

# **CER<sup>2</sup>**

**Skriptum o solárním ohřevu**

**Prosinec 2005**

## Obsah

<b>1 PROČ VYUŽÍVAT OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE?.....</b>	<b>5</b>
1.1 VÝVOJ A ZMĚNY KLIMATU V POSLEDNÍCH DESETILETÍCH, ŠKODLIVÉ LÁTKY .....	5
1.1.1 Cyklus CO <sub>2</sub> .....	5
1.1.2 Skleníkový efekt.....	5
1.2 ROZVOJ ENERGETICKÝCH ZDROJŮ A JEJICH VYUŽITÍ V PŘÍŠTÍM STOLETÍ .....	6
1.2.1 Světová spotřeba energie.....	6
<b>2 SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE.....</b>	<b>7</b>
2.1 SPEKTRUM SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	7
<b>3 RŮZNÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY A JEJICH MOŽNOSTI VYUŽITÍ.....</b>	<b>9</b>
3.1 FUNKCE A OBLASTI VYUŽITÍ SYSTÉMŮ S PŘIROZENÝM OBĚHEM.....	9
3.2 FUNKCE A OBLASTI VYUŽITÍ SYSTÉMŮ S NUCENÝM OBĚHEM.....	10
3.2.1 Funkce.....	10
<b>4 NEJDŮLEŽITĚJŠÍ KOMPONENTY SOLÁRNÍHO SYSTÉMU.....</b>	<b>11</b>
4.1 KOLEKTORY.....	12
4.1.1 Tok energie kolektorem.....	12
4.1.2 Parametry kolektorů.....	12
4.1.3 Plochý kolektor.....	13
4.1.4 Vakuový kolektor.....	14
4.1.5 Bazénový absorbér .....	15
4.1.6 Testování a parametry kolektoru.....	16
4.2 POTRUBÍ.....	16
4.3 TEPELNÁ IZOLACE.....	17
4.4 EXPANZNÍ NÁDOBA.....	18
4.4.1 Obecná charakteristika .....	18
4.4.2 Kapalina v nádobě .....	18
4.4.3 Vstupní tlak v expanzní nádobě.....	18
4.4.4 Montáž.....	19
4.5 TEPLONOSNÉ MEDIUM.....	19
4.5.1 Obecná charakteristika.....	19
4.6 ZÁSOBNÍKY.....	20
4.6.1 Požadavky na tepelné zásobníky v souvislosti se solárními zařízeními .....	20
4.6.2 Zásobníky ohřáté pitné vody.....	21
4.6.3 Zásobník.....	22
4.7 VÝMĚNÍKY TEPLA.....	23
4.7.1 Obecná charakteristika .....	23
4.7.2 Deskové výměníky .....	23
4.7.3 Trubkové výměníky.....	24
4.8 ODVZDUŠŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	25
4.9 POJISTNÝ VENTIL .....	26
4.10 ZPĚTNÁ KLAPKA.....	26
4.11 OBĚHOVÉ ČERPADLO (SOLÁRNÍ PUMPA).....	26
4.11.1 Obecná charakteristika.....	26
4.11.2 Křivka čerpadla a provozní bod.....	27
4.11.3 Exkurz: Tlaková ztráta v solárním okruhu a dimenzování čerpadla .....	28
4.12 VIZUÁLNÍ MĚŘICÍ A KONTROLNÍ ZAŘÍZENÍ.....	30
4.13 REGULACE.....	31
4.13.1 Způsoby regulace.....	31
<b>5 VÝPOČET SPOTŘEBY TEPLA – OBECNÁ CHARAKTERISTIKA.....</b>	<b>32</b>
5.1 VÝPOČET SPOTŘEBY TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ .....	32
5.2 VÝPOČET SPOTŘEBY TEPLÉ VODY.....	32
5.2.1 Výpočet spotřeby teplé vody v rodinných domech.....	32

