14,08	14,08	14,08	14,08	14,08	14,08
$Q_{skut,den}$ [kWh/den]	10,5426	21,9679	33,2952	39,7172	48,8810	53,5490	52,2739	48,8981	40,2646	24,7188	12,0138	7,4143
Pokrytí TV (%)	86,4	180,1	272,9	325,6	400,7	438,9	428,5	400,8	330,0	202,6	98,5	60,8
Přebytek pro vytápění den [kWh/den]	-1,6571	9,7682	21,0955	27,5175	36,6813	41,3493	40,0742	36,6984	28,0649	12,5191	-0,1859	-4,7854
Přebytek pro vytápění měsíc [kWh/měsíc]	-51,3702	273,5103	653,9597	825,5255	1137,1195	1240,4777	1242,3002	1137,6498	841,9484	388,0910	-5,5765	-148,3486
Potřeba pro vytápění den [kWh/den]	30,4423	30,4423	30,4423	30,4423	30,4423	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	30,4423	30,4423	30,4423
Potřeba pro vytápění měsíc [kWh/měsíc]	943,7113	852,3844	943,7113	913,2690	943,7113	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	943,7113	913,2690	943,7113
Krytí potřeby tepla(%)	-5,4	32,1	69,3	90,4	120,5	0,0	0,0	0,0	0,0	41,1	-0,6	-15,7
$Q_{skut,spotř,den}$ [kWh/den]	10,5426	32,5744	33,2952	39,7172	42,642	12,1997	12,1997	12,1997	12,1997	24,71876	12,0138	7,4143
$Q_{skut,spotř,m\acute{e}s\acute{ic}}$ [kWh/měsíc]	326,8205	615,1019	1032,1500	1191,5160	1321,9020	365,9910	378,1907	378,1907	389,9100	766,2817	360,4145	229,8421
$Q_{celkem,m\acute{e}s\acute{ic}}$ [kWh/měsíc]	326,8205	615,1019	1032,1504	1191,5165	1515,3102	1606,4687	1620,4909	1515,8405	1207,9394	766,2817	360,4145	229,8421

Tabulka 6.8 Celkový přehled dat pro navrhovaný solární systém

Roční zisk energie je tedy $Q_{\text{skut,rok}} = 11988,1772$ kWh a roční zisk energie, kterou v průběhu roku skutečně spotřebujeme je $Q_{\text{skut, spotř, rok}} = 7356,3111$ kWh.

Z těchto údajů tedy jasně vyplývá, že by bylo vhodné v průběhu silných měsíců spotřebovat přebytečnou energii např. na vytápění bazénu. Vytápění bazénu je pro tento účel velmi vhodné, protože nabídka přebytku se kryje s potřebou vytápění bazénu. Pro další výpočty tedy dále bude uvažováno, že tuto přebytečnou energii využijeme na vytápění bazénu.

6.9 Výběr vhodného čerpadla

Vzhledem k tomu, že navrhovaný solární systém pracuje na principu nuceného oběhu, je nutno osadit systém zařízením, který zabezpečí tento oběh. Vhodným řešením jak bylo uvedeno v kapitole 4.7, je osadit systém oběhovým čerpadlem. Pro tento projekt, kdy solární systém bude sloužit k ohřevu vody, vytápění a výhledově k ohřevu vody v bazénu bude potřeba postupně pět oběhových čerpadel.

Solární kolektor TS 400 má doporučený průtok teplotonosné kapaliny 30 - 100 l/h na jeden metr kolektorové plochy (viz. tabulka 6.5). Celková plocha kolektorů je 14,08 m². Celkový průtok tedy bude 422,4 – 1408 l/h.

Vzhledem k tomu, bude solární systém osazen pěti čerpadly WILO RS 25-6/180 230V, které tyto požadavky splňuje.

6.10 Výběr expanzní nádoby

Funkce expanzních nádob byla popsána v kapitole 4.10. Pro projektovaný solární systém vzhledem k objemu teplotonosné látky budou potřeba dvě expanzní nádoby o objemu 40l. Vhodným typem expanzní nádoby pro projektovanou solární soustavu je SOLARVAREM R8 040 241, která v případě poruchy dokáže pojmout veškeré tepelné médium v solárním okruhu.

6.11 Výběr vhodného potrubí

Potrubí a požadavky pro použití v solárních systémech byly popsány v kapitole 4.5. Vzhledem k tomu, že v případě projektovaného solárního systému je výhledově uvažováno doplnění systému o ohřev vody v bazénu a tudíž použití nosníků solárních kolektorů s měnitelným sklonem (viz. kapitola 5.2), nelze využít ocelové potrubí. Toto potrubí sice vykazuje velkou časovou stálost a velkou mechanickou odolnost, ale neumožňuje dodatečně měnit rozložení potrubí. Proto projektovaný solární bude osazen potrubím z měkké mědi a protože plocha kolektorů je 14,06 m² a jeho celková délka bude do 40 m, bude zvolen průměr potrubí 22x1 (viz. tabulka 4.2).

