



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

SOLÁRNÍ VYTÁPĚNÍ SOLAR HEATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ KÁRL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JAN FIEDLER, DR.

BRNO 2011

Sem vložte první stranu zadání.

Původní zadání je samozřejmě oboustranné. Do druhého výtisku diplomové práce se doporučuje vložit kopii zadání taktéž v oboustranném provedení. Na číslování stránek se tím nic nemění.

Sem vložte druhou stranu zadání.

Veškerý níže uvedený červený text musí být nahrazen konkrétními údaji a jeho barva změněna na černou pomocí označení textu a kliknutí na styl „Normální“ na kartě „Styly“ v záložce „Domů“!

Poznámka 1: mřížka následujících tabulek viditelná jako modrá čárkovaná čára se nebude tisknout a slouží pouze pro orientaci.

Poznámka 2: pro komunikaci s vedoucím diplomové práce upřednostňujte studentský email před VUT zprávami.

ABSTRAKT

Tato práce seznamuje se základními částmi solárních systémů a ukazuje na příkladu reálného rodinného domu, jak vypočítat návratnost investic vložených do solárního systému na rodinném domě.

KLÍČOVÁ SLOVA

intenzita slunečního záření, kolektor, zásobník tepla, teplosměnná kapalina, oběhové čerpadlo, absorpční plocha, aktinometr, reflexní plocha, výměník tepla, poměrná doba slunečního svitu, rentabilita

ABSTRACT

This work presents you a basic parts of solar systems and shows on example of real family house, how to count calculate return on investment in to solar system on family house.

KEYWORDS

the intensity of solar radiation, collector, heat storage, heat transfer fluid, circulating pump, absorbent surface, actinometer, reflective surfaces, heat exchanger, the relative amount of sunshine, profitability

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KÁRL, J. Solární vytápění. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 47 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jana Fiedlera, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2011

.....

Jiří Kárl

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat nejmenovanému panu inženýrovi, že mi umožnil zpracovat svoji bakalářskou práci na svém rodinném domě. Rovněž bych chtěl poděkovat doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr., vedoucímu mojí bakalářské práce, za metodické a cíleně orientované vedení a rady při plnění úkolů realizovaných v mojí bakalářské práci.

OBSAH

| | |
|--|----|
| Úvod | 11 |
| 1 Přehled solárních vytápěcích systémů | 12 |
| 1.1 Rozdělení systémů pro vytápění | 12 |
| 1.2 Základní části vytápěcích systémů | 13 |
| 1.2.1 Kolektory | 13 |
| 1.2.2 Zásobníky tepla | 17 |
| 1.2.3 Výměníky tepla | 18 |
| 1.2.4 Teplonosná kapalina | 18 |
| 1.2.5 Oběhové teplovodní čerpadlo | 19 |
| 1.2.6 Expanzní nádoba | 19 |
| 1.2.7 Spojovací potrubí | 19 |
| 1.2.8 Odvzdušňovač, odplyňovač | 20 |
| 1.2.9 Přídavná zařízení | 20 |
| 2 Konkrétní aplikace vytápěcího systému pro RD | 21 |
| 2.1 Popis systému | 21 |
| 2.2 Poloha domu využívající solární systém | 21 |
| 2.3 Zapojení systému | 21 |
| 2.4 Popis jednotlivých částí systému | 22 |
| 2.4.1 Kolektory | 22 |
| 2.4.2 Zásobníky tepla | 25 |
| 2.4.3 Teplosměnná kapalina | 27 |
| 2.5 Regulace systému | 28 |
| 2.6 Zabezpečení systému | 28 |
| 3 Ekonomika provozu solárního systému v RD | 30 |
| 3.1 Energie dopadající na osluněnou plochu | 30 |
| 3.1.1 Teoreticky možné množství energie | 30 |
| 3.1.2 Skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu | 30 |
| 3.2 Účinnost solárního systému | 33 |
| 3.2.1 Účinnost kolektorů | 33 |
| 3.2.2 Účinnost soustavy | 36 |
| 3.3 Energie zachycená absorbérem | 37 |
| 3.4 Energie spotřebovaná na ohřev vody | 38 |
| 3.5 Energie zachycená absorbérem + tepelné ztráty | 39 |
| 3.6 Ekonomické hodnocení | 40 |
| 3.6.1 stupeň krytí spotřeby energie f | 40 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.6.2 | Hrubý zisk | 40 |
| 3.6.3 | Náklady na pořízení systému..... | 42 |
| 3.6.4 | Čistý zisk | 42 |
| 3.6.5 | Návratnost investice | 42 |
| | Závěr..... | 43 |
| | Seznam použitých zkratk a symbolů | 45 |
| | Seznam příloh..... | 47 |

ÚVOD

Využití slunečního záření je v posledním desetiletí velmi zajímavým investičním záměrem mnoha lidí. Hlavně z důvodu zdražování sazeb elektrické energie, nebo jiného zdroje tepla se lidé uchylují k stavbě solárního systémů, dříve tomu bylo však naopak. Drahé zařízení a ne příliš vysoké sazby odradili nejednoho zájemce o solární systémy, avšak dnešní doba mění situaci.

Solární systémy lze doporučit pro sezonní ohřev vody na koupalištích, kempech pro ohřev užitkové vody, ale také samozřejmě i uživateli pro domácí ohřev vody v bazénu, vytápění rodinných domů, nebo jen ohřev užitkové vody. Jelikož solární systémy nejsou pouze kapalinové, tak teplovzdušné systémy se hodí skvěle pro sušení rostlinných zemědělských produktů v době sklizně.

Pro vytápění v zimních měsících, nejsou solární systémy vhodné a to z důvodu nedostatku slunečního záření, tudíž musíme počítat s přídatným zařízením na vytápění a ohřev vody: Výjimku tvoří pouze systémy s dlouhodobou akumulací tepla.

Tato publikace se zaměřuje na seznámení čtenáře s jednotlivými díly solárních systémů a konkrétní aplikaci na rodinný dům, obývaný dvěma lidmi.

1 PŘEHLED SOLÁRNÍCH VYTÁPĚCÍCH SYSTÉMŮ

1.1 ROZDĚLENÍ SYSTÉMŮ PRO VYTÁPĚNÍ

Jedním z hlavních kritérií pro rozdělení je určení teplotnosné látky:

- Kapalinové
- Vzduchové

Teplotnosnou látkou u kapalinového systému je voda, nebo nemrznoucí kapalinová směs s nízkým bodem tuhnutí a vyšším bodem varu. Kapalinové systémy se vyznačují malými průměry potrubního rozvodu v okruhu kolektorů, vzduchové systémy naopak velkými průřezy rozváděcích kanálů. Kapalinové systémy jsou nejčastější, avšak vzduchové najdou svoje uplatnění také. Vzduchové systémy se výhodně používají pro sušení vlhkých materiálů, zejména pak v zemědělství, a dále pro teplotovzdušné vytápění a větrání budov. [1]

Teplota se akumuluje nejčastěji ve vodě, která pak buď přímo slouží jako teplotá užitková voda a odvádí se ze systému, nebo proudí jako otopná voda uzavřeným okruhem spotřebičů, kde odevzdává teplota. Výjimečně se může teplota akumulovat také v tuhé hmotě, např. v náplni z říčních oblázků apod. [1]

Zásobník teplota je spojovacím článkem mezi okruhem kolektorů a okruhem spotřebičů. Okruh kolektorů, který představuje primární část celého zařízení, se skládá z vlastních slunečních kolektorů, ze zásobníku teplota a z potrubního rozvodu mezi kolektory a zásobníkem. Do potrubního rozvodu je zpravidla zařazeno oběhové čerpadlo, které zajišťuje cirkulaci teplotnosné kapaliny a další příslušenství pro zabezpečení a regulaci (expanzní nádoba, pojistný ventil, odvzdušňovací ventil, filtry atd.). [1]

Dalším kritériem je rozdělení je dle kolektorového okruhu:

- Otevřený
- Uzavřený

U uzavřeného kolektorového okruhu se teplotnosná kapalina nemísí s vodou v zásobníku. Jestliže teplotnosnou kapalinou voda, může být kolektorový okruh také otevřený, tj. bez výměníku teplota. Voda proudící kolektory se mísí s vodou v zásobníku. To se však používá jen výjimečně u jednoduchých zařízení pro ohřev užitkové vody (např. pro přímý ohřev vody v bazénech). [1]

Systémy můžeme dělit taky podle cirkulace teplotnosné kapaliny v okruhu:

- Přirozená cirkulace
- Nucená cirkulace

Přirozená cirkulace je možná jen v případě, kdy je zásobník s výměníkem umístěn ve vyšší poloze než kolektory, což je dost nepraktické, když kolektory ve většině případů obsazují plochu střechy a zásobník s výměníkem sklepení, nebo prostory s podobně nízkým potenciálem. Tudíž zde nemůže vzniknout přirozený oběh kapaliny v okruhu, a proto je nutná cirkulace pomocí oběhového čerpadla, takže mluvíme o nucené cirkulaci. [1]

Podle celkové koncepce jsou aktivní sluneční systémy rozdělovány na:

- Jednoduché (monovalentní)
- Kombinované (bivalentní, popř. trivalentní)

U jednoduchého systému jsou v okruhu jediným zdrojem tepla sluneční kolektory, což je určeno pouze pro sezonní odběr tepla v době, kdy je dostatek energie slunečního záření. Pro celoroční provoz jsou třeba kombinované systémy, kde se doplňují sluneční kolektory jedním nebo dvěma zdroji tepla. [1]

Bivalentní systémy mají vedle kolektorového okruhu ještě další zdroj tepla, jako je kotel na plyn, tuhé palivo nebo elektrickou energii. Trivalentní systémy jsou stejné jako bivalentní, avšak mají v okruhu přidáný ještě další zdroj tepla a to tepelné čerpadlo. Tepelné čerpadlo dokáže krýt spotřebu při vytápění při mírných venkovních teplotách (např. až do 0°C nebo do -5°C), při nižších teplotách se zapojuje další zdroj energie jako u bivalentního systému. Avšak trivalentní systémy jsou složité z čehož vyplývá i nízká spolehlivost v provozu a proto se častěji využívají systémy bivalentní [1].