<b>6 SOLÁRNÍ SYSTÉMY A JEJICH DIMENZOVÁNÍ PRO RODINNÉ DOMY .....</b>	<b>36</b>
6.1 SOLÁRNÍ SYSTÉMY K OHŘEVU TEPLÉ VODY .....	36
6.1.1 Solární systém pro ohřev teplé vody .....	36
6.1.2 Dimenzování kolektorové plochy a objemu zásobníku na teplou vodu.....	37
6.1.3 Faktory ovlivňující sklon a orientaci kolektorové plochy.....	40
6.2 SOLÁRNÍ SYSTÉMY NA OHŘEV TEPLÉ VODY A PODPORU VYTÁPĚNÍ MÍSTNOSTÍ .....	41
6.2.1 Typické hydraulické koncepty systémů na vytápění.....	41
6.2.2 Dimenzování solárních systémů na vytápění.....	53
<b>7 MINIMALIZACE TEPELNÝCH ZTRÁT.....</b>	<b>59</b>
7.1 POČET ZÁSOBNÍKŮ A JEJICH IZOLACE.....	59
7.2 TEPELNÉ ZTRÁTY ZÁSOBNÍKU.....	59
7.2.1 Systémy s jedním zásobníkem místo systémů s více zásobníky.....	60
7.3 TEPELNÉ ZTRÁTY A PŘÍKONVODNÍ POTRUBÍ.....	61
<b>8 INSTALACE A MONTÁŽ ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>63</b>
8.1 BEZPEČNOST PRÁCE NA STŘEŠE.....	63
8.2 MONTÁŽ SOLÁRNÍHO OKRUHU.....	64
8.2.1 Potrubí kolektorového okruhu.....	64
8.3 MONTÁŽ A UMÍSTĚNÍ REGULAČNÍCH ČIDEL .....	65

**Vydal:**

*arsenal research*  
1210 Wien, Giefinggasse 2

**Autoři:**

Friedrich Brandstetter	arsenal research
Christian Fink	AEE-Intec
Richard Riva	AEE-Intec
Jan Schindl	arsenal research

Skriptum se opírá o přípravné práce, které byly částečně provedeny v rámci projektu EU -Interreg III A „Solar – Net II“.

Zvláštní poděkování na tomto místě patří Magistrátnímu oddělení 22 – Ochrana životního prostředí a koordinace ochrany klimatu města Vídně, díky jejichž podpoře mohly vzniknout podklady a tím i vzdělávací kurz „Certifikovaný instalatér solárního vytápění“ nebo „Certifikovaný projektant solárního vytápění“.



Zhotovení podkladů pro vzdělávací kurz „Certifikovaný instalatér solárního vytápění“ a „Certifikovaný projektant solárního vytápění“ bylo financováno Spolkovým ministerstvem zemědělství, lesnictví, životního prostředí a vodního hospodářství. Toto školení slouží jako základ pro výukové podklady na téma solárního ohřevu v projektu EU-Interreg IIIB CER2, v jehož průběhu bylo vypracováno toto skriptum.



# 1 Proč využívat obnovitelné zdroje energie?

## 1.1 Vývoj a změny klimatu v posledních desetiletích, škodlivé látky

Ropa vládne světu. Při hlubším zamyšlení se tato heslovitá formulace nezdá být až tak přehnaná: Nejbohatší státy světa se nacházejí v oblastech, kde jsou největší zásoby ropy. Mnohé války a konflikty se točily a točí kolem ropy. Příkladem nám může být Hitlerovo válečné tažení z Ruska na ropná pole v Baku, válka o Kuvajt v Golském zálivu nebo intervence Američanů v Iráku.

Světové hospodářství je vysokým podílem závislé na kolísání cen ropy. Pět největších koncernů světa je z oboru ropného hospodářství nebo automobilového průmyslu. Politikou určovaná cena ropy působí i na další fosilní zdroje energie – především zemní plyn a uhlí.

Pokud má být energetické hospodářství v budoucnosti smysluplné, je třeba ho změnit:

- využívat efektivně energii
- zabránit produkci látek, které poškozují ekosystém
- zabránit uvolňování dodatečné energie

Je nutné využívat energii, která je nepřetržitě vyzařována sluncem: buď přímo jako sluneční a větrnou energii nebo s časovou prodlevou jako energii, která se hromadí v půdě. Dále je možné využívat obnovitelnou biomasu nebo energii vody.

### 1.1.1 Cyklus CO<sub>2</sub>

Z přehledu toků uhlíku vyplývá, že uhlík, který se do atmosféry dostává navíc díky lidským aktivitám, představuje v jeho celkovém oběhu pouze malé procento. Ovšem i toto malé množství ohrožuje stabilitu citlivého systému cirkulace.

Po milióny let byl obsah CO<sub>2</sub> ve vzduchu přibližně stejný. Od počátku industrializace a masivního spalování fosilních látek za uvolňování enormního množství CO<sub>2</sub> stoupá jeho množství v atmosféře a dosahuje nových maximálních hodnot. K tomu přispívá také kácení dřeva a vypalování rozsáhlých lesních ploch.

