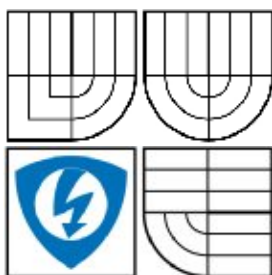


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VYHODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

ANALYSIS OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF A SOLAR SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

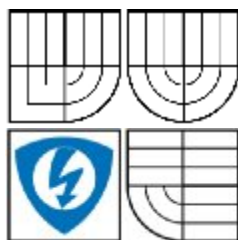
Bc. ANTONÍN MIKL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN MACHÁČEK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor

Elektroenergetika

Student: Bc. Antonín Míkl

ID: 89555

Ročník: 2

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Vyhodnocení ekonomické efektivity solárního systému

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Teoretické základy využití solární energie.
2. Náklady a hodnocení efektivity investic.
3. Návrh konkrétního projektu solární soustavy.
4. Ekonomické vyhodnocení projektu.
5. Závěr.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 25.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Jan Macháček

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Antonín Mikl
Bytem: čp. 352 DOMANÍN 69683
Narozen (datum a místo): 29.07 1983 KYJOV
(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Petr Toman Ph.D.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Vyhodnocení ekonomické efektivity solárního systému
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jan Macháček
Ústav: Ústav elektroenergetiky
Datum obhajoby VŠKP: 15.06 2009

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- ☐ tištěné formě – počet exemplářů2.....
- ☐ elektronické formě – počet exemplářů1.....

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Bibliografická citace práce:

MIKL, A. *Vyhodnocení ekonomické efektivity solárního systému*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 91 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Macháček.

Prohlašuji, že jsem svou **diplomovou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

Vyhodnocení ekonomické efektivnosti solárního systému

Antonín Mikl

vedoucí: Ing. Jan Macháček

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2009

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

Analysis of economic efficiency of a solar system

by

Antonín Mikl

Supervisor: Ing. Jan Macháček

Brno University of Technology, 2009

Brno

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá zpracováním projektu termického solárního systému pro ohřev teplé vody, venkovního bazénu a přitápění vybraného rodinného domu. Seznamuje nás jakým způsobem se dá využívat slunce na výrobu tepelné energie pomocí solárních kolektorů. Dále uvádí základní součásti solárního systému a druhy používaných kolektorů. Po tomto shrnutí současného stavu proběhne výpočet daného systému a stanovení ceny této investice. V ekonomické části pak zhodnotíme jestli se do tohoto systému vyplatí investovat, případně se stanoví doba návratnosti investice.

KLÍČOVÁ SLOVA: sluneční záření; kolektory; tepelný zásobník; solární okruh; solární system; ohřev; tepelná energie; ekonomika; doba návratnosti; čistá současná hodnota; ekonomická efektivnost.

ABSTRACT

The Master's thesis deals with the processing of solar thermal systems for heating hot water, outdoor swimming pool and heating selected house. Introduces us how we can use the sun for the production of thermal energy through solar collectors. Furthermore, the basic components of the solar system and the types of collectors used. After this summary on the present state be the calculation of the system and fixing the price of the investment. The economic part of the evaluate if this system to invest, eventually appoint a return on investment.

KEY WORDS:

solar radiation; collectors; heat magazine; solar circle; solar system; heating; solar energy; economy; return period; net present value; economic effectiveness.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	7
1 SEZNAM TABULEK.....	8
1 SEZNAM TABULEK.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
2 ÚVOD	12
2.1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
2.2 CÍLE PRÁCE.....	13
2.3 METODY A POSTUPY ŘEŠENÍ	13
3 SOLÁRNÍ ENERGIE A JEJÍ VLASTNOSTI	14
3.1 SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE	14
3.2 PODMÍNKY A VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE V ČR.....	15
3.3 TECHNICKÉ VYUŽITÍ ENERGIE SOLÁRNÍHO ZÁŘENÍ A JEHO PŘEMĚNA	16
4 DRUHY POUŽITÍ TEPELNÝCH SOLÁRNÍCH SOUSTAV	19
4.1.1 SOLÁRNÍ SOUSTAVY PRO BAZÉNY	20
4.1.2 SOLÁRNÍ SOUSTAVY PRO OHŘEV TEPLÉ VODY.....	22
4.1.3 SOLÁRNÍ SOUSTAVY PRO PODPORU VYTÁPĚNÍ	23
5 PRVKY SOLÁRNÍ TEPELNÉ SOUSTAVY	27
5.1 SOLÁRNÍ KOLEKTORY	27
5.1.1 DRUHY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ	27
5.1.2 ÚČINNOST KOLEKTORU	35
5.1.3 MONTÁŽ KOLEKTORŮ	37
5.1.4 KOLEKTOROVÉ POLE	39
5.2 TEPELNÝ ZÁSOBNÍK	41
5.2.1 ROZVRSTVENÍ TEPLA.....	42
5.2.2 NABÍJENÍ A VYBÍJENÍ TEPLA	42
5.2.3 KONSTRUKCE ZÁSOBNÍKŮ.....	44
5.3 SOLÁRNÍ OKRUH.....	45
5.3.1 TEPELNÝ VÝMĚNÍK.....	45
5.3.2 TEPLONOSNÉ LÁTKY	46
5.3.3 POTRUBÍ	46
5.3.4 ČERPADLO	46
5.3.5 ŘÍZENÍ A REGULACE	47
5.3.6 ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	47
6 NÁKLADY A HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTIC	48
6.1 NÁKLADY	48
6.2 STÁTNÍ DOTACE	48
6.3 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	49
6.4 HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI INVESTIC	50

6.5 ZPŮSOB FINANCOVÁNÍ	53
6.5.1 PŘI FINANCOVÁNÍ PODNIKU ZA POMOCI ÚVĚRU	53
6.5.2 PŘI FINANCOVÁNÍ POMOCÍ VLASTNÍHO KAPITÁLU	54
7 NÁVRH SOLÁRNÍHO SYSTÉMU PRO OHŘEV TV S PŘITÁPĚNÍM A OHŘEVEM BAZÉNU	55
7.1 POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY	57
7.2 POTŘEBA TEPLA PRO OHŘEV VODY VE VENKOVNÍM BAZÉNU	60
7.2.1 VARIANTA A: VÝPOČET S NOČNÍM ZAKRÝVÁNÍM BAZÉNU	61
7.2.2 VARIANTA B: VÝPOČET BEZ ZAKRÝVÁNÍ BAZÉNU	64
7.3 CELKOVÁ POTŘEBA TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ, OHŘEV TEPLÉ VODY A BAZÉNU	66
7.4 NÁVRH SOLÁRNÍHO KOLEKTORU	66
7.4.1 VÝPOČET PLOCHY KOLEKTORŮ	68
7.5 TEPELNÁ BILANCE SYSTÉMU	71
7.6 AKUMULAČNÍ ZÁSOBNÍK	74
7.7 SOLÁRNÍ INSTALAČNÍ JEDNOTKA	76
7.8 REGULACE SOLÁRNÍHO OKRUHU	77
7.9 TEPLONOSNÁ KAPALINA	77
7.10 POTRUBÍ, IZOLACE	77
7.11 ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ	78
7.11.1 EXPANZNÍ NÁDOBA	78
7.11.2 POJISTNÝ VENTIL	79
7.12 TECHNICKÉ PARAMETRY SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	79
7.12.1 SLOŽENÍ SOUSTAVY A JEJÍ INVESTIČNÍ NÁKLADY	79
7.12.2 ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY	79
8 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PROJEKTU	81
8.1 SOUČASNÁ CENA ENERGIE	81
8.2 DOHŘEV SYSTÉMU	81
8.3 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO SYSTÉMU	82
8.3.1 FINANCOVÁNÍ POMOCÍ VLASTNÍHO KAPITÁLU	83
8.3.2 FINANCOVÁNÍ PROJEKTU POMOCÍ ÚVĚRU	87
9 ZÁVĚR	88
POUŽITÁ LITERATURA	90
PŘÍLOHA A TABULKOVÉ A VÝPOČTENÉ HODNOTY PRO RŮZNÉ SKLONY KOLEKTORŮ	92
PŘÍLOHA B SCHÉMA SOLÁRNÍ SOUSTAVY	94
PŘÍLOHA C PARAMETRY KOLEKTORU [19]	95
PŘÍLOHA D TECHNICKÉ ÚDAJE ZÁSOBNÍKU PSK 950 [20]	97

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3-1 Přeměny energie slunečního záření dopadající na Zemi [2]	14
Obr. 3-2 Střední hodnoty úhrnů globálního záření v ČR (kWh/m ²)	15
Obr. 3-3 Rozdělení solárních systémů [3]	17
Obr. 3-4 Princip solárního článku [3]	17
Obr. 4-1 Schéma zapojení zařízení pro ohřev bazénové vody [1]	21
Obr. 4-2 Kombinace přípravy teplé vody a ohřevu vody v bazénu s dohříváním [29]	22
Obr. 4-3 Standardní solární soustava pro ohřev teplé vody se všemi částmi [4]	23
Obr. 4-4 Srovnání ročního chodu soustavy pro podporu vytápění/ přípravu teplé vody [4]	23
Obr. 4-5 Soustava pro ohřev teplé vody, bazénu a podporu vytápění [29]	24
Obr. 5-1 Optické ztráty (odrazem) a tepelné ztráty kolektoru [4]	28
Obr. 5-2 Plochý kapalinový kolektor [5]	29
Obr. 5-3 Přímo protékané vakuové trubice [4]	31
Obr. 5-4 Vakuové tepelné trubice „Heat Pipe“ [1]	31
Obr. 5-5 Vakuové „Sydney trubice“/ CPC [4]	32
Obr. 5-6 Řez vzduchovým kolektorem [4]	34
Obr. 5-7 Hybridní fotovoltaicko/vzduchový kolektor [4]	34
Obr. 5-8 Teplota a toky energie v kolektoru [4]	35
Obr. 5-9 Křivky účinnosti různých typů solárních kolektorů [25]	36
Obr. 5-10 Plochy na kolektoru [4]	36
Obr. 5-11 Délka stínu v jednotlivých měsících [5]	37
Obr. 5-12 Vzdálenost rozestupu kolektorů [5]	38
Obr. 5-13 Vzdálenost rozestupu kolektorů při nedostatku prostoru [5]	38
Obr. 5-14 Sériově-paralelní řazení kolektorů [4]	40
Obr. 5-15 Rozvrstvení tepla v zásobnících [1]	42
Obr. 5-16 Kombinovaný zásobník [1]	44
Obr. 7-1 Přední pohled na rodinný dům	55
Obr. 7-2 Orientace rodinného domu vůči světovým stranám	56
Obr. 7-3 Plochý vakuový kolektor Thermosolar H 400V	68
Obr. 7-4 Porovnání zisků sluneční energie pro různé sklony kolektorového pole	71
Obr. 7-5 Roční průběh potřeby tepla a tepla získaného kolektory	73
Obr. 7-6 Schématický řez zásobníkem PSK950 [20].	75
Obr. 7-7 Solární instalační jednotka Regusol [23]	76

SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Mezinárodní srovnání plochy kolektorů (dle ESTIF v m ²) [28].	12
Tab. 4-1 Typické charakteristiky solárních zařízení podle druhu využití [1]	20
Tab. 4-2 Tabulka jednotlivých řešení solárních systémů pro ohřev bazénů/teplé vody [1]	25
Tab. 4-3 Tabulka jednotlivých řešení solárních systémů pro ohřev teplé vody a vytápění [1]	26
Tab. 5-1 Příklady označení povrstvení absorbérů [1]	30
Tab. 6-1 Výška státní podpory pro fyzické osoby (nepodnikatele) [14]	49
Tab. 7-1 Vstupní hodnoty pro výpočty tepla (oblast Hodonín) [8]	56
Tab. 7-2 Typická spotřeba teplé vody v domácnostech [6, 9]	57
Tab. 7-3 Měsíční potřeba tepla pro vytápění v topném období	59
Tab. 7-4 Porovnání teoretických a zjištěných hodnot potřeby na vytápění a ohřev teplé vody	59
Tab. 7-5 Součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny	61
Tab. 7-6 Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny a spotřeba tepla k úhradě této ztráty	62
Tab. 7-8 Součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny	64
Tab. 7-9 Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny a spotřeba tepla k úhradě této ztráty	64
Tab. 7-11 Potřeba tepla pro vytápění, ohřev teplé vody a bazénu	66
Tab. 7-12 Porovnání zisků sluneční energie pro různé sklony kolektorového pole	71
Tab. 7-13 Účinnost kolektorů a energie zachycená kolektory pro sklon 45°	72
Tab. 7-14 Max. ohřátí bazénu (při současném odběru teplé vody)	72
Tab. 7-15 Tepelná bilance systému	73
Tab. 7-16 Technické údaje zásobníku PSK950 [20]	75
Tab. 7-17 Parametry jednotky Regusol [23]	76
Tab. 7-18 Charakteristika teplotnosné kapaliny Solaren EKO [21]	77
Tab. 7-19 Součásti navrženého solárního systému	79
Tab. 7-20 Celkové roční provozní náklady	80
Tab. 8-1 Cena plynu pro domácnosti [18]	81
Tab. 8-2 Vstupní ekonomické údaje	82
Tab. 8-3 Kumulovaný tok hotovosti v jednotlivých letech (bez dotace)	84
Tab. 8-4 Kumulovaný tok hotovosti v jednotlivých letech (s dotací)	84

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

zkratka

TV	teplá voda
NPV	současná čistá hodnota
PI	index ziskovosti
IRR	vnitřní výnosové procento
TV	teplá voda
VYT	vytápění
BAZ	bazén
UT	ústřední topení

symbol	jednotka	význam symbolu
a	-	anuita
a_1	W/m^2K	lineární součinitel tepelné ztráty
a_2	W/m^2K	kvadratický součinitel tepelné ztráty
A_k	m^2	kolektorová plocha
Ar	Kč/rok	roční anuitní splátka
c	$J/kg.K$	měrná tepelná kapacita
d	den	délka otopného období
D	K.dny	vytápěcí denostupně
h	m	statická výška
i_{inf}	-	míra inflace
IN	Kč	investiční náklady
i_r	-	reálná úroková míra
$I_{stř}$	W/m^2	střední intenzita slunečního záření na plochu
i_v	-	míra výnosnosti
k	-	počet kolektorů
N	Kč/r	roční náklady
n	den	počet dnů
N_p	Kč/rok	roční provozní výdaje
N_u	Kč	hodnota úvěru

p	%	procentní hodnota
$p_{\max}$	MPa	max. odfukový tlak pojistného ventilu
Q_{abs}	kWh	absorbovaná energie
$Q_{\text{BAZ},r}$	kWh/r	potřeba tepla pro bazén
Q_c	kW	tepelná ztráta objektu
Q_k	kWh/m ²	měrný tepelný zisk
Q_s	kWh/m ²	průměrná dopadající energie na plochu
$Q_{\text{TV}, r}$	kWh/r	roční potřeba tepla na přípravu teplé vody
$Q_{\text{VYT},r}$	kWh/r	roční potřeba tepla na vytápění
Q_{ztr}	W	tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny
r	J/kg	výparné teplo vody
S	m ²	plocha
t_{as}	°C	průměrná teplota vzduchu v době slunečního svitu
t_e	°C	vnější výpočtová teplota
t_{es}	°C	průměrná teplota během otopného období
t_{is}	°C	průměrná vnitřní výpočtová teplota
t_m	°C	průměrná teplota teplonosné látky v solární soustavě
T_S	rok	doba splatnosti
t_{svL}	°C	teplota studené vody v létě
t_{svZ}	°C	teplota studené vody v zimě
t_v	°C	střední měsíční teplota vzduchu
t_w	°C	teplota vody v bazénu
T_z	rok	doba životnosti
V	Kč/rok	roční úspora
V_{2p}	m ³ /den	denní potřeba teplé vody
V_c	l	objem primárního okruhu
V_k	l	objem kapaliny v kolektoru
V_n	l	objem expanzní nádoby
W_N	W/m ²	užitečný tepelný výkon
x	m ² .K/W	redukovaná teplota
x_v	kg/kg.s.v.	měrná vlhkost okolního vzduchu
x_w''	kg/kg.s.v.	měrná vlhkost nasyceného vzduchu
z	-	koeficient energetických ztrát

α	$^{\circ}$	sklon kolektoru
α_{celk}	$\text{W/m}^2\text{K}$	celkový součinitel přestupu tepla z vodní hladiny
α_k	$\text{W/m}^2\text{K}$	součinitel přestupu tepla konvekcí
α_s	$\text{W/m}^2\text{K}$	součinitel přestupu tepla sáláním
α_{vyp}	$\text{W/m}^2\text{K}$	součinitel přestupu tepla při vypařování vody na hladině
β	$^{\circ}$	úhel sklonu slunce nad horizontem
ε	-	opravný součinitel
η_k	-	účinnost kolektoru
η_o	-	optická účinnost
η_r	-	účinnost rozvodu vytápění
ρ	kg/m^3	měrná hmotnost vody
τ	-	poměrná doba slunečního svitu
φ	-	relativní vlhkost

2 ÚVOD

2.1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Pod pojmem solární systém si představujeme systém, který slouží k získávání energie ze slunce. Tyto solární systémy můžeme rozdělit na *pasivní*, které získávají teplo pomocí konstrukčních prvků jako jsou prosklené fasády budov, a dále *aktivní* systémy. Aktivní termické solární systémy, které přeměňují sluneční záření na teplo, mají dnes mnoho technologických variant, jež se liší v účelu využití získávané energie, způsobu přenosu tepla a použitého pracovního média, který tento přenos zprostředkovává. V podmínkách ČR nalézají nejčastější uplatnění solární systémy pro ohřev bazénové vody a pro ohřev teplé vody v letním a přechodovém období, kdy je dostatečná sluneční aktivita. Stále častěji se ale i u nás rozvíjejí instalace využívající solární energii pro přitápění a dokonce i pro výrobu chladu (kombinací s chladicí jednotkou absorpčního typu). Rozhodnutím o umístění systému ovlivňujeme množství solární energie, které pak bude moci systém každoročně ve formě tepla dále využít. Regionální odlišnosti v intenzitě dopadajícího slunečního záření na území naší republiky dosahují 20 – 25%. K lokalitám s nejvyšším osluněním patří střední Čechy a jižní Morava, k nejnižším pak oblasti s vyšší nadmořskou výškou. Pro zachycení této sluneční energie pro ohřev teplé vody a přitápění se používají ploché kolektory nebo vakuové trubicové kolektory. Přičemž v současnosti se používají pro ohřev teplé vody téměř výhradně ploché kolektory díky jejich přijatelné ceně. Pro kombinované systémy s přitápěním pak vychází cena systému s plochými kolektory nebo vakuovými trubicovými kolektory téměř stejná a pak závisí na vstupních požadavcích daného systému, který druh se použije. Obecně slouží vakuové trubicové kolektory pro systémy kde je potřeba vyšší teplota. V případech kdy potřebujeme teplo o nízké teplotě jako např. pro bazény se používají jen jednoduché absorbery s neselektivní vrstvou.

Na základě statistického šetření lze upřesnit celkovou plochu činných zasklených solárních kolektorů na konci roku 2007 na 130 tisíc m². Dodávka zasklených solárních kolektorů činila v roce 2007 celkem 25 000 m², meziroční nárůst tak činí přes 20 %. Zhruba 24 % plochy tvoří vakuové trubicové kolektory. Dodávka bazénových absorberů činila v roce 2007 zhruba 75 tisíc m². Podle odhadu vyrobily tyto kolektory v roce 2007 cca 152 TJ využitě tepelné energie [28].

Pro mezinárodní srovnání pozice České republiky lze použít aktuální informaci ESTIF (Solar Thermal Markets in Europe 2007) o současném stavu evropského trhu se solárními kolektory.

Tab. 2-1 Mezinárodní srovnání plochy kolektorů (dle ESTIF v m²) [28].

	Celkem	Nově instalované				
	2007	2005	2006	2007		
	Celkem	Celkem	Celkem	Celkem	Ploché	Vakuové
Německo	8 994 000	950 000	1 500 000	940 000	840 000	100 000
Rakousko	2 892 627	233 470	292 669	281 000	277 600	3 400
Polsko	234 897	27 700	41 400	67 000	44 000	23 000
Slovensko	81 750	7 500	8 500	9 000	7 740	1 260
ČR	130 115	15 524	20 421	25 000	18 900	6 100

2.2 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce bude navrhnout optimalizovaný solární systém pro konkrétní použití na rodinném domě. Bude se jednat o systém pro ohřev teplé vody, bazénu a přitápění. Následně se vyčíslí cena této investice a určí se jestli je tato investice efektivní. Bude počítána varianta pro financování projektu z vlastního kapitálu a pro financování pomocí cizího kapitálu (např. úvěru). Tyto varianty budou počítány pro stav kdy se do investice nezahrne žádná dotace a pro stav kdy se do investice zahrne dotace, v případě že dojde ke splnění dotačních kritérií.

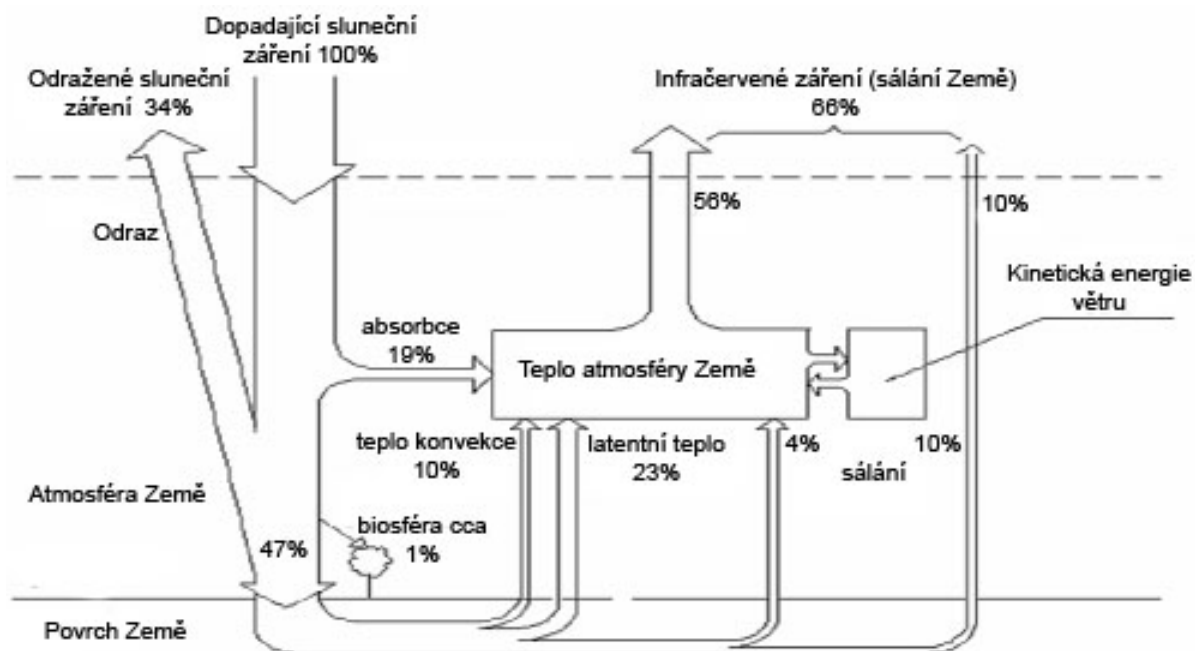
2.3 Metody a postupy řešení

Pro začátek zde objasním teorii ohledně sluneční energie, způsoby jejího získávání a možné způsoby přeměny této sluneční energie na jinou použitelnou formu energie. Dále zde budou popsány různé druhy solárních systémů a jejich základní funkční části. Po těchto základních teoretických informacích se budeme zabývat návrhem a dimenzováním solárního systému pro reálný rodinný dům v dané lokalitě na základě informací a vztahů získaných v teoretické části práce. Nakonec proběhne propočet ekonomické efektivnosti s uvedením celkových nákladů navrženého systému a ročních úspor po realizaci této investice. Vlastní návrh solárního systému bude v kapitole 6 a následné zhodnocení ekonomické efektivnosti a doby návratnosti v kapitole 7.

3 SOLÁRNÍ ENERGIE A JEJÍ VLASTNOSTI

3.1 Slunce jako zdroj energie

Slunce je z fyzikálního hlediska fúzním reaktorem. Na základě enormně velké hmotnosti a s ní spojené hmotné přitažlivosti se atomy „taví“, v podstatě se mění atomy vodíku na hélium. Přitom se uvolňuje nepředstavitelné množství energie, předávané ve formě elektromagnetického záření do kosmického prostoru. Zlomek této zářivé energie dosáhne po 150 milionech km a 8,3 minutách na Zemi. Při měření solárního záření mimo zemskou atmosféru (na sluneční straně, kolmo k záření) přibližně ve výšce satelitů, se vyskytuje proud energie cca 1360 W/m^2 , což je tzv. *solární konstanta*. Při průchodu záření zemskou atmosférou probíhá řada komplexních dějů. Části záření jsou absorbovány, rozptýlovány, reflektovány a emitovány (Obr.3-1) [1].



Obr. 3-1 Přeměny energie slunečního záření dopadající na Zemi [2]

Při jasné, bezmračné obloze dopadá největší část záření na Zemi, aniž by měnilo směr. Toto *přímé záření* lze soustřeďovat (koncentrovat) např. zrcadly nebo čočkami. Rozptylem přímého záření v mracích a na částech v atmosféře dochází k *difuznímu záření* (tzv. záření oblohy), které na Zemi přichází ze všech směrů. Difuzní záření nelze koncentrovat. Souhrn přímého a difuzního záření se označuje jako globální záření. Zatím co difuzní záření tvoří v létě asi 50 % záření globálního (v měsíčním průměru), je jeho podíl v zimě díky oblačnému počasí podstatně vyšší. V celoročním průměru obnáší asi 60 %. Proto se musí použít technologie, které dobře využívají i difuzního záření. S koncentrujícími systémy (v širokém měřítku) nelze ve střední Evropě počítat. Čím více vodní páry obsahuje atmosféra a čím vyšší je tedy podíl difuzního záření, tím více energie globálního záření ubývá [1].

Intenzita záření v poledne je:

- za zamračených dnů $40\text{--}200 \text{ W/m}^2$;
- za jasných dnů $600\text{--}1000 \text{ W/m}^2$.

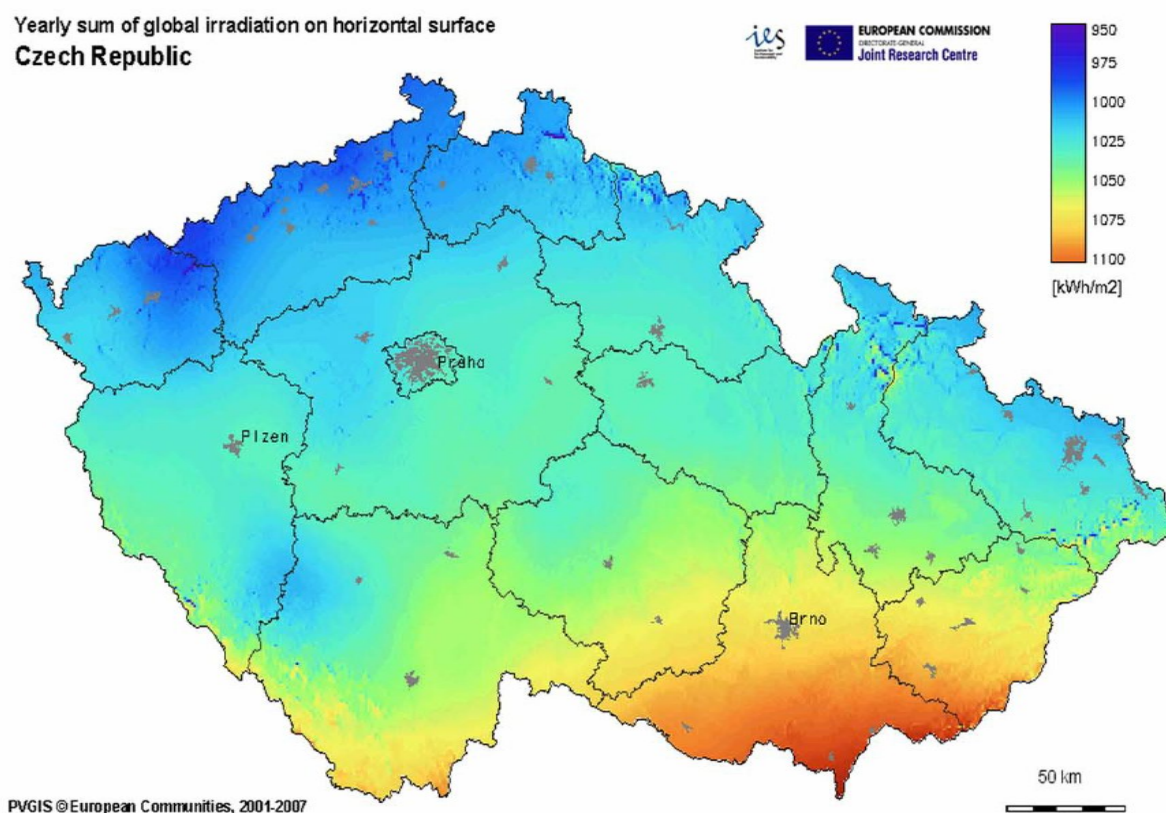
Odpovídajícím způsobem kolísá silně v průběhu dne i energie záření. Vlivem otáčení Země a jejího oběhu kolem Slunce během roku kolísá i záření na povrch Země vlivem střídání dne a noci i střídání ročních období. V zimě přijímá severní polokoule méně energie než v létě, protože dny jsou kratší a Slunce je níže na nebi. Značně kolísající množství solárního záření je příčinou základního problému v technickém využívání solární energie. Aby byly solární energetické systémy schopny energii kontinuálně dodávat, musí buď zahrnovat odpovídající zásobníky, nebo přídavné systémy (Back-up-System) [1].

3.2 Podmínky a využití sluneční energie v ČR

Pro navrhování solárních soustav je potřebné vyjadřovat nabídku záření ze Slunce v číslech. Na meteorologických stanicích celého světa jsou měřeny především dvě zajímavé hodnoty solárního záření:

- délka slunečního svitu, měřená v hodinách za měsíc, nebo rok
- zářivá energie na vodorovnou plochu, nebo přesněji řečeno denní, nebo měsíční sumy globálního záření na vodorovnou plochu, měřeno v kWh/m^2 , (Obr.3-2).

Aby mohly být brány v úvahu při pozdějších propočtech „rozmary“ počasí, sdělují meteorologové z měřených dat průměry za více let, které popisují „průměrné počasí“ - průměrnou nabídku záření v daném místě [1].



Obr. 3-2 Střední hodnoty úhrnů globálního záření v ČR (kWh/m^2)

[<http://re.jrc.cec.eu.int/pvgis/pv>]

Celková doba slunečního svitu (bez oblačnosti) je od 1400 do 1700 hod/rok. Roční množství zářivé energie dopadající na Českou republiku leží mezi 950 kWh/m^2 a 1100 kWh/m^2 , obnáší tedy v průměru 1000 kWh/m^2 . Tato hodnota je ovšem ideální a ve skutečnosti je tento výkon po většinu roku nižší. Nejvyšší hodnoty záření na Zemi, cca 2200 kWh/m^2 ročně, jsou docíleny v pouštních oblastech (např. Sahara, Kalifornie, Austrálie) a jsou tedy dvakrát větší než v České republice. Převážný díl připadá (jmenovitě 75 % záření odpovídající 750 kWh/m^2) připadá na letní období. Dobré předpoklady pro využití sluneční energie jsou dány především v letním období, tedy přednostně např. pro chlazení, ohřev vody v bazénech, přípravu teplé vody atd. Vedle kolísající nabídky slunečního záření se ukazuje další problém pro jeho technické využívání - nízká hustota záření, jen max. 1 kWh/m^2 (ve srovnání s tím činí hustota záření ve spalovací komoře konvenční elektrárny na fosilní paliva cca 500 kWh/m^2). To znamená, že technické využití vyžaduje stále relativně větší plochy sběračů (kolektorů). Při hromadném využití těchto systémů by hrozilo nebezpečí, že kolektory zakryjí také velkou část okolní přírody a tím by se původní ekologická přednost změnila v pravý opak [1].

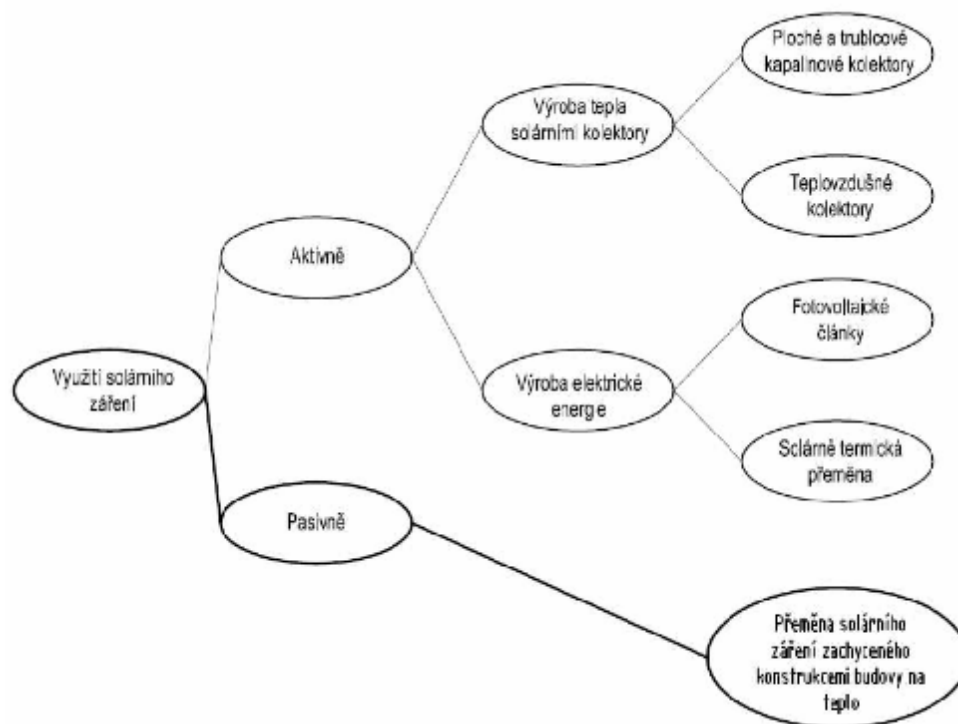
3.3 Technické využití energie solárního záření a jeho přeměna

Jednou z reálných možností jak krýt stále rostoucí spotřebu energie je zachycovat sluneční energii ještě ve formě fotonů a účelně ji přeměňovat v jiné formy energie a to na mechanickou, chemickou, elektrickou a tepelnou energii.