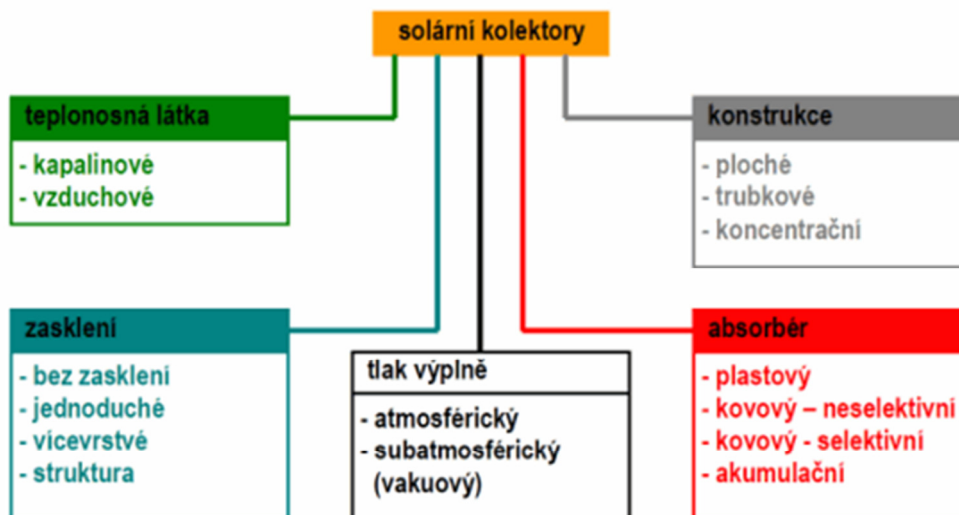
1.2 ZÁKLADNÍ ČÁSTI VYTÁPĚCÍCH SYSTÉMŮ

1.2.1 KOLEKTORY

Solární tepelný kolektor je zařízení určené k pohlcení slunečního záření a jeho přeměně na tepelnou energii, která je předávána teplotonosné látce, protékající kolektorem.[2]

TYPY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Solární kolektory, ve kterých je používána kapalina jako teplotonosná 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 .[2]



Obr. 1.1 Schéma rozdělení solárních kolektorů

Solární kapalinové kolektory lze dále rozdělit podle řady hledisek (viz Obrázek 1.1). Z uvedeného rozdělení vyplývají konstrukční kombinace, se kterými je možné se v praxi setkat:

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;



Obr. 1.3 Bazénové absorbéry jako rohože z materiálu odolného vůči UV záření [2]

PLOCHÝ NESELEKTIVNÍ KOLEKTOR - zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně neselektivním povlakem (např. černým poltivým nátěrem); neselektivní kolektory mohou být vzhledem ke značným tepelným ztrátám vlivem sálání absorbéru v zimním období využity pouze pro sezónní přehřev vody při nízké teplotní úrovni; na trhu se v současné době příliš nevyskytují; [2]

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; [2]

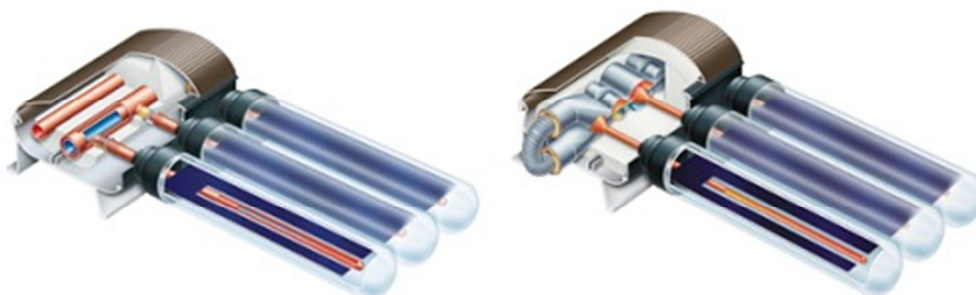
PLOCHÝ VAKUOVÝ KOLEKTOR - zasklený deskový kolektor v těsném provedení s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a tlakem uvnitř kolektoru nižším než atmosférický tlak v okolí kolektoru (absolutní tlak cca 1 až 10 kPa) pro zajištění nízké celkové tepelné ztráty; ploché vakuové kolektory jsou určeny pro celoroční solární ohřev vody a vytápění, případně průmyslové aplikace s provozními teplotami okolo 100 °C; [2]



Obr. 1.4 Konstrukce plochého atmosférického a plochého vakuového kolektoru. [2]

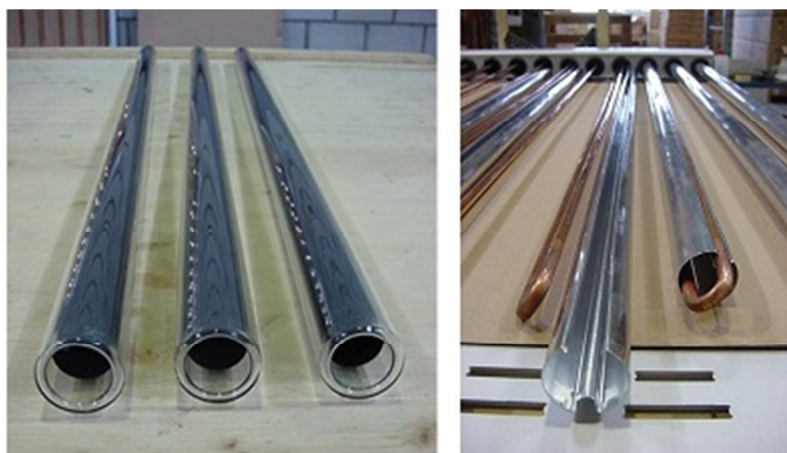
TRUBKOVÝ JEDNOSTĚNNÝ VAKUOVÝ KOLEKTOR - kolektor s plochým spektrálně selektivním absorbérem umístěným ve vakuované skleněné trubce (absolutní tlak $< 10^{-3}$ Pa); výrazné omezení tepelných ztrát (nízkoemisivní absorbér, vakuová izolace) a vysoký přenos tepla z absorbéru do teplotnosné kapaliny svařovaným 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);[2]



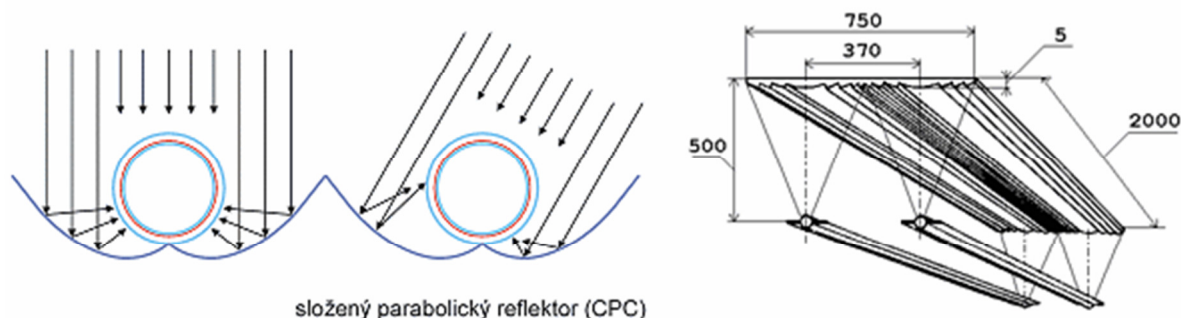
Obr. 1.5 Trubkové jednostěnné vakuových kolektory: s přímo protékaným koncentrickým potrubím (vlevo), s tepelnou trubící (vpravo), [2]

TRUBKOVÝ DVOJSTĚNNÝ (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);



Obr. 1.6 Trubkový dvojitěnný vakuový kolektor na bázi Sydney trubek s teplosměnnou lamelou[2]

SOUSTŘEĎUJÍCÍ (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 soustřeďující kolektory. Pro účinné použití koncentračních kolektorů je základní podmínkou dostatek energie přímého slunečního záření během roku.



složený parabolický reflektor (CPC)

Obr. 1.8 Koncentrační solární kolektory pro aplikace v budovách: trubkový Sydney kolektor s reflektorem (vlevo), solární kolektor s lineární Fresnelovou čočkou (vpravo)[2]

Kolektory je třeba instalovat na místo, které není zastíněno okolní zástavbou nebo přírodními překážkami. Nejvhodnější je orientace na jih, případně s odklonem $\pm 45^\circ$ (45° odklon od jihu na západ způsobí asi 5procentní ztrátu na celoročním zisku).[6]

Pro zvýšení účinnosti systému je možnost natáčení paprsků kolmo k systému:

- automatické natáčení kolem vodorovné osy, aby se řídil úhel sklonu alfa
- automatické natáčení kolem svislé osy, aby se řídil azimutový úhel α
- nebo kombinace obou variant

Tohle řešení se jeví jako velmi neekonomické pro nízkoteplotní systémy, neboť tento systém [Obrázek 1.7 Koncentrační solární kolektory pro aplikace v budovách: trubkový Sydney kolektor s reflektorem (vlevo), solární kolektor s lineární Fresnelovou čočkou (vpravo).[2] : 30 až 45 stupňů, nebo s dvojí polohou osluněné plochy:

- se sklonem plochy $\alpha = 30$ až 45 stupňů pro letní provoz
- se sklonem plochy $\alpha = 60$ až 90 stupňů pro zimní provoz [1]

NOSNÁ KONSTRUKCE

Spolu s kolektory je ve většině případů na relativně nepřístupném místě a je pod stálým vlivem vnějšího prostředí. Celohliníkové nosné konstrukce nevyžadují žádnou údržbu a jejich životnost je shodná se životností kolektorů. Konstrukci na kolektory je možné namontovat na plochou i šikmou střechu, ale lze ji zabudovat i přímo do střešní konstrukce – v takovém případě kolektory nahrazují střešní krytinu.[6]



Obr. 1.9 Nosná konstrukce kolektorů[6]

1.2.2 ZÁSOBNÍKY TEPLA

Zásobníky tepla hrají v solární technice významnou roli, často se o nich hovoří jako o srdci solární soustavy. Slouží pro akumulaci tepelné energie přiváděné z kolektorů nepravidelně podle klimatických podmínek pro pozdější využití při proměnlivém odběru. Z praxe vyplývá poznatek, že solární soustava se sebelepším solárním kolektorem v kombinaci s nevhodně navrženým zásobníkem bude vykazovat nízké celkové zisky a zajistí nízké pokrytí potřeby tepla. Ekonomicky přijatelnými pro praktická řešení solárních soustav v bytových domech jsou vodní zásobníky. Podle účelu použití lze rozlišit:

- zásobníky teplé vody,
- zásobníky tepla (otopné vody),[2]

ZÁSOBNÍKY TEPLÉ VODY

Zásobníky teplé vody slouží k akumulaci tepla přímo do připravované teplé vody a podléhají hygienickým požadavkům na pitnou vodu. Zásobník musí být na vnitřní straně ve styku s vodou opatřen povrchovou úpravou s hygienickým atestem a vysokou trvanlivostí nebo vyroben z nerezové oceli. Zatímco běžné smaltované zásobníky se cenově příliš neliší od jednoduchých ocelových nádrží, nerezové zásobníky jsou podstatně dražší (více než dvojnásobně). [2]

ZÁSOBNÍKY TEPLA

Pro akumulaci tepla se využívá běžných ocelových nádrží bez vnitřní úpravy. Zásobník tepla lze využít jak pro solární soustavy k přípravě teplé vody tak pro kombinované soustavy s přitápěním. Řešení se zásobníky tepla pak pro přípravu teplé vody využívá externích deskových výměníků pro průtokový ohřev vody.