6.12 Výběr tepelného zásobníku

Funkce a rozdělení tepelných zásobníků bylo popsáno v kapitole 4.2. V projektovaném solárním zařízení je třeba dvou tepelných zásobníků. První zásobník (bojler) bude sloužit k uchování teplé vody určené pro samotné užití, kdy množství bylo v kapitole 6.4 stanoveno na 200 l a druhý zásobník, bude sloužit k chování přebytku, kdy bude první zásobník natopen, tato voda bude sloužit vytápění. Jak první, tak i druhý zásobník bude mít možnost vlastního přehřevu, které bude dorovnávat tepelné ztráty zásobníku.

V případě prvního zásobníku bude projektovaný solární systém osazen bojlerem Tatramat VTS 200/2, který je svými parametry vhodný. Druhým zásobníkem, který bude pojímat přebytky a bude sloužit primárně k zásobování topného okruhu bude zásobník ACV SMART LINE ME 300. Tento zásobník díky možnosti vlastního dohřevu vody bude mít vždy dostatečné množství teplé vody k vytápění domu.

6.13 Výběr vhodné teplotnosné kapaliny

Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.4 teplotnosná kapalina odvádí teplo ze solárních kolektorů a přivádí jej do zásobníku. V případě projektované solární soustavy použijeme teplotnosnou kapalinu Thesol. Tato kapalina má pro projektovanou solární soustavu vhodné vlastnosti a je navíc doporučena výrobcem použitých solárních TS 400 kolektorů firmou Thermo/solar.

Je netoxická, bez zápachu, ekologicky nezávadná kapalina fialové barvy s nízkým bodem tuhnutí. V podstatě se jedná o roztok monopropylenglykolu s inhibitory koroze, stabilizátory a pěnidly.

Neobsahuje žádné fosfáty, dusitany a aminy. Obsahuje přísadu, která je ochranou proti náhodnému požití při porušení těsnosti tepelného výměníku a průniku do okruhu pitné vody. Není vhodná pro použití v systémech s pozinkovanými materiály. Kapalina je biologicky odbouratelná. Životnost při použití v uzavřené soustavě je minimálně 6 let.

Tabulka 6.9 Základní charakteristiky teplotnosné kapaliny Thesol.[23]

Základní charakteristiky	
Hustota	1030 kg.m ⁻³
Teplota tuhnutí	-32° C
Specifická tepelná kapacita při 20° C	3,58 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Kinematická viskozita při 20° C	5 mPa.s
pH	7,2 - 8,0
Pracovní teplota	230 °C, krátkodobě do 300 °C

6.14 Regulace systému

Schéma systému je v příloze č.1 – provozní schéma systému. Čísla v závorkách odkazují na označení konkrétního prvku ve schématu.

6.14.1 Distribuce tepla

Teplo bude distribuováno do dvou, výhledově do tří (rezerva pro ohřev bazénu – v plánu označeno jako alternativní řešení) odběrných míst. Regulace bude probíhat tak, že systém bude vždy nejdříve zásobovat teplem z kolektorů místo s nejvyšší prioritou, v našem případě ohřev vody. Ve chvíli, kdy teplota nad dnem bojleru (čidlo 10c) dosáhne nastavené teploty, bude se bojler považovat za natopený, poptávka v daném místě za uspokojenou, systém ukončí dodávku tepla do bojleru (21) a začne dodávat teplo do druhého odběrného místa – akumulární nádrže pro vytápění (16). Ta slouží jako předehřev vody pro topení, s následným

dohřevem v plynovém kotli (17), který obsahuje ekvitermní regulaci a sám řídí chod oběhového čerpadla radiátorů (7d). Vzhledem k nízkoenergetickému návrhu domu a nízko spádové otopné soustavě by se měla voda z radiátorů vracet studená, a nemělo by tedy docházet k zahřívání vyrovnávací nádrže vodou vracející se z radiátorů.

Pokud by byl topný okruh puštěn naplno, například po návratu z dovolené, topná voda se z radiátorů vracela ohřátá, uplatní se stratifikační vestavba v zásobníku, aby nedocházelo k zbytečnému ohřevu zásobníku teplem z kotle, a tím snižování kapacity pro případný solární ohřev.

Pro regulaci byl vybrán regulátor DX4306 (3), vzhledem k dostatečné kapacitě vstupů pro teplotní čidla, a výstupů pro spínání oběhových čerpadel (7) a elektrické topné spirály dohřevu teplé vody (9).

6.14.2 Zajištění kvality teplé vody

Zásobník teplé vody obsahuje ve spodní části výměník solárního systému (8), v horní pak ještě elektrickou spirálu (9). Nebude-li stačit výkon dodávaný solárním systémem k ohřátí vody na požadovanou teplotu, bude tato dohřána elektrickou spirálou (9), ale pouze v horní části kotle. Bude-li teplo dodané solárním systémem, a tedy teplota vody v horní části zásobníku dostatečná (měřeno čidlem 10b), k zapnutí spirály vůbec nedojde. Rovněž tak osazená čidla teploty v zásobníku vody (10c) a na kolektorech (10a) zajistí, že nedojde ke spuštění cirkulačního čerpadla (7a) v případě, že voda v kolektorech bude mít nižší teplotu, než bude teplota vody v zásobníku zvětšená o konstantu zohledňující ztráty v potrubí, odpor tepelného výměníku, vlastní spotřebu oběžného čerpadla atd.