Přímá přeměna energie slunečního záření **v mechanickou energii** by byla velmi málo účinná, neboť tlak (impuls) fotonů je nepatrný. Jinak však má téměř všechna mechanická energie na Zemi svůj původ v energii sluneční — jde však při tom o přeměnu nepřímou. Lze uvést řadu příkladů s řetězcem přeměn, na jehož začátku je vždy sluneční energie: např. práce vodních turbín poháněných potenciální energií vody z přehradních nádrží, práce větrných motorů poháněných kinetickou energií vzduchu atd. Každý řetězec přeměn se řídí zákonem o zachování energie a na jeho konci je vždy teplo, které se v podobě infračerveného záření Země odvede zpět do kosmického prostoru [2].

Přímá přeměna energie slunečního záření **v energii chemickou** je možná na základě fotochemické reakce, při níž dopadající fotony se pohltí molekulou a zasáhnou do její struktury. K akumulaci sluneční energie (k umělé výrobě paliva) jsou ovšem vhodné jen ty fotochemické reakce, které probíhají endotermicky a jejichž výsledné produkty jsou exotermické. Kromě toho musí být výsledný produkt stálý a nesmí ihned po vzniku samovolně reagovat. Jako příklad lze uvést výrobu methanu CH_4 rozpadem molekul aldehydu CH_3COH . Pro výrobu umělých paliv pomocí energie slunečního záření by byl možno uvést ještě řadu dalších možností většinou přitom jde o výrobu vodíku rozkladem vody nebo organických látek [2].

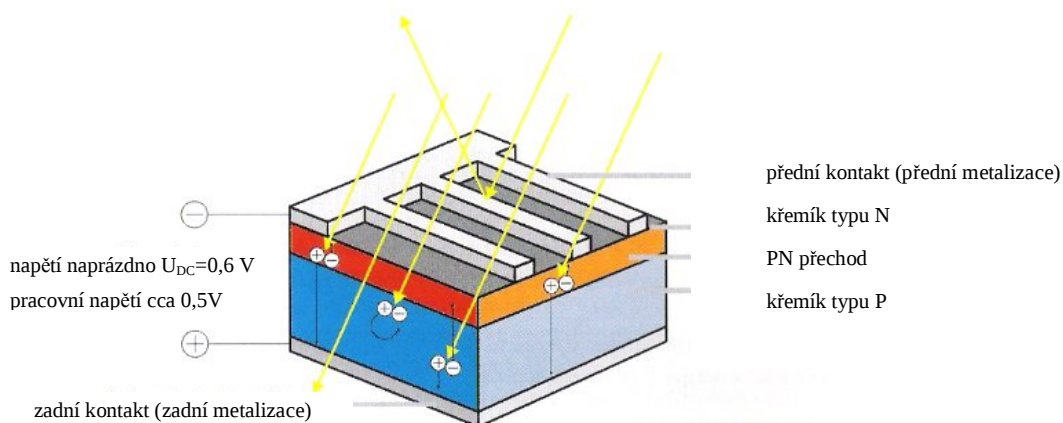
Nejčastější přeměna v našich podmínkách je přeměna na energii tepelnou a energii elektrickou. Na tomto základě rozdělujeme solární systémy (Obr.3-3).



Obr. 3-3 Rozdělení solárních systémů [3]

Přeměnu světelného záření na elektrickou energii (**fotoelektrická přeměna**): označujeme za aktivní, protože se získává energie pomocí přídavného technického systému – solárního článku (Obr.3-4).

Solární článek je polovodičový velkoplošný prvek s alespoň jedním PN přechodem (v podstatě jde o polovodičovou diodu). Na rozhraní materiálů P a N vzniká přechodová vrstva P-N, v níž existuje pole vysoké intenzity. Vzniklý el.proud odvádějí z článku elektrody. V ozářeném solárním článku jsou fotony generovány elektricky nabitě částice (pár elektron –díra). Některé elektrony a díry jsou poté separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi „předním“(-) a „zadním“(+) kontaktem solárního článku. Zátěží připojenou mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný el.proud, jež je přímo úměrný ploše solárních článků a intenzitě dopadajícího slunečního záření [3].



Obr. 3-4 Princip solárního článku [3]

Přeměna světelného záření na teplo (**fototermální přeměna**):

- **pasivní** (pomocí pasivních solárních prvků budov-prosklené fasády, zimní zahrady)
- **aktivní** (pomocí přídavných technických zařízení -kolektoru).

Množství získané energie u **pasivního solárního systému** závisí na poloze, architektonickém řešení a zejména na druhu budovy, použitých materiálech, vytápěcím systému (míra využití zisku z oslnění). Podmínkou využití pasivních systémů je vyřešení rizika tepelné zátěže (řádné odvětrávání, možnost akumulace do stavebních konstrukcí). U nově budovaných staveb je nutné přizpůsobit cel architektonické řešení (tvar, vnitřní dispozice, orientace budovy a umístění solárních prvků). Starší stavby lze vhodně zrekonstruovat (vybudovat skleněné přístavky, prosklené verandy apod.). **Aktivní solární systémy** je téměř vždy možné dodatečně instalovat na stávající budovu. Záření se při tom zachycuje sběrači (kolektory) buď ve plochých panelů (ploché kolektory) nebo koncentrátů s odraznou plochou nebo soustavou sběrných čoček (koncentrující kolektory). Plochými kolektory lze zachycenou sluneční energii převést v teplo o nízkém potenciálu Využívají se zejména k celoroční přípravě teplé vody (TV), ohřevu bazénové vody a k vytápění budov pomocí ústředního teplovodního či teplovzdušného vytápění. Optickou koncentrací dopadajícího slunečního záření lze získat teplo o vysokém potenciálu několika set °C, popř. až 4 000 °C i více. Vysokoteplotní systémy mohou sloužit k destilaci vody a dále jako sluneční vařiče a pece k přípravě jídel, k tavení kovů apod. [3].

4 DRUHY POUŽITÍ TEPELNÝCH SOLÁRNÍCH SOUSTAV

Nejpříznivější podmínky jsou pro solární dány tehdy, kdy se časově shodují nabídka sluneční energie a poptávka uživatele po ní.

Solární soustavy mohou být uplatněny v následujících oblastech:

- a) ohřev vody v bazénech;
- b) ohřev užitkové vody;
- c) vytápění (v přechodném období a v zimě);
- d) ostatní méně používané oblasti;
 - temperování výrobních a skladových hal vzduchovými kolektory;
 - výroba procesního tepla pro průmyslové využití;
 - (solární) vaření;
 - (solární) sušení např. potravin nebo sena;
 - destilace (např. odsolování mořské vody a příprava pitné vody).

Hlavní oblast využití se nachází pod prvními třemi body a bude jim dále věnována větší pozornost.

Základní složení solárních systémů

- Sluneční kolektor;
- Tepelný zásobník;
- Solární okruh (tepelný výměník, teplotnosné médium, čerpadla, potrubí, řídicí a regulační zařízení, bezpečnostní zařízení);
- Odběrový okruh.

Členění soustav

- a) Soustavy podle oběhu teplotnosného média:
 - soustavy se samotížným systémem;
 - soustavy s nuceným oběhem (s oběhovým čerpadlem a řízením).
- b) Soustavy podle proudění:
 - otevřený (beztlakový systém), voda proudící kolektory se mísí přímo s vodou v zásobníku. Používá se jen vyjíměčně např. u ohřevu bazénu;
 - uzavřený tlakový systém, teplotnosná kapalina se nemísí s vodou v zásobníku, ale předává teplo vodě pomocí výměníku.
- c) Soustavy podle dohřívání jsou bez dohřívání nebo s dohříváním.
- d) Soustavy podle přenosu tepla:
 - bez tepelného výměníku (jednookruhový systém);

-s jedním tepelným výměníkem (vnitřním nebo venkovním) pro oddělení solárního a odběrového okruhu (dvouokruhový systém);

-se dvěma tepelnými výměníky s oddělenými okruhy, jak solárním tak odběrovým (tříokruhový systém).

e) Systém podle průtoku:

-High flow systém (vysoký průtok);

-Matched-flow systém (s variabilním průtokem);

-Low-flow systém (s nízkým průtokem).

Tab. 4-1 Typické charakteristiky solárních zařízení podle druhu využití [1]

	Ohřev vody v bazénu	Ohřev teplé vody	Ohřev teplé vody a vytápění
Typ kolektoru	absorber	plochý a vakuový kolektor	plochý a vakuový kolektor
Typický rozdíl mezi užitkovou a okolní teplotou	0-10 °C	40-70 °C	30-70 °C
Velikost kolektorové plochy	(0,5-0,8) x plocha bazénu m ²	0,8-1,5 m ² na osobu	podle stupně pokrytí a kvality stavby domu
Specifický systémový výnos na m ² kolektorové plochy	200-300 kWh/m ²	250-600 kWh/m ²	150-500 kWh/m ²
Typický stupeň pokrytí spotřeby	< 100 %	40-60%, v létě 70-95 %	20-30%
Zásobník	voda v bazénu	70-100 l na osobu, standardní zásobník	kombinovaný, s teplotním rozvrstvením, systém s více zásobníky, objem podle kolektorové plochy

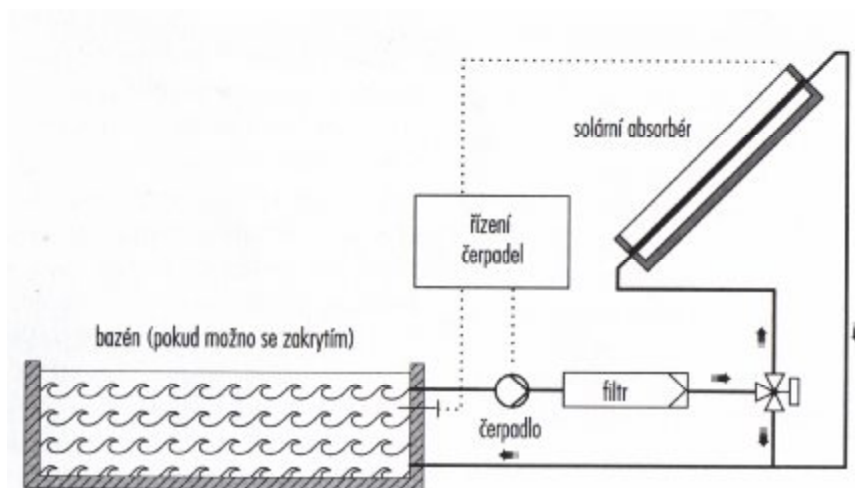
4.1.1 Solární soustavy pro bazény

Dimenzování solárního zařízení k ohřevu bazénu závisí na slunečním záření dopadajícím na plochu kolektorů a na tepelných ztrátách bazénu.

A. Výhradně pro ohřev vody v bazénech

Jedná se o velmi rozšířený a cenově příznivý způsob ohřevu díky své jednoduchosti. Při tomto ohřevu se přesně shoduje nabídka sluneční energie s poptávkou po ní, protože nekryté bazény jsou provozovány v letním, na sluneční záření bohatém období. Ohřev vody pro bazény má jen malé tepelně-technické nároky. Požadované teploty vody se zřídka pohybují výše než na 23-28 °C. Mimoto při špatném počasí neklesá jen teplota vody, ale i návštěvnost bazénu. Zvýšení teploty vody o 5 až 10 °C lze dosáhnout kolektory nejjednodušší konstrukce; používány jsou

převážně tzv. „absorbéry“, sestávající z paralelně vedených hadic z plastických hmot, EPDM-kaučukových nebo plastových rohoží s vodními kanálky položených na střeše nebo jiné ploše s mírným sklonem k jihu. Není potřebná jejich izolace, ani překrývání sklem či folií, protože se každé černé těleso při dobrém záření a jmenovaných nenáročných požadavcích dostatečně ohřívá. Tepelným zásobníkem je v tomto systému sama voda v bazénu. Akumulační schopnost velkého množství vody má vliv na to, že teplota vody klesá v noci a ve dnech na sluneční záření chudých jen pomalu. Zakrýváním bazénu se mohou tepelné ztráty z hladiny znatelně snížit. Protože je provoz bazénu omezen jen na letní období a v té době nemusí být počítáno se zamrznutím kolektoru, může být kolektor ochlazován přímo bazénovou vodou, takže je celé zařízení docela jednoduché. Na 1m^2 vodní hladiny je potřeba 0,5 až $0,8\text{m}^2$ „kolektorové plochy“. Kolektor musí být stejnoměrně a relativně intenzivně protékán (za použití filtračního čerpadla, nebo separátního oběhového čerpadla) tak, aby bylo při plném oslunění dosaženo ohřevu vody asi o $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Za těchto podmínek dosahují bazénové kolektory roční energetický zisk asi $200\text{--}300\text{ kWh}$ na m^2 plochy absorbéru, využijí tedy z celoroční nabídky záření 1000 kWh/m^2 asi 20-30 % energie. Srovnáním s cenami konvenčních systémů vychází solární systémy pro bazény i bez dotací jako absolutně hospodárné [1].



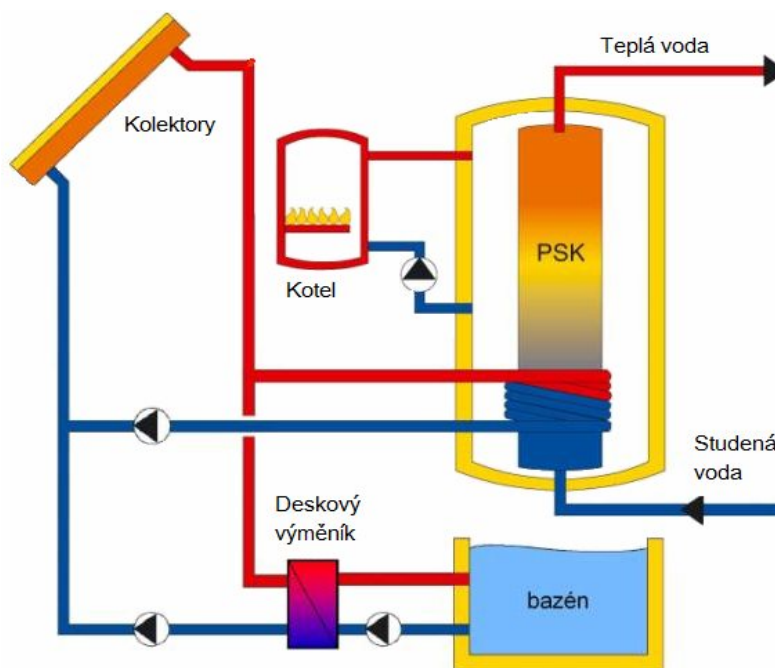
Obr. 4-1 Schéma zapojení zařízení pro ohřev bazénové vody [1]

B. Pro ohřev vody v bazénu a přípravu teplé vody

U tohoto typu je tepelná solární soustava použita pro přípravu teplé vody (TV) pro domácnost i pro ohřev vody v bazénu. Tyto systémy jsou dimenzovány na podporu vytápění v přechodném období roku, a proto jsou vybaveny relativně velkou plochou kolektorů. V letních měsících je ohřev obytných místností nutný jen v docela malé míře. Nabízí se tedy možnost využívat letní přebytky pro ohřev bazénu, a tak dosáhnout celkově vyššího stupně využitelnosti tohoto kombinovaného systému. Jako absorpční plochy se používají ploché nebo trubicové kolektory [6].

Princip:

Nejdříve je nabíjen teplem solární zásobník. Jakmile dosáhne požadované teploty, nebo když další ohřev solárním zařízením není možný, začne solární soustava předávat teplo do bazénu. Není-li bazén využíván v zimě, je celá kolektorová plocha tohoto zařízení k dispozici pro přípravu teplé vody v domácnosti. U celoročně využívaných bazénů je voda v bazénu udržována na žádané teplotní úrovni dodatkovým zdrojem tepla [4].

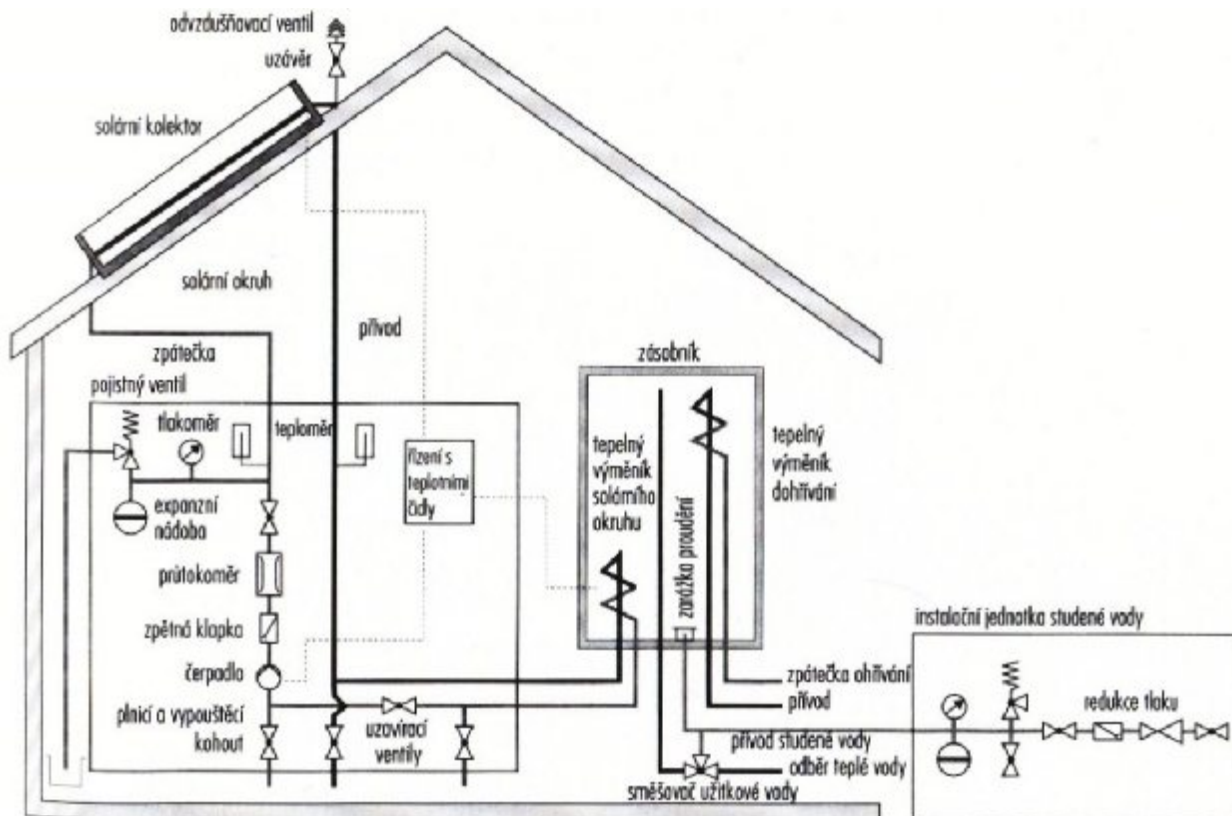


Obr. 4-2 Kombinace přípravy teplé vody a ohřevu vody v bazénu s dohříváním [29]

4.1.2 Solární soustavy pro ohřev teplé vody

Zde se neshoduje nabídka sluneční energie s potřebou tepla tak dobře, jako u ohřevu bazénové vody, přesto patří nejen u nás zařízení pro přípravu teplé vody k nejvýznamnějšímu využití v oblasti termické solární energie. Je to proto, že při správném dimenzování může být zásobování domácností teplou vodou (45-55 °C) zajištěno v letním období bez dodatečné cizí energie, takže domácí kotelná může být v této době zcela odstavena. A v přechodných obdobích března/ dubna a září/října, mohou dobrá solární zařízení práci kotleny významně podpořit [1].

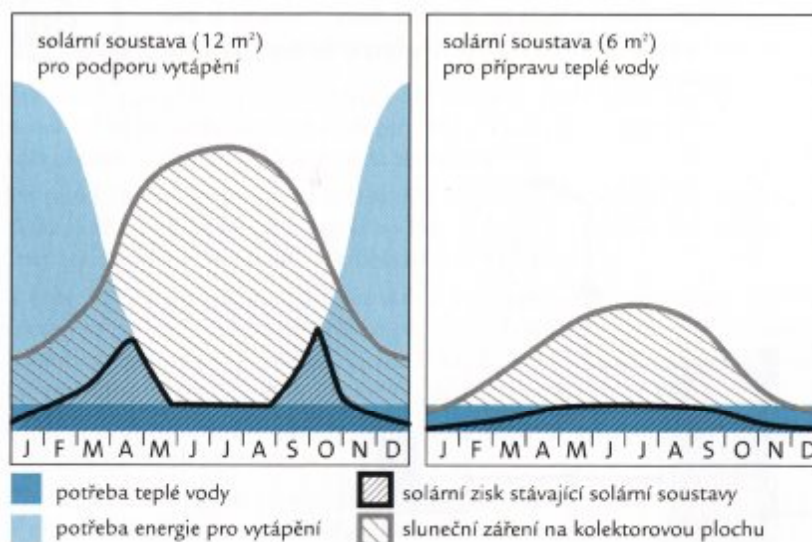
Nároky na technické vybavení jsou v tomto případě znatelně vyšší, než u ohřevu bazénové vody. Pro zásobování teplou vodou je požadována teplota nejméně 45 °C, takže solární soustava musí ohřát vodu o více než 35 °C (při teplotě vody 10 °C z vodovodu). Při venkovních teplotách v průměru 12-25 °C v letním období, musí být soustava schopna dosáhnout na kolektoru, resp. absorberu 50-70 °C a přitom přeměnit záření na teplo s přijatelným stupněm účinnosti. Vyšší teploty vyžadují znatelně vyšší nároky na opatření proti ztrátám. Sluneční kolektory pro užitkovou vodu jsou zpravidla ploché, dobře izolované skříně, v nichž je za tabulí skla uložen černý absorber. Jako trvalý prvek technických zařízení budovy jsou kolektory pevně namontovány ve střední nebo horní části střechy. Zásobníky jsou vertikální válcové nádoby, používané již dlouho v sanitární technice. Na rozdíl od solárních soustav pro bazény zůstávají soustavy pro ohřev pitné vody v provozu po celý rok, vždyť mohou i za pěkných zimních dnů přijímat pozoruhodné množství energie. Proto všude tam, kde je nutno počítat s mrazem, musí být v kolektorovém okruhu použit prostředek proti zamrznutí, tedy i tepelný výměník, oddělující teplotonosnou kapalinu od použité pitné vody [1].



Obr. 4-3 Standardní solární soustava pro ohřev teplé vody se všemi částmi [4]

4.1.3 Solární soustavy pro podporu vytápění

Za smysluplné využití tepelné solární energie platila celá léta pouze příprava teplé vody. Spotřeba teplé vody je téměř celý rok konstantní, proto je i velká solární nabídka efektivní a bez větších ztrát využitelná. Pohled na (Obr.4-4) představuje posun mezi solární nabídkou a potřebou energie pro vytápění. Přičemž je vytápění potřebné v zimě, protože v tomto období svítí slunce jen zřídka a s malým výkonem. Solární soustavy budou nicméně využívány stále více pro pokrytí potřeby energie k vytápění v tzv. přechodných obdobích jako je jaro a podzim [4].

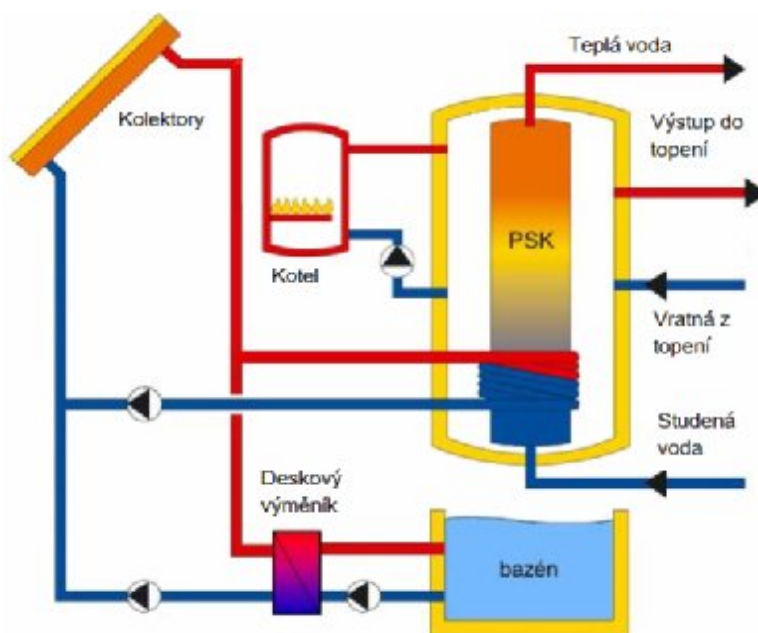


Obr. 4-4 Srovnání ročního chodu soustavy pro podporu vytápění/ přípravy teplé vody [4]

Rodinné domy (stará zástavba) potřebují v průměru maximální výkon 12-17kW, přičemž spotřebují ročně 130-180kWh tepelné energie na m² obytné plochy. Novostavby potřebují na rok a m² asi 100kWh. Pasivní domy (nízkoenergetické) jdou až na hranici současných možných úspor se spotřebou asi 15kWh na m² za rok [4].

Zkušenosti ukázaly zřetelně na to, že důležitým předpokladem pro velký přínos solárního vytápění jsou podstatně nižší teploty v topném systému takových nízkoenergetických domů. Z pohledu staré stavby je tedy důležité, co možná nejvíce snížit spotřebu energie na vytápění a snížit teplotu topné vody. Motto zní: Nejdříve šetřit, pak efektivně nasadit solární energii. Na druhé straně nelze přehlédnout potíže solárního vytápění v dobře izolovaných stavbách. V nízkoenergetických domech se zkrátí topné období na zimní měsíce listopad až únor/březen, to znamená na měsíce s nejmenším slunečním zářením. Tím jsou kladeny vysoké požadavky na techniku. V principu však sestává solární soustava pro podporu vytápění ze stejných komponent, jako soustavy pro teplou vodu, ovšem s většími plochami kolektorů a větším objemem zásobníku. Velikost obou soustav závisí na požadovaném stupni solárního krytí potřeby energie. Tak může vyžadovat rodinný (nízkoenergetický) dům pro 100% krytí potřeby až 50 m² kolektorové plochy a 30 m³ i více objemu zásobníku. *Ale 100% solární krytí potřeby tepla je dnes spíše výjimkou a není ani ekonomické.* Takové 20 až 30% krytí potřeby rodinného domu může být dosaženo již s kolektorovou plochou 8 až 20 m² ve spojení s objemem zásobníku 600 až 2000 l [1].

Na počátku vývoje solárních soustav pro podporu vytápění v oblasti malých solárních pokrytí bylo větší pokrytí řešeno zvětšením plochy kolektorů a zvýšením stávajícího objemu zásobníku přidavným vyrovnávacím zásobníkem. Aby se konstrukce a regulace takové soustavy zjednodušila, a tím snížila plocha pro jejich stavbu, včetně nákladů, byly vyvinuty právě popisované kombinované zásobníky, v jehož horní části zásobníku je zabudován menší zásobník pro teplou vodu. Vedle systému „zásobník v zásobníku“ (obr.4-5) vznikly vyrovnávací *zásobníky se zařízením pro stratifikaci* (nabíjení vrstev) a venkovní výměníky pro ohřev vody (obr.4-5). Díky nabíjení ve vrstvách může být voda v horní oblasti zásobníku rychle ohřátá na využitelnou teplotu (cílené nabíjení na stanovenou teplotní hladinu). Vytápění bude přitom napojeno tak, aby mohlo být teplotní vrstvení v zásobníku i při nabíjení a vybíjení chráněno před promícháním vrstev [4].



Obr. 4-5 Soustava pro ohřev teplé vody, bazénu a podporu vytápění [29]

Tab. 4-2 Tabulka jednotlivých řešení solárních systémů pro ohřev bazénů/teplé vody [1]

Solární soustava	Výhody	Nevýhody	Oblast použití
Pro ohřev bazénů	Jednoduchý a relativně nenáročný systém, zásobníkem je voda v bazénu	Jestliže se jedná o bazén nekrytý pak uniká teplo ven z bazénu a tím se zvyšují ztráty.	Ohřev vody v bazénu
Pro ohřev pitné vody			
<i>Samotížné systémy</i>	Jednoduché a levné řešení, není potřeba el.proud	Nízká účinnost, nutnost umístit zásobník min. 0,6m nad kolektor	Ve středomořských zemích, v ČR jen minimálně
<i>Systémy s nuceným oběhem</i>	Větší flexibilita použití, vysoká účinnost	Další náklady na čerpalu a řízení	Nejrozšířenější systémy v střední a severní Evropě.
Dvouokruhový systém s nuceným oběhem a vnitřním tepelným výměníkem	Jednoduchý a velmi flexibilní koncept, nejrozšířenější soustava	Technicky náročnější a dražší než samotížné systémy	Pro malé soustavy (kolektorová plocha menší než 10m ²)
Dvouokruhový systém s nuceným oběhem a vnějším tepelným výměníkem se dvěma zásobníky	Vnější tepelný výměník lépe přenáší teplo, první zásobník může být proveden jako jednoduchý bez vnitřních vestaveb	Vnější tepelný zásobník zvyšuje náklady na potrubí a další čerpadlo, dva zásobníky mají větší tepelné ztráty než jeden se stejným objemem	Pro větší soustavy (kolektorová plocha větší než 10m ²). Napojení na stávající domovní rozvod, v němž je druhý zásobník již vybaven dohřevem.
Tříokruhový systém s nuceným oběhem a vnitřním tepelným výměníkem (na solárním okruhu)	Oddělení spotřebního okruhu od zásobníkového může být použit cenově dostupnější, případně i beztlaký vyrovnávací zásobník	Použitím přídatných částí se stává náročnějším a dražším	Vhodný tam kde zásobník překročí objem 400 l a má být uplatněna ochrana před legionelami. Voda v zásobníku je k dispozici pro jiný okruh (např. vytápění)
Tříokruhový systém s nuceným oběhem a vnějšími tepelnými výměníky	Jasně oddělení všech okruhů, jako solární zásobník mohou být použity jednoduché vyrovnávací zásobníky	Soustava se stává velmi náročnou, s počtem zásobníků narůstají i tepelné ztráty	Propojení velkých soustav (plochy kolektorů větších než 50m ²)

Tab. 4-3 Tabulka jednotlivých řešení solárních systémů pro ohřev teplé vody a vytápění [1]

Solární soustava	Výhody	Nevýhody
Pro ohřev teplé vody a vytápění		
Systém dvou zásobníků a kotle s pevným výkonem	Příprava teplé vody a podpora vytápění jsou od sebe odděleny, objem, bude-li zásobník pitné vody nabíjen z topného zásobníku pak může být objem pitného zásobníku velmi malý (cca pro jednodenní spotřebu)	Zvýšené tepelné ztráty díky použití dvou zásobníků, vyšší náklady na potrubí
Systém dvou zásobníků a modulačního kotle (s řízeným výkonem)	Stejně jako předchozí systém, s tím rozdílem že objem zásobníku pitné vody nestačí pro denní spotřebu, protože nabíjení z kotle nepřichází v úvahu	Zvýšené tepelné ztráty díky použití dvou zásobníků, vyšší náklady na potrubí
Jednozásobníkový systém s vnitřním spotřebním okruhem	Vnější solární tepelný výměník umožňuje lepší přenos tepla.	Použitím vnitřního tepelného výměníku dochází k promíchávání vody.
Systém s jedním zásobníkem s nabíjením ve vrstvách, s vnějším tepelným výměníkem na spotřebním okruhu a integrovaným topným kotlem	Hladiny vrstev a vybíjení jsou samoregulační, nedochází k promíchávání vody	Výměník tepla musí být navržen s výkonovou rezervou aby nedocházelo ke kolísání teploty vody

5 PRVKY SOLÁRNÍ TEPELNÉ SOUSTAVY

Solární zařízení sestává z jednotlivých dílů: slunečního kolektoru, tepelného zásobníku a solárního okruhu, resp. systému pro přenos tepla se všemi potřebnými prvky.

Solární kolektor přeměňuje sluneční záření na teplo a převádí ho do teplotnosného média (např. vody, vzduchu aj.), aby mohlo být transportováno k místu spotřeby, je koncipováno mnoho způsobů a konstrukcí, optimalizovaných pro nejrůznější použití. Vedle co největší účinnosti je kladen zvláštní důraz na životnost, tzn. že použité materiály musí být odolné vůči všem povětrnostním vlivům a UV-záření. Solární kolektor musí být instalován tak, aby přijímal co nejvíce slunečního záření, tedy především na jižních ne-zastíněných střechách, nebo jiných osluněných místech. Jako zevně viditelná část solární soustavy musí plnit nejen tepelně-technické požadavky, ale také respektovat podmínky stavby a mít odpovídající estetický výraz [1].

Tepelný zásobník, nebo prostě zásobník, má za úkol vyrovnávat přirozené kolísání dodávek solární energie. Je navržen na požadované využití solární energie. Použitelné jsou různé konstrukce. Liší se např. podle fyzikálních vlastností (beztlaký, tlakový, zásobník latentního tepla atd.), druhu použitého média (vodní, šterkový atd.), konstrukčního materiálu (ocelový, plastový), účelu použití (zásobník pitné vody, vyrovnávací zásobník apod.). Použité materiály musí vykazovat dobrou tepelnou odolnost a životnost nejméně 20 let [1].

Solární okruh slouží k tomu, aby vždy, když kolektor produkuje dostatek tepla, převedl toto teplo do zásobníku, resp. k přímé spotřebě, a to přečerpáváním teplotnosného média (vody, jiných kapalin, případně i vzduchu). Teplotnosné médium se v kolektoru ohřeje a v zásobníku (resp. ve spotřebiči) se ochladí, tedy přijaté teplo zase předá. K systému přenosu tepla (solárnímu okruhu), náleží také typizované potrubí, ventily, pojistná zařízení a podle druhu a velikosti zařízení čerpadla, řídicí jednotky, tepelný výměník atd. [1].

Souhrn: Princip solární soustavy je jednoduchý a zcela přehledný. Co nejlepší využití střídavé a u nás i nepříliš vydatné nabídky slunečního záření vyžaduje optimalizaci jednotlivých komponent a jejich sestavení do sladěného systému, ale také uživatele s citem pro šetrné zacházení se sluneční energií [1].