Podle konstrukce se zásobníky dělí na:

- tlakové,
- beztlakové.[2]

TLAKOVÉ ZÁSOBNÍKY

Tlakové zásobníky jsou konstrukčně navrženy a vyrobeny pro provoz za tlaků běžných ve vodovodním rozvodu (zásobníky teplé vody, 0,6 až 1 MPa) nebo v otopné soustavě (zásobníky tepla, 250 až 300 kPa). Sériová produkce zásobníků ve výrobním závodě pod konkrétní obchodní značkou zpravidla zajišťuje kvalitu provedení především s ohledem na tlakovou odolnost spojů.

Pro udržení tlaku v přípustných mezích při objemových změnách vlivem teplotní roztažnosti vody vyžadují tlakové vodní zásobníky expanzní nádobu zpravidla o velikosti 5 až 6 % akumulačního objemu.[2]

BEZTLAKÉ ZÁSOBNÍKY

U beztlakých zásobníků tepla je výhodou menší tlakové namáhání a z toho vyplývající menší potřebné tloušťky stěn ocelových zásobníků nebo použití lehkých a levnějších materiálů např. plastů, sklolaminátu, apod. Používají se zvláště u větších objemů či rekonstrukcí, kde je potřeba umístit velkoobjemový zásobník ve špatně dostupných prostorech a je nutné jej sestavit na místě. Výroba na místě klade požadavky na přísnou kontrolu provedené práce.

U beztlakých zásobníků tepla odpadá instalace expanzní nádoby. Změna objemu vodní náplně vlivem teploty se v zásobníku projeví změnou výšky volné hladiny. Na druhé straně, z důvodu styku vodního objemu s okolním vzduchem je nutné beztlaký zásobník vůči soustavě

přípravy teplé vody nebo otopné soustavě oddělit dalším výměníkem, což snižuje využitelnou teplotu naakumulovaného tepla ze solární soustavy.[2]

1.2.3 VÝMĚNÍKY TEPLA

Důležitou součástí slunečních systémů jsou také výměníky tepla, které zprostředkují předávání tepla mezi kolektory a zásobníkem a mezi zásobníkem a spotřebiči. Výměníkem v okruhu kolektorů se teplo do zásobníku přivádí (při nabíjení) a výměníkem v okruhu spotřebičů naopak ze zásobníku odvádí (při vybíjení). Oba výměníky přitom pracují s jistým teplotním rozdílem, takže teplota pracovních látek se ve směru od kolektorů ke spotřebičům poněkud snižuje.

U slunečních systémů se nejčastěji používá jednak výměníků se žebrovými trubkami, jednak tzv. lamelových výměníků sestavených z tenkých dutých desek.

Výměníky tepla mají mít pokud možno malý vnitřní objem (změšší se tím tepelná setrvačnost při přerušovaném provozu) a také jejich tlaková ztráta při proudění teplotnosné kapaliny má být co nejmenší.

Směr proudění teplotnosné tekutiny uvnitř výměníku má být opačný než směr přirozeného proudění kapaliny v zásobníku. Dosáhne se tím prouděním v tzv. protiproudu, které je se zřetelem na využití teplosměnné plochy nejvýhodnější. Jakost výměníků tepla z tepelně technického hlediska lze posuzovat podle tzv. stupně využití teplosměnné plochy, který je dán poměrem rozdílu teplot.[1]

1.2.4 TEPLONOSNÁ KAPALINA

V kapalinových celoročně provozovaných solárních soustavách se používají nemrznoucí směsi s ohledem na ochranu soustavy v zimním období před poškozením mrazem. V naprosté většině solárních soustav se jedná o vodní směsi (mono) propylenglykolu, který je oproti dříve používanému etylenglykolu nejedovatý. Nemrznoucí směsi se zpravidla používají v objemovém ředění 40-50 % propylenglykolu podle požadované teploty tuhnutí. V současné době jsou k dispozici jednak klasicky inhibované směsi pro použití v plochých kolektorech (stagnační teploty pod 180 °C) a jednak pokročilé směsi s kapalnými inhibitory umožňující použití v trubkových vakuových kolektorech (stagnační teploty do 250 °C)

TERMOFYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Oproti vodě používané jako teplotnosná kapalina v běžných otopných soustavách má vodní směs propylenglykolu jiné termofyzikální vlastnosti, především:

- nižší tepelnou kapacitu;
- nižší tepelnou vodivost;
- větší objemovou roztažnost;
- vyšší kinematickou viskozitu, nicméně s výraznou teplotní závislostí.[3]

KOROZE

Současné vodní směsi propylenglykolu obsahují inhibitory koroze. 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. Pro zajištění ochrany proti korozi je nutné odstranit z kapaliny plyny (řádné odvětrání), používat pro rozvody materiály s nízkým vzájemným elektrochemickým potenciálem a udržet pH kapaliny nad hodnotou 7.[3]

STÁRNUTÍ

Teplonosná kapalina může v souvislosti s možným přehříváním vlivem stavů bez odběru tepla z kolektorů (stagnace) zejména v letním postupně degradovat. U propylenglykolu dochází vlivem nadměrného tepelného zatížení k rozkladu v důsledku oxidačních reakcí, tvoří se kyseliny, a při opakovaném přehřívání dochází k poklesu pH kapaliny z původní hodnoty okolo 8 pod hodnotu 7 (mezní hodnota 6,8), což se projevuje změnou barvy (tmavnutí kapaliny). Rychlost degradace propylenglykolu je přímo úměrná teplotním stresům a obsahu kyslíku. Proto se doporučuje sledovat hodnotu pH, případně bod tuhnutí (refraktometry) pro včasnou výměnu a ochranu solárního okruhu před zvýšenou korozí.[3]

1.2.5 OBĚHOVÉ TEPLOVODNÍ ČERPADLO

Zajišťuje transport teplonosné kapaliny mezi kolektorem a výměníkem tepla. Může se použít téměř každé teplovodní oběhové čerpadlo, ale musí splňovat podmínku, že se může použít v obvodu s roztokem propylenglykolu (výjimečně se může stát, že těsnění v čerpadle působením propylenglykolu změkne).[1]

1.2.6 EXPANZNÍ NÁDOBA

Při použití běžných uzavíracích a regulačních armatur (kohoutů, ventilů), závitových spojů a expanzních nádob s gumovou membránou není možné zabránit velmi pomalému, avšak trvalému vnikání vzduchu (difuzi) do uzavřeného primárního okruhu. Solární systém se montuje zásadně jako uzavřený s uzavřenou expanzní nádobou. Dimenzování expanzní nádoby závisí na celkovém objemu kapaliny v systému a na výkonu zdroje tepla. Pro solární systémy jsou výhodnější nádoby s vyšším pracovním přetlakem – systém je méně náchylný k zavzdušnění. Jmenovitý objem expanzní nádoby je přibližně 6 litrů na kolektor. Maximální pracovní přetlak je 600 kPa. Pojistný ventil se dimenzuje podle maximálního pracovního přetlaku, který je daný nejčastěji maximálním přetlakem kolektoru nebo maximálním přetlakem expanzní nádoby, pokud ten je nižší.[6]

1.2.7 SPOJOVACÍ POTRUBÍ

V primárním okruhu je potrubí třeba dimenzovat na teplotu na 180 °C a tlak podle použitého pojistného ventilu. Světlost potrubí se určuje podle jeho délky a počtu kolektorů.

Pro izolaci platí tytéž požadavky jako pro izolaci jakéhokoliv teplovodního potrubí kromě toho, že izolační materiál ve vnějších prostorech musí být odolný proti vlhkosti a působení UV záření. Zároveň je třeba zohlednit, že při výpadku oběhového čerpadla může teplota na přípojních místech sběrných trubek kolektoru dosáhnout 160 až 180 °C. Proto na tyto části primárního okruhu, včetně částí potrubí mezi kolektorovým polem a výměníkem tepla, je nepřijatelné používat izolace na bázi plastů; je třeba použít izolace na bázi minerálních látek, které mají požadované vlastnosti.[6]

1.2.8 ODVZDUŠŇOVAČ, ODPLYŇOVAČ

Základním předpokladem dobré cirkulace teplotnosné kapaliny je dokonalé odstranění zbytků vzduchu z hydraulického systému. Odvzdušňovač se využívá k odvzdušnění systému při plnění a k odvedení vzduchu, který se z teplotnosné kapaliny postupně uvolňuje při zahřívání. V zásadě lze využít ruční odvzdušňovací ventil nebo odvzdušňovací nádobu s ručním výpustným ventilem. V nejvyšším bodě systému je ruční odvzdušňovací ventil, který se využije při prvním plnění. Ve snadno přístupné části se za oběhové čerpadlo zařadí automatický absorpční odplyňovač.

1.2.9 PŘÍDAVNÁ ZAŘÍZENÍ

Solární systém může pracovat i bez přídatných zařízení, ale tato zařízení funkci solárního systému zlepšují. Jsou to:

FILTR MECHANICKÝCH NEČISTOT – zachytává piliny a jiné mechanické nečistoty, které se v systému mohou objevit hlavně během montáže.

TLAKOMĚR – je důležitý při spouštění systému a pro jeho kontrolu během provozu. Postačující je tlakoměr o průměru 63 mm, rozsah volíme podle maximálního přetlaku v systému.

TEPLOMĚR – nejvhodnější je bimetalový se stopkou s rozsahem do 150 °C. Montuje se do potrubí přívodní větve kolektoru pomocí k tomu určeného pouzdra. Jestliže regulátor zobrazuje teploty na displeji, bimetalové teploměry nejsou nutné.

PRŮTOKOMĚR – využívá se k pohodlnému a rychlému nastavení optimálních provozních parametrů solárního systému.

2 KONKRÉTNÍ APLIKACE VYTÁPĚCÍHO SYSTÉMU PRO RD

2.1 POPIS SYSTÉMU

Systém je navržen jako bivalentní, což znamená, že kromě kolektorového okruhu obsahuje ve výměníku tepla ohřev elektrickou energií ze sítě a krb na tuhá paliva umístěný v hlavní obývací místnosti. Systém bude provozován po celý rok, takže musí být použita nemrznoucí kapalina.

Primární funkce systému byla navržena pro ohřev užitkové vody v domácnosti. Jelikož je v domě zařízení také podlahové vytápění, které bude sloužit buď jako vybíjení přebytečné energie ze solárních panelů a rovněž jako topení.

Přestože majitelé tráví většinu svého času mimo obydlí, kvůli časové náročnosti jejich práce, budu ve svých výpočtech uvažovat průměrovanou hodnotu denní spotřeby vody 125 litrů na osobu. Dům bude obýván dvěma lidmi, což nám dává denní spotřebu vody 250 litrů na den, kterou bychom v příznivých měsících měli zaručeně pokrýt.