6.14.3 Zajištění topení.

V případě, že teplo dodané solárním systémem převýší teplo potřebné pro ohřev teplé vody, dojde k natopení celého bojleru na provozní teplotu (čidlo 10c), je ukončena dodávka tepla do bojleru a zapnuta dodávka tepla do akumulární nádrže (16). Teplo dodané do této nádrže se projeví zvýšením teploty vody vstupující do plynového kotle, a následnou sníženou spotřebou plynu, neboť pro ohřátí vody v radiátorovém okruhu na provozní teplotu bude kotel potřebovat méně energie. Samotnou regulaci teploty vody v radiátorovém okruhu (18) a spínání oběhového čerpadla topení (7d) bude zajišťovat ekvitermní regulace vestavěná v kotli.

6.14.4 Bazén

Ačkoliv projekt rodinného domu s bazénem nepočítá, považují za rozumné připravit systém na případný ohřev bazénové vody, případně třeba vody ve vířivé vaně, které jsou poslední dobou stále více rozšířené, a vzhledem k velkému množství teplé vody energeticky náročné. Samotná příprava pak bude vypadat tak, že z páteřního potrubí budou odbočeny dvě větve (bojler a topení) a bude ponecháno místo pro případnou třetí větev tak, že budou osazeny ventily a jejich vývody zaslepeny zátkou. Při případném rozšíření nebude tedy třeba systém odstavovat, pouze se osadí rozvod pro bazén /vířivku a následně otevřou ventily.

6.14.5 Natočení panelů

V případě použití kolektorů i pro ohřev bazénu v létě se nabízí možnost vždy na léto kolektory sklopit do ležatější polohy, a maximalizovat tak dodávku tepla v letních měsících.

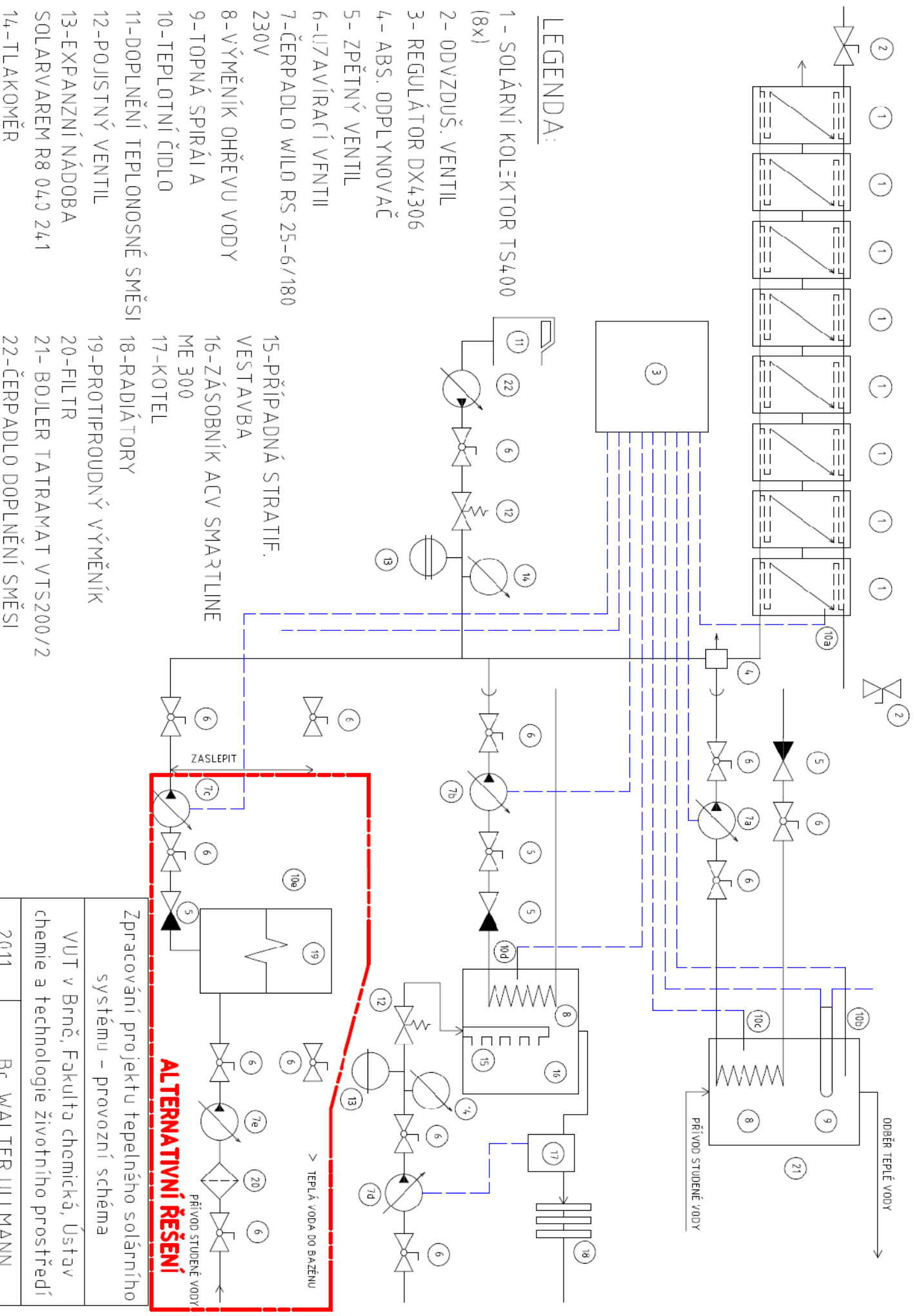
Toto sklápění může být buď ruční, kdy někdo bude muset 2x ročně vyjít na střechu a změnit sklon kolektorů, což může být spojeno s pravidelným čištěním / údržbou kolektorů.