5.1 Solární kolektory

5.1.1 Druhy solárních kolektorů

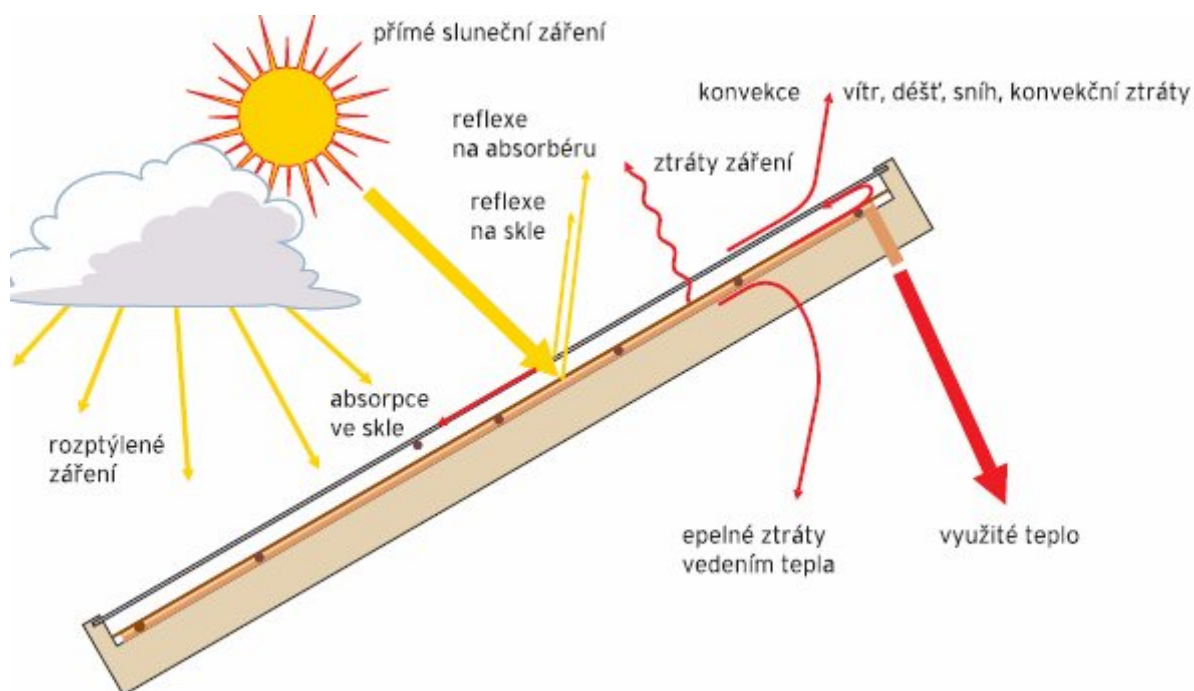
Základ každého solárního zařízení tvoří kolektor, pro proměnu světelného záření na tepelnou energii.

Druhy kolektorů:

- A) Ploché kolektory;
- B) Vakuové trubicové kolektory;
- C) Ostatní kolektory (vzduchové, fotovoltaicko/fototermické).

5.1.1.1 Ploché kolektory

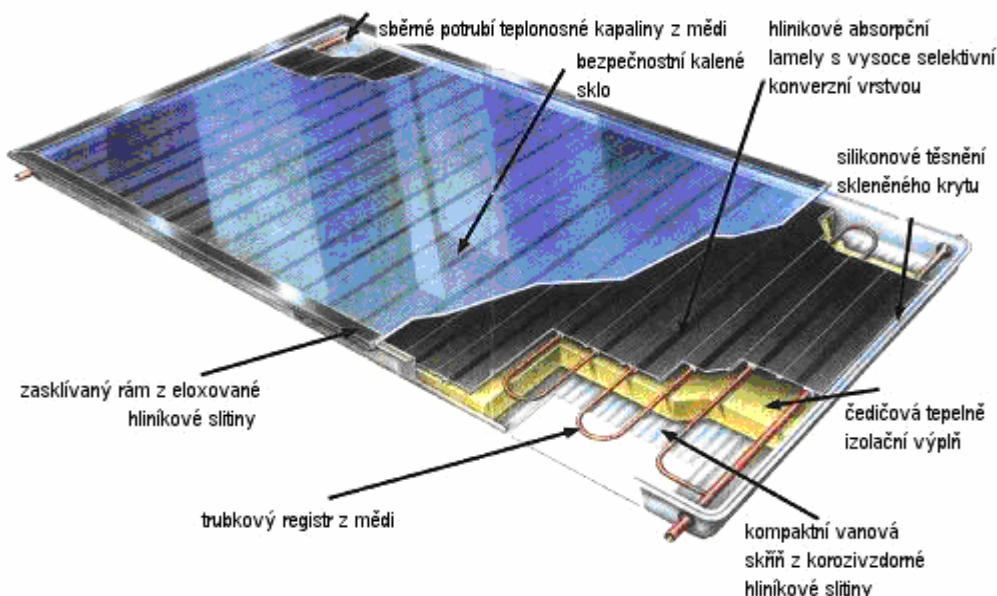
Solární záření vstupuje do kolektoru přes bezpečnostní sklo. Nepovrstvená skla přitom umožňují průchod až 91% slunečního záření. V kolektoru záření dopadá na **solární absorbér**. Na jeho povrchu se solární záření, a to jak přímé, tak i difuzní, mění na teplo (obr. 5-1). Povrch má mít schopnost dopadající záření pokud možno úplně přeměnit na teplo, a přitom z něj minimum vyzařit zpět. Černý nátěr je sice lepší než jiné (světlejší) barvy, ale byla již vyvinuta speciální povrstvení, která plní jmenované požadavky zvláště dobře. Toto selektivní povrstvení pohlcuje 95-96% světelné energie a zároveň minimalizuje ztráty tepelným zářením. Solární absorbér není vystaven přímému proudění venkovního vzduchu, čímž jsou sníženy i ztráty konvekci [4].



Obr. 5-1 Optické ztráty (odrazem) a tepelné ztráty kolektoru [4]

V absorběru, nebo na něm jsou připraveny trubky, kterými protéká teplotonosná kapalina (nejčastěji voda nebo směs vody s přípravkem zajišťujícím mrazu- vzdornost). Aby přenašeč tepla toto teplo z absorběru dobře odváděl musí absorbér i trubky vykazovat dobrou tepelnou vodivost.

Skříňové kolektory jsou vyplněny tepelně izolačními materiály, jako je minerální nebo skelná vlna, aby se tím snížily ztráty vedením tepla a konvekcí. Ještě výkonnější jsou kolektory, které místo těchto izolačních hmot používají vakuum. Pak tyto kolektory označujeme *ploché vakuové kolektory*.



Obr. 5-2 Plochý kapalinový kolektor [5]

Výhody plochých kolektorů:

- jednoduchá, robustní odolná konstrukce;
- velmi dobrý poměr cena/výkon;
- technická vyzrálost.

Nevýhody plochých kolektorů:

- nižší účinnost oproti vakuovým trubicovým kolektorům.

Materiály používané u plochých kolektorůMateriál absorbéru

Materiály pro absorbéry se s ohledem na vysoké teploty při možném chodu naprázdno volí téměř výhradně měď, ocel a hliník.

Pro každý materiál je typický způsob jeho zpracování

Lamelový absorbér - jedná se o nejrozšířenější typ a sestává se z korozně odolné měděné trubky a absorbčního pásu - lamely z mědi nebo lehčího a levnějšího hliníku.

Deskový absorbér - z mědi nebo oceli se zalisovaným nebo naletovaným systémem měděných trubek.

Polštářový absorbér - z běžné nebo ušlechtilé oceli.

Válcovaný absorbér - z hliníkového plechu.

Povrstvení absorbérů

Výkonnost absorbéru podstatně závisí na povrstvení jeho horní plochy. Vedle černých nátěrů se začali používat selektivní vrstvy, jimiž se dají tepelné ztráty kolektoru výrazně snížit. Dnes nejpoužívanější povrstvení - černý chrom nebo niklem nanášený hliník se nanáší galvanicky. Nejnovější postupy nanášení selektivních vrstev jsou natryskání, CVD (chemické

nanášení výparu), PVD (fyzikální nanášení výparu), PECVD (plasmou zvýšenou chemické nanášení výparu) a vyznačují se zlepšenými vlastnostmi oproti galvanickému nanášení.

Tab. 5-1 Příklady označení povrstvení absorbérů [1]

Označení	α	ε	Povrstvení	Postup nanášení	Absorbér
TiNO _x	95	5	TiNO _x	PVD	Cu
Sunstrip	95±2	15±2	Ni na oxidovaný Al	elektrochemicky	Al
Black Chrome	95±2	15±2	černý Cr na Ni	pásová galvanizace	Cu
Sunstrip neu	95	10	Ni	natryskání	Al

Materiál transparentního krytu

Nejčastěji se používá bezpečnostní sklo chudé na železo, tepelně zpracované (tvrzené) o tloušťce 3 až 6 mm, které vykazuje vysokou propustnost světla a je velmi odolné vůči krupobití. Další ovšem méně používané jsou plastové materiály jako je polykarbonát (PC) v provedení dvojité dutinové desky nebo zvlněného plechu. Jejich nevýhodou je ovšem tzv. oslepnutí působením UV-záření, zvýšené špinění a poškrábání.

Tepelná izolace

V současnosti jsou nejvíce využívány tepelné izolace na bázi čedičových nebo skelných rohoží (minerální vlna, skelná vata, polyuretanová pěna, polystyren).

Skříň kolektoru

Nejpoužívanějším materiálem pro rámy kolektorů je hliník. Dalšími materiály jsou plastické hmoty nebo recyklovatelné plasty.

5.1.1.2 Vakuové trubkové kolektory

Jsou složeny ze dvou koncentrických skleněných trubek, které jsou na jedné straně kulovitě uzavřené a na druhé straně spojeny zatavením. Z meziprostoru mezi trubkami je vakuum. Pro získání sluneční energie se vnitřní skleněná trubice opatří na její vnější ploše vysoce selektivní vrstvou - absorbérem, který je tak chráněn ve vakuovém meziprostoru. Metodou rozprašováním je nanášena hliníko-nitridová vrstva, která se vyznačuje velmi nízkou emisí a velmi vysokou absorpcí slunečního záření [1].

Díky tepelné izolaci vakuem dosahují kolektorová pole s vakuovanými trubkami nezávisle na teplotní úrovni provozu soustavy, vyšší energetické zisky než stejně velká pole plochých kolektorů. Vakuované trubice jsou však podstatně dražší než ploché kolektory, proto se používají jen pro malé solární soustavy nebo pro soustavy podporující vytápění. Pro velké soustavy k přípravě teplé vody se dosud používají jen na plochých střeších jako přímo protékané trubice, protože je pro ně potřebná jen jednoduchá nosná konstrukce, a tím se mohou náklady oproti plochým kolektorům vysoké, poněkud snížit [4].

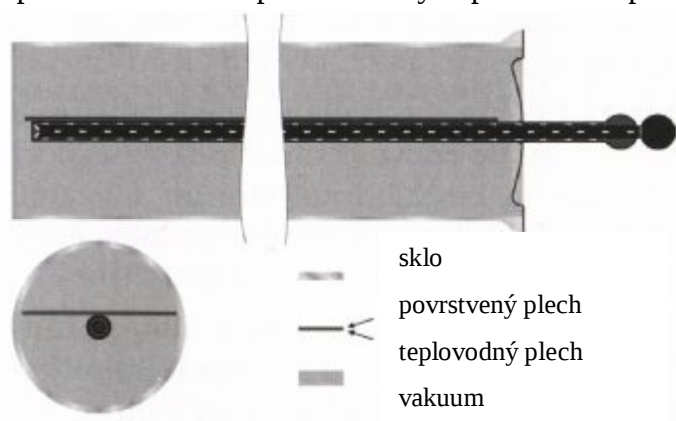
Vakuové kolektory jsou vhodné pro aplikace s vyššími teplotami, jako např. při výrobě technologického tepla, nebo také pro vytápění (provoz i v zimě) zejména při „vysokoteplotních“ topných systémech. Naproti tomu jsou méně vhodné pro přípravu teplé vody (teplotní rozdíly 20-40°C) a zcela nevhodné pro ohřev bazénové vody (teplotní rozdíly od několika stupňů do 15°C).

V principu dělíme vakuové trubice na:

- přímo protékané ;
- tepelné trubice „Heat Pipe“ ;
- vakuové „Sydney trubice“/ CPC.

Přímo protékané vakuové trubice

Na rozdíl od vakuovaných trubic na principu tepelné trubice je zde absorbér protékán

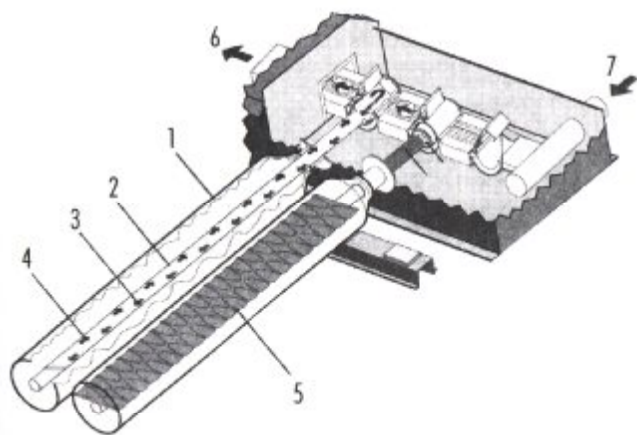


teplonosnou látkou přímo. Přímým předáním tepla se dosáhne vyššího výkonu než v principu tepelných trubic. Tyto kolektory můžou dosáhnout klidové teploty až 300°C, při použití přidavných reflektorů ještě vyšší. Jestliže se takové trubicové kolektory nasadí v jednoduchých zařízeních s glykolem v okruhu teplonosné kapaliny, musí se zajistit ohraničení teplot v okruhu [1].

Obr. 5-3 Přímo protékané vakuové trubice [4]

Vakuové tepelné trubice „Heat Pipe“

V tepelných trubicích se odpařuje v absorbéru za podtlaku velmi malé množství vody, které v kondenzátoru zase kondenzuje. Kondenzátor předává teplo do teplonosné látky kolektorového



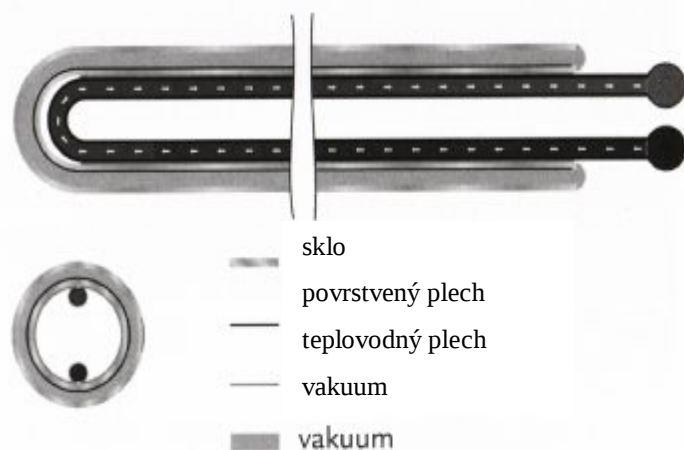
- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1 skleněná trubice | 6 výstup(teplá strana) |
| 2 tepelná trubice | 7 vstup(chladná strana) |
| 3 odtékající voda (kapalná) | 8 kondenzátor |
| 4 stoupající voda (jako pára) | 9 pružná spojka |
| 5 absorbér (selektivně novrstvený) | |

Obr. 5-4 Vakuové tepelné trubice „Heat Pipe“ [1]

okruhu. Aby mohl tento termodynamický okruh pracovat bez závad, musí mít tepelná trubice sklon nejméně 15-20°. Předností systému s tepelnou trubicí je možnost snadné výměny trubky v kolektorovém okruhu, aniž by musel být vyprázdněn. Mimoto má tento systém v jistém rámci samoregulační účinek, protože pokud je obsah v tepelné trubicí vypařen, nedochází k dalšímu zvyšování teploty, je dosažena klidová teplota. Proto může klidová teplota v kolektorech dosáhnout až 250°C. Při tak vysokých teplotách dochází k enormnímu zatěžování materiálů, zejména k ohrožení stálosti teplonosného média v solárním okruhu, které je zpravidla na bázi glykolu [1].

Vakuové „Sydney trubice“/ CPC

Aby se zamezilo možným ztrátám vakua ve spoji skla s kovem, obvyklým u běžných konstrukcí kolektorů z vakuovaných trubic, byly vyvinuty tzv. „Sydney trubice“, jako čistě skleněné trubky. V protikladu k jiným vakuovaným trubicím se u Sydney trubic nachází absorbér přímo na vnitřní skleněné trubici. Kruhový absorbér odvádějící teplo vytváří současně reflektor potřebný pro využití jeho strany odvrácené od Slunce. Potřebné reflektory se často nasazují jako koncentrátoři a celá kolektorová jednotka je pak provozována jako tzv. CPC kolektor (Compound Parabolic Concentrator) zrcadlo. Konstrukce zrcadla zaručuje, že přímé a rozptýlené



sluneční světlo dopadá v maximální možné míře na absorbér. Účinek nekrytých reflektorů může časem poklesnout vlivem počasí, takže skleněné kolektory mají být při tak jako tak potřebných a pravidelných údržbářských pracích přezkoušeny a vyčištěny. Tento typ s relativně nižší cenovou úrovní mezi ostatními trubicovými vakuovanými kolektory může i přes mírně nižší výkonnost uhájit na trhu s menšími soustavami dobrou pozici [4].

Obr. 5-5 Vakuové „Sydney trubice“/ CPC [4]

Výhody vakuových trubic:

- dosažitelnost vyšších provozních teplot než u plochých kolektorů;
- vyšší energetický zisk při stejné absorpční ploše;
- trubice jsou odolné vůči krupobití;
- snadná a jednoduchá výměna trubice bez narušení funkce kolektoru.

Nevýhody vakuových trubic:

- nutnost udržovat uvnitř trubic vakuum;
- vysoká pořizovací cena oproti plochým kolektorům.

Materiály používané u plochých kolektorůMateriál absorberu

Jako materiál pro absorber přichází v úvahu měď, a to ve formě lamelových absorberů s integrovanou trubicí.

Povrstvení absorberů

Pro povrstvení se používá černý chrom.

Materiál transparentního krytu

Místo nízkoželeznatého, tvrzeného „solárního skla“ se uplatňují trubice z borsilikátového skla o tloušťce stěny 1,5 až 3mm. Toto sklo vykazuje výrazně vyšší mechanickou tepelnou stabilitu. Trubice přečkají takové zátěže jako jsou krupobití, tepelné šoky atd. Optické vlastnosti tohoto skla jsou srovnatelné s plochými kolektory, ovšem borsilikátové sklo je dražší [1].

Skříň

Vakuová trubice je sama jako taková skříň (pouzdem), která chrání absorbér a vakuum je tedy izolací. Za kolektorovou skříň můžeme označit konstrukci nosiče pro více trubic, které tvoří kolektorový modul. Pro ně připadají v úvahu materiály jako hliník (také pro reflektory), ušlechtilá ocel a plastické hmoty [1].

Který druh kolektoru použít pro termické solární systémy:

Vakuový kolektor je konstruován tak, aby absorbérem zachycené teplo co nejlépe uchoval a převedl do teplotnosné kapaliny, která jej odvádí ke spotřebiči. Odčerpáním vzduchu z trubice nebo skříň kolektoru ve které je umístěn absorber vznikne vakuum, jež nejlépe izoluje získanou energii a ta je využita téměř s nulovými ztrátami. Díky tomu postačí méně solárního záření k chodu celého systému a ve slunných zimních dnech dodá vakuový kolektor až o 30% více energie. Taktéž nedochází ke ztrátám konvekcí, jako je tomu u plochých kolektorů. Kvalitní vakuové kolektory představují vedle koncentračních, technický vrchol při získávání solárního tepla. Z těchto poznatků se zdá, že jediné správné řešení je použít pro vytápění vašeho RD pouze vakuové kolektory [10].

Proti těmto nesporným přednostem stojí také mnoho nevýhod, které ekonomické využití vakuových kolektorů omezují jen na určité instalace. *Vakuové kolektory se nehodí na ohřev bazénů, pro ohřev TV nevykazují žádné výhody proti plochým kolektorům a u vytápění je cena za instalovanou plochu násobně vyšší. Vzhledem k tomu že solární systémy pro vytápění kombinují všechny tyto způsoby ohřevu je celkový energetický přírůstek vakuového a plochého systému stejný.* V zimních měsících je jejich hlavní přednost, minimální tepelná ztráta, někdy kontraproduktivní. Při instalaci se sklonem do 50° (a to je drtivá většina střech) a sněhových srážkách jsou trubice plné sněhu a panel je neúčinný. Plochý kolektor sice má určité tepelné ztráty ale ty jsou v tomto případě výhodou, z kolektorů snáze sjede sníh a jsou tak aktivní. Po zimě pak u trubicových kolektorů není výjimkou prasklá trubice a pokud panel obsahuje odrazná zrcadla stávají se časem slepá a tím bez užitku [10].

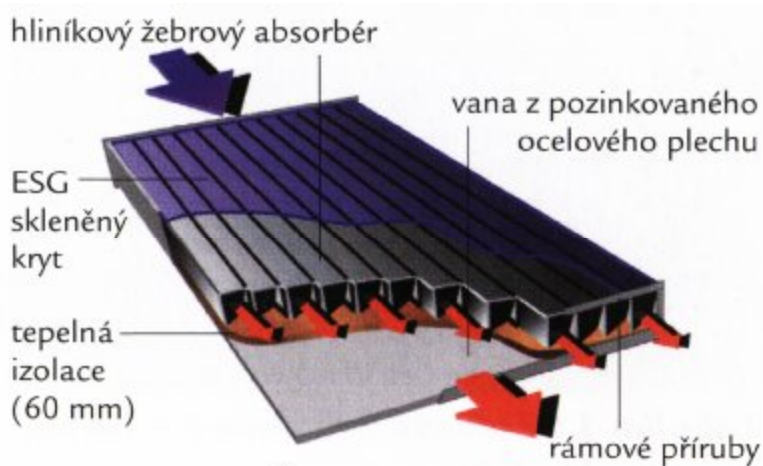
5.1.1.3 Ostatní kolektory

Vzduchové kolektory

Srdcem solárního kolektoru je absorbér. Ve vzduchovém kolektoru jsou to hliníková žebra, která jsou (podle účelu použití) černě natřena, nebo opatřena vrstvou selektivního černého chromu. Žebry proudí vzduch. Již při nízkých venkovních teplotách a slabém záření v zimě lze takto dosáhnout ohřevu o 25-30 °C. Tento teplý vzduch může být veden přímo do ohříváných prostor jako teplý nebo cirkulující vzduch, což umožňuje příjemné a energii šetřící větrání a ohřev budovy. Na zadní straně je kolektor chráněn před tepelnými ztrátami minerální vlnou, na přední straně je před ztrátami tepla chráněn jednovrstvou tabulí bezpečnostního, na železo chudého skla. Komponenty jsou navzájem drženy konstrukcí kolektorové vany. Protože je

vzduch bezpečný vůči zamrznutí nebo varu, mohou být solární vzduchové soustavy bez problémů integrovány do stávajících domovních fasád [4].

Oblast použití: ve velkoobjemových budovách jako sportovní haly, plavecké haly, kancelářské budovy, solární sušení biopaliv [4].

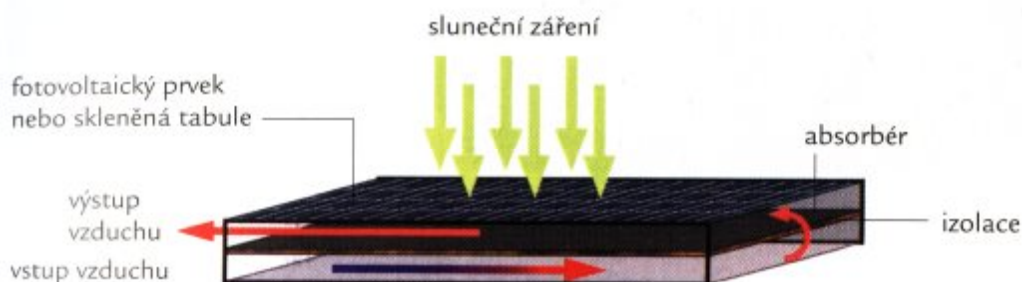


Obr. 5-6 Řez vzduchovým kolektorem [4]

Fotovoltaicko-vzduchové kolektory

Fotovoltaické moduly (PV) vyvíjejí vedle elektřiny teplo, což je zase kontraproduktivní pro jejich výkonnost, ta zase při zvýšení teploty o každých 10°C redukuje o 3,3°C, což konečně snižuje celkový výkon soustavy. Proto je třeba u PV soustav při jejich osazování vyvarovat situace, při které by se za modulem hromadilo teplo. Při uplatnění PV/ PT (fotovoltaicko / fototermických) vzduchových hybridních kolektorů lze udělat „znouzectnost“. Proudění čerstvého vzduchu působí jako chlazení modulu, tím stabilizuje el. výkon a ohřátý venkovní vzduch může být například tepelně využit jako předehřátý pro větrací soustavu. Toto řešení není při praktickém využití vždy technicky a hospodárně výhodné. Chybí-li například odběr a využití tepla, pak se elektrický příkon pro větrání nevyplatí. Typickými případy použití jsou projekty s velkou mírou výměny vzduchu, vyplývající z velkých množství vzduchu ve spojení s průtokem kolektorem rychlostí nad 5m/s a více [4].

Oblast použití: v halách krytých koupališť, v průmyslových halách pro lakování [4].



Obr. 5-7 Hybridní fotovoltaicko/vzduchový kolektor [4]

5.1.2 Účinnost kolektoru

Účinnost kolektoru je definována jako poměr mezi odevzdaným výkonem z kolektoru a příkonem záření dopadajícího na kolektor.

$$h = \frac{\text{užitečný výkon}}{\text{energie záření}} \quad [-] \quad (5.1)$$

$$h = \frac{W_N}{I_{stř}} = h_0 - \frac{k \cdot (J_m - J_L)}{I_{stř}} = a \cdot t \cdot F' - \frac{k \cdot (J_m - J_L)}{I_{stř}} \quad [-] \quad (5.2)$$

kde $\frac{(J_m - J_L)}{I_{stř}} = x$

$I_{stř}$ - střední intenzita slunečního záření (W/m^2);

F' - „účinnost absorberu“ (účinnostní součinitel);

W_N - užitečný tepelný výkon (W/m^2);

η_0 - součinitel konverze při úhlu záření 0° , (optická účinnost);

k - součinitel měrné tepelné ztráty ($\text{W/m}^2 \text{ K}$);

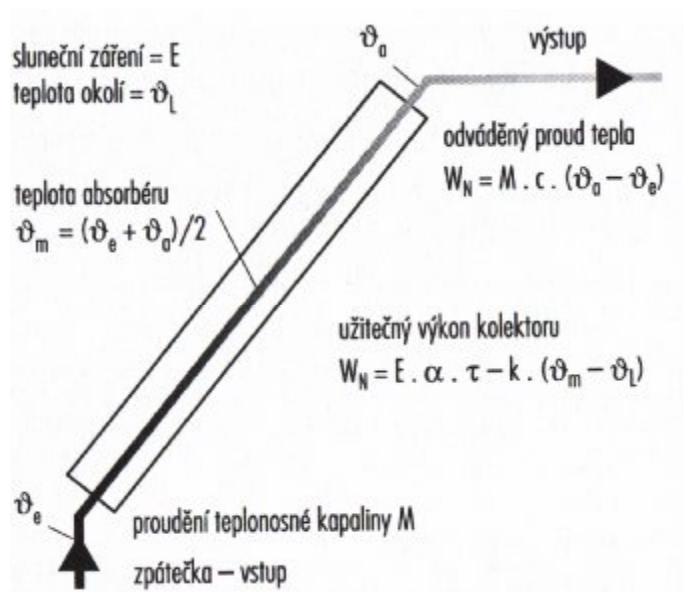
ϑ_m - střední teplota absorberu ($^\circ\text{C}$);

ϑ_m - střední teplota okolí ($^\circ\text{C}$);

τ - prostupnost krytu, zasklení, součinitel prostupnosti krytu;

α - součinitel pohltivosti absorberu;

x - redukovaná teplota.



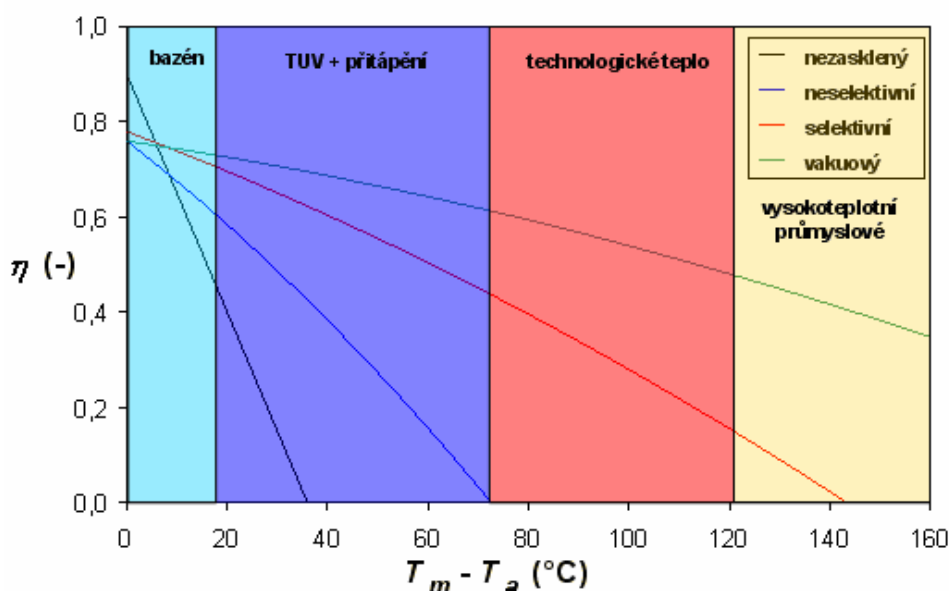
Obr. 5-8 Teplota a toky energie v kolektoru [4]

Kolektorová rovnice (rov.5.2) v grafickém provedení je znázorněna přímkou, jejíž stoupáním (klesáním) hodnoty k a průsečíku s osou y se při $x = 0$ určuje hodnota součinu $\alpha \tau$. Praktická měření na kolektorech však ukazují, že se tyto lineární průběhy v některých případech neshodují s realitou. Při velkých rozdílech teplot mezi absorbérem a okolím nestoupají více tepelné ztráty lineárně s teplotním rozdílem, ale vlivem přibývajícího zpětného záření stoupají více – kvadraticky (rov.5.3). Díky tomu v grafickém znázornění dochází k zakřivení linie charakteristiky účinnosti kolektoru (obr.5-9) [1].

Pro kolektor jsou pak význačné vedle optické účinnosti $\alpha \tau$ dva součinitele a_1 a a_2 , které popisují tepelnou ztrátu. Čím vyšší je k -hodnota, o to nižší je účinnost při stoupajících teplotách.

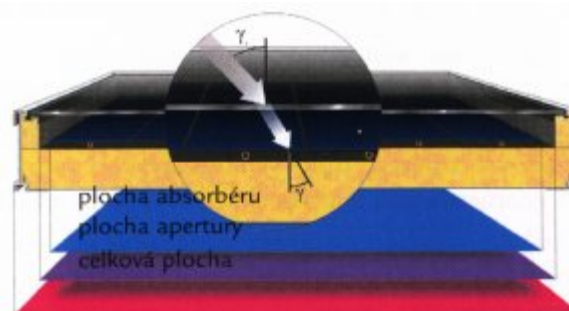
Reálná hodnota účinnosti:

$$h = h_0 - \frac{a_1 \cdot (J_m - J_L)}{I_{stř}} - \frac{a_2 \cdot (J_m - J_L)^2}{I_{stř}} = a \cdot t \cdot F' - \frac{a_1 \cdot (J_m - J_L)}{I_{stř}} - \frac{a_2 \cdot (J_m - J_L)^2}{I_{stř}} \quad [-] \quad (5.3)$$



Obr. 5-9 Křivky účinnosti různých typů solárních kolektorů [25]

Aby mohli být kolektory navzájem porovnávány, musí být testovány stejnými postupy. Důležitá je i plocha, na kterou se hodnoty vztahují. Rozlišuje se mezi plochou celkovou, plochou absorberu a plochou apertury (obr.5-10). Údaje η_0 , a_1 , a_2 se podle normy vztahují na plochu apertury, naproti tomu v prospektech často na plochu absorberu [4].



Obr. 5-10 Plochy na kolektoru [4]

Účinky znečištění na kolektory

Snížení účinnosti způsobené znečištěním krytu kolektoru v provozu činí po více než 10 letech 0,5 až 1,5%. Pouze na stanovištích s extrémně velkým znečištěním vzduchu bylo naměřeno snížení výkonnosti o 7 až 10%. Kriticky lze dnes pohlížet na kryty z akrylátů, které při znečištění nelze zcela vyčistit. V normálním případě se dá vycházet z toho, že přirozené znečištění bude spláchnuto deštěm a na stanovišti s normálním znečištěním můžeme od čištění úplně upustit. Kolektory s vnějšími reflektory (např. vakuové trubice) mají být pravidelně kontrolovány na stav zašpinění nebo nárůstu řas, zejména na zadní straně trubice [4].

5.1.3 Montáž kolektorů

A) Volná instalace a montáž na plochých střechách

Specifické rysy montáže volně do prostoru:

- rychlá montáž;
- lze optimálně nastavit polohu směrem ke slunci a úhel sklonu;
- je nutné zvláštní zabezpečení pro případ bouře.

Pro montáž solární soustavy na plochou střechu jsou dvě možnosti:

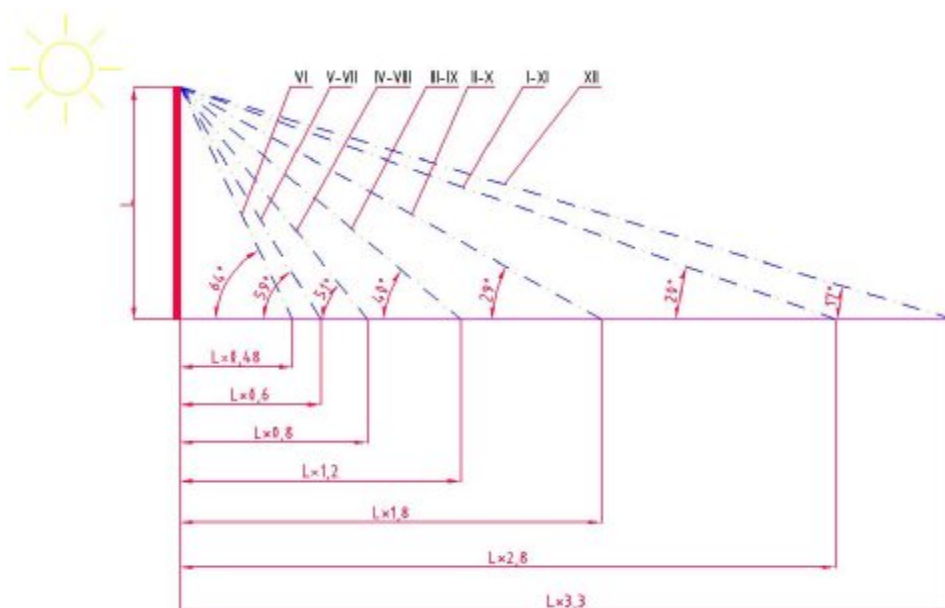
1. Uchycení kolektorů do betonových bloků ležících volně na střešní plášti.

Tento způsob instalace je možný jen za předpokladu, že střešní plášť bude chráněn před poškozením podložkou rozdělující tlak bloků na izolaci střechy. Betonové bloky musejí být svým počtem a rozměry dimenzovány tak, aby zaručily dostatečnou jistotu, že se kolektory neposunou a ani nepřevrátí vlivem povětrnostních podmínek.