2.2 POLOHA DOMU VYUŽÍVAJÍCÍ SOLÁRNÍ SYSTÉM

Poloha: Brno, Soběšice

Zeměpisná šířka: 49° 15'

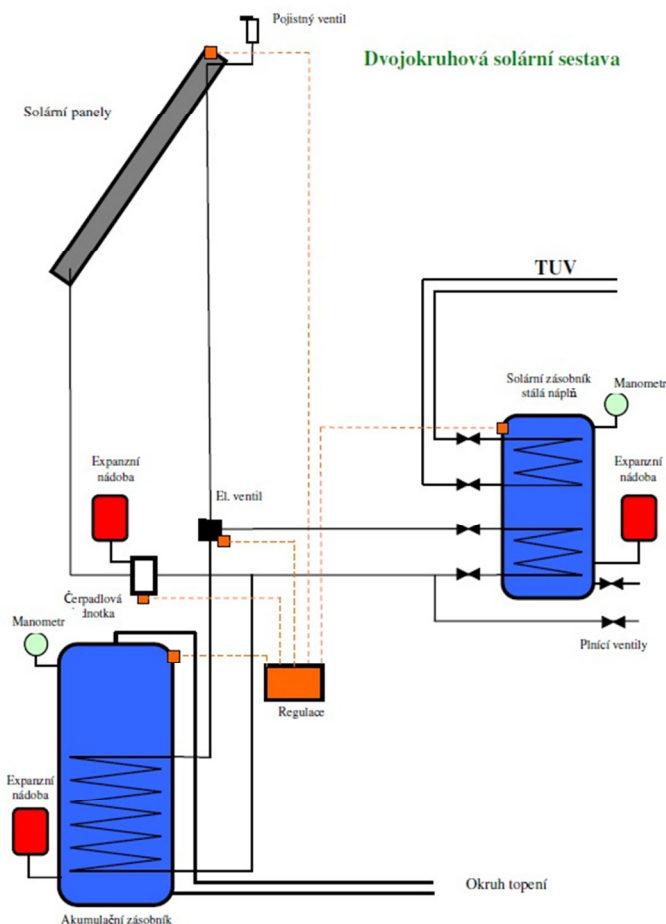
Nadmořská výška: 377m nad mořem

Střecha na níž jsou umístěny kolektory je přesně situována na jih, tudíž jsem při výpočtech volil azimut úhlu 0°.

Azimut úhlu α se měří jako půdorysný odklon od směru na jih. Tento úhel nabývá kladných hodnot ve smyslu otáčení hodinových ručiček a záporných hodnot, proti směru hodinových ručiček.

2.3 ZAPOJENÍ SYSTÉMU

Solární plochu tvoří tři solární panely o absorpční ploše 6,45 m². Jde o solární vakuované kolektory, které budou zapojeny sériově, systém však umožňuje jednoduše přepojit systém na paralelní. Přes standardní sestavu čerpadla, pojistného a odvzdušňovacího ventilu bude teplonosná kapalina směřována do akumulčních nádob. Prvně bude systémem nabíjen 200 litrový akumulátor teplé užitkové vody a pak následně i 1000 litrový akumulátor určený pro topení. Kam prioritně a v jakém poměru bude voda do zásobníku směřována bude předmětem zkoušek při ožívování systému, kde bude hrát hlavní roli účinnost daného zapojení. Jelikož k dnešnímu dni 13. 5. 2011 systém ještě nebyl uveden do provozu, takže nemohu tuhle práci obohatit o tyto přínosná data. Systém obsahuje 40 litrovou expanzí nádobu. Do systému je rovněž zapojen krb na tuhá paliva jako dodatečný zdroj energie, který bude využíván pro dobíjení obou zásobníků tepla v zimních měsících.



Obr. 2.1 Schéma zapojení solární soustavy RD[7]

2.4 POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ SYSTÉMU

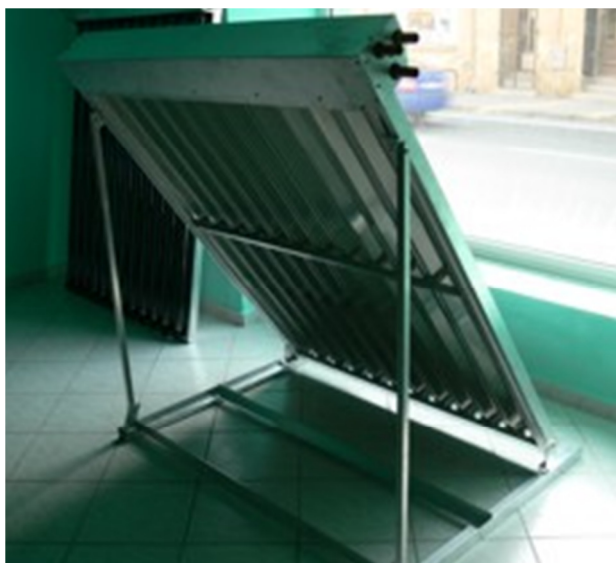
2.4.1 KOLEKTORY

Naše kolektory jsou od firmy Solar Vakuo s.r.o.. Firma vyrábí a dodává dvanácti trubicový vakuový solární kolektor SV 12, který je v tomto provedení novinkou. Ve srovnání s jinými vakuovými kolektory obsahuje celoměděný absorbér se speciální absorpční plochou, která zvyšuje účinky slunečního záření. Solární kolektor je určen pro celoroční provoz a pracuje i při hluboce minusových teplotách. Má celkem 12 vakuových trubic od nějaké Švýcarské firmy, které navíc obsahují nadstandardní černý titanový povlak pro zvýšení účinnosti v difuzním světle.

Kolektor je možné umístit na rovnou i sedlovou střechu a také na fasádu domu. Třítrubkový propojovací systém usnadňuje spojení kolektorů bez pájení a svařování s jedním vstupem střechou. Kvalitní výrobní program zaručuje vysokou životnost kolektorů.[7]

Tab. 1: Parametry kolektoru udávané výrobcem

| PARAMETRY KOLEKTORU UDÁVANÉ VÝROBCEM: | |
|--|-----------------------------------|
| Název: | Solární vakuový kolektor SV 12 |
| Rám kolektoru: | Al slitina |
| Šířka: | 1270 mm |
| Šířka včetně připojení: | 1375 mm |
| Výška: | 1650 mm |
| Hloubka: | 140 mm |
| Hmotnost: | 42,5 kg |
| Reflexní plocha: | leštěný nerez 2,42 m ² |
| Absorpční plocha: | Cu 2,15 m ² |
| Vakuové trubice průměr 47 mm: | 12 ks |
| Izolace: | vakuum, minerální vlna |
| Objem náplně: | 3,15 l |
| Maximální teplota: | 250 °C |
| Pracovní tlak: | 6 bar |
| Připojení: | Cu 22 mm |
| Cena: | 21 600kč/ks |



Obr. 2.2 Pohledna solární kolektor ze zadní strany[7]



Obr. 2.3 Solární kolektor v modelovém upevnění na střešní ploše[7]



Obr. 2.4 Solární kolektor před montáží



Obr. 2.5 Detail Cu křidélek zvětšujících teplosměnnou plochu

2.4.2 ZÁSObNÍKY TEPLA

Náš systém obsahuje dva zásobníky teplé vody:

1. OVS 200KM+S/CuH

Jde o solární zásobník kombinovaný s měděným výměníkem horní provedení od firmy R&H Přerov. Který bude sloužit pro uchovávání tepla pro teplou užitkovou vodu. V nádrži ohříváme topné medium, buď jen elektrickými tělesy nebo v kombinaci s ústředním vytápěním či solárním systémem - akumulujeme energii.

Vlastní ohřev užitkové vody se uskutečňuje průtokem v měděném výměníku uvnitř nádrže. Systém dle výrobce zajistí, že i při odběru 19 l/min (3 odběrná místa) bude teplota křišťálově čisté teplé vody jen o 5°C nižší než teplota topného media, což mluvíme o teplotní diferenci.

Tab. 2: Parametry výměníku OVS 200KM+S/CuH udávané výrobcem.[9]

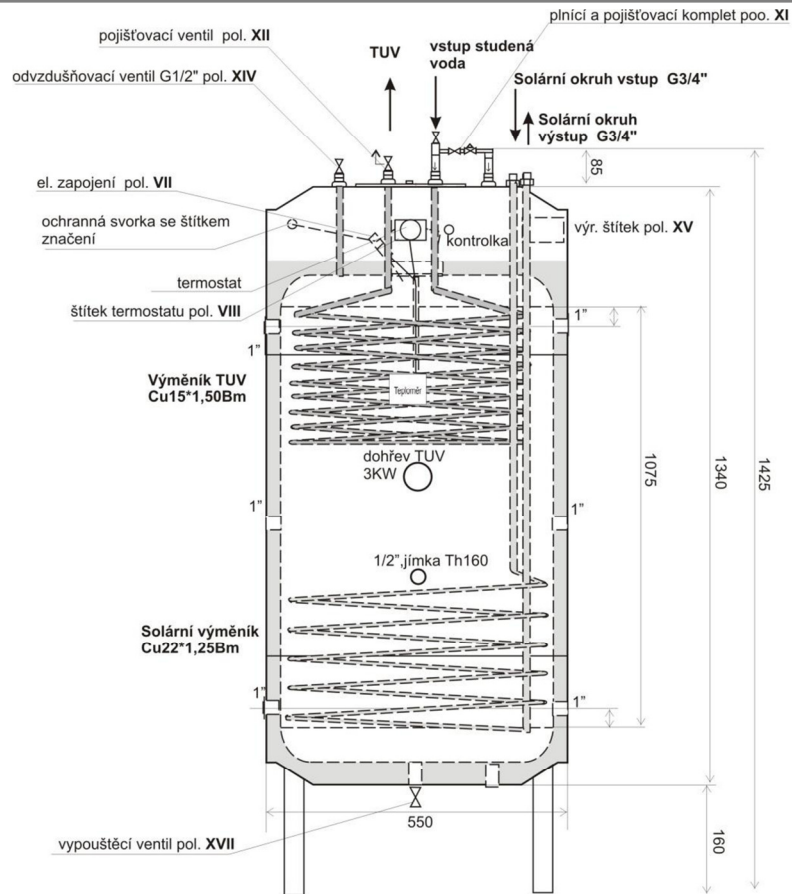
| PARAMETRY VÝMĚNÍKU OVS 200KM+S/CuH UDÁVANÉ VÝROBCEM: | |
|--|--|
| Název: | OVS 200KM+S/CuH |
| Materiál: | svařeno z ocelového plechu mat. TI 3mm ČSN 11373.1, chemicky upravený |
| Tepelná izolace: | vypěňovací směs Tanol Ch (A135) a ISOTAN 20 |
| Objem: | 200 litrů |
| Dohřev TUV | 3kW |
| Vybavení výměníku: | <ul style="list-style-type: none"> - Pojistný ventil - Teploměr - Regulační ventil průtoku - Tepelná pojistka - Otočný regulátor ohřevu |
| Záruka: | na těsnost nádrže 10 let a 1 rok na elektro výzbroj |
| Cena: | 25500 Kč |