Druhou variantou je použití motorické polohování kolektorů, kdy stiskem tlačítka obsluha nastaví z domu potřebný sklon. Bylo by možné uvažovat i o plně automatickém nastavování kolektorů, třeba i s automatickým odkloněním při přebytku tepla, to by ale bylo značně nadstandardní řešení, které by si vyžádalo výrobu vlastní regulační jednotky, a tím i značný růst ceny, která by se jen těžko u jediné realizace ekonomicky vyplatila. Pokud by ale byl systém vytvářen pro sérii např. typových domků, či jako alternativní systém dodávky tepla pro třetí strany, mohl by se již vývoj celého systému stát ekonomicky zajímavým.

Jedinou závažnější komplikací by byla nutnost utěsnit pohyblivé napojení trubek s teplonosným médiem, buďto nějakým speciálním šroubením umožňujícím otáčení, nebo ohebnou hadicí. Zde by samozřejmě byly různé požadavky na výdrž napojení podle toho, zda by se poloha panelů měnila 2x ročně (ruční obsluha), měsíčně (elektricky z domu), či každodenně (automatický systém). Samotné aktory upravující polohu panelů nepředstavují technický problém.

6.14.6 Provozní schéma

Na celé následující stránce.



Zpracování projektu tepelného solárního systému - provozní schéma

VUT v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie životního prostředí

2011

Bc. WALTER ULLMANN

7 STANOVENÍ EKONOMICKÝCH PŘÍNOSŮ SYSTÉMU

7.1 Cenová kalkulace systému

V dnešní době je otázka ekonomické efektivity a návratnosti aktuálnější důležitá pro každého investora. Investor totiž musí zvážit, zda mu jeho investice přinese uvažovaný prospěch a zda se investice vrátí za přijatelnou dobu. Využitelnost obnovitelných zdrojů energie závisí také na ceně vyrobené energie. Ta musí být co nejnižší, aby mohla konkurovat cenám energie z konvenčních zdrojů.

Hlavní vliv mají především:

- *Náklady vložené do systému*
- *Životnost systému*
- *Vyprodukovaná energie*
- *Cena energie*

Tabulka 7.1 Celková kalkulace ceny projektu

Prvek	Počet kusů	Cena (Kč)
Solární kolektor TS 400	8	138400
Nosná konstrukce	1	9630
Teplonosné médium Thesol	40l	2760
Řídící jednotka	1	9300
Tepelný zásobník(bojler)	1	12960
Akumulační nádrž vytápění	1	30160
Tepelný snímač	5	1200
Expanzní nádoba 50 l	2	2680
Potrubí	50m	6090
Čerpadlo	5	11690
Instalace Systému		16000
Zkušební provoz		2000
Armatura		5000
Izolace	50m	2150
Ostatní (stavební práce apod.)		5000
Celkem		255020
Zaokrouhlení na C_{cekem}		255000

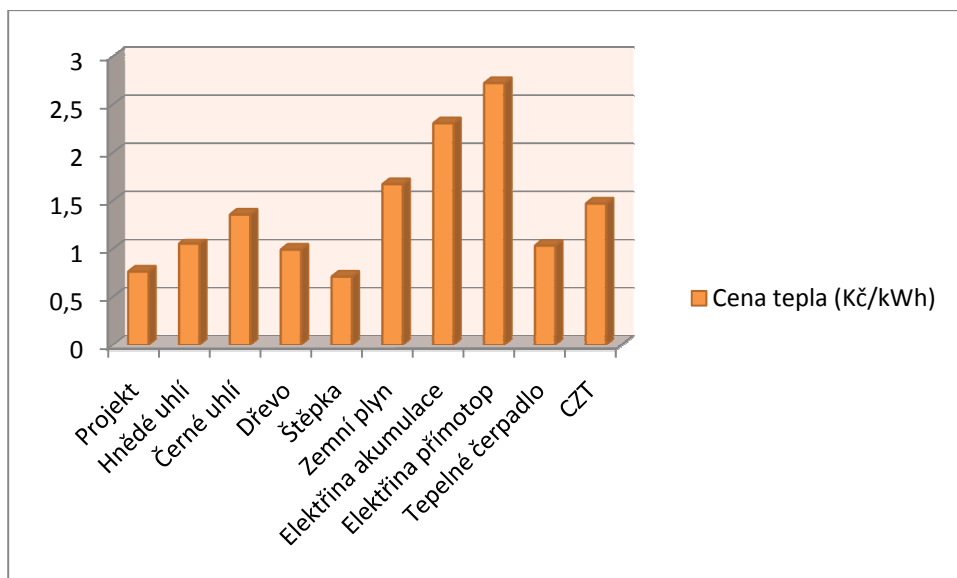
Jak je z tabulky 7.1 patrné, cena solárního systému pro novostavbu Podolí u Brna je celkem 255 000 Kč. Nejdražší položkou v systému jsou tedy podle očekávání solární kolektory. Cena jednotlivých komponent systému byla stanovena podle dostupných ceníků na internetu ke dni 5.5.2011.