### 1.1.2 Skleníkový efekt

Země absorbuje viditelné, krátkovlnné záření s vlnovou délkou mezi 0,3 a 3,0 μm. Následkem toho se otepluje zemský povrch a atmosféra. Ohřátá tělesa vyzařují v závislosti na své teplotě záření v rozsahu vlnových délek mezi 3 a 30 μm (dlouhovlnné tepelné záření).

Molekuly CO<sub>2</sub> jsou schopny na základě svých fyzikálních vlastností zachytit část energie, kterou jako dlouhovlnné tepelné záření vyzařuje Země. Tento efekt se označuje jako skleníkový, protože vrstva CO<sub>2</sub> v atmosféře se dá srovnat s jednou skleněnou tabulí skleníku. Bez přirozeného skleníkového efektu by byl život na Zemi v současné formě nemyslitelný. Průměrná teplota by klesla ze současných +16 °C na -18 °C.

Díky spalování fosilních zdrojů energie, především uhlí, ropy a zemního plynu, se prudce zvýšilo množství uvolněného CO<sub>2</sub>, takže příroda již nemůže kompenzovat tento nárůst. Výsledkem toho je další skleníkový efekt, se kterým souvisí zvyšování průměrné teploty Země.

## 1.2 Rozvoj energetických zdrojů a jejich využití v příštím století

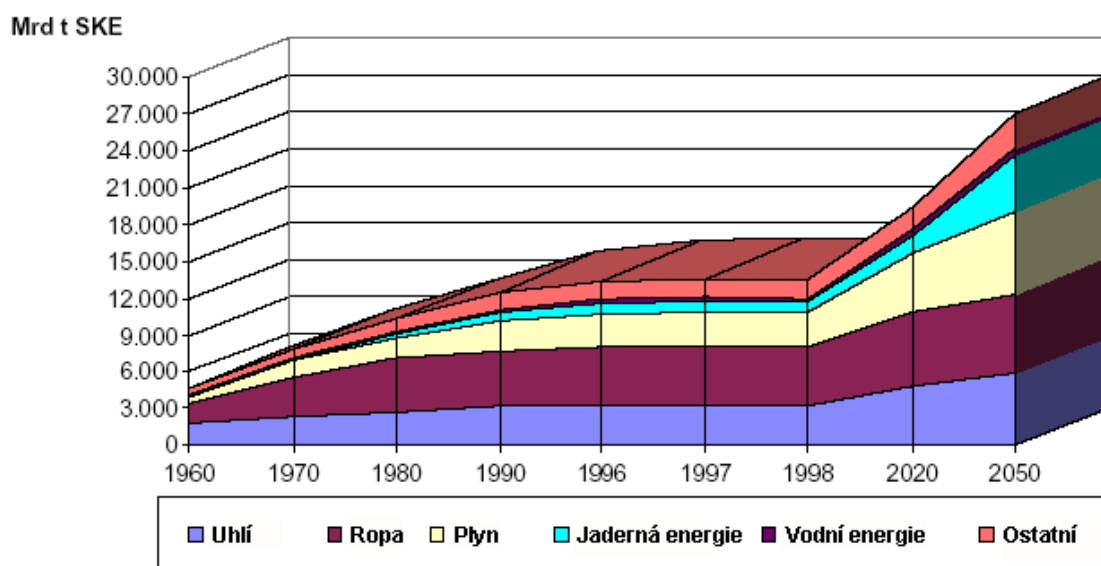
### 1.2.1 Světová spotřeba energie

V nadcházejících desetiletích bude významně stoupat spotřeba energie na celém světě. Důvodem je zejména nárůst populace v rozvojových zemích a snaha nově industrializovaných států o hospodářský růst a zvýšení životního standardu obyvatelstva.

Mezinárodní energetická agentura předpovídá, že do roku 2020 stoupne poptávka po energii o více než 40 %. Scénáře, které sahají až do roku 2050, považují za pravděpodobné, že v tomto roce se ve srovnání s rokem 1998 zdvojnásobí světová spotřeba energie.

Hlavní břemeno zásobování energií ponесou i do budoucna klasické zdroje energie – ropa, zemní plyn a uhlí, přičemž ale zásoby ropy a plynu se přibližně ze 4/5 orientují na politicky a hospodářsky nestabilní krizové oblasti světa.