2. ANE 1000+S

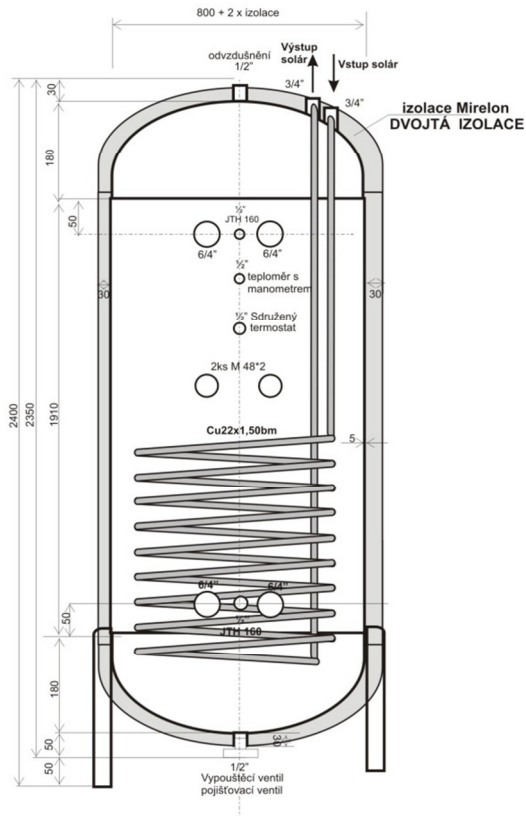
Jde o zásobník teplé vody pro akumulaci tepla z kolektorů a krbu, který bude vybíjen hlavně v okruhu podlahového vytápění a radiátorů.

Tab. 3: Parametry výměníku ANE 1000+S udávané výrobcem.

| PARAMETRY VÝMĚNÍKU ANE 1000+S UDÁVANÉ VÝROBCEM: | |
|---|---|
| Název: | ANE 1000+S |
| Materiál: | svařeno z ocelového plechu mat. TI 3mm ČSN 11373.1, chemicky upravený |
| Tepelná izolace: | dvojitá izolace Mirelon tloušťky 50 mm |
| Objem: | 1000 litrů |
| Hmotnost: | 250 kg bez náplně |
| Záruka: | na těsnost nádrže 10 let |
| Cena: | 50000 Kč |



Obr. 2.6 Schéma vnitřního uspořádání zásobníku OVS200KM+S/CuH[9]



Obr. 2.7 Schéma vnitřního uspořádání zásobníku ANE 1000+S

2.4.3 TEPLOSMĚNNÁ KAPALINA

Zvolili jsme kvalitní náplň do solárních systémů od firmy Agrimex, s.r.o., Třebíč, Kolektor P Super. Teplosměnná kapalina na bázi propylenglykolu s přídavkem ekologických inhibitorů koroze. Přípravek se dále neředí, mrazuvzdornost do -32°C , při nižších teplotách se vytváří ledová kaše. Teploty varu jsou vyšší než u vody (při přetlaku 3 bar 152°C). Teplosměnná kapalina bude namíchaná z 60% vody a 40% nemrznoucí směsi. Cena 25 litrů této kapaliny se pohybuje okolo 1380 Kč.

Nemrznoucí směs byla zvolena z důvodu, jak již název napovídá, kvůli ochraně systému před zamrznutím a následným roztržením potrubí. Velmi důležité je dbát na správné odvzdušnění celého systému, neboť z toho se odvíjí i velká část účinnosti systému. Jelikož máme velmi výkonné vakuované kolektory, které jsou schopny dosahovat mnohem vyšších teplot než kolektory ploché, byli jsme nuceni zvolit tomu odpovídající kapalinu, která má posunutý práh bodu varu.



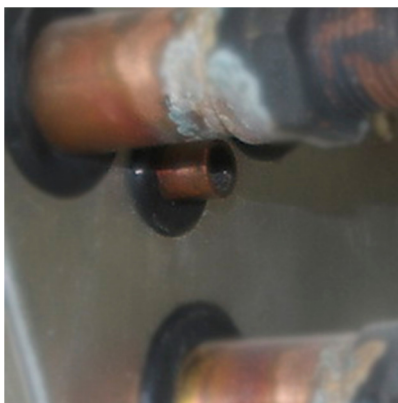
Obr. 2.8 Teplonosná kapalina Kolektor P Super



Obr. 2.9 Solární zásobník 200 l a 1000 l připravený na montáž solárního systému

2.5 REGULACE SYSTÉMU

V každém ze solárních panelů je umístěn elektronický teploměr se sběrnicí RS485 Modbus. V jednom z kolektorů je i mechanický termostat, který v případě poruchy překlopí systém tak aby byl regulovatelný a nedošlo k přehřátí. Regulační vodiče servo motorů, čidel, teploměrů jsou svedeny do řídicí jednotky, která bude postavena v centrálním rozvaděči a jejím základem bude počítač typu PC zálohovaný pomocí UPS. V PC sestavě bude použita úsporná deska s procesorem AMD Ontario, ve kterém bude nainstalován operační systém Windows 7 Professional ve 32-bitové verzi. Tahle sestava byla zvolena z důvodu energetické nenáročnosti, protože pojede v nepřetržitém provozu a na něm řídicí software pro regulaci zařízení, které zajišťuje regulování teploty celého domu. Jde o řídicí software, který bude postupně budován na základě měřicího SW profilab Expert, ke kterému byly napsány ovladače periferních zařízení, jako jsou serva, teploměry a diskrétní vstupy a výstupy. Tento systém bude rovněž obsahovat ovládání rekuperace vzduchu v domě. Vše je ve fázi vývoje a výzkumu, takže konkrétní data a přesné nastavení systému stále nemůže být k dispozici, protože přesné nastavení vyplyne až z výsledků měření a zkoušek po oživení systému, které ještě neproběhlo.



Obr. 2.10 Detail trubičky pro měřící sondu v solárním kolektoru

2.6 ZABEZPEČENÍ SYSTÉMU

Jak již bylo zmíněno, systému bude regulován automaticky, dle nastavení uživatele. Jenže mohou nastat situace, kdy dojde k tzv. přehřátí systému. Přehřátí systému nastává tehdy, kdy bude dlouhodobě přívětivé počasí zvláště v letních měsících a malý odběr energie v podobě teplé vody. Což zapříčiní, že se solární zásobníky (200 l a 1000 l) se plně nabijí teplem a regulace systému nedovolí další předávku tepla z kolektorového okruhu do solárních zásobníků.

Přepokládané chování systému v případě přehřátí:

Jakmile dosáhnou solární zásobníky a kapalina v nich teploty 80°C, zastaví se oběhové čerpadlo. Začne narůstat tlak, teplosměnná kapalina v trubkách na střeše dojde do bodu varu a bude vytlačovat vodu z potrubí do expanzní nádoby. Přehřátá pára se začne ze solárních kolektorů šířit dále do potrubí. Jelikož přehřátá pára obsahuje v jednotce objemu méně tepla, než teplosměnná kapalina, bude v potrubí kondenzovat díky ztrátám tepla ve vedení. V případě, že se přehřátá pára dostane až do solárních zásobníků, tak v těchto místech zkondenzuje zcela jistě. Až se teplosměnná kapalina v trubicích vypaří úplně, proces se zastaví, protože čerpadlo nejede a v kolektorech je jenom pára. Tlak by měl začít klesat a membrána v expanzní nádobě bude tlačit vodu zpět do potrubí, takže tím způsobem by se měla vytvořit určitá rovnováha. Po západu slunce pára zkondenzuje úplně a vzniklý podtlak

bude zase nasávat kapalinu zpět a potrubí se zaplní. V případě, že by hrozilo zničení kolektorů, existuje krajní řešení a to, že je možné vybíjet teplo v okruhu podlahového vytápění a otopných těles, avšak v letních měsících je to velmi nevhodné.

Tato situace je pouze předpoklad na základě zkušených uživatelů, jak se bude zařízení skutečně chovat je otázkou praktických zkoušek.

Teoreticky se dá uvažovat i zamrznutí a následné roztrhnutí systému, avšak při zakoupení nemrznoucí směsi, je systém chráněn až do teploty -30 °C , v případě nižších nočních teplot než je tento mezní stav, dojde k automatické regulaci systému. Ta se projeví sepnutím čerpadla a následným malým výdejem tepla ze zásobníku se udrží teplota teplonosné kapaliny v provozním rozsahu. Avšak s vakuovými kolektory v našich klimatických podmínkách, tato situace nemůže nastat.

3 EKONOMIKA PROVOZU SOLÁRNÍHO SYSTÉMU V RD

Abychom vypočítali rentabilitu solárního systému na rodinném domě, musíme nejdříve zjistit zachycenou energii našimi kolektory a rovněž tak účinnost solárního systému.

3.1 ENERGIE DOPADAJÍCÍ NA OSLUNĚNOU PLOCHU

3.1.1 TEORETICKY MOŽNÉ MNOŽSTVÍ ENERGIE

Hodnota se získá jako plocha pod křivkou kde je intenzita slunečního záření funkcí teoretické doby slunečního svitu. Krajní hodnoty τ_1 a τ_2 , označují čas východu a západu slunce. To celé vztahujeme na 1m^2 osluněné plochy.[1]

pozn. teoretická hodnota, protože bereme v potaz nepřetržitě (od východu do západu slunce) jasnou oblohu.[1]

Tab. 3.1: Teoreticky možná energie dopadající za den v jednotlivých měsících.[1]

| Měsíc | $Q_{s, \text{den teor}} [\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}]$, za den |
|-------|--|
| I. | 3,4 |
| II. | 4,96 |
| III. | 6,7 |
| IV. | 8,06 |
| V. | 9,42 |
| VI. | 9,64 |
| VII. | 9,42 |
| VIII. | 8,06 |
| IX. | 6,7 |
| X. | 4,96 |
| XI. | 3,4 |
| XII. | 2,7 |

Hodnoty jsou platné pro podmínky:

- 50° severní zeměpisné šířky;
- součinitel znečištění $Z = 3$;
- úhel sklonu osluněné plochy: $\alpha = 45^\circ$;
- azimutový úhel: $a_s = 0^\circ$;

3.1.2 SKUTEČNÉ MNOŽSTVÍ ENERGIE DOPADAJÍCÍ NA OSLUNĚNOU PLOCHU

$Q_{s, \text{den teor}}$ dopadá na osluněnou plochu jen ve slunečných dnech, kdy slunce svítí nepřetržitě po celou teoreticky možnou dobu slunečního svitu. Což je v našich klimatických podmínkách ojedinělým jevem.