2. Uchycení kolektorů do spodní nosné konstrukce střechy.

Pokud může být nosná konstrukce kolektorů pevně spojena se střechou, je třeba volit body zátěže odpovídající možnému namáhání stavební konstrukce.

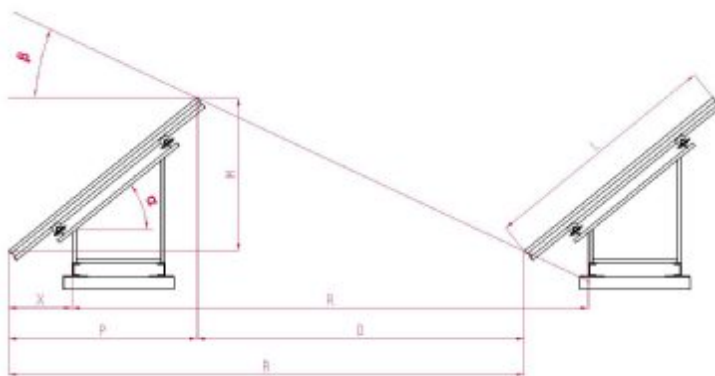
Vliv a řešení zastínění:



Obr. 5-11 Délka stínu v jednotlivých měsících [5]

Je nutné zajistit, aby nedocházelo ke vzájemnému zastínění kolektorových aktivních ploch kolektory umístěnými v předních řadách. Proto je při instalaci nutné dodržet mezi sousedními řadami dostatečný odstup. Pro návrh rozestupu R podle vztahu (5.4), je třeba znát úhel slunce β , sklon kolektoru α a velikost kolektoru L [5].

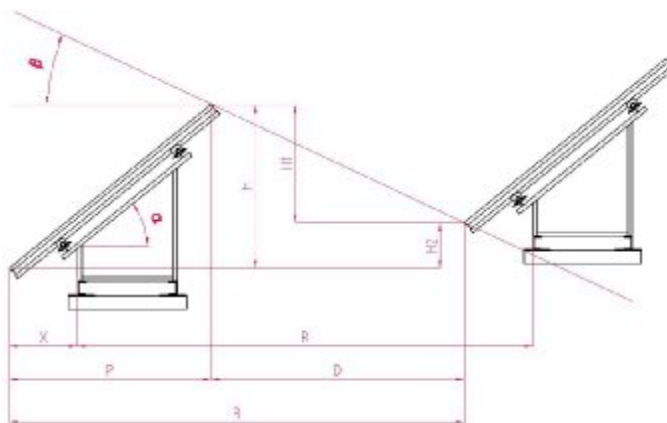
$$R = P + D = \cos \alpha \cdot L + \frac{\sin \alpha \cdot L}{\operatorname{tg} \beta} \quad (\text{m}) \quad (5.4)$$



Obr. 5-12 Vzdálenost rozestupu kolektorů [5]

V případě nedostatku prostoru pro instalaci kolektoru, lze zadní řadu kolektoru umístit horizontálně výše – o výšku H_2 oproti předcházející řadě

$$R = P + D = \cos \alpha \cdot L + \frac{(\sin \alpha \cdot L) - H_2}{\operatorname{tg} \beta} \quad (\text{m}) \quad (5.5)$$



Obr. 5-13 Vzdálenost rozestupu kolektorů při nedostatku prostoru [5]

B) Montáž kolektorů na šikmých střechách

Při montáži kolektorů na střechu jsou kolektory umístěny nad střešním pláštěm a spojeny nosnými profily nebo montážními háky s nosnou konstrukcí objektu, ke které musí být pevně přišroubovány. Střešní konstrukce je hmotností kolektorů dodatečně zatížena, ale statický výpočet střechy není obvykle nutný. Ploché kolektory mají obvykle hmotnost 20 až 25 kg/m², vakuované trubicové kolektory zpravidla ještě méně. Při instalaci kolektoru na střechy s malým úhlem sklonu (menším než 30°) je nutné zejména v horských oblastech, kde se vyskytuje větší sněhová pokrývka, posoudit míru zatížení střechy. V tomto případě je doporučeno volit větší

sklon kolektoru (pomocí roznášecích *U* profilů pod střešní drážky) i s ohledem na zatížení skla [4].

Na střeších s velkou sněhovou pokrývkou je třeba respektovat dodatečně další dva body:

1. Na střešní hranu mají být umístěny sněhové zábrany;
2. Vysoké zatížení sněhem může krokevní montážní prvky zdeformovat, a tím poškodit i střešní krytinu. Řešení spočívá v použití silnějších a více montážních prvků, aby došlo k rozdělení zatížení.

C) Montáž kolektorů přímou integrací do střechy

Při integraci do střechy jsou kolektory montovány přímo na střešní latě nebo zakrytí a tam pevně přišroubovány. Krytina střechy je na vybraném místě odstraněna, případně je nová krytina vynechána. Zda bude nutný nový statický výpočet, je třeba posoudit případ od případu. V zásadě lze vycházet z toho že střešní tašky jsou na stejné ploše těžší než kolektor, střecha je tedy montáží odlehčena. Ploché kolektory mají obvykle hmotnost 20 až 25 kg/m². Kolem a pod kolektorem musí být provedena důkladná izolace a také boční oplechování aby nedošlo k zatékání střechy [4].

5.1.4 Kolektorové pole

Stagnační teplota

V obvyklých kolektorech dnes dosahují teploty v klidovém stavu (stagnační teplota) přes 200°C, ve vakuovaných trubicích až 280°C. Vysoké teploty vznikají v klidovém stavu soustavy, tj. při výpadku čerpadla kolektorového okruhu nebo požadovaném vypnutí chodu čerpadla. Uvede-li se soustava po takovém vypnutí při vysokých teplotách znovu do provozu, mohou teploty v kolektorovém okruhu vystoupit až na 130°C. Stagnační teplotu udává charakteristika účinnosti kolektoru v průsečíku s osou *x*. Čím menší jsou tepelné ztráty kolektoru a čím nižší je hodnota *k*, tzn. čím je „lepší“ kolektor, tím vyšší jsou jeho teploty v klidovém stavu [4].

Procesy odehrávající se při stagnaci v solární soustavě lze obecně rozdělit do několika fází. Kapalina se vlivem zvýšené teploty nejprve roztahuje (fáze 1), při dosažení bodu varu se začínají objevovat první bubliny, tvoří se sytá pára, která vytlačuje kapalinu z kolektorů (fáze 2). Zbýlá kapalina v kolektoru se dále odpařuje a kolektor je vyplňován sytou párou teplonosné látky (fáze 3). Tato fáze přeměny skupenství teplonosné látky se vyznačuje vysokým odvodem tepla z kolektoru do okolí a vlivem postupného pronikání páry i do rozvodů soustavy. Další přehřívání kolektoru vysušuje kolektor a objem páry v soustavě může dokonce klesnout (částečně se stáhnout do kolektoru), přestože příjem energie slunečního záření trvá (fáze 4). Tento stav může být stabilní po dlouhou dobu. Poklesem dopadajícího slunečního ozáření klesá teplota v kolektoru pod bod varu, teplonosná látka ve formě páry kondenzuje a kapalina opět vyplní kolektor (fáze 5). Největší zátěž soustavy probíhá ve fázi 2 a 3. Objem kapaliny, která na konci fáze 2 zůstane v kolektoru určuje délku a intenzitu následující fáze 3. Vypařování zbylé kapaliny udržuje kolektor na bodu varu po dlouhou dobu a vznikající velké objemy páry mohou pronikat do soustavy, předávat teplo a zatěžovat i prvky umístěné daleko od kolektorů. Na konci fáze 3 po ukončení vypařování dosahuje kolektor své maximální (stagnační) teploty a do soustavy se již teplo neuvolňuje [27].

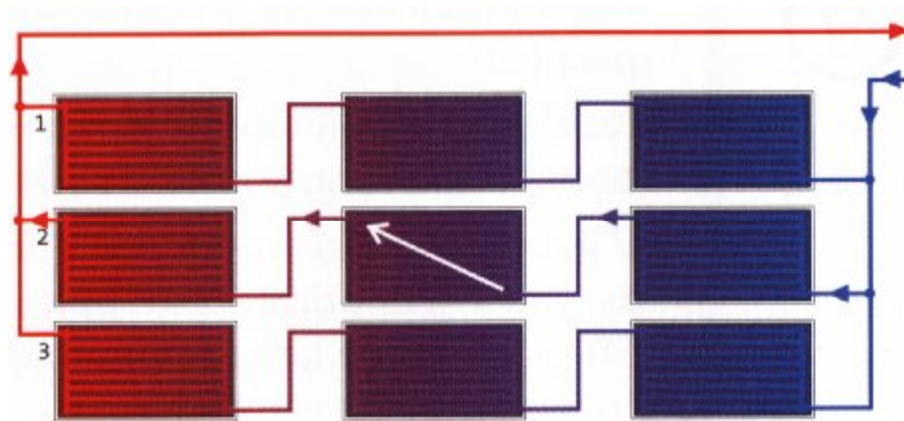
Na průběh stagnace v solární soustavě má zásadní vliv schopnost kolektoru vyprázdnit svůj objem teplotně kapalniny při začátku fáze 2. Čím více teplotně kapalniny se drží v kolektoru, tím více páry vzniká. Hodnota tlaku odpovídá množství produkované páry a tedy potenciálnímu riziku zasažení dalších prvků solární soustavy teplotou varu, která běžně může dosahovat hodnot nad 130 °C. Při vyšším tlaku pára proniká do vzdálenějších částí soustavy a zatěžuje prvky jako čerpadlo, výměník, průtokoměr, kalorimetr, atd. Tyto prvky pak mohou být zatíženy teplotami přesahující výrobcem doporučené hodnoty a tak dojít k předčasnému zestárnutí, poškození nebo zničení soustavy [27].

Ochrana proti problémům se stagnací

Vyprazdňovací schopnost kolektorů a kolektorových polí určuje četnost, hladinu a dobu trvání kritické tepelné zátěže solární soustavy a jejích prvků, dále také výrazně závisí na *poloze zpětné klapky* vzhledem k tlakové expanzní nádobě v soustavě. Při správném uspořádání prvků může být obsah kolektorů vytlačen do expanzní nádoby jak přívodním tak výstupním potrubím kolektoru, a objem zbylé kapalniny produkující páru v kolektoru je minimální. Pára se šíří do soustavy oběma cestami, což sníží navíc riziko proniknutí páry daleko od kolektoru a zasažení prvků ve strojně. Omezení stagnačních podmínek je možné také realizovat *zvýšením sklonu* kolektorů, který v letním období zajišťuje nižší příjem slunečního záření oproti optimálnímu sklonu 45° (pro celoroční použití) případně zajištěním odběru tepla [27].

Řazení a propojení kolektorů

Propojením kolektorového pole má být docíleno stejnoměrného průtoku jednotlivými kolektory. Tak mohou kolektory předat svůj plný výkon, tzv. mrtvé zóny, jimiž voda neprotéká, budou vyloučeny. V zásadě je možné sériové a paralelní řazení a kombinace těchto dvou, tedy sériově paralelní řazení. **Sériové řazení** má tu přednost, že jsou všechny kolektory protékány stejnoměrně, ovšem větší sériová zapojení se nedoporučují vzhledem k vyšším tlakovým ztrátám (a z toho plynoucí potřebě vysokého výkonu čerpadla), jakož i rozdělení průtoku v kolektorech. Sériové řazení více než dvou až tří kolektorů tak nemá obecně vzato smysl [1].



Obr. 5-14 Sériově-paralelní řazení kolektorů [4]

Čistě **paralelní řazení** se nabízí u malých a středních velikostí solárních soustav. Všechny kolektory jsou napojeny na jedno horní a jedno dolní sběrné potrubí. Aby proud teplotního média byl rozdělen pokud možno rovnoměrně na všechny kolektory, musí mít sběrné trubky větší průměr (nižší hydraulický odpor) a cesty průtoku kolektory musí být stejně dlouhé (stejný odpor proudění). Mimoto musí být přívod a odvod napojeny v protilehlých koutech, aby byly pro proudění vytvářeny stejně dlouhé cesty (systém Tichelmann). Tlaková ztráta kolektoru je stejná jako tlaková ztráta celého kolektorového pole. Vyšší náklady na propojení potrubím [1].

Sériově-paralelní řazení (obr. 5-14) sjednocuje u větších soustav přednosti obou základních řazení. Sériovým řazením může být odpor průtoku jednotlivými větvemi seřazen tak, že je na jedné straně pro systém ještě přijatelný, na druhé straně je ale velký ve srovnání s odpory proudění spodním a horním sběrným potrubím. Při větším počtu kolektorů nabízí takto sériově-paralelní řazení nejlepší možnost přivést do souladu na jedné straně rovnoměrné průtoky a na druhé straně přijatelný odpor vůči proudění [1].

Průtočné varianty v kolektorovém poli (okruhu)

1) Low-Flow (nízký průtok)

Soustava je postavena na malém průtoku, tzn. měrném průtoku $10-15 \text{ l/(h.m}^2\text{)}$. Obvyklý průtok v solárních zařízeních s plochou kolektorů nad 30 m^2 . Vlivem vyšších teplot v kolektorovém poli může vlivem vyšších tepelných ztrát zisk z kolektorového pole klesat. Tato varianta je používána pro rychlý zisk tepla o vyšší teplotě také v soustavách se stratifikačními zásobníky a v oblasti menších soustav pro podporu vytápění [4].

2) High-Flow (vysoký průtok)

V High-Flow soustavě kolektorových okruhů se vyššími průtoky a z toho plynoucími objemy tepelné kapacity dosahuje menšího rozdílu teplot mezi vstupem a výstupem z kolektorového okruhu. Díky nižším teplotám soustavy mohou solární zisky oproti Low-Flow, zvláště u soustav se středním pokrytím lehce stoupat. V soustavách, v nichž jsou celkově nižší teploty v kolektoru vítány, se vyskytuje průtok $30-70 \text{ l/(h.m}^2\text{)}$ [4].

3) Matched-Flow (variabilní průtok)

Těchto soustavách se průtočný objem pohybuje díky regulaci čerpadla kolektorového okruhu mezi Low-Flow a High-Flow soustavou. Cílem je dosáhnout v solárním okruhu pokud možno konstantní teplotu nabíjení solárního zásobníku. U této varianty má být rychlým dosažením teploty v zásobníku zamezeno automatické zapínání konvenčního dohřívání [4]

5.2 Tepelný zásobník

Nabídka energie se zpravidla nekryje s její momentální potřebou, proto musí tepelný zásobník (solární zásobník) splňovat důležitou úlohu. Přebytkovou nabídku energie musí z kolektoru převzít a uchovat pro periody chudé na záření. Ideální by byl zásobník, který by přijal veškeré teplo z kolektoru a udržel je libovolně dlouhou dobu (a to beze ztrát), byl by malý a za nízkou cenu [1].

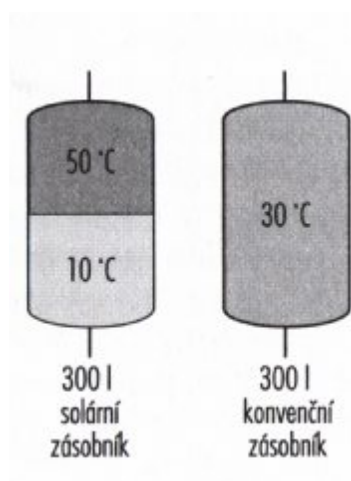
Při přívodu tepla je teplota média v zásobníku zvýšena, při odběru tepla klesá. Vzájemné vztahy popisuje fyzikální rovnice:

$$Q_{sp} = m \cdot c \cdot (J_1 - J_2) \quad [\text{J}] \quad (5.6)$$

Naakumulované, resp. odebrané teplo Q_{sp} je závislé na hmotnosti m a tepelné kapacitě c , jakož i zvýšení teploty (resp. snížení) z v_1 na v_2 . Měrná tepelná kapacita udává, kolik je třeba tepla, aby se teplota 1 kg nějaké látky zvýšila o 1 °C. Obyčejná voda má s odstupem od ostatních látek největší měrné (specifické) teplo. Protože je navíc nejedovatá, všude dostupná a (dosud) levná, je voda bez výjimky zcela nejlepším médiem pro zásobníky v solární technice. Pro zjišťování kapacity zásobníku se vychází z předpokládané denní spotřeby vody [1].

5.2.1 Rozvrstvení tepla

Majitel obvykle vyžaduje od solární soustavy vodu v rozmezí teplot mezi 45 a 55 °C. Z půlky nabitý 300 litrový zásobník tak může nabídnout různé kvality tepla. Zásobník se 150 l vody o teplotě 50 °C a 150 l vody o teplotě 10 °C má stejný obsah energie jako zásobník s 300 l vody 30 °C teplé (Obr. 5-15). V prvním případě je odběratel spokojen a 150 l ohřátých litrů spotřebuje, ve druhém případě musí vodu



dohřívat cizí energií a podle okolností to připisuje špatné funkci solární soustavy. Rozdíl se v našem případě nachází v tom, že v solárním zásobníku dochází k tepelnému vrstvení vody. Chladná voda je specificky těžší a klesá dolů. K tepelnému vrstvení dochází tak říkajíc samo o sobě. Navíc má voda relativně malou tepelnou vodivost, díky které je výměna tepla mezi vrstvami s rozdílnými teplotami ztížena. Tepelné rozvrstvení se může tedy udržet tak dlouho, dokud nedojde k promíchání vrstev [1].

Obr. 5-15 Rozvrstvení tepla v zásobnících [1]

U konvenčních zásobníků je jejich obsah promícháván zpravidla vlivem nesprávně instalovaného přívodu a odvodu vody, nevhodného tvaru nádrže, atd. U solárních zásobníků lze jejich vhodnou konstrukcí dosáhnout význačného a stálého tepelného vrstvení a tím nevyhnutelně i dobrého výnosu celé solární soustavy [1].

5.2.2 Nabíjení a vybíjení tepla

Rozhodující vliv na tepelné vrstvení vody v zásobníku (stratifikaci) mají pochody probíhající při nabíjení a vybíjení, tedy při přísunu tepla a jeho odběru, které následují u tepelných zásobníků buď nepřímo prostřednictvím tepelného výměníku, nebo přímo, tj. přitékající a odtékající vodou.

Zásobník s přímým nabíjením a vybíjením- představuje nejjednodušší případ. Teplo je do zásobníku přiváděno shora jako horká voda, studená voda odebírána zdola a přiváděna k zdroji tepla, např. do kolektoru. Horká voda je v zásobníku posunována shora dolů jako jakýsi píst. Při vybíjení následuje proces přesně opačný. Aby se přitom udrželo dobré vrstvení, musí studená, resp. horká voda proudit vodorovným směrem. Toho lze dosáhnout konstrukčními opatřeními, jako jsou plechové zarážky proudění. Výhodou takových systémů je jejich jednoduchost a přiměřená cena. Do kolektoru je přiváděna stále studená voda a nenastávají žádné tepelné ztráty na přívodním potrubí do kolektoru. Nevýhodou přímého nabíjení je však skutečnost, že solární okruh a zásobník nejsou od sebe odděleny. Z tohoto důvodu nemůže být v solárním okruhu použit mrazu vzdorný prostředek. Systém musí být na zimu vyprázdněn, resp. je vhodný jen pro klimatické zóny, kde nehrozí nebezpečí mrazu. Proto nachází uplatnění v jednoduchém samotížném provedení, tedy v soustavách používaných např. ve Středomoří (ve střední Evropě se téměř nevyskytuje) [1].

Zásobník s přímým nabíjením a nepřímým vybíjením - Zde následuje odběr přes tepelný výměník v horní, horké části zásobníku. Ochlazením při vybíjení se vytváří v zásobníku směrem dolů mířící konvekční proudění (ochlazená kapalina „padá“ dolů), což vede k promíchání obsahu zásobníku.

Předností takového uspořádání je to, že:

- zásobník nemusí být vystaven relativně vysokému tlaku zapojením do vodovodní sítě(6bar)
- vlastní zásobník pitné vody v odběrném tepelném výměníku má omezenou velikost, takže vzniká jen málo problémů se zárodky mikroorganismů, zejména Legionell.

Nevýhodou systému s nepřímým vybíjením je, že na každém zásobníku vznikají ztráty způsobené teplotními rozdíly. Zatímco maximálně přenášený výkon v solárním okruhu je relativně nízký (cca 700 W/m^2 kolektorové plochy), jsou na odběrné straně požadovány uživatelem vysoké špičkové výkony. Při průtoku 10 l/min (naplnění vany za 15 min) se vyžaduje výkon tepelného výměníku kolem 20 kW . Proto jsou potřebné nejen velmi výkonné výměníky (velké teplosměnné plochy), ale i obklopující voda v zásobníku musí být o $5\text{-}10 \text{ }^\circ\text{C}$ teplejší, než je požadováno na výtoku. Hlavně vzhledem ke zmíněné nevýhodě přímého nabíjení jsou v tuzemsku takové zásobníky málo rozšířeny [1].

Zásobník s nepřímým nabíjením a přímým vybíjením- je s převahou ve střední Evropě pro přípravu teplé vody nejlépe použitelný. Oddělením spotřebního okruhu od okruhu solárního se směsí vody s prostředkem proti zamrznutí umožňuje celoroční provoz i při nebezpečí mrazu. Na vnitřním tepelném výměníku nastává při přívodu tepla do zásobníku vzhůru směřující konvekční proudění, které vede k jistému promíchání při nabíjení . Vybíjení naproti tomu následuje po vrstvách [1].

U zásobníků s nepřímým nabíjením a vybíjením je realizován jak přívod tepla, tak jeho odběr prostřednictvím jednoho tepelného výměníku, což vede k charakteristickým vlastnostem při nabíjení a vybíjení. Voda v zásobníku je zcela oddělena jak od okruhu solárního, tak i okruhu spotřebního, takže může být použita bez problémů i pro další okruh, např. pro vytápění. Toto uspořádání je v současnosti používáno u solárních soustav s podporou vytápění, méně už pro samotný ohřev užitkové vody [1].

5.2.3 Konstrukce zásobníků

a) Ocelový zásobník

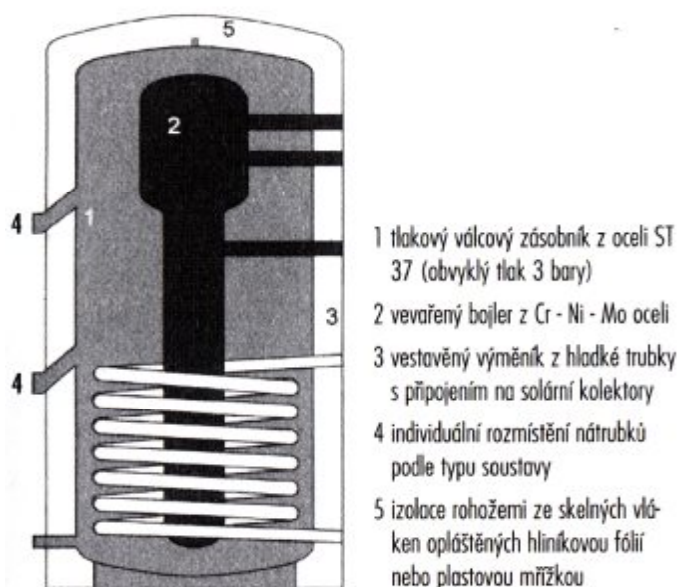
Pro solární přípravu teplé vody přichází v úvahu převážně ocelové zásobníky. Zásobníky na pitnou vodu jsou pro ochranu před korozí uvnitř smaltovány (nejčastěji dvojmo) nebo povrstveny plastickou hmotou [1].

b) Vyrovnávací zásobník

Jsou navrhovány jak vyrovnávací zásobníky pro kombinované použití - pro ohřev užitkové vody a pro vytápění (vodou pro topný okruh jsou také plněny), tak je akumulovaná energie k dispozici pro ústřední vytápění přímo a pro ohřev užitkové vody nepřímo prostřednictvím dalšího tepelného výměníku. V solárních soustavách pro ohřev pitné vody a podporu vytápění nachází takové vyrovnávací zásobníky stále vzrůstající uplatnění [1].

c) Kombinovaný zásobník

Jak již název naznačuje, jsou tyto zásobníky kombinací zásobníku na pitnou vodu a vyrovnávacího zásobníku. Menší nádrž, plněná pitnou vodou, je pevně vestavěna do horní „horké“ části vyrovnávacího zásobníku. Tím je dosaženo jednoduchého oddělení pitné vody od vody „technické“, např. topného okruhu, přičemž je teplo z této vody převáděno do vody pitné. Tato vnitřní nádrž s pitnou vodou je napojena na vodovodní síť. Bývají také označovány jak zásobníky typu „nádrž v nádrži“ [1].



Obr. 5-16 Kombinovaný zásobník [1]

d) Tlakový zásobník

Pro solární přípravu teplé vody jsou používány hlavně zásobníky pitné vody s přímým napojením na studenou vodu z vodovodní sítě, která má tlak 4 až 6 bar (max. přípustný 10bar). Protože voda v nádrži nabývá při ohřevu na objemu, musí být tlak v takových nádržích omezen na přípustnou hodnotu pojistným ventilem. Ten se při překročení přípustného tlaku otevře a nechá vodu z nádrže odtékat až do dosažení žádané tlakové hodnoty. Pro solární přípravu teplé vody se nejvíce prosadil ocelový emailový zásobník na pitnou vodu s nepřímým a přímým vybíjením [1].

5.3 Solární okruh

Vedle nejdůležitějších konstrukčních celků, solárního kolektoru a zásobníku, jsou používány další konstrukční části, které zde budou popsány. Jsou to:

- tepelný výměník;
- teplonosné látky;
- potrubí;
- čerpadlo;
- řízení a regulace;
- zabezpečovací zařízení.

5.3.1 Tepelný výměník

Tepelné výměníky slouží k přenosu tepla z jednoho média na druhé při současném oddělení obou okruhů. Teplo přechází z teplejšího na chladnější médium. Aby solární kolektor pracoval s vysokou účinností, je třeba tepelný výměník dimenzovat tak, aby výstupní teplota na primární straně, která odpovídá přibližně vstupní teplotě vody do kolektoru, byla pokud možno nízká. Výměníky tepla mohou být buď vloženy přímo do zásobníku, s nímž pak tvoří celek, nebo umístěny jako samostatný prvek mimo zásobník. Výjimečně může také být teplonosměnná plocha výměníku vytvořena přímo v konstrukci zásobníku tepla [4].

Konstrukční druhy :

Vnitřní tepelné výměníky

U malých solárních soustav pro ohřev pitné vody jsou hromadně používány vnitřní tepelné výměníky s *hladkými trubkami* nebo *vlnovce (žebrované trubky)*, protože jsou cenově příznivé, osazují se dovnitř zásobníku a nezabírají žádné další místo. Jsou tak omezeny další tepelné ztráty zevně namontovaným výměníkem. Zatímco výměníky z hladkých trubek bývají do zásobníku namontovány při výrobě napevno (aby bylo možno osadit do prostoru potřebnou délku, resp. plochu trubek), mohou být vlnovce, díky své zvětšené ploše, vyrobeny kompaktně mimo zásobník a vsazeny do něj pomocí speciální příruby. Vnitřní výměníky pro solární okruh mají být v zásobníku umístěny co nejnižší, aby byl obsah nádrže co nejlépe připraven pro příjem energie a vstup teplonosné kapaliny do kolektoru byl udržován na nejnižší teplotní úrovni [1].

Teplosměnná plocha - pro vlnovcové výměníky v solárních soustavách pro přípravu teplé vody se doporučuje povrch (topný povrch) ve velikosti asi 30 až 40 % plochy kolektoru, tedy asi 0,3-0,4 m² teplosměnné plochy na 1 m² absorpční plochy kolektoru. U výměníků s hladkými trubkami postačí o něco menší plocha - asi 0,2 m² na 1 m² absorpční plochy kolektoru. Protože jsou pevně zabudovány v zásobníku, není pozdější přizpůsobení zvětšené kolektorové ploše možné, respektive by znamenalo výměnu zásobníku. Tyto uvedené hodnoty jsou minimální a neměly by být v žádném případě sníženy [1].

Vnější tepelné výměníky

Venkovní tepelné výměníky jsou v solárních soustavách prováděny jako výměníky protiproudé. Prouděním na obou stranách teplosměnné plochy se dosahuje mnohem většího

specifického výkonu přenosu tepla než u vnitřního výměníku, což od jisté velikosti soustavy vede k cenově výhodným řešením i v případě, že je nutno použít druhé přídavné čerpadlo. U malých soustav s méně než 12m² kolektorů nevykazují ve srovnání s vnitřními výměníky žádné finanční přednosti a používají se spíše u středních a velkých soustav s více nebo velkými zásobníky. Rozlišujeme zde výměníky deskové a se svazky trubek (použití jen u ohřevu bazénu) [1].

5.3.2 Teplonosné látky

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

- vysoká tepelná jímavost (velká specifická tepelná kapacita);
- nízká viskozita, tj. dobré vlastnosti pro tok a prodění kapaliny;
- mrazuvzdornost až do minus 28°C;
- v oblasti provozních teplot se nesmí projevit var;
- nesmí podporovat korozi potrubních systémů.

Teplonosné kapaliny nesmí být hořlavé žíravé nebo dráždivé a musí být biologicky odbouratelné. Pro solární soustavy ve středoevropském klimatu jsou používány převážně směsi etylen- a propylenglykolu s vodou. Dnes je etylenglykol (ohrožující zdraví) jednoznačně nahrazován potravinářsky snášenlivým propylenglykolem. Mrazuvzdorná směs 40% glykolu s vodou zabraňuje spolehlivě poškození soustavy, navíc zůstává soustava až do cca -21°C připravena pro provoz. Při ještě nižších teplotách se vytváří těstovitá ledová kaše, která však nemůže potrubí poškodit. Je nutné se vyhnout koncentracím glykolu přes 50%, protože může dojít k poškození expanzních nádob a vyžaduje se vyšší výkon čerpadel [4].

Kolektorové okruhy, které jsou provozovány pouze s vodou (systém Drain-Black), se musejí dát zcela vyprázdnit, aby bylo vyloučeno poškození mrazem. S ohledem na velkou spotřebu energie se nedoporučuje ani trvalý oběh kolektorovým okruhem v době mrazu [4].

5.3.3 Potrubí

Nejvíce používaným materiálem v solárních soustavách jsou měděné trubky. Průměr potrubí má být volen tak, aby nebyla tlaková ztráta všech trubek větší než 100mbar (1mm vodního sloupce) a aby rychlost proudění v potrubí nepřekročila kvůli možnému šumu 1 m/s. Jako spodní hranice je udávána rychlost 0,5m/s, jinak příliš narostou tepelné ztráty [1].

5.3.4 Čerpadlo

Čerpadla jsou používány v kolektorových soustavách s nuceným oběhem pro cirkulaci teplonosné látky. Velikost čerpadel vyplývá z celkových tlakových ztrát jednotlivých komponent. Vybírá se takové čerpadlo, které je schopné překonat tlakové ztráty kolektorového okruhu při požadovaném průtoku a dále je nutné brát v úvahu viskozitu teplonosné kapaliny, která se liší od vody. Praxe ukázala, že jsou tlakové ztráty vyšší o 20% oproti vypočteným tlakovým ztrátám a je nutné toto zvýšení respektovat.

5.3.5 Řízení a regulace

Řízení solární soustavy má plnit následující úlohy: A-řízení oběhového čerpadla v solárním okruhu za účelem optimalizace zisků z kolektorů a zásobníku. B-udržování hraničních teplotních hodnot v zásobníku

Regulace pomocí difference teplot - Jedná se o nejjednodušší a nejpoužívanější koncepci řízení. Čerpadlo kolektorového okruhu se zapíná jakmile teplotní rozdíl mezi čidlem v kolektoru a čidlem v zásobníku překročí nastavenou hodnotu. Vypíná se jakmile teplotní rozdíl pod stanovenou hodnotu poklesne. Zpravidla je nastavitelný ještě minimální čas dobíhání chodu čerpadla po impulzu k vypnutí. Typické hodnoty spínání jsou cca 6-10°C a vypínání cca 3-4°C. Minimální čas chodu čerpadla je cca 3-5min. Na dlouhých trasách potrubí mezi kolektorovým okruhem a zásobníkem může při této jednoduché regulaci docházet k tomu, že po sepnutí proudí z potrubí do kolektorů příliš dlouho studená voda, takže není dosaženo teplotní difference a systém vypne. Tento děj se může několikrát opakovaně opakovat, než začne celá soustava stabilně pracovat. Tomuto taktování se dá zabránit pomocí bypassu - obtoku tepelného zásobníku [4].

Regulace podle záření - Při ovládání čerpadla kolektorového okruhu prostřednictvím záření je namontováno do kolektorového okruhu prostřednictvím záření je montováno do kolektoru místo čidla teploty čidlo reagující na záření dopadající na kolektorové pole. Přestoupí-li záření přes stanovenou hodnotu, zapne se chod čerpadla kolektorového okruhu. Toto řízení se nehodí pro soustavy pro podporu vytápění nebo soustav, kde odběratelé nemají denní odběry zhruba stejného objemu teplé vody [4].

5.3.6 Zabezpečovací zařízení

V soustavě s uzavřeným cirkulačním okruhem jsou potřebné další konstrukční díly, které slouží zabezpečení, regulaci a omezení tlaku:

1. *Membránová expanzní nádoba* vyrovnává tlakové změny, podmíněné teplotou teplotnosné kapaliny a udržuje tak tlak v kolektorovém okruhu do značné míry konstantní. Membrána musí být do jisté míry odolná vůči glykolu (nemrznoucí směs). Expanzní nádoba má být navržena tak aby přijala nejen teplotní roztažnost teplotnosné kapaliny, ale také objem kapaliny celého kolektorového okruhu. Při běhu naprázdno tlačí páry teplotnosnou kapalinu z kolektoru, aniž by se pojistný ventil otevřel. Při klesající teplotě je kapalina z membránové expanzní nádoby tlačena zase zpět do kolektoru [1].

2. *Pojistný ventil* nebo *přetlakový ventil* se při jistém tlaku v jištěném okruhu otvírá 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 (kolektorem). Od vývodu přetlakového ventilu má být vyveden odtok do zachytné nádrže, aby mohla být případně vytékající kapalina zachycena a znovu použita [1].

3. Pro ochranu odběratele vody před opařením, musí být buď omezena teplota v zásobníku na 60°C, nebo musí být použit *směšovací ventil*, který tuto horkou vodu smíchá se studenou vodou, čímž sníží její teplotu.

Někteří výrobci kolektorových soustav nabízí předem smontované *kompaktní montážní celky*, které již obsahují následující komponenty - oběhové čerpadlo se zpětným ventilem a uzavíracím prvkem, pojistný ventil s membránovou expanzní nádobou, teploměr a tlakoměr, regulaci a řízení.