Ve všech rozvíjených scénářích se píše o tom, že obnovitelné energie budou významně přispívat k energetickému zásobování. Současně je ale nezbytné snižovat spotřebu energie.



Obr. 1.1: Světová spotřeba energie

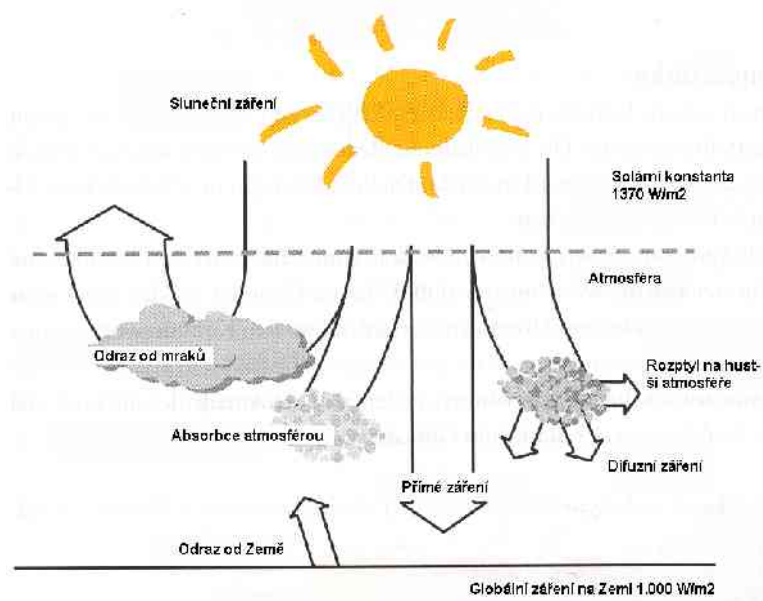
## 2 Slunce jako zdroj energie

### 2.1 Spektrum slunečního záření

Sluneční záření je na své cestě zemskou atmosférou díky molekulám vzduchu, páry a pevným prachovým částicím redukováno odrazem, absorpcí a rozptylem. Úbytek záření je tím větší, čím delší je jeho cesta zemskou atmosférou. Sluneční záření se skládá ze záření různých vlnových délek neboli frekvencí.

#### Globální záření

Výkon záření, které dopadá na rovný povrch Země, se nazývá „globální záření“. Skládá se z přímého a difúzního (rozptýleného) záření. Přímé záření dopadá na zemský povrch bez vychýlení a tvoří ostře ohraničený stín. Difúzní záření je rozptýlené do všech směrů na prachových částicích nebo kapkách vody (viz obr. 2.1). Nevytváří stín a nedá se koncentrovat zrcadly nebo čočkami jako přímé záření. V závislosti na denní době, oblačnosti a mlze dopadá na Zemi až 1.000 W/m<sup>2</sup> globálního záření, přičemž podíl difúzního záření se ve střední Evropě pohybuje mezi 40 a 60 %.



Obr. 2.1: Sluneční záření a globální záření dopadající na Zemi

#### Intenzita záření

Pokud posuzujeme výkon globálního záření na definovanou plochu, hovoříme o intenzitě záření. Z fyzikálního hlediska představuje intenzita záření výkon na plochu - jednotka W/m<sup>2</sup> nebo kW/m<sup>2</sup>. Intenzita záření je velmi proměnlivá. Od zatažené oblohy s přibližně 50 W/m<sup>2</sup> mohou hodnoty dosáhnout až 1.000 W/m<sup>2</sup> a za optimálních podmínek dokonce i 1.200 W/m<sup>2</sup>.

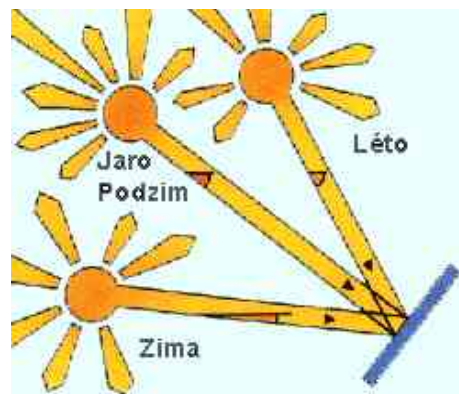
## Denní a roční průběh

Výkon záření Slunce na horním okraji zemské atmosféry se nemění a dosahuje cca 1.360 W/m<sup>2</sup> (solární konstanta). Sluneční energie, která dopadá na Zemi, se mění v závislosti na zeměpisné šířce, poloze, ročním období a denní době. Díky sklonu zemské osy jsou u nás dny v létě delší než v zimě a Slunce dosahuje vyšších poloh v letní polovině roku než v zimní. Podle toho, jak se mění intenzita záření v průběhu dne, kolísá i výkon kolektorů.