Povětšinou se během dne střídá jasná obloha se zataženou. Při jasné obloze působí na osluněnou plochu intenzita celkového záření (přímé i difuzní), kdežto při zatažené obloze působí pouze intenzita difuzní. Tudíž skutečné množství energie $Q_{s, \text{més}}$ by se dalo zjistit početně, nebo přímým měřením energie slunečního záření aktinometrem.[1]

Tab. 3.2: Teoretická doba slunečního svitu. [1]

| Měsíc | τ_{teor} [hod] |
|-------|-------------------------------|
| I. | 8,26 |
| II. | 10,12 |
| III. | 12 |
| IV. | 13,9 |
| V. | 15,7 |
| VI. | 16,34 |
| VII. | 15,7 |
| VIII. | 13,9 |
| IX. | 12 |
| X. | 10,12 |
| XI. | 8,26 |
| XII. | 7,85 |

$$Q_{s \text{ den}} = \tau_p * Q_{s \text{ den teor}} + (1 - \tau_p) * Q_{D \text{ den}} [\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}], [1] \quad (1)$$

$$\tau_p = \frac{\tau_{\text{skut}}}{\tau_{\text{teor}}} [-], [1] \quad (2)$$

kde

$Q_{s \text{ den}}$ - skutečná energie přímého záření;

$Q_{D \text{ den}}$ - zachycená energie difuzního záření za den;

τ_{skut} - skutečná doba slunečního svitu;

τ_{teor} - teoretická doba slunečního svitu viz. Tab. 3.2;

τ_p - poměrná doba slunečního svitu viz. Tab. 3.4;

 Tab. 3.3: Energie difuzního záření dopadající za den $Q_{D \text{ den}}$ na m^2 plochy [1]

| Měsíc | $Q_{D \text{ den}} [\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}]$, za den |
|-------|---|
| I. | 0,48 |
| II. | 0,69 |
| III. | 0,97 |
| IV. | 1,22 |
| V. | 1,4 |
| VI. | 1,45 |
| VII. | 1,4 |
| VIII. | 1,22 |
| IX. | 0,97 |
| X. | 0,69 |
| XI. | 0,48 |
| XII. | 0,4 |

Hodnoty jsou platné pro podmínky:

- 50° severní zeměpisné šířky;
- součinitel znečištění $Z = 3$;
- úhel sklonu osluněné plochy: $\alpha = 45^\circ$;
- azimutový úhel: $a_s = 0^\circ$;

Skutečná doba slunečního svitu se v našich klimatických podmínkách pohybuje kolem 1700 až 2200 h/rok[1], směrem k východu se doba slunečního svitu prodlužuje. Pro naše výpočty je však třeba znát hodnoty poměrné doby slunečního svitu a tu si vypočteme dle vzorce (2).

Tab. 3.4. Poměrná doba slunečního svitu pro Brno. [1]

| Měsíc | τ_p [-] |
|-------|--------------|
| I. | 0,18 |
| II. | 0,31 |
| III. | 0,38 |
| IV. | 0,39 |
| V. | 0,48 |
| VI. | 0,53 |
| VII. | 0,56 |
| VIII. | 0,53 |
| IX. | 0,5 |
| X. | 0,37 |
| XI. | 0,23 |
| XII. | 0,12 |

Pro naše ekonomické řešení má však mnohem větší význam skutečná energie dopadající za měsíc. Tu si spočítáme dle vzorce (3) a výše uvedených hodnot.

$$Q_{s \text{ měs}} = n * \tau_p * Q_{s \text{ den teor}} + n * (1 - \tau_p) * Q_{D \text{ den}} [\text{kW} * \text{h} * \text{m}^{-2}], [1] \quad (3)$$

kde

n – počet dnů v měsíci;

Tab.3.5: Průměrná energie dopadající za měsíc $Q_{S \text{ měs}}$ na m^2 plochy. [1]

| Měsíc | $Q_{S \text{ měs}}[\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}], \text{za měsíc}$ |
|---------|--|
| I. | 31,9362 |
| II. | 43,5289 |
| III. | 97,5694 |
| IV. | 116,628 |
| V. | 162,7376 |
| VI. | 173,721 |
| VII. | 182,6272 |
| VIII. | 150,2012 |
| IX. | 115,05 |
| X. | 70,3669 |
| XI. | 34,548 |
| XII. | 20,956 |
| za rok: | 1199,87 |

Hodnoty jsou platné pro podmínky:

- 50° severní zeměpisné šířky;
- součinitel znečištění $Z = 3$;
- úhel sklonu osluněné plochy: $\alpha = 45^\circ$;
- azimutový úhel: $a_s = 0^\circ$;

V tab. 3.5 jsme si dopočítali průměrnou energii dopadající za měsíc $Q_{S \text{ měs}}$ na m^2 plochy, což je směrodatné pro naše výpočty a nyní je třeba spočítat účinnost solárního systému.

3.2 ÚČINNOST SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

3.2.1 ÚČINNOST KOLEKTORŮ

Vakuové kolektory, které náš systém používá mají účinnost orientačně od 30% do 80%. Účinnost se pohybuje v tomto intervalu v závislosti na mnoha faktorech, hlavními z nich jsou intenzita slunečního záření, střední teplota teplotnosné kapaliny t_k a teplota okolí t_o . Vyhodnocuje se experimentální zkouškou v souladu s ČSN EN 12975 [9] jako křivka 2. řádu ve tvaru:

$$\eta_A = \eta_0 - a_1 \frac{t_k - t_o}{G} - a_2 \frac{(t_k - t_o)^2}{G} [-], [5] \quad (4)$$

kde

η_0 - je účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu mezi střední teplotou teplotnosné kapaliny t_k a okolím t_o (nulové tepelné ztráty), zjednodušeně označována jako "optická účinnost";

a_1 - lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$];

a_2 - kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru (vyjadřuje teplotní závislost) [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-2}$];

G - sluneční ozáření [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$];

Graficky se křivka zobrazuje v obecné závislosti na středním redukovaném teplotním spádu $(t_m - t_e)/G$. Účinnost, resp. křivka účinnosti (konstanty η_0 , a_1 , a_2) solárního kolektoru musí být vždy uváděna společně se vztažnou plochou kolektoru A_k , ke které byla vztažena. Člen η_0 je účinnost kolektoru při nulovém teplotním rozdílu mezi kapalinou a okolím, tedy při maximálním omezení tepelných ztrát. Vyjadřuje optickou kvalitu kolektoru (propustnost zasklení, pohltivost absorbéru) a zároveň schopnost kolektoru odvést teplo z povrchu absorbéru do teplonosné kapaliny. Často se označuje jako optická účinnost kolektoru. Členy a_1 a a_2 pak vyjadřují tepelné ztráty kolektoru, tedy sklon a zakřivení křivky účinnosti (lineární a kvadratický charakter).[5]

Křivka účinnosti je nejčastěji citovaný parametr solárního kolektoru a dodavatel, který ji nedokáže prokázat protokolem ze zkoušky v akreditované laboratoři, vlastně zákazníkovi nemůže podat informaci o energetické kvalitě kolektoru a jeho potenciálním tepelném výkonu.[5]

Jelikož výrobce kolektoru, který jsme zakoupili, nedodává tento parametr, jsme nuceni pro přibližné ekonomické zhodnocení systému spočítat účinnost v jednotlivých měsících kolektorů sami, dle známých parametrů.

$$n_A = \eta_0 - \frac{k \cdot (t_k - t_o)}{I_{stř}} \quad [-], [1] \quad (5)$$

kde

t_k - střední teplota teplonosné kapaliny [$^{\circ}\text{C}$];

t_o - teplota okolí [$^{\circ}\text{C}$];

η_0 - je účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu mezi střední teplotou teplonosné kapaliny t_k a okolím t_o (nulové tepelné ztráty), zjednodušeně označována jako "optická účinnost";

k - součinitel prostupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$];

$I_{stř}$ - střední intenzita záření během dne [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];

Pro výpočet daného vakuovaného kolektoru jsme zjistili optickou účinnost $\eta_0 = 0,85$.

Vakuový kolektor vyniká nízkými tepelnými ztrátami, součinitel prostupu tepla je $k = 2$ až $2,5$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$], volím $k = 2,5$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].[1]

Následně si musíme spočítat střední intenzitu záření během dne $I_{stř}$, pro dosažení do (5). Výsledky zapíšeme do Tab.3.6.

$$I_{stř} = \frac{Q_s \text{ den teor}}{\tau_{teor}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}], [1] \quad (6)$$

Tab. 3.6: Střední intenzita záření během dne $I_{stř}$.[1]

| Měsíc | $I_{stř} [W \cdot m^{-2}]$ |
|-------|----------------------------|
| I. | 412 |
| II. | 490 |
| III. | 558 |
| IV. | 580 |
| V. | 600 |
| VI. | 590 |
| VII. | 600 |
| VIII. | 580 |
| IX. | 558 |
| X. | 490 |
| XI. | 412 |
| XII. | 344 |

Hodnoty jsou platné pro podmínky:

- 50° severní zeměpisné šířky;
- součinitel znečištění $Z = 3$;
- úhel sklonu osluněné plochy: $\alpha = 45^\circ$;
- azimutový úhel: $a_s = 0^\circ$;

Pro výpočet je také nutno znát hodnoty teploty okolí t_v v době slunečního svitu, ta je třeba vyhledat pro konkrétní místo, v našem případě Brno.

Tab. 3.7: Střední teplota v době slunečního svitu t_v v jednotlivých měsících pro Brno.[1]

| Měsíc | $t_v [^\circ C]$ |
|-------|------------------|
| I. | 1,7 |
| II. | 2,8 |
| III. | 7 |
| IV. | 12 |
| V. | 17,2 |
| VI. | 20,2 |
| VII. | 22,1 |
| VIII. | 21,8 |
| IX. | 18,5 |
| X. | 13,1 |
| XI. | 7,7 |
| XII. | 3,5 |

Při obecných výpočtech účinnosti hrají velký význam již zmiňované parametry (intenzita slunečního záření, střední teplota teplonosné kapaliny t_k a teplota okolí t_o). Jelikož jsme použili vakuované kolektory, tak nám ona teplota okolí v celoročním provozu nedělá nijak

velké rozdíly, které plynou z našich modelových výpočtů na rozdíl od ostatních druhů kolektorů, které mají mnohem větší tepelné ztráty do okolí, např. plošné s jedním krycím sklem. Hlavní roli v účinnosti hraje střední teplota teplotnosné kapaliny, která se bude měnit v závislosti na odběru energie a zachycení energie kolektory. Střední teplota teplotnosné kapaliny se bude teoreticky pohybovat od teploty pokojové, tedy od 21 °C až do teploty 80 °C. V tomto intervalu se hodnoty účinnosti zásadně mění, jak lze vidět v Tab. 3.8.