7.2 Srovnání ceny energie s jinými zdroji

Jak bylo uvedeno v kapitole 6.8 roční zisk energie z projektovaného solárního systému je tedy $Q_{\text{skut,rok}} = 11988,1772$ kWh. Životnost solárního systému je dle údajů poskytnutých výrobcem 30 let. Během doby životnosti tedy projektovaný solární systém vyprodukuje 359 645,3160 kWh energie. Při ceně 255 000 Kč vychází cena energie vyrobené solárním systémem na 0,71 Kč/kWh. Zde je třeba ovšem zdůraznit, že solární systém není zdaleka beznákladový. Každý solární systém totiž během svého provozu a životnosti vyžaduje další investice spojené z jeho provozem. Jedním z hlavních nákladů je doplňování a výměna teplotnosného média a dále výměna čerpadel. Výrobcem deklarovaná životnost systému 30 let se totiž většinou týká solárních panelů a tepelných zásobníků. Životnost teplotnosných kapalin je druh od druhu velmi různá. V projektu je použito teplotnosné médium Thesol, jehož životnost je 6 let. Dále jsou v projektu použita oběhová čerpadla, jejichž životnost udává výrobce na 15 let. Takže cena zařízení v průběhu provozu se vyšplhá na 277730 Kč. Tuto skutečnost je tedy nutno zohlednit a proto cena energie vyprodukovaná systémem je tedy 0,77 Kč/kWh.

Tabulka 7.2 Ceny energie pro jednotlivé zdroje uvedené v Kč/kWh platné ke dni 5.5.2011. [22]

Surovina	výhřevnost	Cena v Kč	Spalovací zařízení(účinnost v %)	Cena tepla (Kč/kWh)
Hnědé uhlí	18 MJ/kg	2,9/kg	Klasický kotel na uhlí (55%)	1,05
Černé uhlí	23,1 MJ/kg	4,8/kg	Klasický kotel na uhlí (55%)	1,36
Koks	27,5MJ/kg	8,5/kg	Klasický kotel na koks (62%)	1,79
Dřevo	14,6 MJ/kg	3,0/kg	Kotel na zplyňování dřeva (72%)	0,99
Dřevěné brikety	17 MJ/kg	4,8/kg	Kotel na zplyňování dřeva (72%)	1,36
Dřevěné pelety	17 MJ/kg	4,7/kg	Kotel na dřevěné pelety (85%)	1,17
Štěpka	12,5 MJ/kg	2,0/kg	Kotel na štěpku (80%)	0,72
Rostlinné pelety	16 MJ/kg	3,7/kg	Kotel na rostlinné pelety (90%)	0,91
Obilí	18 MJ/kg	3,2/kg	Automatický kotel (85%)	0,75
Zemní plyn	37, 82 MJ/m ³	1,2/kWh	Kotel běžný (89%)	1,68
Propan	46MJ/kg	21/kg	Kotel běžný (89%)	1,83
Elektřina akumulace		1,8/kWh	Akumulační kamna(95%)	2,31
Elektřina přímotop		2,4/kWh	Přímotopné panely (98%)	2,73
Tepelné čerpadlo		2,4/kWh	Průměrný roční topný faktor 3	1,03
Centrální zásobování teplem		1,5/kWh	Účinnost 98%	1,47



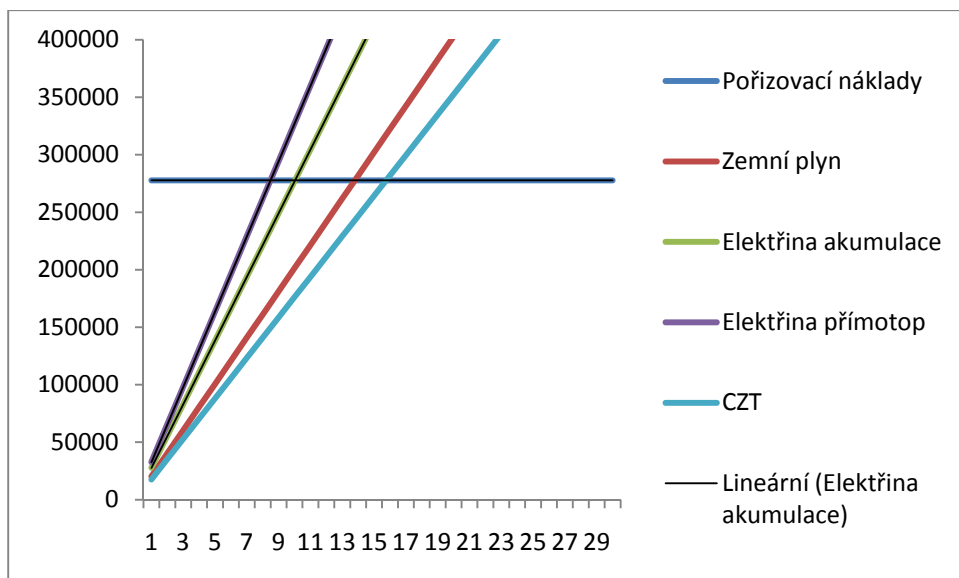
Graf 7.1 Cena tepla v Kč/kWh pro jednotlivé zdroje energie.