6 NÁKLADY A HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTIC

Solární systémy lze hodnotit stejně jako ostatní technická zařízení podle jejich ekonomické efektivnosti. Přitom je ovšem nutno přihlížet k tomu, že jde o čistou a obnovitelnou energii, která se nemůže vyčerpat a která nezanechává žádné škodlivé zplodiny. Pouhé zdůvodnění energetické úspor vyplývajících z energetické bilance ještě neznamená skutečné ekonomické hodnocení. Energetická výhodnost ještě nemusí znamenat také výhodnost z hlediska celkové ekonomie [2].

Kromě toho je třeba při změnách ekonomiky uvážit:

- předpokládaná inflace.
- předpokládaný vývoj cen za komponenty solárních systémů.
- předpokládaný vývoj úrokové míry v bankovníctví.
- případné státní dotace na podporu obnovitelných zdrojů energie.

6.1 Náklady

Roční náklady na investiční projekt se skládají z investičních nákladů na realizaci projektu a z ročních provozních nákladů. Do investičních nákladů (N_i) můžeme zařadit např. cena za veškerý potřebný materiál na kompletaci zařízení (kolektory, solární zásobník, doprava, návrh, montáž, oběhové čerpadla, armatury, expanzní nádoba, apod.). Do provozních nákladů (N_p) zahrnujeme údržbu, servis, spotřebu el. energie, výměna teplotnosné kapaliny, apod.

$$N = N_i + N_p \quad [\text{Kč/r}] \quad (6.1)$$

6.2 Státní dotace

V této oblasti je státem podporována instalace solárně-termických kolektorů na rodinné a bytové domy, a to jak pouze pro ohřev teplé vody, tak také na přitápění. Jedná se o program „Zelená úsporám“ ze státního fondu životního prostředí ČR pod označením C 3.1 ohřev teplé vody a C 3.2 ohřev teplé vody i přitápění. Tento program je aktuální od dubna 2009.

Jaké podmínky je nutno splnit...

Podmínkou pro poskytnutí dotace je dosažení minimálního ročního předpokládaného zisku energie, a to:

- **350 kWh/m²** kolektorové absorpční plochy;
- celkem **2000 kWh** pro instalaci na rodinném domě;
- celkem **1000 kWh** na bytovou jednotku pro instalaci na bytovém domě.

U instalace, která slouží zároveň k **přítápění**, se požadované hodnoty předpokládaného zisku za instalaci **zvyšují 1,3krát**.

Tyto podmínky mají zabránit neefektivnímu využívání veřejných prostředků pro technicky nevhodné instalace (např. na nevhodně orientovaných střechách). Splnění těchto podmínek musí být doloženo výpočtem provedeným autorizovaným inženýrem nebo technikem v oborech pozemní stavby, technika prostředí a technologická zařízení budov (projektantem), autorizovaným architektem, energetickým auditorem nebo dodavatelskou firmou [14].

Podpora je přidělována jako procentní částka z investičních nákladů na pořízení solárně-termických kolektorů, jejich montáž a zapojení do systému ohřevu teplé vody, případně do otopné soustavy. Je stanoven absolutní strop pro výši podpory na jeden projekt. Podpora má formu dotace [14].

Tab. 6-1 Výška státní podpory pro fyzické osoby (nepodnikatele) [14].

Rodinné domy (RD)	Podíl dotace [%]	Max. výše dotace [Kč] za RD
Ohřev teplé vody	50	55 000
Ohřev teplé vody i přitápění	50	80 000
Dotační bonus při kombinaci úsporných opatření u RD		20 000
Bytové domy (BD)	Podíl dotace [%]	Max. výše dotace [Kč] za byt. jednotku
Ohřev teplé vody	50	25 000
Ohřev teplé vody i přitápění	50	35 000
Dotační bonus při kombinaci úsporných opatření u BD (pouze pro celý BD)		50 000

Následující kombinace úsporných opatření jsou zvýhodněny dotačním bonusem (pouze při současném podání žádosti a maximálně jednou pro daný objekt i při využití více z uvedených kombinací):

- A.1 (komplexní zateplení) + C.3 (solárně-termické kolektory);
- B.1 (pasivní novostavba) + C.3 (solárně-termické kolektory);
- C.2 (zdroj na biomasu nebo tepelné čerpadlo do novostavby) + C.3.2. (solárně-termické kolektory na přípravu teplé vody a přitápění).

Žádost o podporu lze podat do 12 měsíců po uvedení zařízení do trvalého provozu, nejpozději do 30. 6. 2012 kdy končí lhůta dotačního programu [14].

6.3 Vstupní údaje pro ekonomické hodnocení

Ekonomickou efektivnost projektů využívajících jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů ovlivňují následující ekonomické veličiny:

- **Investiční náklady**, které zahrnuje veškeré jednorázové výdaje na přípravu stavby, projekt, dodávky technologického zařízení a jeho montáž, stavební úpravy, apod.
- **Doba životnosti zařízení**, tj. doba po kterou bude možno využívat tento obnovitelný zdroj, aniž by bylo nutné znovu vynakládat investiční výdaje na obnovu zařízení.
- **Provozní výdaje** na jeho pravidelnou údržbu, předpokládané opravy, režie, pojištění majetku, poplatky, apod.
- **Velikost úspor energie**
- **Způsob financování**, cena vlastních peněz investora, velikost, doba splácení a úroková sazba poskytnutého úvěru, případně dotace

6.4 Hodnocení ekonomické efektivnosti investic

Volba vhodného investičního projektu se nazývá investiční rozhodování. Investiční projekt je model reálné ekonomické situace, který je charakterizován peněžním tokem v rámci daného období vymezeného investičním horizontem (předpokládaným ukončením projektu).

Metody hodnocení efektivnosti se dělí podle dvou základních kritérií:

a) podle zohlednění faktoru času

- *statické metody* – nerespektují faktor času,
- *dynamické metody* – respektují faktor času.

b) podle pojetí efektu z investice

- *nákladové metody hodnocení efektivnosti* – jako kritéria se používá úspora nákladů,
- *ziskové metody hodnocení efektivnosti* – jako kritéria se používá čistý zisk (po zdanění),
- *příjmové metody hodnocení efektivnosti* – jako kritéria se používá peněžní příjem z investice, tj. čistý zisk plus odpisy.

Při ekonomických analýzách investic do solárních soustav se podobně jako u jiných aplikací úspor energie hodnotí **prostá doba návratnosti** (statická metoda) a **čistá současná hodnota NPV** (dynamická metoda).

Prostá doba návratnosti T_n

Pro zjednodušený výpočet postačuje v mnoha případech porovnání dosažených ročních přínosů (úspor energie) s vynaloženými investičními náklady. Toto kritérium vyžaduje ve svém způsobu hodnocení například vyhláška MPO ČR č.213/2001 Sb., která se týká energetických auditů [13].

$$T_n = \frac{IN}{CF_t} = \frac{IN}{(V - N_p)} \quad [\text{rok}] \quad (6.2)$$

kde	IN [kč]	investiční náklady projektu;
	CF_t [kč]	tok hotovosti, roční přínosy projektu (Cash Flow);
	V [kč]	příjmy z realizace (roční úspora energie);
	N_p [kč]	roční provozní výdaje (bez odpisů).

Toto často používané (minimalizační – obvykle chceme co nejkratší návratnost vložených investic) kritérium však zanedbává řadu podstatných faktorů jako např. budoucí růst cen energie. Tato metoda nebere v úvahu časovou hodnotu peněz, tím se zanedbávají efekty po době návratnosti. Výpočet prosté návratnosti nám proto dává pouze orientační představu o ekonomické efektivnosti a nelze jej používat pro vlastní rozhodování [13].

Skutečná doba návratnosti

Skutečná doba návratnosti vyjadřuje přesně ten časový okamžik, kdy se kumulovaná pozice investičního projektu dostane ze záporných hodnot. Zjistíme ji tak, že načítáme kumulativně peněžní toky projektu od počátku až do doby, kdy poprvé získáme kladné číslo – tento okamžik pak označíme jako skutečnou dobu návratnosti projektu.

$$T_S = -IN + \sum_{t=1}^{T_z} CF_t \cdot \frac{(1+i_{\text{inf}})^t}{(1+i_v)^t} \quad [\text{rok}] \quad (6.3)$$

Čistá současná hodnota NPV

Základní filozofie ekonomické a finanční analýzy vychází z principu stanovení tzv. čisté současné hodnoty (NPV) v budoucnosti vynaložených výdajů a příjmů. Ekonomické výpočty se provádějí na hodnotovém základě výpočtem diskontovaného toku hotovosti. Obvykle se za ekonomicky optimální považuje ta varianta energeticky úsporných opatření, která při stejném riziku dosahuje maximální čisté současné hodnoty toku hotovosti, který je vyvolán realizací projektu [13].

Budoucí přínosy z úspor energie nebo z provozu projektů na bázi obnovitelných zdrojů proto správně určíme podle kritéria čisté současné hodnoty (NPV) čili diskontovaný tok hotovosti (DCF). Jedná se v dnešní době o nejvhodnější kritérium posuzování projektu. Tuto hodnotu lze při jednoznačně zadaných vstupních údajích vždy spočítat a nabývá jen jedné hodnoty [13].

$$NPV_{Tz} = DCF_{Tz} = \sum_{t=1}^{Tz} \frac{CF_t}{(1+i_r)^t} - IN \quad [\text{Kč}] \quad (6.4)$$

kde	CF_t [kč]	tok hotovosti, roční přínosy projektu (Cash Flow);
	i_r [-]	reálná úroková míra (požadovaná výnosnost investice);
	IN [kč]	investiční náklady projektu;
	T_z [roky]	doba živostnosti projektu.

Při porovnávání více variant je za nejvýhodnější považována ta, jejíž čistá současná hodnota je nejvyšší. Při posuzování absolutní efektivnosti platí

- $NPV > 0$ diskontované peněžní příjmy jsou vyšší než pořizovací náklady, investiční projekt je považován za efektivní, protože zajišťuje požadovanou výnosnost,
- $NPV < 0$ diskontované peněžní příjmy jsou nižší než pořizovací náklady, investiční projekt je nezajišťuje požadovanou výnosnost [15].

Inflace:

Pod pojmem inflace se rozumí zvyšování objemu peněz v oběhu, což má za následek jejich znehodnocování, které se projevuje jako růst cenové hladiny v čase. Určování inflace se provádí pomocí sledování indexů spotřebitelských cen. Tyto indexy vycházejí z cen vybraného koše výrobků a služeb. Určitá částka získaná například spořením po n letech má sice určitou nominální hodnotu, ale reálná hodnota vyjadřující její kupní sílu z pohledu dnešní cenové hladiny je vlivem inflace nižší [15]. Proto se zavádí *reálná úroková míra*, v které je tato inflace zahrnuta.

$$i_r = \frac{i_v - i_{\text{inf}}}{1 + i_{\text{inf}}} \quad [-] \quad (6.5)$$

kde	i_v [-]	míra výnosnosti;
	i_{inf} [-]	míra inflace.

$$i = \frac{p}{100} \quad [-] \quad (6.6)$$

kde p [%] procentní hodnota (inlace, výnosnost, úvěrové sazby)

Index ziskovosti PI

Index ziskovosti je relativní vyjádřením celkových diskontovaných příjmů vztažených k pořizovacím nákladům

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{T\check{z}} \frac{CF_t}{(1+i_r)^t}}{IN} \quad [-] \quad (6.7)$$

Při porovnávání více variant je za nejvýhodnější považována ta, jejíž index ziskovosti je nejvyšší a pro posuzování absolutní efektivnosti platí [15]:

- $PI > 1$ investiční projekt je považován za přijatelný;
- $PI < 1$ investiční projekt je považován za nepřijatelný.

Metoda vnitřního výnosového procenta IRR

Vnitřní výnosové procento je úroková míra, při níž jsou celkové diskontované příjmy rovné pořizovacím nákladům.

$$\sum_{t=1}^{T\check{z}} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = IN \quad [\text{Kč}] \quad (6.8)$$

kde IRR vnitřní výnosové procento.

Vnitřní výnosové procento je tedy maximální úroková míra, při níž projekt ještě není ztrátový. Je-li vnitřní výnosové procento vyšší než uvažovaná úroková míra, je projekt ekonomicky přínosný (tj. má větší výnosnost než jaká je požadována). Při porovnávání více variant se volí ta, jejíž vnitřní výnosové procento je nejvyšší [15].

Hotovostní toky investora- podnikatele

Má-li hodnocená investice podnikatelský charakter, musíme důsledně respektovat i způsob jejího financování včetně zdanění dosaženého zisku. Hotovostní toky investora v jednotlivých letech lze vyjádřit jako rozdíl peněžních příjmů a peněžních výdajů tímto vztahem:

$$CF_t = V - N_p - N_{\check{u}} - N_i - ZS - S_{pl} - D_z + D_{ot} + \check{U} \quad [\text{Kč}] \quad (6.9)$$

kde V [kč] příjmy z realizace, (roční úspora energie);
 N_p [kč] roční provozní výdaje (bez odpisů);
 $N_{\check{u}}$ [kč] úroky z úvěrů;

N_i [kč]	investiční výdaje na realizaci;
ZS [kč]	jednorázové výdaje na změnu oběžných aktiv během výstavby;
S_{pl} [kč]	úmor (částka, o kterou ročně snižujeme stav dluhu);
D_z [kč]	daň z příjmu;
D_{ot} [kč]	investiční dotace;
$Ú$ [kč]	investiční úvěry na financování projektu.

6.5 Způsob financování

Způsob financování výrazně ovlivňuje cenu peněz. Pokud si peníze na investici půjčíme, budeme muset splácet úroky i vlastní půjčku. Může se stát, že úspory (výnos investice) nebude stačit na pokrytí splátek, takže půjčku budeme muset splácet z jiných zdrojů nebo se do takového investování vůbec nepustíme.

6.5.1 Při financování podniku za pomoci úvěru

Je třeba zjistit výši *ročních anuitních splátek*. Anuitní splátka udává, kolik je třeba každý rok průměrně zaplatit (splátka + úrok), aby byl úvěr splacen v požadované době.

Vždy je třeba počítat s tím, že podmínky úvěrování nejsou u všech bank stejné. Banky mají odlišné úrokové sazby, jež se navíc mění s vývojem ekonomiky. Proto je při hledání vhodného finančního ústavu vždy nutný individuální přístup.

Roční anuitní splátka A_r se vypočítá ze vztahů

$$A_r = a * N_u \quad (8.1)$$

$$a = \frac{(q-1)q^{T_s}}{(q^{T_s}-1)} \quad (8.2)$$

$$q = 1 + i_u \quad (8.3)$$

kde:

A_r [Kč/rok]	roční anuitní splátka úvěru,
N_u [Kč]	půjčená částka,
T_s [rok]	doba splatnosti úvěru,
i_u [-]	úroková sazba úvěru,
a [-]	anuita.

6.5.2 Při financování pomocí vlastního kapitálu

Je dobré zjistit, zda není výhodnější finance uložit v bance na výhodný úrok nebo investovat do jiných výnosnějších aktivit, než prostředky vložit do tohoto projektu. Jinými slovy realizovaný projekt musí vydělat více, než by vydělaly úroky v bankovním ústavu nebo jiné podnikatelské aktivity. Kdyby tomu tak nebylo, je lepší finanční prostředky uložit a inkasovat úroky nebo vydělávat realizací jiného - výnosnějšího projektu.

Pro tuto jednoduchou ekonomickou úvahu je tedy vhodné navýšit vlastní investované prostředky o částku, již by vynesly úroky, tzv. výnosnost projektu. Výpočet musí potvrdit návratnost investic, včetně předpokládaného výnosu investovaného kapitálu.

7 NÁVRH SOLÁRNÍHO SYSTÉMU PRO OHŘEV TV S PŘITÁPĚNÍM A OHŘEVEM BAZÉNU

Úkolem je navrhnout solární systém pro vybraný rodinný dům. Základem pro návrh tohoto systému je zjištění potřeby tepla pro vytápění a ohřev TV. Následně se vypočítá množství získané energie slunečního záření zachyceného kolektory a množství tepla připadající na dodatkový zdroj energie.

Informace o rodinném domu a venkovním bazénu:

Rodinný dům se nachází v obci Domanín ležící na jižní Moravě v okrese Hodonín. Jedná se o dvougenerační RD s 2 nadzemními patry, suterénem a plochým provedením střechy. Dům je po celkové rekonstrukci kdy bylo provedeno zateplení a výměna oken za okna s nízkým součinitelem prostupu tepla. Rodinný dům obývá 5 osob k domu přiléhá venkovní bazén o ploše 21m². Při řešení dohřevu systému se bude počítat s využitím stávajícího běžného plynového kotle Minitherm Eko 18kW. Orientace rodinného domu je nepatrně odkloněna od jižní strany, jelikož se ale jedná o plochou střechu tak je možné orientaci kolektorů upravit.

Půdorysná plocha RD	9 x 10m
Výška budovy	8m
Celková obytná plocha	240 m ²
Nadmořská výška	230m n.m.



Obr. 7-1 Přední pohled na rodinný dům



Obr. 7-2 Orientace rodinného domu vůči světovým stranám

Tab. 7-1 Vstupní hodnoty pro výpočty tepla (oblast Hodonín) [8]

tepelná ztráta objektu	$Q_c = 10\text{kW}$
délka topného období	$d = 215$ dní
teplota teplé vody na výstupu ze zásobníku	$t_2 = 55\text{ °C}$
teplota studené vody na vstupu do zásobníku	$t_1 = 10\text{ °C}$
průměrná vnitřní výpočtová teplota	$t_{is} = 19\text{ °C}$
vnější výpočtová teplota	$t_e = -12\text{ °C}$
teplota studené vody v létě	$t_{svL} = 15\text{ °C}$
teplota studené vody v zimě	$t_{svZ} = 5\text{ °C}$

Použitý bazén, který přiléhá k posuzovanému rodinnému domu má následující parametry:

- venkovní oválný bazén zapuštěný do země o rozměrech 7x3,5m a hloubce 1,5m;
- plocha hladiny $S = 21\text{m}^2$;
- objem vody bazénu $V = 31\text{m}^3$.

Zvoleny solární systém by měl zajistit ohřev teple vody v průběhu téměř celého roku. Přitápění bude realizováno jen v přechodném období, protože v zimě je sluneční aktivita nízká, 100% pokrytí potřeby tepla je ve střední Evropě možné jen s obrovskými náklady. Při návrhu je vždy třeba zohledňovat i ekonomickou stránku řešení. V otopném období se zpravidla dosáhne jen částečného pokrytí, ekonomicky přijatelné jsou hodnoty mezi 20 a 35 % roční potřeby tepla pro ohřev pitné vody a vytápění [16].

Celá soustava se tedy bude skládat z :

- slunečních kolektorů;
- akumulční nádrže;
- čerpadlové skupiny, solární expanzní nádoby a příslušenství;
- regulace a dalších nutných komponentů.

Soustava bude řešena s nuceným oběhem a jako zásobník bude použit kompaktní zásobník s integrovaným zásobníkem na pitnou vodu a zásobníkem na otopnou vodu. Soustava je uspořádána do tří okruhů: solární okruh se solárním kolektorem, který zajišťuje ohřev vody v zásobníku; spotřební okruh, tedy ohřev a odběr teplé vody a topný okruh, který vede do otopných těles.

7.1 Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody

Při návrhu je třeba stanovit potřebu tepla na přípravu teplé vody v závislosti na počtu osob a potřebě tepla na vytápění s ohledem na tepelně-technické vlastnosti objektu.

Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Potřeba tepla na ohřev teplé vody se stanoví podle spotřeby teplé vody za osobu a den. Norma ČSN 06 0320 udává jako průměrnou hodnotu 82 l/os.d. Někteří autoři, (srov.[6], [9]) uvádí hodnoty nižší, které více odpovídají skutečné spotřebě, viz tabulka níže:

Tab. 7-2 Typická spotřeba teplé vody v domácnostech [6, 9]

	45 °C	60 °C
Nízká spotřeba [l/d]	20-30 l/os.den	10-20 l/os.den
Standardní spotřeba [l/d]	30-50 l/os.den	20-40 l/os.den
Vysoká spotřeba [l/d]	50-70 l/os.den	40-80 l/os.den

V dalších výpočtech uvažuji spotřebu teplé vody 45 l na osobu za den při teplotním spádu 55/10 °C. Při uvažovaném počtu pěti osob je tedy spotřeba 225 l za den (0,225 m³).

Při bilancování potřeby tepla je kromě čisté denní potřeby tepla nutné uvažovat i denní tepelné ztráty solární soustavy, zejména potrubí a zásobníku. Míra tepelných ztrát se vyjadřuje zpravidla přírážkou na tepelné ztráty z . Hodnota přírážky na tepelné ztráty solární soustavy záleží na typu aplikace. U běžných solárních soustav, např. pro přípravu teplé vody nebo pro vytápění, se přírážka pohybuje mezi 5 až 15 %, ale např. u sezónní akumulace pro 100% pokrytí tepla na vytápění jsou hodnoty $z > 50$ %.

Výpočet denní potřeby tepla na ohřev teplé vody se určí podle [7]:

$$Q_{TV,d} = (1 + z) \cdot \frac{r \cdot c \cdot V_{zp} \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6} \text{ [kWh/d]} \quad (7.1)$$

kde z [-]

koeficient energetických ztrát systému;

- pro novostavby se uvádí hodnota $z = 0,5$;
- okrskové rozvody $z = \text{max. } 1,0$;
- rozvody ve starších stavbách $z = 2$ až 4 ;

V_{2p} [m ³ /den]	celková potřeba teplé vody za 1 den [0,225 m ³ /den];
t_2 [°C]	teplota teplé vody na výstupu ze zásobníku, 55 °C;
t_1 [°C]	teplota studené vody na vstupu do zásobníku, 10 °C;
ρ [kg/m ³]	měrná hmotnost vody [1000 kg/m ³];
c [J/kgK]	měrná tepelná kapacita vody [4186 J/kgK].

Po dosazení dostaneme

$$Q_{TV,d} = (1 + z) \cdot \frac{r \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6} = (1 + 1,0) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot (55 - 10)}{3,6 \cdot 10^6} = 23,55 \text{ kW.h} / d$$

Podle délky topného období, které závisí na dané lokalitě, a počtu pracovních dnů se výpočet dále zpřesňuje a roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody je podle [7]:

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svL}}{t_2 - t_{svZ}} \cdot (N - d) \text{ [kWh/r]} \quad (7.2)$$

kde	d [dny]	délka topného období, pro Hodonín je udávaná hodnota 215 dní;
	t_{svL} [°C]	teplota studené vody v létě, $t_{svL} = 15$ °C;
	t_{svZ} [°C]	teplota studené vody v zimě, $t_{svZ} = 5$ °C;
	N [dny]	počet pracovních dnů soustavy v roce, $N = 365$ dnů.

Po dosazení dostaneme

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svL}}{t_2 - t_{svZ}} \cdot (N - d) = 23,55 + 0,8 \cdot 23,55 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 215) = 7308,5 \text{ kW.h} / r$$

Potřeba tepla na vytápění:

Výpočet potřeby tepla pro vytápění se stanoví podle vztahu (7.3) [7]. Při tomto výpočtu se vychází z tepelné ztráty objektu Q_c [kW], v případě že tuto hodnotu neznáme počítá se dle normy ČSN 06 0210 [8].

Měsíční potřeba tepla pro vytápění

$$Q_{vYT,m} = 24 \cdot n \cdot \frac{e}{h_0 \cdot h_r} \cdot Q_c \cdot \frac{t_{is} - t_{ep}}{t_{is} - t_e} \text{ [kW.h]} \quad (7.3)$$

kde	Q_c [-]	tepelná ztráta objektu, $Q_c = 10$ kW;
	η_0 [-]	účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy, $\eta_0 = 0,95$;
	η_r [-]	účinnost rozvodu vytápění, $\eta_r = 0,95$;
	ε [-]	opravný součinitel, $\varepsilon = 0,765$;
	t_e [°C]	vnější výpočtová teplota, pro Hodonín $t_e = -12$ °C;
	t_{ep} [°C]	střední měsíční venkovní teplota [2, tab.2.15] ;
	t_{is} [°C]	průměrná vnitřní výpočtová teplota, $t_{is} = 19$ °C;
	t_{es} [°C]	průměrná teplota během otopného období, pro Hodonín je $t_{es} = 4,2$ °C.

Tab. 7-3 Měsíční potřeba tepla pro vytápění v topném období

Měsíc	I	II	III	IV	IX	X	XI	XII
n [dnů]	31	29	31	30	30	31	30	31
t_{ep} [°C]	-2	-0,6	3,7	8,7	14	8,7	3,6	-0,2
$Q_{VYT, m}$ [kW.h]	3856	3366	2809	1830	888	1891	2736	3525

Vytápěcí denostupně

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \text{ [K.dny]} \quad (7.4)$$

kde t_{is} [°C] průměrná vnitřní výpočtová teplota, $t_{is} = 19$ °C; t_{es} [°C] průměrná teplota během otopného období, pro Hodonín je $t_{es} = 4,2$ °C;

Po dosazení dostaneme

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 215 \cdot (19 - 4,2) = 3182 \text{ K.dny}$$

Roční teoretická potřeba tepla pro vytápění

$$Q_{VYT, r} = \frac{e}{h_0 \cdot h_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \text{ [kWh/r]} \quad (7.5)$$

Po dosazení dostaneme

$$Q_{VYT, r} = \frac{e}{h_0 \cdot h_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} = \frac{0,765}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 10 \cdot 3182}{[19 - (-12)]} = 20882 \text{ kWh/r}$$

V našem případě známe i hodnoty skutečně spotřebované energie na vytápění a ohřev teplé vody, protože tyto hodnoty známe od majitele RD z minulého roku a očekáváme hodnoty podobné. Při porovnání hodnot zjištěných na základě měření a teoretických hodnot uvedených v tabulce vidíme, že jsou hodnoty celkem podobné. Při dalších výpočtech budeme počítat s hodnotami zjištěnými dle skutečné spotřeby, protože více odpovídají daným tepelným potřebám daného rodinného domu.

Tab. 7-4 Porovnání teoretických a zjištěných hodnot potřeby na vytápění a ohřev teplé vody

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Teoretické hodnoty												
Q_{TV} [kWh]	729,9	682,8	729,9	706,4	729,9	706,4	729,9	729,9	706,4	729,9	706,4	729,9
Q_{VYT} [kWh]	3855,6	3366,4	2809,1	1830,1	0	0	0	0	888,4	1891,1	2736,2	3525,1
$Q_{TV, VYT}$ [kWh]	4585,5	4049,2	3539,0	2536,5	729,9	706,4	729,9	729,9	1594,8	2621,0	3442,6	4255,1
Zjištěné hodnoty												
Q_{TV} [kWh]	728,0	670,0	728,0	693,1	728,0	693,1	728,0	728,0	693,1	728,0	693,1	728,0
Q_{VYT} [kWh]	4020,0	2959,5	2378,2	1524,1	126,6	0	0	0	570,7	1821,3	2796,7	3705,0
$Q_{TV, VYT}$ [kWh]	4748,0	3629,6	3106,1	2217,2	854,6	693,1	728,0	728,0	1263,8	2549,3	3489,8	4432,9

7.2 Potřeba tepla pro ohřev vody ve venkovním bazénu

Parametry bazénu:

Použitý bazén, který přiléhá k posuzovanému rodinnému domu má následující parametry:

- venkovní oválný bazén zapuštěný do země o rozměrech 7x3,5m a hloubce 1,5m
- plocha hladiny $S = 21\text{m}^2$
- objem vody bazénu $V = 31\text{m}^3$

Požadovaná teplota vody v bazénu:

- květen : 22°C
- červen a srpen : 26°C
- červenec : 28°C
- září : 20°C

Při ohřívání vody v bazénech je třeba dodávat teplo:

- a) pro ohřívání přiváděné čisté vody
- b) pro úhradu tepelné ztráty prostupem stěnami bazénu pod úrovní vodní hladiny
- c) pro úhradu tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny.

Teplo potřebné pro ohřívání přiváděné čisté vody by se nejvíce mělo získávat z odváděné teplé vody (jde o využití odpadního tepla). Výjimečně je možno tuto položku ve spotřebě tepla snížit téměř na nulu. Tepelná ztráta prostupem stěnami bazénu pod úrovní vodní hladiny (jde o prostup tepla do okolní zeminy) je velmi malá a proti tepelné ztrátě přestupem z vodní hladiny ji lze většinou zanedbat [2].

Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny, na niž připadá ve spotřebě tepla pro ohřívání vody v bazénu významný podíl, se počítá ze vztahu:

$$Q_{ztr} = a_{celk} \cdot S \cdot (t_w - t_v) \quad [\text{W}] \quad (7.6)$$

kde $\alpha_{celk} [\text{W/m}^2\text{K}]$ celkový součinitel přestupu tepla z vodní hladiny;
 $S [\text{m}^2]$ plocha vodní hladiny;
 $t_w [^\circ\text{C}]$ teplota vody v bazénu;
 $t_v [^\circ\text{C}]$ střední teplota okolního vzduchu.

Spotřeba tepla za měsíce dána vztahem

$$Q_{spotř} = h \cdot n \cdot Q_{ztr} \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW.h}] \quad (7.7)$$

kde h počet hodin při zakrytém (nezakrytém) bazénu v průběhu jednoho dne;
 n počet dnů v měsíci;
 Q_{ztr} tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny.

Přestup tepla z vodní hladiny se skládá z přestupu tepla sáláním, prouděním (konvekcí) a vypařováním vody. Celkový součinitel přestupu tepla je tedy:

$$a_{celk} = a_s + a_k + a_{vyp} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (7.8)$$

kde α_s [W/m²K] součinitel přestupu tepla sáláním (volí se $\alpha_s = 5$ W/m²K);
 α_k [W/m²K] součinitel přestupu tepla konvekcí (volí se $\alpha_k = 10$ až 15 W/m²K pro bazény na volném prostranství a $\alpha_k = 5$ až 8 W/m²K pro bazény v krytých halách);
 α_{vyp} [W/m²K] součinitel přestupu tepla při vypařování vody na hladině.

Součinitel přestupu tepla při vypařování vody α_{vyp} závisí na součiniteli přestupu tepla konvekcí α_k a lze ho počítat ze vztahu:

$$a_{vyp} = \frac{a_k}{c} \cdot \frac{x_w'' - x_v}{t_w - t_v} \cdot r \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (7.9)$$

kde c [J/kg.K] měrná tepelná kapacita vzduchu ($c = 1010$ J/kg.K);
 x_w'' [kg/kg.s.v.] měrná vlhkost nasyceného vzduchu při teplotě t_w ;
 x_v [kg/kg.s.v.] měrná vlhkost okolního vzduchu při teplotě t_v a relativní vlhkosti ϕ ;
 r [J/kg] výparné teplo vody ($r = 2,4 \cdot 10^6$ J/kg).

Tepelnou ztrátu přestupem z vodní hladiny lze zmenšit tím, že se v době provozní přestávky (např. v noci) zakryje hladina vody vhodným nenasákavým a neprodyšným povlakem (např. fóliemi z plastů nesenými plováky). Tím se zmenší přestup tepla vypařováním téměř až na nulu a také se částečně zmenší přestup tepla sáláním a konvekcí. Od spotřeby tepla na úhradu tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny je možno u nezakrytých bazénů, na něž svítí slunce, odečíst teplo získané absorpcí slunečního záření [2].

7.2.1 Varianta A: Výpočet s nočním zakrýváním bazénu

Nejdříve vypočteme součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny α_{vyp} podle vztahu (7.9) přičemž volím součinitel přestupu tepla konvekcí $\alpha_k = 10$ W/m²K. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny níže (Tab. 7-5).

Tab. 7-5 Součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny

Měsíc	t_w [°C]	t_v [°C]	ϕ [-]	$t_w - t_v$ [°C]	$x_w'' \cdot 10^3$ [kg/kg.s.v.]	$x_v \cdot 10^3$ [kg/kg.s.v.]	$(x_w'' - x_v) \cdot 10^3$ [kg/kg.s.v.]	α_{vyp} [W/m ² K]
Květen	22	14,1	0,62	7,9	17,22	6,8	10,42	31,34
Červen	26	16,9	0,62	9,1	22,08	7,7	14,38	37,55
Červenec	28	18,8	0,61	9,2	24,93	8,9	16,03	41,40
Srpen	26	17,8	0,66	8,2	22,08	8,55	13,53	39,21
Září	20	14	0,68	6	15,18	6,65	8,53	33,78

kde t_w [°C]

teplota vody v bazénu (volí se požadovaná teplota);

t_v [°C]	střední měsíční teplota vzduchu z [2, tab 2.15];
ϕ [-]	relativní vlhkost vzduchu (měsíční průměr);
x_w [kg/kg.s.v.]	hodnoty byly převzaty z [11, tab 5-17];
x_v [kg/kg.s.v.]	hodnoty byly převzaty z [11, diagram 5-4].

Potom se ze vztahu (7.8) vypočítá tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny α_{celk} , přičemž volíme součinitel přestupu tepla konvekcí $\alpha_k = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$ a součinitel přestupu tepla sáláním $\alpha_s = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (pro plochu vodní hladiny 21 m^2) a potřeba tepla pro úhradu této ztráty za měsíc. Přitom se rozlišuje přestup tepla z nezakryté vodní hladiny v době užívání bazénu (od 8 do 20h) a přestup tepla ze zakryté hladiny v noční době (od 20 do 8h), kdy se bazén nevyužívá [2].

Proto zde rozlišujeme teplotu okolního vzduchu t_v . V době nezakrytého bazénu se počítá s průměrnou teplotou v době slunečního svitu [2, tab 2.16], v době noční přestávky kdy je bazén zakrytý počítáme s nižší teplotou [2].

Tab. 7-6 Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny a spotřeba tepla k úhradě této ztráty

Měsíc	t_w [°C]	t_v [°C]	$t_w - t_v$ [°C]	α_{celk} [W/m ² K]	Q_{ztr} [W]	n [dnů]	Spotřeba tepla za měsíc $Q_{\text{spotř.}}$ [kWh]
Nezakrytá vodní hladina v době od 8 do 20h $\alpha_{\text{celk}} = \alpha_k + \alpha_s + \alpha_{\text{vyp}}$							$Q_{\text{spotř. nezak.}} = 12 \cdot n \cdot Q_{\text{ztr}} \cdot 10^{-3}$
Květen	22	17,2	4,8	46,34	4671	31	1738
Červen	26	20,2	5,8	52,55	6401	30	2304
Červenec	28	22,1	5,9	56,40	6988	31	2600
Srpen	26	21,8	4,2	54,21	4781	31	1779
Září	20	18,5	1,5	48,78	1537	30	553
Zakrytá vodní hladina v době od 20 do 8h $\alpha_{\text{celk}} = \alpha_k + \alpha_s = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$							$Q_{\text{spotř. zakr.}} = 12 \cdot n \cdot Q_{\text{ztr}} \cdot 10^{-3}$
Květen	22	10,6	11,4	15	3591	31	1336
Červen	26	14,0	10	15	3780	30	1361
Červenec	28	15,9	8,1	15	3812	31	1418
Srpen	26	14,6	9,4	15	3591	31	1336
Září	20	10,6	11,4	15	2961	30	1066

Pozn.: -Platí pro celou hladinu bazénu 21 m^2 při dodržení uvedené doby zakryté a nezakryté plochy bazénu. Pro noc je t_v průměrná noční teplota vzduchu $t_{v,n}$ [2], pro den je teplota vzduchu v době slunečního svitu t_{as} [2, tab. 2.16]

Dále se vypočítá teplo získané absorpcí slunečního záření na vodní hladině Q_{abs} . Vodní hladina zde představuje vodorovný sběrač energie ($\alpha = 0^\circ$). Výpočet energie zachycené

osluněnou vodní hladinou je obdobný jako u normálních kolektorů. Počítá se však se stálou účinností $\eta_A = 0,85$ (předpokládá se, že vodní hladina odráží 15 % záření zpět do prostoru), neboť tepelné ztráty přestupem do okolí jsou již zahrnuty v tepelné ztrátě přestupem z vodní hladiny. Dále se předpokládá, že zde zachytí vodní hladina i difúzní záření při zatažené obloze [2].