Tab. 3.8: Účinnost kolektorů v teplotním rozsahu od 21 °C do 80 °C střední teploty teplotnosné kapaliny

| Měsíc | η_A | | | | | | | |
|---------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | 21 °C | 30 °C | 40 °C | 50 °C | 60 °C | 70 °C | 80 °C | \bar{x} |
| - | | | | | | | | |
| I. | 0,73 | 0,68 | 0,62 | 0,56 | 0,5 | 0,44 | 0,37 | 0,56 |
| II. | 0,76 | 0,71 | 0,66 | 0,61 | 0,56 | 0,51 | 0,46 | 0,61 |
| III. | 0,79 | 0,75 | 0,7 | 0,66 | 0,61 | 0,57 | 0,52 | 0,66 |
| IV. | 0,81 | 0,77 | 0,73 | 0,69 | 0,64 | 0,6 | 0,56 | 0,69 |
| V. | 0,83 | 0,8 | 0,76 | 0,71 | 0,67 | 0,63 | 0,59 | 0,71 |
| VI. | 0,85 | 0,81 | 0,77 | 0,72 | 0,68 | 0,64 | 0,6 | 0,72 |
| VII. | 0,85 | 0,82 | 0,78 | 0,73 | 0,69 | 0,65 | 0,61 | 0,73 |
| VIII. | 0,85 | 0,81 | 0,77 | 0,73 | 0,69 | 0,64 | 0,6 | 0,73 |
| IX. | 0,84 | 0,8 | 0,75 | 0,71 | 0,66 | 0,62 | 0,57 | 0,71 |
| X. | 0,81 | 0,76 | 0,71 | 0,66 | 0,61 | 0,56 | 0,51 | 0,66 |
| XI. | 0,77 | 0,71 | 0,65 | 0,59 | 0,53 | 0,47 | 0,41 | 0,59 |
| XII. | 0,72 | 0,66 | 0,58 | 0,51 | 0,44 | 0,37 | 0,29 | 0,51 |
| za rok: | 0,8 | 0,76 | 0,71 | 0,66 | 0,61 | 0,56 | 0,51 | 0,66 |

Jak můžeme vidět v Tab. 3.8 průměrné roční hodnoty účinnosti klesají se zvyšující se teplotou teplotnosné kapaliny. Jestliže tyto hodnoty roční hodnoty aritmeticky zprůměrujeme, bez ohledu na četnost výskytu dané teploty v systému (kterou neznáme) dostaneme hodnotu 0,66. Tuhle hodnotu účinnosti budeme uvažovat při výpočtu zachycené a přeměněné energie na teplo pro následný výpočet rentability.

3.2.2 ÚČINNOST SOUSTAVY

Vzhledem k nesterjým klimatickým podmínkám a různým úrovním dopadající sluneční energie se bude v různých lokalitách a v různých letech hodnota celkových využitých tepelných zisků solární soustavy lišit. Pomocným kritériem pro charakterizaci energetické kvality solární tepelné soustavy je její provozní účinnost η_{ss} , tzn. roční tepelné zisky vztažené k dopadlé sluneční energii Q_s na plochu solárních kolektorů. Účinnost solární soustavy je závislá jak na kvalitě použitých prvků (kolektor, zásobník, výměník, tepelné izolace, regulace, hydraulické zapojení), provedení montáže, tak na návrhu plochy kolektorů vůči potřebě tepla (využitelnosti zisků solární soustavy). Podle druhu soustavy se účinnost může pohybovat od 30 % do 60 %.

V našem systému máme již zmíněné kolektory, kterým jsme napočítali účinnost průměrnou 66%, teď je třeba vypočítat účinnost zbytku soustavy (výměník tepla, ztráty po délce vedení), jelikož stavba není ještě kompletní a zařízení stále není v provozu, tak nemáme možnost

dopočítat tyhle hodnoty. Tudíž pro výpočet rentability systému volím dle zkušeností jisté skupiny majitelů podobných systémů ztrátu 10%, což dává pro výpočty celkovou hodnotu účinnosti systému 56%.

3.3 ENERGIE ZACHYČENÁ ABSORBÉREM

Energie zachycená absorbérem se počítá za určitou dobu, např. za průměrný slunečný den, nebo měsíc. Energii zachycenou za průměrný měsíc $Q_{A\text{ měs}}$ si spočítáme pomocí vzorce (7).

$$Q_{A\text{ měs}} = \eta_A * Q_{S\text{ měs}}[\text{W} * \text{m}^{-2}], [1] \quad (7)$$

pozn. za η_A dosadíme zprůměrovanou účinnost v daných měsících.

Tab. 3.9: Skutečná průměrná energie dopadající za měsíc $Q_{A\text{ měs}}$

| Měsíc | $Q_{A\text{ měs}}[\text{kW} * \text{h} * \text{m}^{-2}]$, za měsíc |
|---------|---|
| I. | 17,8 |
| II. | 26,6 |
| III. | 64,1 |
| IV. | 80 |
| V. | 116,1 |
| VI. | 125,8 |
| VII. | 133,8 |
| VIII. | 109,2 |
| IX. | 81,4 |
| X. | 46,5 |
| XI. | 20,4 |
| XII. | 10,7 |
| za rok: | 832,2 |

Jelikož majitel domu, pro který systém počítáme, si zakoupil tři krát 2,15 m² absorpční plochy, což nám říká, že zachycená energie touto plochou je:

$$Q_{C\text{ měs}} = Q_{A\text{ měs}} * S [\text{kW} * \text{h}] \quad (8)$$

$$S = n * S_A = 2,15 * 3 = 6,45 [\text{m}^2] \quad (9)$$

kde

S – celková absorpční plocha kolektorů

S_A – plocha absorpční plochy kolektoru

n – počet kusů kolektorů

Tab. 3.10: Skutečná průměrná energie dopadající za měsíc na $Q_{C\text{ měs}}$ na celkovou plochu kolektorů.

| Měsíc | $Q_{C\text{ měs}}$ [kW*h], za měsíc |
|---------|-------------------------------------|
| I. | 114,8 |
| II. | 171,3 |
| III. | 413,6 |
| IV. | 515,8 |
| V. | 748,3 |
| VI. | 811,6 |
| VII. | 863,3 |
| VIII. | 704,5 |
| IX. | 524,8 |
| X. | 299,6 |
| XI. | 131,5 |
| XII. | 68,9 |
| za rok: | 5367,7 |

Hodnoty jsou platné pro podmínky:

- 50° severní zeměpisné šířky;
- součinitel znečištění $Z = 3$;
- úhel sklonu osluněné plochy: $\alpha = 45^\circ$;
- azimutový úhel: $a_s = 0^\circ$;

Při využití vzorce (8) a dosazení do něj dostaneme skutečnou průměrnou energii dopadající za měsíc $Q_{C\text{ měs}}$ na celkovou plochu kolektorů v jednotlivých měsících.

3.4 ENERGIE SPOTŘEBOVANÁ NA OHŘEV VODY

Díky kalorimetrické rovnici si vypočítáme teoretické množství energie $Q_{\text{spotř den}}$ potřebné k ohřátí vody, která bude spotřebována v průběhu jednoho dne. Objem vody volím 250 litrů, z důvodu obývání domu dvěma osobami, kde připadá na osobu dle modelu v ČR průměrná spotřeba vody 125 litrů na osobu.

$$Q_{\text{spotř den}} = c_v * \rho_v * O * (t_2 - t_1) \text{ [W*h]} \quad (10)$$

kde

$c_v = 4186 \text{ [J*kg}^{-1}\text{*K}^{-1}]$ je měrná tepelná kapacita vody

$\rho_v = 995,6 \text{ [kg*m}^{-3}]$ je hustota vody při střední teplotě

$t_2 = 55^\circ\text{C}$ – teplota na kterou budeme vodu ohřívat

$t_1 = 10^\circ\text{C}$ – teplota vody ze které ji budeme ohřívat

$O = 0,25 \text{ m}^3 = 250 \text{ litrů}$ – spotřeba teplé vody za den

Tedy po dosazení do vzorce (10):

$$Q_{\text{spotř den}} = 4186 * 995,6 * 0,25 * (55 - 10) \text{ [J]}$$

$$Q_{\text{spotř den}} = 46,86 \cdot 10^6 \text{ [J]} = 13025 \text{ [W} \cdot \text{h]} = 13 \text{ [kW} \cdot \text{h]}$$

 Tab.3.11: Průměrná spotřeba energie na ohřátí vody v jednotlivých měsících $Q_{\text{spotřmēs}}$

| Měsíc | $Q_{\text{spotř mēs}} \text{ [kW} \cdot \text{h]}$ |
|---------|--|
| I. | 403 |
| II. | 364 |
| III. | 403 |
| IV. | 390 |
| V. | 403 |
| VI. | 390 |
| VII. | 403 |
| VIII. | 403 |
| IX. | 390 |
| X. | 403 |
| XI. | 390 |
| XII. | 403 |
| za rok: | 395,4 |

Do Tab.3.11 jsme zapsali hodnoty energií nutné pro ohřev vody, které musí naše solární kolektory pokrýt, alespoň v letních měsících.

3.5 ENERGIE ZACHYČENÁ ABSORBÉREM + TEPelnÉ ZTRÁTY

Od energie zachycené energií absorbérém, musíme odečíst 10% ztráty rozvodem tepla v potrubí a ztrátě ve výměníku tepla.

 Tab.3.12: Skutečná průměrná energie předaná ohříváné vodě za měsíc $Q_{\text{CS mēs}}$

| Měsíc | $Q_{\text{CS mēs}} \text{ [kW} \cdot \text{h]}$ |
|---------|---|
| I. | 104,3 |
| II. | 155,7 |
| III. | 376,0 |
| IV. | 468,9 |
| V. | 680,2 |
| VI. | 737,8 |
| VII. | 784,8 |
| VIII. | 640,4 |
| IX. | 477,0 |
| X. | 272,3 |
| XI. | 119,5 |
| XII. | 62,7 |
| za rok: | 4879,7 |

Hodnoty jsou platné pro podmínky:

- 50° severní zeměpisné šířky;

- součinitel znečištění $Z = 3$;
- úhel sklonu osluněné plochy: $\alpha = 45^\circ$;
- azimutový úhel: $a_s = 0^\circ$;

Nyní v Tab.3.12 dostáváme konečné hodnoty, ze kterých budeme počítat návratnost investic.