Z výše uvedené tabulky 7.2 a grafu 7.1 tedy vyplývá, že při ceně 0,77 Kč/kWh je navrhované solární zařízení jedním z nejlevnějších zdrojů energie. Jedinou levnější alternativou je použití štěpky jako zdroje energie. Zde je ovšem potřeba zdůraznit, že vytápění surovou štěpkou sebou nese velké množství úskalí. Hlavním problémem při tomto způsobu topení je není započteno skladování a sušení štěpky. Tabulka 7.2 totiž udává cenu 0,72 Kč/kWh, která je za surovou štěpku ještě nevysušenou a bez ceny za dopravu. Štěpku lze tedy doporučit pro automatické průmyslové kotle o výkonu od 90 do 10000 kW. U těchto kotlů je sice vyšší investice do výstavby, ale vzhledem k nízké ceně paliva je návratnost investice velmi rychlá. Spalování štěpky pro výkony do 90 kW doporučit nelze. Je sice pravda, že se jedná o velice levné palivo, ale dopravní cesty jsou energeticky náročné a tím i provozně drahé. Například u kotle o výkonu 20 kW se mohou náklady na elektrickou energii spojené s dávkováním paliva do kotle rovnat nákladům na palivo. Štěpka je také velmi objemné palivo, takže vyžaduje buď velké zásobníky, nebo časté dodávky od dodavatele. Co se skladování týče, je solární systém nesporně výhodnější a elegantnější řešení.

7.3 Návratnost projektovaného solárního systému

Pro vlastní zhodnocení ekonomické návratnosti celého projektu je v první řadě potřeba určit, u jaký jiný zdroj energie by byl v domě použit, kdyby zde nebyl zaveden solární systém ohřevu vody a vytápění. Z projektové dokumentace domu vyplývá, že do domu bude vedena přípojka zemního plynu a elektriny. Vzhledem k tabulce 7.2 by bylo vhodné osadit tepelný okruh domu plynovým kotlem jako zdrojem tepla.

Vzhledem k tomu bude pro další výpočet návratnosti systému použita cena zemního plynu, elektriny akumulací a elektriny přímotopem dle tabulky 7.2.



Graf 7.2 Návratnost solárního systému pro jednotlivé zdroje energie.

Z grafu 7.2 vyplývá, že v případě zemního plynu jako zdroje energie po dům by byla návratnost solárního zařízení zhruba 14 let. V případě požívání elektřiny akumulací by byla návratnost solárního zařízení zhruba 11 let a při použití elektřiny přímotopem by byla návratnost zhruba 9 let.

Pro srovnání je uveden údaj v případě použití centrálního způsobu vytápění, kdy by návratnost systému byla zhruba 16 let. Tento způsob vytápění je ale opravdu jen pro srovnání a udělání si jakési představy, protože v případě novostaveb v Podolí u Brna, by tento způsob vytápění vyžadoval pro danou oblast přítomnost centrální kotelny, která ke dni 5. 5 .2011 v plánu není.

Údaje o návratnosti jsou pouze modelové a slouží pouze k lepší orientaci. V praxi totiž návratnost závisí především na výtěžcích energie, které nelze předem předpovědět. Dále závisí na vývoji cen energií v budoucnosti.

8 STANOVENÍ EKOLOGICKÝCH PŘÍNOSŮ SYSTÉMU

Ekologie je v současné době stále více skloňovaným tématem. Neustále narůstající hladiny škodlivin v ovzduší a další globální problémy nás nutí hledat stále nové způsoby uspokojení potřeb energie, které by tolik nezatěžovaly životní prostředí. Solární systém je jeden z těchto způsobů a proto by bylo vhodné stanovit environmentální charakteristiky projektovaného solárního systému pro novostavbu domu Podolí u Brna.

Používání konvenčních zdrojů energie sebou nese produkci velkého množství emisí, které vznikají při výrobě této energie a poté spalováním na místě.

Tabulka 8.1 Emise vznikající při přípravě a spalování různých nosičů energie v konvenčních topných systémech pro domácnosti. Účinnost topného systému je uvažována 85 %.[3]

Zdroj energie	Emise/škodliviny v g/kWh							
	CO ₂	CO	Prach	NO _x	SO ₂	CH ₄	NMVOC	N ₂ O
Elektrický proud	603	0,4	0,06	0,56	0,43	1,4	0,03	0,02
Zemní plyn	219	0,16	0,004	0,18	0,007	1,1	0,04	0,004
Topný olej EL	295	0,15	0,02	0,21	0,43	0,08	0,09	0,04

Pokud tedy bude uvažováno, že množství škodlivin vypouštěné do životního prostředí narůstá úměrně množství energie, je možno stanovit množství škodlivin, které nebudou do životního prostředí vypuštěny použitím solárního systému.