Tepelná energie získaná absorpcí na vodní hladině za měsíc

$$Q_{abs,mes} = \eta_A \cdot Q_{S,mes} \cdot S \quad [\text{kWh}] \quad (7.10)$$

kde $\eta_A [-]$ účinnost pohlcování energie ze slunečního záření vodní hladinou, $\eta_A = 85\%$ (předpokládá se, že vodní hladina odráží 15 % záření zpět do okolí);
 $Q_{S,mes} [\text{kWh/m}^2]$ průměrná energie dopadající na vodorovnou plochu za měsíc;
 $S [\text{m}^2]$ vodní plocha bazénu.

Tab. 7-7 Tepelná energie získaná absorpcí slunečního záření vodní hladinou

Měsíc	η_A [-]	$Q_{S,den}$ [kWh/m ²]	n [dnů]	$Q_{S,mes}$ [kWh/m ²]	$Q_{abs,mes}$ [kWh]
Květen	0,85	5,019	31	155,6	2777
Červen	0,85	5,306	30	159,2	2841
Červenec	0,85	5,461	31	169,3	3022
Srpen	0,85	4,533	31	140,5	2508
Září	0,85	3,179	30	95,4	1702
Celkem					12851

kde $Q_{S,den} [\text{kWh/m}^2]$ hodnoty převzaty z [12]

Odečtením hodnot z posledních sloupců tabulek (Tab.7-6) a (Tab.7-7) se zjistí výsledná spotřeba tepla, kterou pak je nutno uhradit energií zachycenou slunečními kolektory.

Výsledná spotřeba tepla bazénem pro jednotlivé měsíce:

$$Q_{vysl} = (Q_{spotř.nezak} + Q_{spotř.zak.}) - Q_{abs} \quad [\text{kW.h}] \quad (7.11)$$

Výsledná spotřeba tepla pro bazén:

Květen: $Q_{vysl} = (1738+1336) - 2777 = 296 \text{ kW.h};$
Červen: $Q_{vysl} = (2304+1361) - 2841 = 824 \text{ kW.h};$
Červenec: $Q_{vysl} = (2600+1418) - 3022 = 996 \text{ kW.h};$
Srpen: $Q_{vysl} = (1779+1336) - 2508 = 606 \text{ kW.h};$
Září: $Q_{vysl} = (553+1066) - 1702 = -83 \text{ kW.h};$

celková potřeba tepla: 2722 kW.h.

Záporná hodnota značí, že je tepla přebytek a kladná hodnota značí, že je tepla nedostatek a je potřeba toto teplo dodat pomocí solárních kolektorů, jinak nedosáhneme požadované teploty vody v bazénu. Z těchto údajů vidíme, že by bylo potřeba dodávat energii z solárních kolektorů ve všech měsících kromě září, kdy je mírný přebytek energie, protože je počítaná teplota v bazénu jen na 20°C. V případě, že bychom zadali jiné požadované teploty v bazénu museli bychom i přepočítat potřebu tepla pro bazén.

7.2.2 Varianta B: Výpočet bez zakrývání bazénu

Na základě této varianty zjistíme potřebu tepla v případě, že bychom bazén nezakrývali. Součinitel přestupu tepla vypařováním α_{vyp} je stejný jako u varianty A.

Tab. 7-8 Součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny

Měsíc	t_w [°C]	t_v [°C]	ϕ [-]	$t_w - t_v$ [°C]	$x_w'' \cdot 10^3$ [kg/kg.s.v.]	$x_v \cdot 10^3$ [kg/kg.s.v.]	$(x_w'' - x_v) \cdot 10^3$ [kg/kg.s.v.]	α_{vyp} [W/m ² K]
Květen	22	14,1	0,62	7,9	17,22	6,8	10,42	31,34
Červen	26	16,9	0,62	9,1	22,08	7,7	14,38	37,55
Červenec	28	18,8	0,61	9,2	24,93	8,9	16,03	41,40
Srpen	26	17,8	0,66	8,2	22,08	8,55	13,53	39,21
Září	20	14	0,68	6	15,18	6,65	8,53	33,78

Rozdíl nastává při výpočtu tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny a spotřeby tepla k úhradě této ztráty. Při tomto výpočtu je zřetelný obrovský nárůst ztrátového tepla, které budeme muset dodat, když nezakryjeme vodní plochu bazénu neprodyšnou folií. Ztráty jsou způsobeny započítáním α_{vyp} i v nočních hodinách, které bylo u varianty A velmi nízké díky zakrytí bazénu folií. Což se na růstu ztrát Q_{ztr} velmi projeví.

Tab. 7-9 Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny a spotřeba tepla k úhradě této ztráty

Měsíc	t_w [°C]	t_v [°C]	$t_w - t_v$ [°C]	α_{celk} [W/m ² K]	Q_{ztr} [W]	n [dnů]	Spotřeba tepla za měsíc $Q_{spotř.}$ [kWh]
Hodnoty ve dne $\alpha_{celk} = \alpha_k + \alpha_s + \alpha_{vyp}$							$Q_{spotř., den.} = 12 \cdot n \cdot Q_{ztr} \cdot 10^{-3}$
Květen	22	17,2	4,8	46,34	4671	31	1738
Červen	26	20,2	5,8	52,55	6401	30	2304
Červenec	28	22,1	5,9	56,40	6988	31	2600
Srpen	26	21,8	4,2	54,21	4781	31	1779
Září	20	18,5	1,5	48,78	1537	30	553

Hodnoty v noci $\alpha_{\text{celk}} = \alpha_k + \alpha_s + \alpha_{\text{vyp}}$							$Q_{\text{spotř.noc}} = 12 \cdot n \cdot Q_{\text{ztr}} \cdot 10^{-3}$
Květen	22	10,6	11,4	46,34	11094	31	4127
Červen	24	14,0	12	52,55	13243	30	4767
Červenec	24	15,9	12,1	56,40	14332	31	5332
Srpen	24	14,6	11,4	54,21	12977	31	4828
Září	22	10,6	9,4	48,78	9630	30	3467

Tepelná energie získaná absorpcí slunečního záření vodní hladinou za měsíc $Q_{\text{abs,měs}}$ zůstává také stejná jako u varianty A.

Tab. 7-10 Tepelná energie získaná absorpcí slunečního záření vodní hladinou

Měsíc	η_A [-]	$Q_{S,\text{den}}$ [kWh/m ²]	n [dnů]	$Q_{S,\text{měs}}$ [kWh/m ²]	$Q_{\text{abs,měs}}$ [kWh]
Květen	0,85	5,019	31	155,6	2777
Červen	0,85	5,306	30	159,2	2841
Červenec	0,85	5,461	31	169,3	3022
Srpen	0,85	4,533	31	140,5	2508
Září	0,85	3,179	30	95,4	1702
Celkem					12851

kde $Q_{S,\text{den}}$ [kWh/m²] hodnoty převzaty z [12]

Odečtením hodnot z posledních sloupců tabulek (Tab. 7-9) a (Tab. 7-10) se zjistí výsledná spotřeba tepla, kterou pak je nutno uhradit energií zachycenou slunečními kolektory.

Výsledná spotřeba tepla pro bazén:

Květen:	$Q_{\text{vysl}} = (1738 + 4127) - 2777 = 3087,6 \text{ kW} \cdot \text{h};$
Červen:	$Q_{\text{vysl}} = (2304 + 4767) - 2841 = 4230,2 \text{ kW} \cdot \text{h};$
Červenec:	$Q_{\text{vysl}} = (2600 + 5332) - 3022 = 4909,4 \text{ kW} \cdot \text{h};$
Srpen:	$Q_{\text{vysl}} = (1779 + 4828) - 2508 = 4097,8 \text{ kW} \cdot \text{h};$
Září:	$Q_{\text{vysl}} = (533 + 3467) - 1702 = 2317,5 \text{ kW} \cdot \text{h};$
Celkem:	<u>18642 kW.h</u>

Z těchto výsledků vidíme, že je potřeba energie podstatně větší než u varianty se zakrýváním bazénu (více než šestinásobná). Proto abychom dosáhli navržené teploty v bazénu bez zakrývání museli bychom výrazně zvýšit plochu kolektorového pole, což by bylo výrazně neekonomické, jinak by došlo k poklesu této teploty. V dalších výpočtech se tedy bude počítat s variantou A- s nočním zakrýváním bazénu.

7.3 Celková potřeba tepla pro vytápění, ohřev teplé vody a bazénu

Pro přehlednost je v tabulce (tab. 7-11) shrnuta celková potřeba tepla pro vytápění, ohřev teplé vody a vytápění venkovního bazénu o ploše 21m² s nočním zakrýváním uvedených v předchozích kapitolách 7.1 a 7.2.1. Na základě těchto hodnot se bude v dalších kapitolách počítat optimální kolektorová plocha a také energie potřebná pro dohřev systému.

Celková teoretická roční potřeba energie je

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TV,r} + Q_{baz,r} \quad [\text{kWh/r}] \quad (7.12)$$

Po dosazení dostaneme

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TV,r} + Q_{baz,r} = 20882 + 8538 + 2722 = 31162 \text{ kW.h/r}$$

Tab. 7-11 Potřeba tepla pro vytápění, ohřev teplé vody a bazénu

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Celkem za rok
$Q_{TV} [\text{kWh}]$	728	670	728	693	728	693	728	728	693	728	693	728	8538
$Q_{VYT} [\text{kWh}]$	4020	2959	2378	1524	126	0	0	0	570	1821	2796	3705	19902
$Q_{BAZ} [\text{kWh}]$	0	0	0	0	296	823	996	606	0	0	0	0	2722
$Q_{TV,VYT,BAZ} [\text{kWh}]$	4748	3629	3106	2217	1150	1516	1723	1334	1263	2549	3489	4432	31162

7.4 Návrh solárního kolektoru

Solární kombinované soustavy pro přípravu teplé vody, vytápění a ohřev bazénu se navrhují na pokrytí celkové potřeby tepla v okrajových měsících přechodového období, tj. pro měsíce duben a září, (květen sice také ještě patří do otopného období, ale jsou zde již výrazné solární zisky). Nejčastějším řešením kombinovaných solárních soustav je zapojení s centrálním zásobníkem otopné vody, který zajišťuje i přípravu teplé vody ve vnitřním nebo vnějším tepelném výměníku. Střední teplota teplonosné látky v kolektoru se volí $t_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Objem centrálního zásobníku je větší než u samostatné přípravy teplé vody, kdy je vyšší teplotní úroveň.

Měsíční tepelný zisk celého kolektorového pole

$$Q_{k,celk,měs} = Q_{k,den} \cdot n \cdot A_k \quad [\text{kW.h/měsíc}] \quad (7.13)$$

kde n počet dnů v měsíci;
 $Q_{k,den} [\text{kWh/m}^2]$ denní měrný tepelný zisk z kolektorů.

Plocha solárních kolektorů se stanoví ze součtu denní potřeby tepla na přípravu teplé vody a vytápění podle

$$A_k = \frac{(1+p) \cdot Q_{spot,den}}{h_k \cdot Q_{S,den}} = \frac{(1+p) \cdot (Q_{TV,den} + Q_{VYT,den} + Q_{BAZ,den})}{Q_{k,den}} \quad [\text{m}^2] \quad (7.14)$$

kde p tepelná ztráta solární soustavy, uvažuje se $p = 5 \%$;
 $\eta_k [-]$ účinnost solárního kolektoru;
 $Q_{S,den} [\text{kWh/m}^2]$ denní dávka slunečního záření.

Denní měrný tepelný zisk z kolektorů $Q_{k,den}$ je dán vztahem

$$Q_{k,den} = h_k \cdot Q_{S,den} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (7.15)$$

Denní dávka slunečního záření $Q_{S,den}$ je dána vztahem

$$Q_{S,den} = t \cdot Q_{S,den,teor} + (1-t) \cdot Q_{D,den} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (7.16)$$

kde $Q_{S,den,teor} [\text{kWh/m}^2]$ teoreticky možná dopadající energie;
 $Q_{D,den} [\text{kWh/m}^2]$ energie difúzního záření;
 $\tau [-]$ poměrná doba slunečního svitu.

Vzhledem k tomu, že při aktivním slunečním přitápěním se teplota látky zahřívá většinou na teplotu značně vyšší než je teplota okolního vzduchu, mají kolektory poměrně velké tepelné ztráty, takže nejsou schopny zachycovat záření s příliš malou intenzitou. To znamená, že difúzní záření jehož intenzita ani v nejpříznivějším případě nepřesáhne 150W/m^2 , zachycují jen v součtu se zářením přímým při jasné obloze. Nezachycují však samo difúzní záření při zatažené obloze. Proto můžeme vztah (7.16) zjednodušit tím, že druhý člen pravé strany dáme roven nule [2].

Pak tedy pro denní dávku slunečního záření $Q_{S,den}$ platí

$$Q_{S,den} = t \cdot Q_{S,den,teor} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (7.17)$$

Účinnost solárního kolektoru se určí podle vztahu (5.18) na základě charakteristik výrobce kolektoru pro optickou účinnost, lineární a kvadratického součinitele tepelné ztráty.

$$h_k = h_o - a_1 \cdot \left(\frac{t_m - t_{as}}{I_{stř}} \right) - a_2 \cdot I_{stř} \cdot \left(\frac{t_m - t_{as}}{I_{stř}} \right)^2 \quad [-] \quad (7.18)$$

kde $\eta_o [-]$ optická účinnost;
 $a_1 [\text{W/m}^2\text{K}]$ lineární součinitel tepelné ztráty;
 $a_2 [\text{W/m}^2\text{K}^2]$ kvadratický součinitel tepelné ztráty;
 $t_m [^\circ\text{C}]$ průměrná teplota teploty látky v solární soustavě v průběhu dne v závislosti na aplikaci (t_m je nutné zvolit podle typu soustavy);
 $t_{as} [^\circ\text{C}]$ průměrná teplota vzduchu v době slunečního svitu.

7.4.1 Výpočet plochy kolektorů

Parametry zvoleného kolektoru: Thermosolar H 400V

V kolektorové vaně vyrobené hlubokotažným lisováním plechů z hliníko-hořčíkové slitiny je uložený nízkoemisní hliníkový absorbér s vysokoselektivní na báze oxidu hlinitého pigmentovaného koloidním niklem. V absorbérů jsou předlisované žlábků, do kterých se zalisovává měděnou trůbkou tvořený meandr. Kolektory se zapojují paralelně, v jedné řadě maximálně 10 kusů.



Obr. 7-3 Plochý vakuový kolektor Thermosolar H 400V.

Rozměry š x d x h :	1009 x 2009 x 75mm;
Hrubá plocha kolektoru:	2,03 m ² ;
Plocha apertury:	1,84 m ² ;
Plocha absorbérů:	1,76 m ² ;
η_0 – optická účinnost:	0,81;
a_1 - lineární součinitel tepelné ztráty	2,610;
a_2 - kvadratický součinitel tepelné ztráty	0,008;
Sluneční absorbivita	min. 0,94;
Tepelná emisivita	max. 0,16;
Tepelná izolace:	vakuum 100Pa;
Objem teplonosné kapaliny:	1,3 l;
Max. pracovní tlak:	6 bar;
Doporučený průtok:	30-100 l/hod na kolektor;
Skříň kolektoru:	výlisek z nekorodujícího Al-Mg plechu;
Stagnační teplota:	219°C;
Záruka:	10let;
Životnost:	min.25let

Kolektor bude umístěn se sklonem 45° s orientací přímo na jih, tzn. azimutový úhel 0°. Používané tabulkové hodnoty ze zdroje [2] jsou použité z nejbližšího měřicího místa a to pro Brno.

Teoreticky možná energie dopadající za den pro měsíc duben a září (kdy jsou nejnejpříznivější podmínky přechodného období) [2, tab 2.9].

duben: $Q_{S,den,teor,IV} = 8,06 \text{ kWh/m}^2$;

září: $Q_{S,den,teor,IX} = 6,70 \text{ kWh/m}^2$.

Poměrná doba slunečního svitu [2, tab 2.12].

duben: $\tau_{IV} = 0,39$;

září: $\tau_{IX} = 0,50$.

Energie dopadající za den s průměrnou oblačností (za průměrný den v měsíci) pro

duben: $Q_{S,den,IV} = \tau_{IV} \cdot Q_{S,den,teor,IV} = 0,39 \cdot 8,06 = 3,14 \text{ kWh/m}^2$;

září: $Q_{S,den,IX} = \tau_{IX} \cdot Q_{S,den,teor,IX} = 0,50 \cdot 6,70 = 3,35 \text{ kWh/m}^2$.

Střední teplota vzduchu v době slunečního svitu [2, tab 2.16].

duben: $t_{as,IV} = 12,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

září: $t_{as,IX} = 18,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Střední intenzita záření na plochu uvedeným způsobem orientovanou [2, tab 2.17].

duben: $I_{stř,IV} = 580 \text{ W/m}^2$;

září: $I_{stř,IX} = 558 \text{ W/m}^2$.

Účinnost solárního kolektoru se určí ze vztahu (7.18) na základě charakteristik výrobce kolektoru (η_o , a_1 , a_2) [19] :

duben:

$$h_{k,IV} = h_o - a_1 \cdot \left(\frac{t_m - t_{as}}{I_{stř}} \right) - a_2 \cdot I_{stř} \cdot \left(\frac{t_m - t_{as}}{I_{stř}} \right)^2$$

$$h_{k,IV} = 0,81 - 2,61 \cdot \left(\frac{50 - 12}{580} \right) - 0,008 \cdot 580 \cdot \left(\frac{50 - 12}{580} \right)^2 = 0,6191$$

září:

$$h_{k,IX} = 0,81 - 2,61 \cdot \left(\frac{50 - 18,5}{558} \right) - 0,008 \cdot 558 \cdot \left(\frac{50 - 18,5}{558} \right)^2 = 0,6484$$

kde η_o [-] optická účinnost, $\eta_o = 0,81$;

a_1 [$\text{W/m}^2\text{K}$] lineární součinitel tepelné ztráty, $a_1 = 2,61 \text{ W/m}^2\text{K}$;

a_2 [$\text{W/m}^2\text{K}^2$] kvadratický součinitel tepelné ztráty, $a_2 = 0,008 \text{ W W/m}^2\text{K}^2$;

t_m [$^{\circ}\text{C}$] průměrná teplota teplosné látky v solární soustavě v průběhu dne v závislosti na aplikaci (t_m je nutné zvolit podle typu soustavy) $t_m = 50^{\circ}\text{C}$;

t_{as} [$^{\circ}\text{C}$] střední teplota vzduchu v době slunečního svitu [2, tab 2.16].

Energie zachycená plochou 1 m^2 za den s průměrnou oblačností podle vztahu (7.15)

duben: $Q_{k,den,IV} = h_{k,IV} \cdot Q_{S,den,teor,IV} = 0,6191 \cdot 3,143 = 1,946 \text{ kWh/m}^2$

září: $Q_{k,den,IX} = h_{k,IX} \cdot Q_{S,den,teor,IX} = 0,6484 \cdot 3,35 = 2,172 \text{ kWh/m}^2$

Plocha solárních kolektorů bude podle vztahu (7.14)

$$\text{duben: } A_{k,IV} = \frac{(1+p) \cdot (Q_{TV,den,IV} + Q_{VYT,den,IV} + Q_{BAZ,den,IV})}{Q_{k,den,IV}} = \frac{(1+0,05) \cdot \left(\frac{2217,2}{30 \text{ dní}} \right)}{1,946} = 39,87 \text{ m}^2$$

$$\text{září: } A_{k,IX} = \frac{(1+p) \cdot (Q_{TV,den,IX} + Q_{VYT,den,IX} + Q_{BAZ,den,IX})}{Q_{k,den,IX}} = \frac{(1+0,05) \cdot \left(\frac{1263,8}{30 \text{ dní}} \right)}{1,993} = 20,36 \text{ m}^2$$

Toto navržené zařízení s plochou absorberu $A_k = 39,87 \text{ m}^2$ určenou dle skutečné (průměrné) energie dopadající v nepříznivějším měsíci daného období (dubnu) by bylo investičně drahé. Proto se často navrhuje zařízení s plochou kolektorů určenou podle teoreticky možné energie dopadající za slunečný den [2]:

$$\text{duben: } Q_{k,den,IV} = h_{k,IV} \cdot Q_{S,den,teor,IV} = 0,6191 \cdot 8,06 = 4,99 \text{ kWh} / \text{m}^2$$

$$\text{září: } Q_{k,den,IX} = h_{k,IX} \cdot Q_{S,den,teor,IX} = 0,6484 \cdot 6,70 = 4,34 \text{ kWh} / \text{m}^2$$

Plocha solárních kolektorů bude podle vztahu (7.14)

$$\text{duben: } A_{k,IV} = \frac{(1+p) \cdot (Q_{TV,den,IV} + Q_{VYT,den,IV} + Q_{BAZ})}{Q_{k,den,IV}} = \frac{(1+0,05) \cdot \left(\frac{2217,2}{30 \text{ dní}} \right)}{4,99} = 15,55 \text{ m}^2$$

$$\text{září: } A_{k,IX} = \frac{(1+p) \cdot (Q_{TV,den,IX} + Q_{VYT,den,IX} + Q_{BAZ,den,IX})}{Q_{k,den,IX}} = \frac{(1+0,05) \cdot \left(\frac{1263,8}{30 \text{ dní}} \right)}{4,34} = 10,18 \text{ m}^2$$

Systém s poloviční plochou kolektorů a plochou absorberu $15,55 \text{ m}^2$ je samozřejmě levnější oproti původní navržené variantě s $39,87 \text{ m}^2$. Díky tomu je však nutné pro měsíc duben a další zimní měsíce dohřívat systém jiným zdrojem tepla tak jak je zobrazeno na (obr. 7-5).

Při výpočtech tepelné bilance budu dále počítat s 9 kolektory Heliostar 400V o celkové ploše absorberu $15,84 \text{ m}^2$ a sklonem kolektoru 45° s orientací na jih.

Rozestupy kolektorů

Kolektory budou umístěny ve dvou řadách o celkovém počtu 9kusů. Druhá řada kolektorů (5ks) bude umístěna za první řadou (4ks) s rozestupem 6,07m podle (obr. 5-12) a výpočtu uvedeného níže. Na základě (obr.5-11) je úhel sklonu slunce β pro prosinec (nedelší stín v roce díky malému sklonu slunce) roven 17° . To znamená, že při dané délce kolektoru $L = 2009 \text{ mm}$ a sklonu kolektoru $\alpha = 45^\circ$ bude minimální délka rozestupu R mezi řadami kolektorů spočítána podle vztahu (3.4).

$$R = P + D = \cos \alpha \cdot L + \frac{\sin \alpha \cdot L}{\operatorname{tg} \beta} = \cos 45^\circ \cdot 2,009 + \frac{\sin 45^\circ \cdot 2,009}{\operatorname{tg} 17^\circ} = 6,07 \text{ m}$$

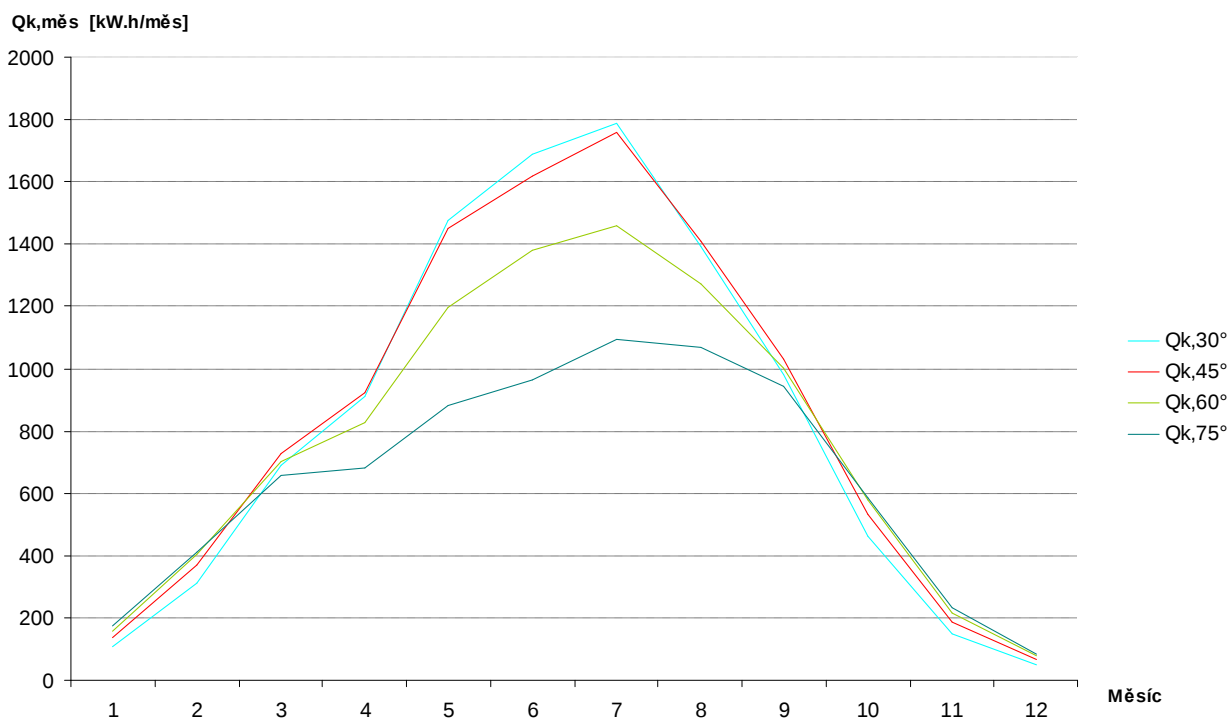
7.5 Tepelná bilance systému

Výpočty tepelné bilance jsou shrnuty do tabulky v příloze A a na jejich základě je provedeno porovnání sklonu kolektoru se získanou energií v (tab.7-12).

Tab. 7-12 Porovnání zisků sluneční energie pro různé sklony kolektorového pole

Sklon kolektoru [°]	$Q_{k,celk,měs}$ [kW.h/měsíc]												$Q_{k,celk,rok}$ [kW.h/rok]
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
30°	106	314	689	913	1477	1687	1788	1393	983	462	149	48	10008
45°	138	369	728	925	1450	1617	1757	1410	1032	533	189	65	10212
60°	160	404	704	827	1196	1381	1460	1273	1002	577	216	79	9278
75°	174	411	659	681	881	964	1093	1068	944	586	233	83	7775

Na základě tohoto porovnání zachycené sluneční energie získané kolektory pro různé sklony vidíme, že čím větší sklon kolektorů, tím jsou zisky energie v letním období menší a kolektory nejsou tolik namáhány a mělo by dojít k větším ziskům energie v období od října do března. Tyto rozdíly v tomto období jsou ovšem zanedbatelné. Poněvadž v našem případě je použit bazén v kterém budou tyto letní přebytky využívány na ohřev bazénové vody na požadovanou teplotu je zvolen celoroční sklon kolektorů na 45°.



Obr. 7-4 Porovnání zisků sluneční energie pro různé sklony kolektorového pole

Tab. 7-13 Účinnost kolektorů a energie zachycená kolektory pro sklon 45°

Měsíc	t_{as} [°C]	$t_m - t_{as}$ [°C]	$I_{stř}$ [W/m ²]	η_k [-]	$Q_{s, den teor}$ [kW.h/m ²]	τ [-]	$Q_{s, den}$ [kW.h/m ²]	$Q_{k, den}$ [kW.h/m ²]
Vztah	[2, tab 2.16]		[2, tab 2.17]	(7.18)	[2, tab 2.9]	[2, tab 2.12]	(7.17)	(7.15)
I	1,70	48,3	412	0,459	3,40	0,18	0,612	0,281
II	2,80	47,2	490	0,522	4,96	0,31	1,538	0,803
III	7,00	43,0	558	0,582	6,70	0,38	2,546	1,483
IV	12,00	38,0	580	0,619	8,06	0,39	3,143	1,946
V	17,20	32,8	600	0,653	9,42	0,48	4,522	2,952
VI	20,20	29,8	590	0,666	9,64	0,53	5,109	3,403
VII	22,10	27,9	600	0,678	9,42	0,56	5,275	3,578
VIII	21,80	28,2	580	0,672	8,06	0,53	4,272	2,871
IX	18,50	31,5	558	0,648	6,70	0,50	3,350	2,172
X	13,10	36,9	490	0,591	4,96	0,37	1,835	1,085
XI	7,70	42,3	412	0,507	3,40	0,23	0,782	0,397
XII	3,50	46,5	344	0,407	2,70	0,12	0,324	0,132

Stagnační teplota:

Problémy stagnace a její omezení je probráno v teor. části v kapitole 5.1.4 pro kolektorové pole. Problém stagnace v letním období je výrazně omezen použitím venkovního bazénu. Na (obr. 7-5) vidíme, že v období od května do srpna dochází k mírnému přebytku energie zachycené kolektorovým polem oproti požadované spotřebě. V květnu tento přebytek činí 299kWh což není zanedbatelná energie. Tento přebytek se ovšem jednoduše uplatní tak, že dojde k ohřátí bazénu na vyšší teplotu, to samé platí u ostatních měsíců kdy nastane přebytek energie. Jelikož při výpočtu těchto max. hodnot teplot bazénu figuruje řada teplotně proměnných veličin byl výpočet proveden v tabulkovém procesoru Excel, který je součástí elektronické verze. V případě ručního výpočtu by se postupovalo podle výpočtů v kapitole 7.2.1 (ohřev bazénu se zakrýváním).

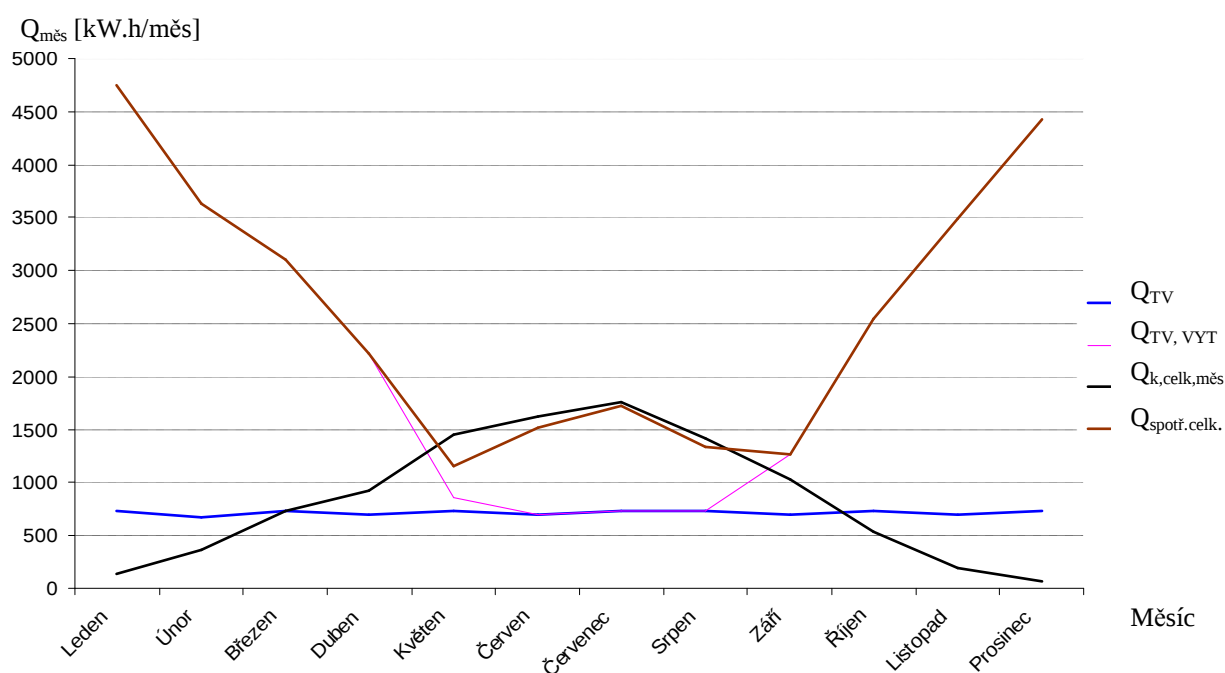
Tab. 7-14 Max. ohřátí bazénu (při současném odběru teplé vody)

Měsíc	Max.teploty v bazénu t_w [°C]	$x_w'' \cdot 10^3$ [kg/kg.s.v.]
Květen	22,65	17,948
Červen	26,20	22,356
Červenec	28,05	25,007
Srpen	26,15	22,287

Tab. 7-15 Tepelná bilance systému

Měsíc	n [dnů]	$Q_{k,celk,měs}$ [kW.h/měsíc]	$Q_{spotř,celk}$ [kW.h/měsíc]	Rozdíl mezi zachycenou energií a spotřebou tepla [kW.h]
Vztah		(7.13)	(tab.7-11)	$\Delta Q = Q_{k,celk,měs} - Q_{spotř,celk}$
I	31	138	4748,0	-4610
II	29	369	3629,6	-3261
III	31	728	3106,1	-2378
IV	30	925	2217,2	-1292
V	31	1450	1150,9	299
VI	30	1617	1516,7	101
VII	31	1757	1723,7	33
VIII	31	1410	1334,1	76
IX	30	1032	1263,8	-232
X	31	533	2549,3	-2016
XI	30	189	3489,8	-3301
XII	31	65	4432,9	-4368
Celkem [kW.h/r]		10212	31162,1	-21459

Pozn. Kladná hodnota rozdílu značí přebytek, záporná hodnota nedostatek energie zachycené kolektory a tudíž potřebu dohřevu.



Obr. 7-5 Roční průběh potřeby tepla a tepla získaného kolektory

Podíl pokrytí spotřeby systému:

Nyní se zkontroluje podíl solárního pokrytí potřeb celého systému. Podle teorie by se mělo solární pokrytí pohybovat při ohřevu TV, vytápění a bazénu mezi 20 až 35%, aby nebyl systém zbytečně předimenzovaný a tím i neekonomický.

Celková spotřeba energie za rok31162,1 kW.h (100%)

Dohřev jiným zdrojem tepla.....21459 kW.h

Získaná energie z kolektorového pole..... 10212 kW.h (32,77%)

Solární pokrytí tedy činí 32,77% a je tedy v očekávaném rozmezí.