3.6 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

3.6.1 STUPEŇ KRYTÍ SPOTŘEBY ENERGIE F

Pro přehlednost si zavedeme stupeň krytí spotřeby energie f , který si spočítáme dle vzorce (11).

$$f = \frac{Q_{CS \text{ měs}}}{Q_{spotř \text{ měs}}}[-], [1] \quad (11)$$

Tab. 3.12: Stupeň krytí spotřeby energie f

| Měsíc | $f [-]$ |
|-------|---------|
| I. | 0,3 |
| II. | 0,4 |
| III. | 0,9 |
| IV. | 1,2 |
| V. | 1,7 |
| VI. | 1,9 |
| VII. | 1,9 |
| VIII. | 1,6 |
| IX. | 1,2 |
| X. | 0,7 |
| XI. | 0,3 |
| XII. | 0,2 |

Jak je patrné, naše kolektory kryjí spotřebu energie téměř od měsíce března, do měsíce října.

3.6.2 HRUBÝ ZISK

Nyní je třeba zhodnotit, efektivnost a návratnost financí vložených do systému. Systém nebude používán jen na ohřev teplé vody, je napojen také na systém podlahového vytápění, takže přebytečná energie bude využita k vytápění, tudíž ji můžeme připočítat do určité míry k návratnosti investice. Ovšem v letních teplých měsících je topení nežádoucí a tak nemůžeme energii připočítat k objektivnímu zhodnocení systému. Náhradní zdroj energie je dodatečný TUV 3kW dohřev, zabudovaný v zásobníku vody. Tudíž hrubý zisk budeme počítat, jako přeměnu sluneční energie v elektrickou. Náš systém je bivalentní, což znamená, že kromě dodatečného zdroje elektrické energie zabudované ve výměníku, obsahuje ještě kotel na tuhá paliva. Ten se však nemůže používat v letních měsících, neboť je realizován

jako dekorativní krb v obytné místnosti, což by mělo za následek nežádoucí zvyšování teploty.

$$Z_h = \sum_1^{12} Q_e * c_p \text{ [Kč], [1]} \quad (12)$$

kde

$c_p = 4,5 \text{ Kč}$ – je cena za kW*h elektrické energie dle tarifu v dané lokalitě

Tab. 3.12. Energie využitá pro ohřev teplé vody

| Měsíc | $Q_e[\text{kW}\cdot\text{h}]$ |
|---------|-------------------------------|
| I. | 104,3 |
| II. | 155,7 |
| III. | 376,0 |
| IV. | 390 |
| V. | 403 |
| VI. | 390 |
| VII. | 403 |
| VIII. | 403 |
| IX. | 390 |
| X. | 272,3 |
| XI. | 119,5 |
| XII. | 62,7 |
| za rok: | 3469,5 |

Po využití vzorce v. 3.10. dostaneme uspořené měsíční částky díky vytápěcímu systému.

Tab. 3.13: Hrubý zisk

| Měsíc | Z_H |
|---------|-----------|
| I. | 469 Kč |
| II. | 701 Kč |
| III. | 1 692 Kč |
| IV. | 1 755 Kč |
| V. | 1 814 Kč |
| VI. | 1 755 Kč |
| VII. | 1 814 Kč |
| VIII. | 1 814 Kč |
| IX. | 1 755 Kč |
| X. | 1 225 Kč |
| XI. | 538 Kč |
| XII. | 282 Kč |
| za rok: | 15 613 Kč |

Hrubý zisk za jeden rok činí 15 613 Kč, udávaná životnost systému je 25 roků, tudíž úspora za 25 roků provozu systému se bude jednat o hrubý zisk $Z_{H25} = 390\,325$ Kč.

3.6.3 NÁKLADY NA POŘÍZENÍ SYSTÉMU

Nyní musíme uvážit vložené investice, abychom zjistili návratnost investic.

Tab. 3.14: Celkové náklady na sluneční systém.

| Název | Cena |
|------------------|---------------|
| kolektory | 64 800,00 Kč |
| akumulační nádrž | 50 000,00 Kč |
| výměník TUV | 25 500,00 Kč |
| Vedení + izolace | 6 000,00 Kč |
| Čerpadla | 20 000,00 Kč |
| Příslušenství | 20 000,00 Kč |
| Celkové náklady | 186 300,00 Kč |

Náklady na systém s příslušenstvím jsou $N_v = 186\,300$ Kč.

3.6.4 ČISTÝ ZISK

Čistý zisk se spočítá jako rozdíl hrubého zisku a nákladů na systém v časovém horizontu životnosti dílů, uvažováno 25 let.

$$Z_{\check{c}} = Z_{H25} - N_v [\text{Kč}], [1] \quad (13)$$

Po dosazení do vzorce (13), dostaneme čistý zisk v korunách, který získáme používáním solárního systému v časovém horizontu 25 roků, při stejných sazbách elektrické energie.

$$Z_{\check{c}} = Z_{H25} - N_v = 390325 - 186300 = 204025 [\text{Kč}]$$

3.6.5 NÁVRATNOST INVESTICE

Návratnost investice se spočítá jako podíl nákladů na systém a ročním hrubým ziskem.

$$R = \frac{N_v}{Z_H} [\text{roky}] \quad (14)$$

Po dosazení do vzorce (14), dostaneme:

$$R = \frac{N_v}{Z_H} = \frac{186300}{15613} = 11,93 \text{ roků}$$

Investice se nám vrátí po 11,93 rocích s tím, že jsme uvažovali odběr energie pouze pro ohřev teplé vody v okrajových měsících. Energie bude využívána i pro vytápění obytných místností podlahovým vytápěním, které je rovněž zapojeno do okruhu. To znamená, že návratnost investic můžeme očekávat i o něco dříve.

ZÁVĚR

Obsah této bakalářské práce nás seznamuje se solárními systémy a jeho dílčími částmi, které jsme si důkladně popsali.

V druhé části bakalářské práce je ukázána aplikace solárního systému na rodinném domě. Jednotlivé díly solárního systému jsou popsány s odůvodněním jejich použití.

Třetí část práce ukazuje jak spočítat návratnost investic vložených do solárního systému na rodinném domě našeho nejmenovaného pana inženýra. Vyšlo nám, že do dvanácti roků by se měli náklady na solární systém vrátit při nezměněných sazbách za elektrickou energii, avšak dalších třináct roků, budeme na tomto systému vydělávat, což je velmi výhodné. Čistý zisk ze solárního systému v časovém horizontu 25 roků, nám vyšel 204025 Kč. Než jsme se dostali k těmto číslům, bylo třeba vypočítat účinnost systému, která nám vyšla při zprůměrování celoročních hodnot úctyhodných 56%. Takto vysoká celoroční účinnost je díky volbě vakuovaných solárních kolektorů.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Cihelka, J.: Solární tepelná technika, T-Malina, Praha 1994
- [2] Matuška, Tomáš. Typy solárních kolektorů [online]. [cit. 2. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>
- [3] Matuška, Tomáš. Teplonosná kapalina [online]. [cit. 2. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/teplonosna-kapalina>
- [4] Matuška, Tomáš. Solární zásobníky [online]. [cit. 3. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/solarni-zasobniky>
- [5] Matuška, Tomáš. Parametry solárních kolektorů [online]. [cit. 2. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/parametry-solarnich-kolektoru>
- [6] Tomčiak, Ján. Konstrukční principy slunečních kolektorů [online]. Ze dne 20. prosince 2011 [cit. 3. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://www.asb-portal.cz/tzb/energie/konstrukcni-principy-slunecnich-kolektoru-2337.html>
- [7] Stuchlík, Palve. Solar Vakuo [online]. [citace 5. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://www.solarvakuo.cz/>
- [8] ČSN EN 12975-2 Tepelné solární soustavy a součásti - Solární kolektory - Část 2: Zkušební metody, ČNI, 2006.
- [9] Hlavačka, Radek. R & H Přerov [online]. [citace 5.května 2011]. Dostupný z WWW: http://www.ohrivace.com/ohr_m.html

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | | |
|-------------------------|---------------------------------|--|
| a_1 | $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ | lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru |
| a_2 | $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}]$ | kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru |
| a_s | $[^\circ]$ | azimutový úhel |
| c_p | $[K\check{c}]$ | je cena za kW*h elektrické energie dle tarifu v dané lokalitě |
| f | $[-]$ | stupeň krytí spotřeby energie |
| G | $[W \cdot m^{-2}]$ | sluneční ozáření |
| $I_{stř}$ | $[W \cdot m^{-2}]$ | střední intenzita záření během dne |
| k | $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ | součinitel prostupu tepla |
| n | $[ks]$ | počet kusů kolektorů je účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu mezi střední teplotou teplotnosné kapaliny t_k a okolím t_o (nulové tepelné ztráty), zjednodušeně označována jako "optická účinnost" |
| η_0 | $[-]$ | účinnost |
| η_A | $[-]$ | účinnost |
| N_v | $[K\check{c}]$ | náklady na systém s příslušenstvím |
| Q_c | $[kW \cdot h \cdot m^{-2}]$ | Průměrná energie dopadající za měsíc na m^2 plochy |
| $Q_A \text{ měs}$ | $[W \cdot m^{-2}]$ | skutečná průměrná energie dopadající za měsíc na m^2 plochy skutečná průměrná energie dopadající za měsíc na celkovou plochu kolektorů. |
| $Q_C \text{ měs}$ | $[kW \cdot h]$ | |
| $Q_{CS} \text{ měs}$ | $[kW \cdot h]$ | skutečná průměrná energie předaná ohřívání vodě za měsíc |
| $Q_D \text{ den}$ | $[kW \cdot h \cdot m^{-2}]$ | zachycená energie difuzního záření za den |
| Q_e | $[kW \cdot h]$ | energie využitá pro ohřev teplé vody |
| $Q_s \text{ den}$ | $[kW \cdot h \cdot m^{-2}]$ | skutečná energie přímého záření |
| $Q_s \text{ den teor}$ | $[kW \cdot h \cdot m^{-2}]$ | teoreticky možná energie dopadající za den na m^2 plochy |
| $Q_{spotř} \text{ den}$ | $[kW \cdot h]$ | průměrná spotřeba energie na ohřátí vody za den |
| $Q_{spotř} \text{ měs}$ | $[kW \cdot h]$ | průměrná spotřeba energie na ohřátí vody v jednotlivých měsících |
| R | $[\text{roků}]$ | návratnost investice |
| S | $[m^2]$ | celková absorpční plocha kolektorů |
| S_A | $[m^2]$ | plocha absorpční plochy kolektoru |
| t_k | $[^\circ C]$ | střední teplota teplotnosné kapaliny |
| t_o | $[^\circ C]$ | teplota okolí |
| Z | $[-]$ | součinitel znečištění |
| $Z_{\check{c}}$ | $[K\check{c}]$ | čistý zisk |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | | |
|----------------------|-------|----------------------------------|
| Z_h | [Kč] | hrubý zisk |
| α | [°] | úhel sklonu osluněné plochy |
| τ_p | [-] | poměrná doba slunečního svitu |
| τ_{teor} | [hod] | teoretická doba slunečního svitu |

SEZNAM PŘÍLOH

P1, P2 Licenční smlouva