Z kapitoly 6.8 uvažujeme, že projektovaný solární systém vyprodukuje za rok 11988,1772 kWh energie a za celou dobu životnosti tedy 359 645,3160 kWh energie. Z těchto údajů a údajů uvedených v tabulce 8.1 lze tedy stanovit množství škodlivin, které nebudou do životního prostředí vypuštěny použitím solárního systému za rok a za celou dobu jeho životnosti.

Tabulka 8.2 Snížení množství emisní zátěže za rok provozu solárního systému v [kg/rok].

Zdroj energie	Emise/škodliviny v kg/rok							
	CO ₂	CO	Prach	NO _x	SO ₂	CH ₄	NMVOC	N ₂ O
Elektrický proud	7228,76	4,80	0,72	6,71	5,15	16,78	0,36	0,24
Zemní plyn	2625,37	1,92	0,05	2,16	0,08	13,19	0,48	0,05
Topný olej EL	3536,46	1,80	0,24	2,52	5,15	0,9	1,08	0,48

Tabulka 8.3 Snížení množství emisí za celou dobu životnosti solárního systému [t/30 let].

Zdroj energie	Emise/škodliviny v t za 30 let							
	CO ₂	CO	Prach	NO _x	SO ₂	CH ₄	NMVOC	N ₂ O
Elektrický proud	216,87	0,14	0,02	0,20	0,155	0,50	0,01	0,01
Zemní plyn	78,76	0,06	0,0014	0,06	0,003	0,40	0,01	0,001
Topný olej EL	106,10	0,054	0,007	0,08	0,15	0,03	0,03	0,01

9 ZÁVĚR

V práci bylo předvedeno, že i v dnešní době lze najít levný a hlavně čistý a nevyčerpatelný zdroj energie. Prezentovaný projekt solárního systému, pomineme-li emise vznikající při výrobě a vlastním provozu, které jsou v porovnání s energií systémem dodanou zanedbatelné, nepředstavuje v podstatě žádnou zátěž pro životní prostředí. Jak bylo v práci předvedeno, solární systém poskytuje zajímavou a moderní alternativu ke konvenčnímu způsobu vytápění a ohřevu teplé vody.

Provedené výpočty energetických zisků ukázaly, že systém dokáže poskytnout i během zimních měsíců velmi zajímavé energetické výnosy. Pokud bude přihlédnuto k doporučením uvedených v práci a dům bude dovybaven bazénem, systém bude poskytovat ještě zajímavější výnosy a jeho ekonomická návratnost se významně zkrátí.

Environmentální bilance v posledních kapitolách práce rovněž ukázala, že osazovat novostavby domů solárními systémy má rozhodně v podmínkách České republiky smysl a je jakousi „správnou cestou“ pro snižování ekologické zátěže a šetření zásob už tak malých zásob fosilních paliv. Pokud by měla být myšlenka celé práce shrnuta do jedné věty, tak by asi určitě zněla: Solární energie je ta správná cesta!

10 CITOVANÉ ZDROJE

- [1] BUFKA, A. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2001-2011 [cit. 2011-05-08]. Specializované zprávy o výsledcích statistického zjišťování o solárních kolektorech za roky 2005 až 2008. Dostupné z WWW: <<http://www.mpo.cz/cz/energetika-a-suroviny/statistiky-energetika/>>.
- [2] *TZB info* [online]. 2001-2011 [cit. 2011-05-08]. Typy solárních kolektorů. Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>>.
- [3] SPATE, Frank; LADENER, Heinz. *Solární zařízení*. Praha: Grada, 2003. 268 s
- [4] RAMLOW, Bob; NUSZ, Benjamin. *Solar Water Heating : Revised & Expanded Edition: A Comprehensive Guide to Solar Water and Space Heating Systems (Mother Earth News Wiser Living Series)*. Canada : New Society Publishers, 2010. 268 s
- [5] Česká republika. VYHLÁŠKA č. 151/2001 Sb. : Ministerstva průmyslu a obchodu kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie. In *Věstník vlády pro orgány obcí a krajů*. 2005, 3, s. 70. Dostupný také z WWW: <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/vestnik/2005/vest_3.pdf>.
- [6] *TZB info* [online]. 2001-2011 [cit. 2011-05-08]. Prvky solárních soustav. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/3626-prvky-solarnich-soustav-iv>>.
- [7] *TZB info* [online]. 2001-2011 [cit. 2011-05-08]. Trendy v solární tepelné technice. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2799-trendy-v-solarni-tepelne-technice-v-zasobniky-tepla>>
- [8] *TZB info* [online]. 2001-2011 [cit. 2011-05-08]. Prvky solárních soustav. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/3418-prvky-solarnich-soustav-i>>.
- [9] THEMESSL, Armin; WEISS, Werner. *Solární systémy: Návrhy a stavba svépomocí*. Praha : Grada, 2005. 120 s. ISBN 80-247-0589-3.
- [10] HEŘMANOVSKÝ, Bedřich; ŠOTL, Ivan. *Energie pro 21. století*. Praha: ČVUT, 1992. 89 s.
- [11] MACHYNKA, Petr. *Kaskádové zapojení kotlů v kombinaci se solárním vytápěním*. Bno, 2001. 69 s. Diplomová práce. VUT FAST.
- [12] CIHELKA, Jaromír . *Solární tepelná technika* . Praha : Nakladatelství T. Malina, 1994. 203 s.
- [13] *TZB Info* [online]. 2001-2011 [cit. 2011-05-08]. Dimenzování solárních soustav. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/4214-dimenzovani-solarnich-soustav-i>>.
- [14] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách : Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*. [s.l.] : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1.9.2006. 20 s.