Skutečný roční solární zisk na 1m² kolektoru :

$$\frac{Q_{k,celk,rok}}{A_k} = \frac{10212}{15,84} = 644,7 \text{ kW.h} / \text{m}^2$$

Tato hodnota je důležitá pro případný nárok na státní dotaci. Požadovaný minimální solární zisk pro ohřev teplé vody a přitápění je stanoven na 455 kW.h/m² (blíže v kapitole 6.2). Tato hodnota je tedy splněna a je možné o ni požádat.

7.6 Akumulační zásobník

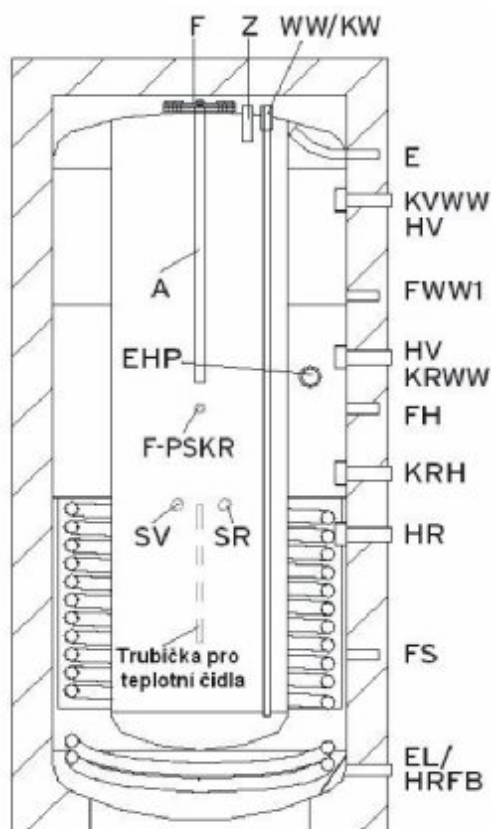
Objem zásobníku závisí na velikosti kolektorového pole. Literatura [15] uvádí doporučené hodnoty minimálně 50 l na m² plochy kolektoru plus 50 l na osobu, popř. 50 až 85 l na m² plochy kolektoru (nižší hodnoty platí v případě, kdy je v létě zajištěn dostatečný odběr energie).

$$\text{Velikost zásobníku: } 60 \cdot A_{k,celk} = 60 \cdot 15,84 = 950 \text{ l}$$

Na základě této hodnoty volím kombinovaný zásobník Kombi PSK950 na ohřev teplé užitkové vody a podporu vytápění. Jedná se o typ „zásobník v zásobníku“. Pitná voda je ohřívána ve vnitřním zásobníku a je vedena po celé délce zásobníku. To zajišťuje hygienicky ohřev s možností velkého odběru teplé vody. V závislosti na použitém otopném systému se díky vrstvení teploty přírodní voda do topení umístí buď do vyšší části zásobníku nebo do nižší části. Ve spodní části se akumuluje topná voda pro solární systém a je zde nejnižší teplota.

Zásobník obsahuje:

- horizontální vrstvicí plechy
- přírubu pro el. topnou spirálu do 6 kW
- elektronickou anodu A
- vstupy pro připojení
- integrovaný bojler na pitnou vodu
- smaltováno podle DIN 4753
- izolace s polystyrénovým pláštěm 120mm



KVWW – Přívod teplé vody z kotle

HV – Odvod do topení (teplá)

KRH – Vrat do kotle (zimní)

HR – Vrat topení

EL/HRFB vypouštění

SV – Přívod od kolektorů (teplá)

SR – Odvod ke kolektorům (studená)

WW – Teplá voda

KW – Studená voda (přívod)

E – Odvzdušnění

Z – Cirkulace teplé vody

FWW1 – Teplotní čidlo

A – Anoda

Obr. 7-6 Schématický řez zásobníkem PSK950 [20].

Tab. 7-16 Technické údaje zásobníku PSK950 [20].

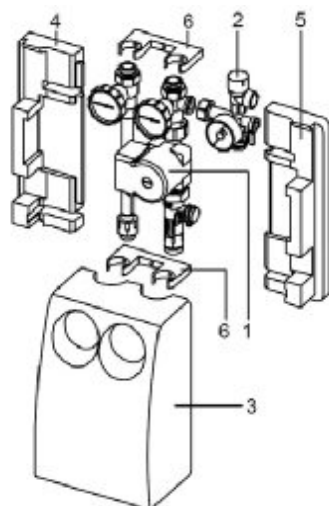
Jmenovitý objem včetně zásobníku teplé vody	950 l
Jmenovitý objem zásobníku teplé vody	250 l
Průměr s izolací	950 mm
Průměr bez izolace	790 mm
H Výška s izolací včetně poklopu	2090 mm
Sklopný rozměr	2145 mm
Hmotnost	240 kg
Max. pracovní tlak vody	10 bar
Max. pracovní tlak topného okruhu	3 bar
Max. pracovní teplota vody	95 °C
Max. pracovní teplota topného okruhu	110 °C
Max. pracovní teplota solárního okruhu	110 °C
Teplosměnná plocha solárního výměníku	3 m ²
Objem solárního výměníku	18,8 l

7.7 Solární instalační jednotka

Solární instalační jednotka zabezpečuje oběh teplotnosné kapaliny, měření a regulace průtoku, uzavření, dodržení max. přetlaku a kontroly solárního okruhu. Solární instalační jednotka **Regusol** dvouvětвовá je určena pro přívodní a vratnou větev. Čerpadlová skupina obsahuje následující komponenty: oběhové čerpadlo, teploměr pro vratnou a topnou větev, vratnou větev s kulovým ventilem a zpětným ventilem, integrovaný průtokoměr, pojistný ventil, tlakoměr, připojení expanzní nádoby, napouštěcí a vypouštěcí ventil a tepelnou izolaci. Výrobce udává doporučený průtok kolektorem 20 – 100 l/h. Volím střední hodnotu 70 l/h na kolektor, pro celé kolektorové pole pak bude průtok 630 l/h. Na základě této hodnoty bylo vybráno čerpadlo Grundfos UPS 25-60 (max. do 40m potrubí). To znamená, že na základě tohoto průtoku a tabulky [5] bude potrubí dimenzováno s rozměrem 22x1mm. Průtok a tlakové ztráty jsou uvedeny v [23].

Tab. 7-17 Parametry jednotky Regusol [23]

Max. přetlak	0,6 MPa (6bar)
Provozní přetlak	0,35 Mpa
Přetlak plynu exp. nádoby	0,25 Mpa
Pojistný ventil	0,6 Mpa
Oběhové čerpadlo	Grundfos UPS 25-60
Příkon 1.stupeň	45W
Příkon 2.stupeň	65W
Příkon 3.stupeň	90W
Max. přepravní objem	4,5m ³ /h
Připojení na primární okruh	Cu potrubí 22x1mm



- 1 – těleso solární instalační jednotky
- 2 – pojistná armatura
- 3 – přední tepelně izolační obal
- 4,5 – zadní tepelně izolační obaly
- 6 – držák

Obr. 7-7 Solární instalační jednotka Regusol [23].

7.8 Regulace solárního okruhu

Regulátor snímá teploty na výstupu ze solárního kolektoru a v zásobníku topné vody. Oběhové čerpadlo solárního kolektoru se spíná na základě zvolené teplotní difference mezi zásobníkem a kolektory. Pokud se teplota v kolektorech zvýší o zvolenou diferenci, regulátor zapne čerpadlo. V případě, že teplota v kolektorech klesne o hodnotu difference, regulátor čerpadlo vypne. Tím je docíleno, že teplo vznikající v kolektorech je hned dodáváno do zásobníku. V případě, že je nedostatek tepla v zásobníku dojde ke zapnutí přídatného zdroje tepla. Priorita ohřevu je stanovena pro ohřev teplé vody následně v letních měsících pro bazén a v dalších měsících pro topnou vodu.

Digitální solární regulátor DX4133 je určený na regulaci systému skládajícího se z solárních kolektorů a dvou regulovaných okruhů, v kterých výměníky tepla odebírají tepelnou energii a odevzdávají ji do jiných částí. Regulátor distribuuje teplonosnou kapalinu podle požadovaných teplot, energetického zisku z kolektorů a priorit do jednotlivých akčních členů (čerpadla, přepínací ventily).

7.9 Teplonosná kapalina

Pro použité kolektory od firmy Thermosolar je doporučena teplovodní kapalina **Solaren EKO**. Je to netoxická, nezapáchající, ekologicky nezávadná kapalina s nízkým bodem tuhnutí. Je roztokem propylenglykolu s inhibitory koroze a stabilizátory. Není vhodná pro styk s pozinkovanými materiály. Životnost náplně v uzavřeném systému je minimálně 6 let. Směs je ředěna v poměru asi 40% propylenglykolu a 60% vody [21].

Na základě výpočtu v kapitole 7.11.1 je celkový objem teplonosné kapaliny 45,95 l.

Tab. 7-18 Charakteristika teplonosné kapaliny Solaren EKO [21]

Základní charakteristika Solaren EKO	
Hustota ρ	1042 – 1052 kg.m ⁻³
Teplota tuhnutí t_t	- 32°C
Specifická tepelná kapacita c	3,4 – 3,5 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Kinematická viskozita ν	5 – 7 cSt
pH	7,5 – 8,5

7.10 Potrubí, izolace

Na základě průtoku 630 l/h teplonosné kapaliny solárním okruhem bude podle [5] potrubí dimenzováno s rozměrem 22x1mm. Rozvody solárního okruhu jsou provedeny měděným potrubím s průměrem 22x1mm dodané výrobcem.

Tepelná izolace potrubí **Therwoolin** je na bázi jemných skleněných vláken s hydrofóbní úpravou kaširovaná zesílenou hliníkovou fólií. Tloušťka izolace je 20mm. Hliníková fólie v místě řezu na vnitřní straně je vybavena samolepícím těsněním. Hustota izolace je 50-60 kg. m⁻³. Tepelná vodivost při 40 °C je 0,035W.m⁻¹K⁻¹. Použitelnost do teploty 250 °C.

7.11 Zabezpečovací zařízení

7.11.1 Expanzní nádoba

Solární systém se provozuje jako uzavřený systém s expanzní nádobou. Dimenzování expanzní nádoby závisí na celkovém objemu kapaliny v systému. Pro solární systémy jsou výhodnější nádoby s vyšším pracovním tlakem, systém je pak méně náročný na zavzdušnění.

Objem kapaliny v kolektoru $V_k = 1,3 \text{ l}$

počet kolektorů $k = 9$

statická výška $h = 10 \text{ m}$

odfukový tlak poj. ventilu $p_{\max} = 0,4 \text{ MPa}$

objemová změna teplotnosné látky $\beta = 0,08$

Objem primárního okruhu V_c

-objem potrubí :

při rozměru potrubí 22x1 je objem 0,314 l/m a délce 35m to znamená $35 \cdot 0,314 = 10,99 \text{ l}$

-ostatní prvky :

sol. hnací jednotka 1 l, výměník zásobníku 18,8 l

$V_c = 10,99 + (1 + 18,8) = 30,79 \text{ l}$

objemová změna náplně $V_z = V_c \cdot \beta = 30,79 \cdot 0,08 = 2,46 \text{ l}$

objemová rezerva $V_v = 1 \text{ l}$

Celkový objem teplotnosné kapaliny primárního okruhu

$V_{\text{celk}} = V_k \cdot k + V_z + V_v + V_c = 1,3 \cdot 9 + 2,46 + 1 + 30,79 = \underline{\underline{45,95 \text{ l}}}$

max. povolený koncový tlak $p_e = p_{\max} - 0,05 = 0,4 - 0,05 = 0,35 \text{ MPa}$

tlak par Solarenu u soustavy $p_d = 0,150 \text{ MPa}$

přetlak na dusíkové straně expanzomatu $p_o = p_d + h \cdot 0,01 = 0,150 + 10 \cdot 0,01 = 0,250 \text{ MPa}$

Velikost expanzní nádoby je tedy podle [5] :

$$V_n = \frac{(V_v + V_z + k \cdot V_k) \cdot (p_e + 0,1)}{(p_e - p_o)} = \frac{(1 + 2,46 + 9 \cdot 1,3) \cdot (0,35 + 0,1)}{0,35 - 0,250} = \underline{\underline{68,22 \text{ l}}}$$

Na základě tohoto výpočtu volím expanzní nádobu zn. Maxivarem LR 80 l s max. tlakem 6 bar.

7.11.2 Pojistný ventil

Pojistný ventil s otevíracím přetlakem 600 kPa zabraňuje poškození solárního systému v případě překročení maximálního tlaku v soustavě. Pojistný ventil je součástí solární instalační jednotky Regusol.

7.12 Technické parametry solárního systému

7.12.1 Složení soustavy a její investiční náklady

Schéma celé soustavy je uvedeno v příloze B, na základě tohoto schématu jsou vybrány potřebné prvky soustavy.

Tab. 7-19 Součásti navrženého solárního systému

Seznam součástí	počet	cena[Kč/ks]	celkem[Kč]
Plochý vakuový kolektor Termosolar H400V	9	20300	182700
Kompaktní zásobník PSK950 [20]	1	68500	68500
Nosná konstrukce pro 2 řady po 4 kolektorech na rovnou střechu	2	7350	1470
Deskový nerezový výměník pro bazén B12/20M	1	10000	10000
Expanzní nádoba Maxivarem LR80 l, 6bar	1	2310	2310
Nemrznoucí kapalina 25 l	2	1395	2790
Digitální solární regulátor DX4133	1	7000	7000
Solární instalační jednotka Regusol dvou-větvová	1	7800	7800
Třícestný rozdělovací ventil VMR Mutmeccanica Tovo	2	1250	2500
Termostatický směšovač ESBE 30MR(35-60°)	1	1250	1250
Minerální izolace Therwoolin (URSA) 20mm s Al fólií pro potrubí 22 mm – cena za 1m	35	63,20	2212
Cu potrubí 22x1mm Supersan, cena za 1m	35	174	6090
Odvzdušňovací ventil	4	192	768
Doprava a montáž			10000
Celková cena solárního systému			305 390 Kč

Pozn. ceny jsou převzaty z ceníku firmy Termosolar [22].

7.12.2 Roční provozní náklady

Roční provozní náklady jsou náklady potřebné na udržení systému v provozu jako je spotřebovaná el. energie čerpadly a řídicí jednotkou, poměrné náklady na teplotonosnou kapalinu, na výměnu čerpadla a servis.

- Výměna teplotnosné kapaliny se doporučuje každých 8 let, při ceně 1395 Kč za 25 l a objemu teplotnosné kapaliny v primárním okruhu 45,95 l je roční cena 320 Kč/rok.
- U čerpadla je uvažována výměna každých 8 let, při ceně 2270 Kč za čerpadlo bude poměrná roční cena 280 Kč/rok.
- Poměrné servisní náklady jsou odhadnuty na 600 Kč/rok.
- Náklady na spotřebu el. energie jsou stanoveny následovně:

Spotřeba el. energie podle [26] :

$$Q_e = t_b \cdot P_e \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (7.19)$$

kde t_b [h] skutečná doba slunečního svitu [2, tab.2.11]
 P_e [W] příkon oběhových čerpadel

Po dosazení dostaneme spotřebu $Q_e = t_b \cdot P_e \cdot 10^{-3} = 1810 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 81,45 \text{ kWh / rok}$

Při ceně el. energie 4,5 Kč/kWh a spotřebě 81,45 kWh/rok dostaneme roční cenu za spotřebu el. energie 366 Kč.

Tab. 7-20 Celkové roční provozní náklady

Roční provozní náklady	cena [Kč/rok]
Náklady na výměnu teplotnosné kapaliny	320
Poměrné náklady na výměnu oběhového čerpadla	280
Servisní náklady	600
Náklady na spotřebu el. energie a řídicí jednotky	366
Celkové provozní náklady	1566 Kč

8 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PROJEKTU

8.1 Současná cena energie

Cena plynu je od 1.4 2009 společností Jihomoravská plynárenská a.s. stanovena následovně:

Tab. 8-1 Cena plynu pro domácnosti [18].

Roční odběr v pásmu nad - do MWh/rok	Dvousložková cena plynu(včetně DPH)	
	Cena za odebraný plyn Kč/MWh	Stálý měsíční plat za přistavenou kapacitu v Kč
do 1,89	1659,44	54,11
nad 1,89 do 9,45	1255,77	96,01
nad 9,45 do 15	1166,59	217,50
nad 15 do 20		238,08
nad 20 do 25		255,10
nad 25 do 30		271,88
nad 30 do 35	1166,59	288,66
nad 35 do 40		305,68
nad 40 do 45		322,69
nad 45 do 50		340,19

8.2 Dohřev systému

Dohřev systému je řešen pomocí stávajícího běžného plynového kotle a proto také budeme počítat spotřebu zemního plynu s účinností tohoto kotle 85%. Při výpočtu ceny plynu se počítá cena dvousložková, tj. cena za odebraný plyn a stálý měsíční plat za přistavenou kapacitu, při ceně podle toho do kterého pásma spadá daný odběr plynu.

Původní spotřeba energie

Celková spotřeba energie za rok (tab.7-15) 31162,1 kW.h (100%)

Roční spotřeba zemního plynu $\frac{Q_{spotř, celk}}{h} = \frac{31162,1}{0,85} = 36661,3 \text{ kW.h}$

Cena při této spotřebě zemního plynu (spadá do kategorie 35-40MWh/r):

$$N_C = (36,6613 \cdot 1166,59) + 12 \cdot 305,68 = 46437 \text{ Kč}$$

Dohřev (při aplikaci solárního systému)

Dohřev plynovým kotlem (tab.7-15) 21459 kW.h

Roční spotřeba zemního plynu-dohřevu $\frac{Q_{dohřeh}}{h} = \frac{21459}{0,85} = 25246 \text{ kW.h}$

Cena dohřevu při použití zemního plynu (spadá do kategorie 25-30MWh/r):

$$N_d = (25,246 \cdot 1166,59) + 12 \cdot 271,88 = 32699 \text{ Kč}$$

Roční úspora financí

-označuje úsporu energie, kterou bychom museli dodat pomocí dohřevu kdybychom nevyužívali solární kolektory.

Získaná energie z kolektorového pole (tab.7-15) 10212 kW.h

Úspora zemního plynu $\frac{Q_{k,celk}}{h} = \frac{10212}{0,85} = 12014 \text{ kW.h}$

Roční úspora zemního plynu

$$N_d = (12,014 \cdot 1166,59) + 12 \cdot 271,88 = \underline{\underline{17278 \text{ Kč}}}$$

8.3 Ekonomické vyhodnocení navrženého systému

Tab. 8-2 Vstupní ekonomické údaje

Investiční náklady	IN = 305 390 Kč		
Půjčená částka - úvěr	N _u = 300 000 Kč		
Roční úspora	V = 17 278 Kč		
Roční provozní výdaje	N _p = 1 566 Kč		
Případná státní dotace	80 000 Kč		
Doba životnosti	T _ž = 20 let		
Doba splatnosti	T _s = 20 let		
Roční míra inflace	p _{inf} = 5%	à	i _{inf} = 0,05
Požadovaná výnosnost	p _v = 6%	à	i _v = 0,06
Úroková sazba úvěru	p _u = 6%	à	i _u = 0,06

Podle ekonomických údajů zjištěných v předchozích kapitolách se vypočte varianta navrženého systému se státní dotací (80 000Kč) a bez státní dotace. Dále se bude počítat varianta s financováním pomocí vlastního kapitálu nebo s financováním pomocí úvěru od České spořitelny na částku 300 000Kč se splatností 20 let a úrokovou sazbou 6%.

Na základě údajů z Českého statistického úřadu [24] je průměrná roční míra inflace za posledních 15 let rovna 5,067%. Proto budu v dalších výpočtech počítat s roční úrokovou mírou 5%. Požadovanou výnosnost volím 6% tedy o něco vyšší než předpokládaná inflace.

Výrobce solární soustavy uvádí dobu životnosti minimálně 20let, proto budeme počítat s touto základní dobou životnosti soustavy.

8.3.1 Financování pomocí vlastního kapitálu

8.3.1.1 Prostá doba návratnosti

A) Varianta bez státní dotace

$$T_n = \frac{IN}{CF_t} = \frac{IN}{(V - N_p)} = \frac{305390}{(17278 - 1566)} = 19,44 \text{ let}$$

B) Varianta se započtením státní dotace

$$T_n = \frac{IN}{CF_t} = \frac{IN}{(V - N_p)} = \frac{305390 - 80000}{(17278 - 1566)} = 14,33 \text{ let}$$

Prostá doba návratnosti navrženého systému činí 19,44 let, při započtení státní dotace se nám doba návratnosti sníží na 14,33 let. Tato metoda ovšem nebere v úvahu časovou hodnotu peněz, tím se zanedbávají efekty po době návratnosti. Výpočet prosté návratnosti nám proto dává pouze orientační představu o ekonomické efektivnosti a nelze jej používat pro vlastní rozhodování.

8.3.1.2 Skutečná doba návratnosti

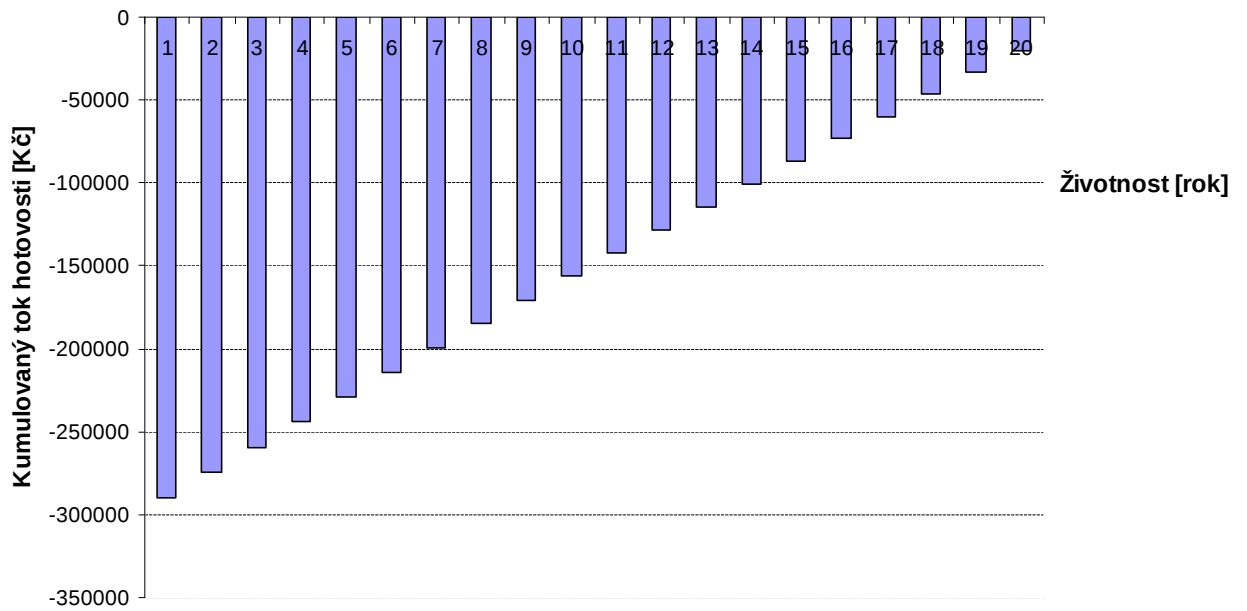
Skutečná doba návratnosti bere na rozdíl od prosté doby návratnosti časovou hodnotu peněz (inflaci). Nastane ve stavu kdy se kumulovaný tok hotovosti dostane do kladných čísel. Funguje na tom principu, že se první rok vynaloží investiční náklady (záporná hodnota) a pak se k ní každý rok přičítá čistá úspora (úspory mínus provozní výdaje) až do stavu kdy nedosáhne kladných čísel a tím je investice splacena (při započtení inflace a požadovaného výnosu).

A) Varianta bez státní dotace

$$T_s = -IN + \sum_{t=1}^{T_z} CF_t \cdot \frac{(1 + i_{\text{inf}})^t}{(1 + i_v)^t} = -IN + \sum_{t=1}^{T_z} (V - N_p) \cdot \frac{(1 + i_{\text{inf}})^t}{(1 + i_v)^t} = -305390 + (17278 - 1566) \cdot \frac{(1 + 0,05)^1}{(1 + 0,06)^1} + (17278 - 1566) \cdot \frac{(1 + 0,05)^2}{(1 + 0,06)^2} + \dots + (17278 - 1566) \cdot \frac{(1 + 0,05)^{20}}{(1 + 0,06)^{20}} = 22 \text{ let}$$

Skutečná doba návratnosti projektu bez státní dotací činí 22 let, která je delší než uvažovaná životnost systému.

Tab. 8-3 Kumulovaný tok hotovosti v jednotlivých letech (bez dotace)

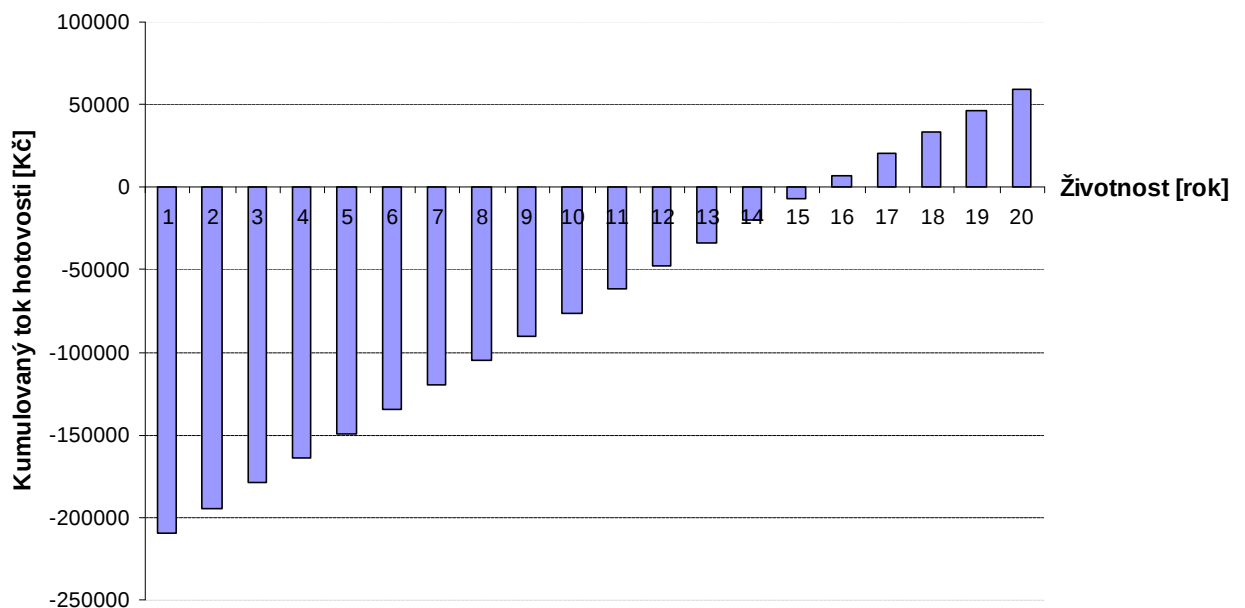


B) Varianta se státní dotací

$$T_s = -IN + \sum_{t=1}^{T_s} CF_t \cdot \frac{(1+i_{inf})^t}{(1+i_v)^t} = -IN + \sum_{t=1}^{T_s} (V - N_p) \cdot \frac{(1+i_{inf})^t}{(1+i_v)^t} = (-305390 + 80000) + (17278 - 1566) \cdot \frac{(1+0,05)^1}{(1+0,06)^1} + (17278 - 1566) \cdot \frac{(1+0,05)^2}{(1+0,06)^2} + \dots + (17278 - 1566) \cdot \frac{(1+0,05)^{20}}{(1+0,06)^{20}} = 16 \text{ let}$$

Skutečná doba návratnosti projektu se státní dotací tedy činí 16 let.

Tab. 8-4 Kumulovaný tok hotovosti v jednotlivých letech (s dotací)



8.3.1.3 Čistá současná hodnota NPV

Při posuzování absolutní výnosnosti platí :

$NPV > 0$ projekt je považován za efektivní, protože zajišťuje požadovanou výnosnost.

$NPV < 0$ projekt je považován za neefektivní, protože nezajišťuje požadovanou výnosnost.

Reálná úroková míra:

$$i_r = \frac{i_v - i_{inf}}{1 + i_{inf}} = \frac{0,06 - 0,05}{1 + 0,05} = 0,009524 \text{ [-]}$$

A) Varianta bez státní dotace

$$NPV_{T\check{z}} = DCF_{T\check{z}} = \sum_{t=1}^{T\check{z}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = \sum_{t=1}^{t=20} \frac{V - N_p}{(1+i_r)^t} - IN$$

$$NPV_{T\check{z}} = \frac{17278 - 1566}{(1 + 0,009524)^1} + \frac{17278 - 1566}{(1 + 0,009524)^2} + \dots + \frac{17278 - 1566}{(1 + 0,009524)^{20}} - 305390 = \underline{\underline{-20494K\check{c}}}$$

Na základě záporného výsledku vidíme, že je tento projekt bez dotace neefektivní, poněvadž nezajišťuje požadovanou výnosnost.

B) Varianta se státní dotací

Peněžní tok je stejný jako u předchozí varianty, jen došlo ke snížení investičních nákladů díky státní dotaci o 80 000 Kč.

$$NPV_{T\check{z}} = DCF_{T\check{z}} = \sum_{t=1}^{T\check{z}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = \sum_{t=1}^{t=20} \frac{V - N_p}{(1+i_r)^t} - IN$$

$$NPV_{T\check{z}} = \frac{17278 - 1566}{(1 + 0,009524)^1} + \frac{17278 - 1566}{(1 + 0,009524)^2} + \dots + \frac{17278 - 1566}{(1 + 0,009524)^{20}} - (305390 - 80000) = \underline{\underline{59506K\check{c}}}$$

Zde je vidět kladný výsledek při požadované výnosnosti a proto můžeme říct, že je projekt efektivní.

8.3.1.4 Metoda vnitřního výnosového procenta IRR

Vnitřní výnosové procento *IRR* je úroková míra, při níž jsou celkové diskontované příjmy rovné pořizovacím nákladům. Vnitřní výnosové procento je tedy maximální úroková míra, při níž projekt ještě není ztrátový. Výpočet byl proveden pomocí tabulkového procesoru excel.

Na základě tohoto vztahu je vypočteno vnitřní výnosové procento.

$$\sum_{t=1}^{T\check{z}} \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = IN$$

A) Varianta bez státní dotace

$$IRR = -0,67\%$$

B) Varianta se státní dotací

$$IRR = 2,42\%$$

Při porovnávání více variant se volí ta, jejíž vnitřní výnosové procento je nejvyšší

8.3.1.5 Index ziskovosti PI

Index ziskovosti je relativní vyjádřením celkových diskontovaných příjmů vztažených k pořizovacím nákladům.

Pro posuzování absolutní efektivnosti platí :

- $PI > 1$ investiční projekt je považován za přijatelný při uvažované výnosnosti.
- $PI < 1$ investiční projekt je považován za nepřijatelný při uvažované výnosnosti.

A) Varianta bez státní dotace

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{T\ddot{z}} \frac{CF_t}{(1+i_r)^t}}{IN} = \frac{\sum_{t=1}^{T\ddot{z}=20} \frac{(V - N_p)}{(1+i_r)^t}}{IN}$$

$$PI = \frac{\frac{(17278-1566)}{(1+0,009524)^1} + \frac{(17278-1566)}{(1+0,009524)^2} + \dots + \frac{(17278-1566)}{(1+0,009524)^{20}}}{305390} = 0,93 [-]$$

Na základě výsledků vidíme, že je $PI < 1$ a tudíž je projekt nepřijatelný stejně jako u metody NPV

B) Varianta se státní dotací

Peněžní tok je stejný jako u předchozí varianty, jen došlo ke snížení investičních nákladů díky státní dotaci o 80 000Kč.

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{T\ddot{z}} \frac{CF_t}{(1+i_r)^t}}{IN} = \frac{\sum_{t=1}^{T\ddot{z}=20} \frac{(V - N_p)}{(1+i_r)^t}}{IN}$$

$$PI = \frac{\frac{(17278-1566)}{(1+0,009524)^1} + \frac{(17278-1566)}{(1+0,009524)^2} + \dots + \frac{(17278-1566)}{(1+0,009524)^{20}}}{305390 - 80000} = 1,26 [-]$$

Na základě výsledků vidíme, že je $PI > 1$ a tudíž je projekt přijatelný.

8.3.2 Financování projektu pomocí úvěru

V případě, že nemáme dostatek vlastního kapitálu můžeme použít financování pomocí úvěru. Byl vybrán úvěr od České spořitelny na částku 300 000 Kč se splatností 20 let a úrokovou sazbou 6%.

Je třeba zjistit výši *ročních anuitních splátek*. Anuitní splátka udává, kolik je třeba každý rok průměrně zaplatit (splátka + úrok), aby byl úvěr splacen v požadované době splatnosti.

Roční anuitní splátka A_r se vypočítá ze vztahů:

$$q = 1 + i_u = 1 + 0,06 = 1,06$$

$$A_r = a \cdot N_u = \frac{(q-1)q^{Ts}}{(q^{Ts}-1)} \cdot N_u = \frac{(1,06-1) \cdot 1,06^{20}}{(1,06^{20}-1)} \cdot 300000 = 26155 \text{ Kč / rok}$$

Čistá roční úspora při realizaci projektu:

$$(V - N_p) = (17278 - 1566) = 15712 \text{ Kč / rok}$$

Na základě těchto výpočtů vidíme, že roční anuitní splátka bance je 26155 Kč/rok, což je výrazně vyšší částka než je čistá roční úspora financí při realizaci projektu, která činí jen 15712 Kč/rok tím by se nám půjčená částka nevrátila v požadované době a nemá cenu dále počítat efektivnost investice.

9 ZÁVĚR

Současný stav

V podmínkách ČR nalézají nejčastější uplatnění solární systémy pro ohřev bazénové vody a pro ohřev teplé vody v letním a přechodném období, kdy je dostatečná sluneční aktivita. Stále častěji se ale i u nás rozvíjejí instalace využívající solární energii pro přitápění. K lokalitám s nejvyšším osluněním patří střední Čechy a jižní Morava, k nejnižším pak oblasti s vyšší nadmořskou výškou. Pro zachycení této sluneční energie pro ohřev teplé vody a přitápění se používají ploché kolektory se selektivní vrstvou nebo vakuové trubicové kolektory, které mají díky použitému vakuu nižší tepelné ztráty a oproti plochým kolektorům vyšší účinnost. Na základě těchto dvou principů vznikl plochý vakuový kolektor, který představuje určitý kompromis mezi těmito kolektory. Tím, že používá vakuum jako izolaci dosahuje nižších tepelných ztrát než "obyčejný" plochý kolektor a má až o 30% větší průměrný roční energetický zisk při stejné ploše absorberu. Při porovnání s vakuovým trubicovým kolektorem si ovšem stojí hůře. Na druhou stranu, abychom dosáhli stejného ročního energetického zisku musely bychom použít více těchto trubicových kolektorů, protože mají menší plochu absorberu čímž se nám zvyšují nároky na zastavěnou plochu střechy a použitím více kusů se investice prodražuje.