- [15] *Thermosolar* [online]. 2010 [cit. 2011-05-08]. Thermosolar. Dostupné z WWW: <<http://www.thermosolar.cz/>>.
- [16] Směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov
- [17] *TZB Info* [online]. 2001-2011 [cit. 2011-05-08]. Stavíme energetický úsporný dům. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/1658-stavime-energeticky-usporny-dum-iii>>.
- [18] *Teplárny Brno* [online]. 2007-2011 [cit. 2011-05-08]. Vyhodnocení topné sezóny 2009/2010. Dostupné z WWW: <<http://www.teplarny.cz/?page=86>>.
- [19] *TZB Info* [online]. 2001-2011 [cit. 2011-05-08]. Solární ohřev bazénové vody. Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/solarni-ohrev-bazenove-vody>>.
- [20] *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*. Praha: Prométheus, 1988. 206 s.
- [21] Průkaz energetické náročnosti budovy. *Dle ustanovení § 6a zákona číslo 406/2000 Sb. a vyhlášky číslo 148/2007 Závazba Kolonka II*. Příbice : Jiří tomek, 4.2.2009. 12 s.
- [22] *Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva* [online]. c2001 [cit. 2008-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=269>>.
- [23] *Thermosolar* [online]. 2010 [cit. 2011-05-09]. Thermosolar. Dostupné z WWW: <<http://www.thermosolar.sk/>>.
- [24] CENKA, Miroslav. *Obnovitelné zdroje energie*. 2.dopl.vyd. Praha : FCC PUBLIC s.r.o., 2001. 208 s.
- [25] THEMESSEL, Armin; WEISS, Werner. *Solární systémy : Návrh a stavba svépomoci*. Vyd. 1. Praha : Grada Publishing a.s., 2005. 120 s
- [26] VOLKER, Quaschnig. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha : Grada Publishing a.s., 2010. 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [27] TYWONIAK , Tywoniak Jan . *Nízkoenergetické domy 2 : Principy a příklady*. Praha : Grada Publishing a.s., 2008. 204 s.
- [28] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy : pro bytové domy*. Praha : Grada Publishing a.s., 2010. 136 s. ISBN 978-80-247-3503-0.

11 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

11.1 Symboly

I_0	sluneční konstanta = 1,36 kW/m ²
I_n	intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění [kW/m ²]
I_c	intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší [kW/m ²]
I	globální záření [W/m ²]
I_D	difúzní záření [W/m ²]
I_p	přímé záření [W/m ²]
H	účinnost kolektoru
W_N	tepelný výkon kolektoru [W/m ²]
E	sluneční záření [W/m ²]
α	součinitel absorpce absorbéru
τ	součinitel transmise transparentního krytu
T_m	průměrná teplota v solární soustavě, resp. střední teplota vzduchu v okolí kolektoru [°C]
ρ	hustota vody [kg/m ³]
$H_{T,den,dif}$	denní dávka difúzního slunečního ozáření [kWh/m ² .den]
$H_{T,den}$	skutečná denní dávka ozáření plochy [kWh/m ² .den]
Q_{pc}	potřebné množství energie pro ohřev vody na potřebnou teplotu [kWh/den]
$Q_{skut,rok}$	skutečně množství energie vyrobené systémem za rok kWh
M	hmotnost [kg]
c	tepelná kapacita
A	plocha výměníku [m ²]
S	plocha vodní hladiny [m ²]
Z	součinitel znečištění
$Q_{S\ den. teor.}$	teoretickou denní dávku přímého ozáření plochy [kW.h/m ²]

$Q_{D \text{ den}}$	denní energii difúzního záření [kW.h/m ²]
τ^*	dobu slunečního svitu [h]
n	počet dnů v měsíci
S_{absorb}	absorpční plocha [m ²]
$S_{\text{absorb} \times 8}$	absorbční plocha kolektorů osmi kolektorů [m ²]
S_{kol}	potřebná plocha solárních kolektorů [m ²]
n_{kol}	počet kolektorů
$Q_{\text{skut, spotř, rok}}$	skutečně spotřebovaná energie za rok kWh
$Q_{S \text{ den} - \text{kol}}$	skutečné energie absorbovaná 1 m ² kolektorové plochy za jeden den [W.h/m ²]
η_{kol}	účinnost kolektoru [%]
R_k	účinnost kolektoru
$Q_{S \text{ den}}$	skutečná energie dopadající na osluněnou plochu za jeden den
P	hodinového výkonu kolektorů [W]
$Q_{S \text{ den} - \text{celk}}$	celkový denní výtěžek energie ze všech kolektorů
$Q_{S \text{ měs} - \text{kol} - \text{celk}}$	roční výtěžek energie činí součtem
C_{celkem}	celkové náklady na výstavbu zařízení [Kč]

11.2 Zkratky

TUV	teplá užitková voda
viz.	vidět

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 Provozní schéma