V současnosti se používají pro ohřev teplé vody nejvíce používají ploché kolektory se selektivní vrstvou díky jejich přijatelnému poměru cena/výkon. Pro kombinované systémy s přitápěním pak vychází cena systému s plochými kolektory nebo vakuovými trubicovými kolektory téměř stejná a pak závisí na vstupních požadavcích daného systému, který druh se použije. V případech kdy ohříváme jen bazén, kdy stačí ohřát vodu v bazénu jen o několik stupňů, tak úplně stačí použít jednoduchý kaučukový absorber.

Na základě rostoucích cen konvenčních paliv a díky možnosti získat část finančních prostředků na realizaci projektu solárního systému lze očekávat rostoucí trend v počtu instalovaných solárních systémů.

Výsledky práce

Cílem práce bylo navrhnout solární systém pro ohřev teplé vody, bazénu a přitápění podle zadaných vstupních údajů o rodinném domě. Na základě vstupních údajů byla vypočtena spotřeba tepla pro ohřev teplé vody pro 5 osob obývajících rodinný dům, dále spotřeba tepla na vytápění na základě zadané tepelné ztráty objektu a použité otopné soustavy. Tyto teoretické hodnoty byly následně porovnány s hodnotami zjištěnými majitelem rodinného domu v předchozím roce. Při porovnání se zjistilo, že jsou tyto hodnoty podobné. Protože zjištěné hodnoty pravděpodobně více odpovídají skutečné potřebě daného rodinného domu bylo počítáno s těmito hodnotami tepla. Následně bylo nutné spočítat teplo potřebné pro venkovní bazén s plochou 21m². Byly počítány varianty s nočním zakrýváním bazénu a bez zakrývání bazénu. Na základě výpočtů se zjistilo, že se musí používat noční zakrývání bazénu jinak by docházelo v noci k velkému úniku tepla o okolí a na dosažení zadaných teplot by bylo potřeba mnohonásobně více energie a tím i kolektorů což by vycházelo neekonomické. celkové množství energie pro ohřev teplé vody, bazénu a vytápění byla stanovena na 31162 kWh/rok.

Pro návrh daného systému byl vybrán plochý vakuový kolektor, který kombinuje přednosti plochého a vakuového trubicového kolektoru. Na základě tohoto kolektoru a spotřeby tepla byla spočítána potřebná plocha kolektorů pro přechodné měsíce duben a září. Jelikož byla v dubnu

situace méně příznivá vypočetla se tedy kolektorová plocha podle tohoto měsíce na $15,55\text{m}^2$. Počet kolektorů byl tedy zvolen 9 s celkovou plochou absorberu $15,84\text{m}^2$. Jedná se o relativně velkou kolektorovou plochu, které způsobují velké letní přebytky. Tím by mohlo docházet ke stagnaci a s ní spojené k problémy v solární soustavě. Ovšem díky použitému venkovnímu bazénu se tyto problémy velmi výrazně omezí tím, že dojde k využití těchto přebytků na ohřev bazénu. Při stavu kdy je dosaženo požadované teploty bazénu a již není další odběr tepla dojde k nepatrnému zvýšení teploty v bazénu nad požadovanou teplotu. Toto zvýšení není výrazné a činí max. 1°C oproti normálu a nebrání běžnému používání bazénu. Měrný tepelný zisk z kolektorů činí 10212 kWh/rok . To znamená, že solární podíl na celém systému celém činí 32,77 %. Protože solární energie nepokrývá celkovou spotřebu je do systému zařazen dohřev pomocí běžného plynového kotle.

Objem zásobníku byl zvolen na základě doporučeného objemu připadající na kolektorovou plochu. Byl vybrán kombinovaný zásobník typu "zásobník v zásobníku" s objemem 950 l s vnitřním solárním výměníkem. Kde vnitřní zásobník na pitnou vodu má objem 250l a zbytek připadá na topnou vodu. Dále byla vypočtena velikost expanzní nádoby pro solární okruh na jejímž základě byla vybrána vyráběná velikost 80 l a bazénový deskový výměník tepla dle počtu kolektorů a tep. spádu. Regulace celého systému je řešena na základě teplotní difference v jednotlivých okruzích a max. teplot pomocí regulátoru DX 4133. Regulace je nastavena na přednostní ohřev teplé vody až následně pro přitápění nebo bazén. Protože se jedná o celoroční provoz je v solárním okruhu použita nemrzoucí teplotnosná směs Solaren EKO o celkovém objemu 45,95 l. Oběh teplotnosné kapaliny zajišťuje solární instalační jednotka obsahující další komponenty pro měření a regulaci a bezpečnost solárního okruhu. Průtok v kolektorovém okruhu byl stanoven na základě doporučeného průtoku kolektorem a počtem použitých kolektorů na 630 l/h . Při tomto průtoku je doporučeno používat $22\times 1\text{mm}$ Cu potrubí, toto potrubí musí být kvůli omezení ztrát prostupem tepla do okolí dobře izolováno, proto byla použita tepelná izolace o tloušťce 20mm s ochranou proti venkovním vlivům.

Ekonomické vyhodnocení bylo stanoveno na základě ceny investice 305390 Kč a čisté roční úspory energie 15712 Kč/rok (úspory minus provozní výdaje). Při těchto výpočtech bylo počítáno s inflací 5% a požadovanou mírou výnosnosti 6% při definované době životnosti solárního systému 20let. Při vyhodnocení se počítalo s variantou bez dotace a varianta s dotací (80000Kč). Při financování pomocí vlastního kapitálu se došlo k následujícím poznatkům. Varianta bez dotace má skutečnou dobu návratnosti 22let a čistá současná hodnota je záporná tudíž se tato investice do 20 let na základě uvedených dat nevrátí a proto by se nedoporučovala k realizaci. Na druhé straně varianta s dotací má skutečnou dobu návratnosti 16 let a čistá současná hodnota je kladná, proto je tato investice již efektivní a vyplatí se realizovat. Při financování pomocí úvěru 300000Kč s 6% úrokem vychází anuitní splátka 26155 Kč což je výrazně více než uvažované čisté roční úspory energie 15712 Kč/rok . To znamená, že jsme každoročně výrazně v záporných hodnotách a zcela jistě nedojde ke splacení úvěru v požadované době splatnosti 20let.

Jediná efektivní varianta takto navrženého systému je tedy financování pomocí vlastního kapitálu při využití dotace. V budoucnu lze očekávat snížení cen kolektorů a dalšího příslušenství v rámci zvýšeného konkurenčního boje v oblasti solární techniky, která se postupně stává čím dál více využívanou investicí v rámci úspor energie. To by mohlo lépe ovlivnit návratnost těchto systému. Dále by to mohla být i delší životnost těchto soustav, kdy někteří výrobci uvádějí životnost 25 až 30let. Při výpočtech však byla raději použita konzervativní hodnota životnosti 20let.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LADENER, H., SPÄTE, F. *Solární zařízení*. 1. vyd. Praha : Grada Publishing a.s., 2003. 268 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [2] CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. 1. vyd. Praha : T. Malina, 1994. 208 s. ISBN 80-900759-5-9.
- [3] MURTINGER, K., TRUXA, J. *Solární energie pro váš dům*. 2. vyd. Brno : ERA group spol. s r. o., 2006. s. 2. ISBN 80-7366-076-8.
- [4] REMMERS, K-H. *Velká solární zařízení: úvod k navrhování a provozu*. [s.l.] : ERA group, 2007. 315 s. ISBN 8073661101.
- [5] *Solární systémy Ekosolaris : Projekční a montážní návody* [online]. 2006 [cit. 2008-11-04]. Dostupný z WWW: http://www.ekosolaris.cz/blob.php/2_montazni_navod_2006_cast1.zip?files=74.
- [6] *Solární systémy : Ohřev teplé vody* [online]. 2008 [cit. 2008-10-09]. Dostupný z WWW: <http://www.vaillant.cz/download.php?file=616>.
- [7] REINBERK, Z. *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* [online]. ČVUT, fakulta stavební, 2003, 19.9.2005 [cit. 2009-04-06]. Dostupný z WWW: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=47&h=38>. ISSN 1801-4399.
- [8] *ČSN 06 0210 : Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha : Český normalizační institut, 1994. 28 s.
- [9] MATUŠKA, T. *Dimenzování solárních soustav (II) : Příprava teplé vody* [online]. 2007, 16.07.2007 [cit. 2009-04-06]. Dostupný z WWW: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4238>. ISSN 1801-439.
- [10] *Využití solární energie k přitápění rodinných domů* [online]. [2008], 18.03.2008 [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <http://www.solarobchod.cz/cz/reseni/solarni-pritapeni/>.
- [11] RAČEK, J. *Technická mechanika : podklady pro cvičení*. 2. vyd. VUT Brno : [s.n.], 2003. 174 s. ISBN 80-214-2523-7.
- [12] *Solar Irradiation Data* [online]. PVGIS © European Communities. c2001-2007 [cit. 2009-03-09]. Dostupný z WWW: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radmonth.php?lang=sk&map=europe>.
- [13] BERANOVSKÝ, J., TRUXA, J. *Alternativní energie pro váš dům*. 2. vyd. [s.l.] : ERA, 2004. 125 s. ISBN 8086517896.
- [14] *Program „Zelená úsporám“ : Příručka pro žadatele o podporu* [online]. 2009, 08.04.2009 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: http://www.zelenausporam.cz/soubor-ke-stazeni/14/4391-prirucka_pro_zadatele_090408_ver1_2.pdf.
- [15] CHMELA, M. *Ekonomika a řízení* [online]. 2004, 12.09.2007 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: http://www.feec.vutbr.cz/et/skripta/ueen/Ekonomika_a_rizeni_S.pdf.
- [16] CHROMÍK, R; KLEIN, Š. *Stavební tabulky: Vytápění budov, část 1*. 2. vyd. Brno: Artprojekt, spol. s r.o., 2007. 301 s. ISBN 978-80-239-9965-5.
- [17] VALENTA, V., et al. *Topenářská příručka 3 : Návody na projektování tepelných zařízení*. Praha : Agentura ČSTZ, s.r.o., 2007. 376 s. ISBN 978-80-86028-13-2.

- [18] *Ceny paliv a energií : Ceny zemního plynu platné od 1.1.2009* [online]. c2001-2009 , 20.11.2008 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <[18] <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=4&i=13&h=3>>. ISSN 1801-4399.
- [19] *Collector test No.C075 thermosolar H 400* [online]. [2007] [cit. 2009-03-30]. Dostupný z WWW: <www.solarenergy.ch/ltsdocs/lts75e.pdf>.
- [20] *Kompaktní zásobník PSK* [online]. [2008] [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarpower.cz/PSK.pdf>>.
- [21] *Teplonosná kvapalina Solaren EKO* [online]. c1996-2004 [cit. 2009-04-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.thermosolar.sk/>>.
- [22] *Ceník thermosolar* [online]. 2007 , 02.03.2008 [cit. 2009-04-28]. Dostupný z WWW: <http://www.sany.cz/cenik_2007.xls>.
- [23] *Solárna inštalčná jednotka : Regusol* [online]. c1996-2004 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <http://www.thermosolar.sk/files/navody/a0142_3.pdf>.
- [24] *Míra inflace* [online]. c2009 , 12.05.2009 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/mira_inflace>.
- [25] MATUŠKA, T. *Stanovení účinnosti plochého solárního kolektoru* [online]. c2001-2009 , 09.06.2005 [cit. 2009-04-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2552>>. ISSN 1801-4399.
- [26] MATUŠKA, T. *Bilancování reálných přínosů solárních soustav* [online]. 2009 [cit. 2009-05-11]. Dostupný z WWW: <http://solab.fs.cvut.cz/Dokumenty/STP4/3_Matuska.pdf>.
- [27] MATUŠKA, T. *Problematika stagnace u solárních tepelných soustav* [online]. 2006 [cit. 2009-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3462&h=11&pl=49>>. ISSN 1801-4399.
- [28] BUFKA, A. *Solární kolektory v roce 2007* [online]. 2008 , 04.12.2008 [cit. 2009-05-14]. Dostupný z WWW: <<http://download.mpo.cz/get/36690/41023/488873/priloha001.pdf>>.
- [29] *Funkční schéma soustavy* [online]. 2008 [cit. 2009-05-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarpower.cz/default.asp?p=zapojenitopeni>>.

Příloha A Tabulkové a vypočtené hodnoty pro různé sklony kolektorů

Tabulkové hodnoty teoreticky dopadající sluneční energie [2]

Úhel sklonu osluněné plochy α	Teoreticky možná energie dopadající za den na plochu v jednotlivých měsících $Q_{S,den,teor} [kW.h/m^2]$						
	XII	I a XI	II a X	III a IX	IV a VIII	V a VII	VI
30°	2,35	2,96	4,48	6,44	7,98	9,56	9,98
45°	2,70	3,40	4,96	6,70	8,06	9,42	9,64
60°	3,00	3,71	5,26	6,54	7,41	8,09	8,48
75°	3,08	3,90	5,32	6,24	6,44	6,44	6,44

Tabulkové hodnoty střední intenzity slunečního záření [2]

Úhel sklonu osluněné plochy α	Střední intenzita slunečního záření $I_{stř} [W/m^2]$ plochu v jednotlivých měsících						
	XII	I a XI	II a X	III a IX	IV a VIII	V a VII	VI
30°	299	358	443	537	574	609	611
45°	344	412	490	558	580	600	590
60°	382	449	520	545	533	515	519
75°	392	472	526	520	463	410	394

Tabulkové hodnoty pro Brno [2]

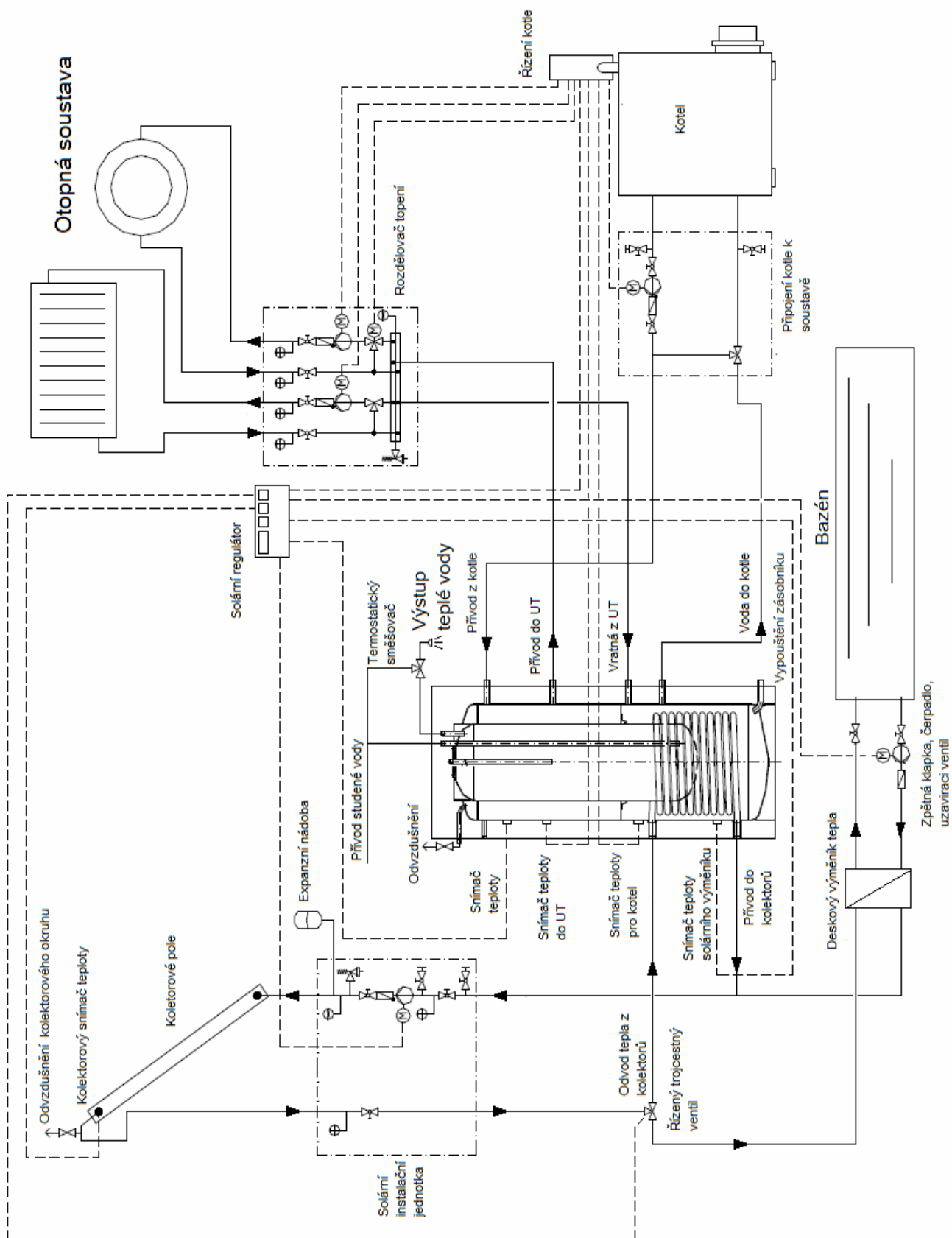
Měsíc	Poměrná doba slunečního svitu $\tau = \tau_{skut} / \tau_{teor} [-]$	Střední teplota vzduchu v době slunečního svitu $t_{as} [^{\circ}C]$	Střední teplota vzduchu v noci $t_{v,n} [^{\circ}C]$	Střední měsíční teplota $t_v [^{\circ}C]$
I	0,18	1,7	-	-2,0
II	0,31	2,8	-	-0,6
III	0,38	7,0	-	3,7
IV	0,39	12,0	-	8,7
V	0,48	17,2	10,6	14,1
VI	0,53	20,2	14,0	16,9
VII	0,56	22,1	15,9	18,8

VIII	0,53	21,8	14,6	17,8
IX	0,50	18,5	10,6	14,0
X	0,37	13,1	-	8,7
XI	0,23	7,7	-	3,6
XII	0,12	3,5	-	-0,2

Vypočtené hodnoty pro různé sklony kolektorů

Úhel sklonu osluněné plochy α	Vypočtená denní dávka slunečního záření $Q_{S, \text{den}}$ [kWh/m ²] pro daný měsíc při použitém sklonu											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
30°	0,533	1,389	2,447	3,112	4,589	5,289	5,354	4,229	3,220	1,658	0,681	0,282
45°	0,612	1,538	2,546	3,143	4,522	5,109	5,275	4,272	3,350	1,835	0,782	0,324
60°	0,668	1,631	2,485	2,890	3,883	4,494	4,530	3,927	3,270	1,946	0,853	0,360
75°	0,702	1,649	2,371	2,512	3,091	3,413	3,606	3,413	3,120	1,968	0,897	0,370
	Vypočtená účinnost použitého kolektoru η_k [-] pro daný měsíc											
30°	0,406	0,492	0,573	0,617	0,655	0,671	0,680	0,671	0,642	0,568	0,462	0,346
45°	0,459	0,522	0,582	0,619	0,653	0,666	0,678	0,672	0,648	0,591	0,507	0,407
60°	0,488	0,539	0,577	0,602	0,627	0,646	0,657	0,660	0,645	0,604	0,532	0,447
75°	0,503	0,542	0,566	0,571	0,580	0,595	0,617	0,637	0,637	0,606	0,546	0,456
	Vypočtený denní měrný tepelný zisk z kolektorů $Q_{k, \text{den}}$ [kW.h/m ²]											
30°	0,216	0,683	1,403	1,920	3,007	3,550	3,642	2,837	2,068	0,942	0,314	0,098
45°	0,281	0,803	1,483	1,946	2,952	3,403	3,578	2,871	2,172	1,085	0,397	0,132
60°	0,326	0,879	1,434	1,740	2,435	2,905	2,974	2,592	2,108	1,175	0,454	0,161
75°	0,353	0,894	1,341	1,434	1,794	2,029	2,226	2,175	1,986	1,193	0,490	0,169
	Vypočtený měsíční tepelný zisk z kolektorů $Q_{s, \text{mēs}}$ [kW.h/měsíc]											
30°	106,2	313,7	689,1	912,6	1476,6	1686,8	1788,1	1392,9	982,5	462,3	149,3	47,9
45°	137,9	368,8	728,1	924,8	1449,8	1617,3	1756,9	1409,9	1032,3	532,8	188,5	64,7
60°	159,9	403,6	704,0	827,1	1195,7	1380,6	1460,5	1272,7	1001,6	577,1	215,8	79,0
75°	173,5	410,5	658,7	681,3	880,7	964,4	1093,0	1068,1	943,9	585,9	232,6	82,8

Příloha B Schéma solární soustavy



Příloha C Parametry kolektoru [19]

Collector Test No. C075

SPF Solartechnik
Prüfung
Forschung

thermo | solar Systemtechnik GmbH, HELIOSTAR 400V-A

1. The following tests have been performed

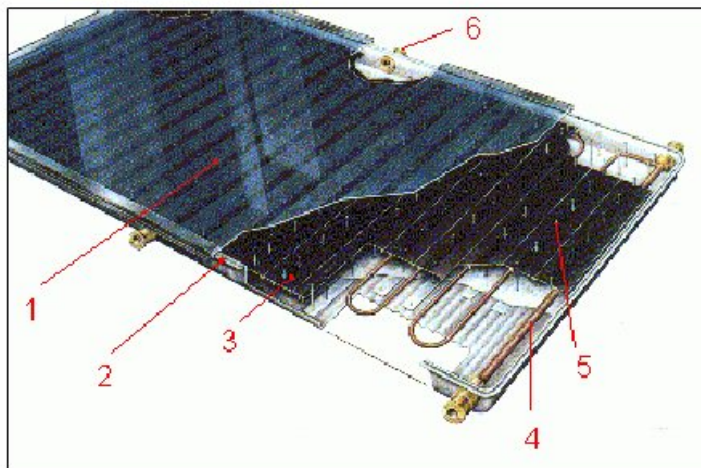
Test	Carried out	Section	Report*
Durability test according to ISO	No	3	LTS C075
Durability test according to prEN	No	3	
Measurement of stagnation temperature	No	3.1	
Efficiency measurement acc. SPF	Yes	4.1	
Efficiency measurement acc ISO, DIN, prEN	No	4.1	
Incidence angle modifier (IAM)	Yes	4.4	
Measurement of pressure drop	No	4.5	
Measurement of thermal capacity	No	4.6	
Measurement of time constant	No	4.6	

* = contact manufacturer for details!

2. Collector description

Contact	thermo solar Systemtechnik GmbH, D-93055 Regensburg
Distributed in *	Tel. +49 (0941) 4 65 03-0, Fax +49 (0941) 4 65 03-54
Type	CH,DE,AT Integrated collector, flat, additional insulation and partial vacuum (p = 0.1 mbar at 20°C)
Assembly	
Installation *	roof-integration, on-roof, flat-roof with frame
Rated flowrate *	100 l/h
Absorber coating *	Nickel-pigmented aluminium oxide
Dimensions (absorber, gross)	1.717 m ² , 2.030 m ²
Gross dimensions: l, w, h (in m)	2.010 x 1.010
Weight including glazing *	60 kg

* = manufacturer information



Legend

- 1 Glazing
- 2 Casing trough
- 3 Absorber
- 4 Heat transfer medium pipe, copper
- 5 Support elements
- 6 Vacuum pump connection

3. Durability test and Swiss quality label

The collector has not been tested for durability.

3.1 Stagnation temperature

Standard values ISO 9806-2 and prEN 12975-2: 30°C / 1000 W/m ²

Collector Test No. C075

SPF Solartechnik
Prüfung
Forschung

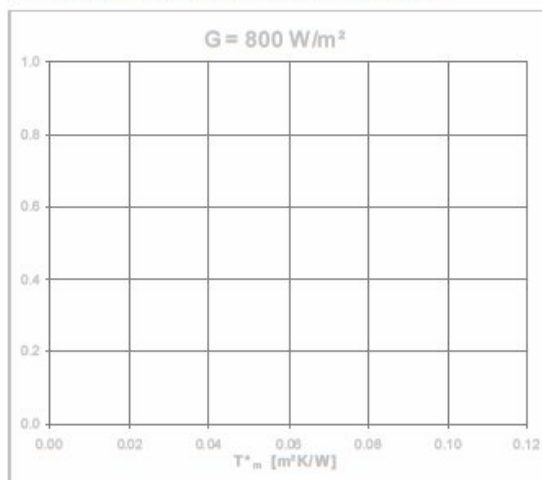
4. Thermal performance (flowrate at test: 103 l/h)

4.1 Efficiency characteristic curve

Measurement with wind (acc. to ISO, DIN, prEN)

Bezugsfläche:	Absorber	Apertur	Brutto
η_0 (-)			
a_1 (W/m ² K)			
a_2 (W/m ² K ²)			

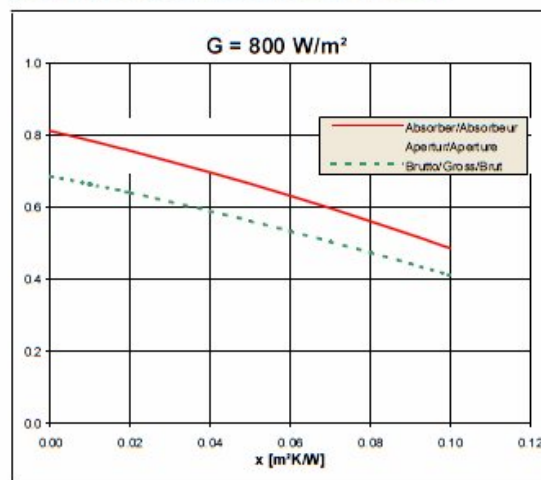
$\eta(T_m^*) = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^* - a_2 \cdot G \cdot T_m^{*2}$ [$T_m^* = (t_m - t_a)/G$]
 t_m : avg. fluid temp, t_a : ambient temperature, G: irradiance



Measurement without wind (acc. to SPF)

Reference area	Absorber	Aperture	Gross
C_0 (-)	0.810		0.685
C_1 (W/m ² K)	2.61		2.21
C_2 (W/m ² K ²)	0.0080		0.0068

$\eta(x) = C_0 - C_1 \cdot x - C_2 \cdot G \cdot x^2$ [$x = (t_m - t_a)/G$]
 t_m : avg. fluid temp, t_a : ambient temperature, G: irradiance



4.2 Characteristic efficiency values (normal incidence, G = 800 W/m²)

Bezugsfläche:	Absorber	Apertur	Brutto
$\eta(T_m^* = 0.00)$			
$\eta(T_m^* = 0.05)$			
$\eta(T_m^* = 0.10)$			

Reference area	Absorber	Aperture	Gross
$\eta(x = 0.00)$	0.81		0.69
$\eta(x = 0.05)$	0.66		0.56
$\eta(x = 0.10)$	0.49		0.41

4.3 Power output (power in watts per collector, normal incidence, beam irradiation)

	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
$t_m - t_a = 10$ K			
$t_m - t_a = 30$ K			
$t_m - t_a = 50$ K			

Irradiation	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
$t_m - t_a = 10$ K	510	927	1'345
$t_m - t_a = 30$ K	410	827	1'244
$t_m - t_a = 50$ K	298	715	1'132

4.4 Incidence angle modifier (IAM)

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$K(\Theta)_{long}$	1.0					0.92				0.0
$K(\Theta)_{trans}$	1.0					0.92				0.0

4.5 Pressure drop in Pa (test fluid 33.3% Ethylenglykol)

	100 l/h	150 l/h	250 l/h	350 l/h	500 l/h
20°C					
60°C					
80°C					

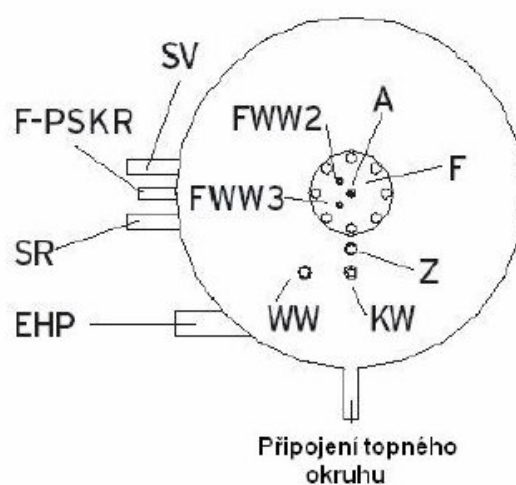
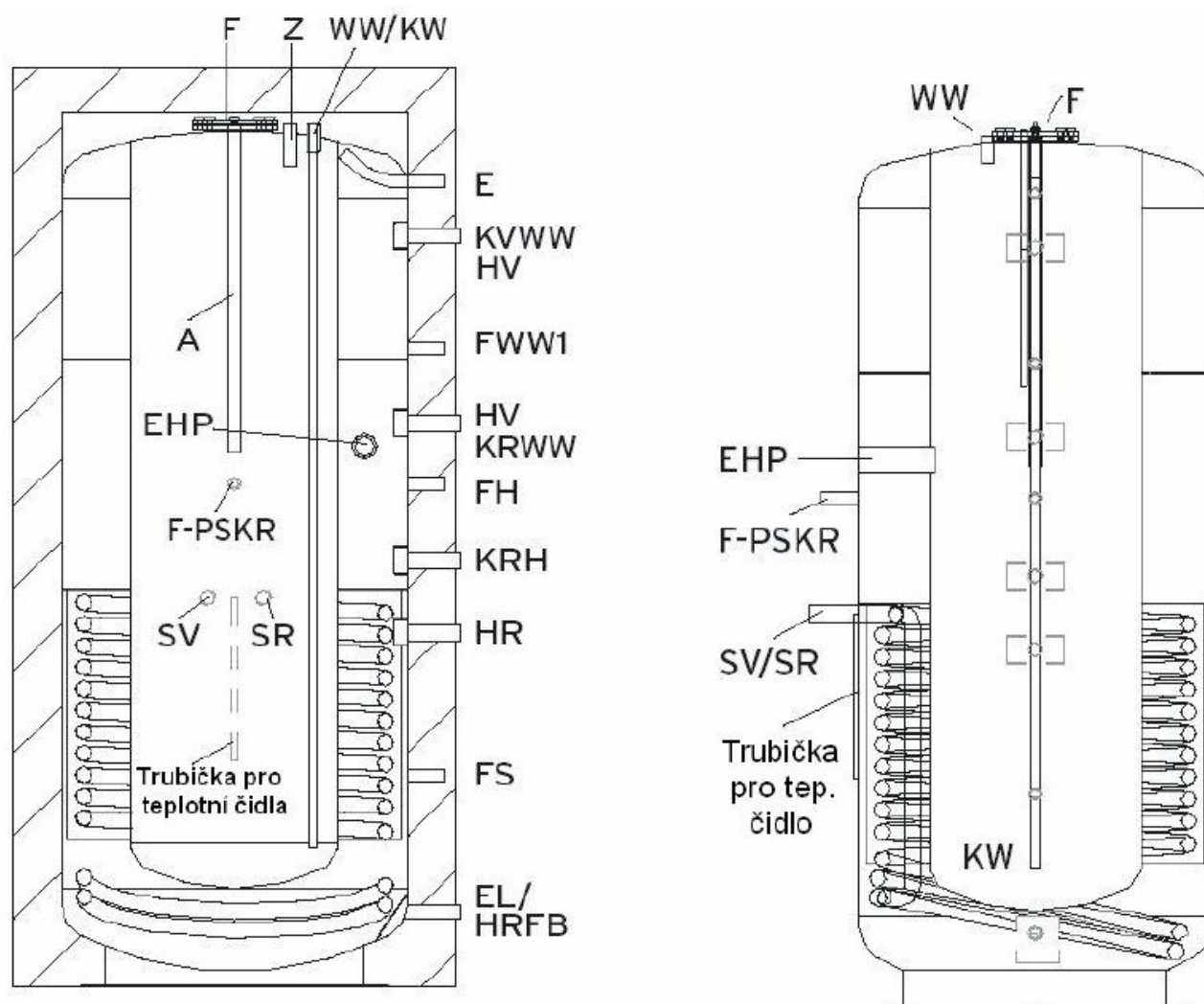
4.6 Thermal capacity and time constant

Thermal capacity (kJ/K)	Time constant (s)

SPF
Hochschule Rapperswil (HSR)
Oberseestr. 10
CH-8640 Rapperswil
<http://www.solarenergy.ch>

Příloha D Technické údaje zásobníku PSK 950 [20]





Technické údaje PSK 750 a PSK950

Technická data	PSK 750	PSK 950
Jmenovitý objem včetně zásobníku TUV	750 l	950 l
Jmenovitý objem zásobníku TUV	250 l	250 l
Průměr s izolací	910 mm	950 mm
Průměr bez izolace	750 mm	790 mm
H Výška s izolací včetně poklopu	1990 mm	2090 mm
Sklopný rozměr	2042 mm	2145 mm
Hmotnost	221 kg	240 kg
Max. pracovní tlak vody	10 bar	10 bar
Max. pracovní tlak topného okruhu	3 bar	3 bar
Max. pracovní teplota vody	95 °C	95 °C
Max. pracovní teplota topného okruhu	110 °C	110 °C
Max. pracovní teplota solárního okruhu	110 °C	110 °C
Teplosměnná plocha solárního výměníku	2,3 m ²	3 m ²
Objem solárního výměníku	14,6 l	18,8 l
KVWW – Přívod teplé vody z kotle	1"	1"
HV – Odvod do topení (teplá) – topný okruh s vyšší teplotou	1550 mm	1630 mm
HV – Odvod do topení (teplá) - topný okruh s nižší teplotou např. podlahové topení	1"	1"
KRWW – Vrat do kotle (letní)	1200 mm	1250 mm
KHR – Vrat do kotle (zimní)	1"	1"
HR – Vrat topení	850 mm	900 mm
EL/HRFB – Vrat z podlahového topení / vypouštění	1"	1"
SV – Přívod od kolektorů (teplá)	720 mm	780 mm
SR – Odvod ke kolektorům (studená)	1"	1"
WW – Teplá voda (TUV)	160 mm	160 mm
KW – Studená voda (přívod)	1"	1"
E – Odvzdušnění	770 mm	830 mm
Z – Cirkulace TUV	1"	1"
Jímky pro čidla (vnitřní průměr x délka)	3/4 "	3/4 "
FH – Čidlo topného okruhu	nahoře	nahoře
FWW1 – Teplotní čidlo	3/4 "	3/4 "
FWW2 – Teplotní čidlo	nahoře	nahoře
FWW3 – Teplotní čidlo	nahoře	nahoře
FS – Čidlo solárního okruhu	450 mm	480 mm
EHP – 1½" Vstup pro el. topnou spirálu	1150 mm	1200 mm
Příruba D/TK/D _A	108/150/182 mm	108/150/182 mm
A – Anoda	nahoře	nahoře
F-PSKR – Uchyacení jednotky PSKR	nahoře	nahoře
	1100 mm	1150 mm