## Orientace a sklon kolektoru

Účinnost solárních kolektorů je závislá na sklonu plochy, která zachycuje sluneční paprsky, na světové straně a ročním období (srov. obr. 2.2). Nejpříznivější účinnosti solárního kolektoru se dosáhne tehdy, když sluneční záření dopadá v pravém úhlu. Protože slunce během dne a v průběhu roku neustále mění svoji polohu, je třeba stanovit optimální průměrný úhel sklonu.

Sklon kolektorové plochy by měl být zvolen tak, aby se v hlavním využitelném čase získalo optimální množství energie. Pro náš stupeň zeměpisné šířky se vysokého zisku solární energie dosáhne při sklonu mezi 30° a 60°.



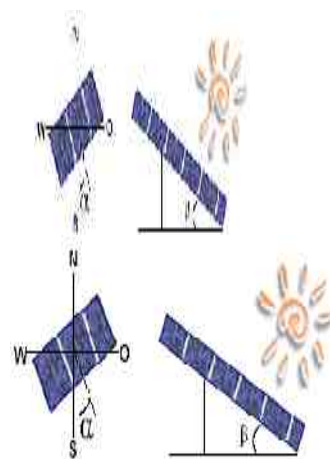
Obr. 2.2: Úhel dopadu slunečního záření v různých ročních obdobích

## Důležité pojmy:

Pro efektivní využití slunečního záření jsou kolektory nastaveny tak, aby mohly přijímat co nejvíce solární energie. Kromě úhlu dopadu slunečního záření hrají důležitou roli také „azimutový úhel“ a „úhel sklonu“ kolektoru.

**Azimutový úhel  $\alpha$**  udává, kolik stupňů představuje odklon ploch modulu nebo kolektoru od přesné orientace na jih (0 stupňů). Orientace na východ se značí -90° a na západ +90°. **Úhel sklonu  $\beta$**  popisuje odklon od horizontály.

Jako **výškový úhel Slunce** nebo **výška Slunce  $h$**  se označuje úhel mezi polohou Slunce a horizontem. Výška Slunce se mění v závislosti na ročním období a zeměpisné šířce lokality.



Obr.2.3: Azimutový úhel (nahore) a úhel sklonu (dole)

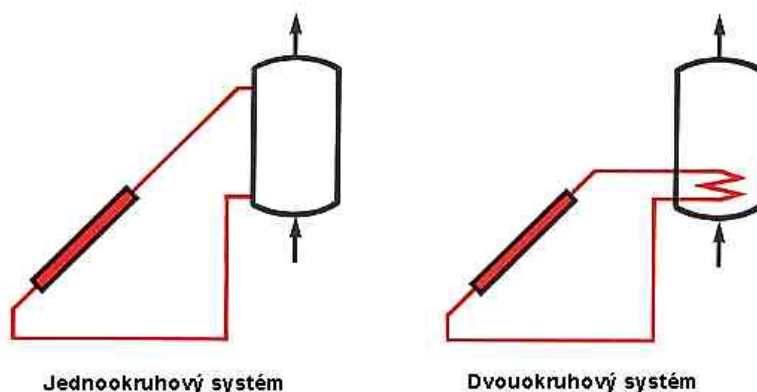


### 3 Různé solární systémy a jejich možnosti využití

#### 3.1 Funkce a oblasti využití systémů s přirozeným oběhem

Obě systémové koncepce – přirozený oběh (tzv. samotížné systémy) a nucený oběh – jsou využívány zejména s ohledem na geografickou polohu. Ve slunečných zemích (především na jihu, kde nehrozí nebezpečí mrazu) se využívají systémy s přirozeným oběhem s nízkými náklady. Obr. 3.1 představuje jedno- a dvouokruhový systém s přirozenou cirkulací. Nesmí se zapomenout, že jednookruhový systém musí být při nebezpečí mrazu vyprázdněn. U dvouokruhového systému se v kolektorovém okruhu obvykle nachází nemrzoucí kapalina. Nevýhodou je použití přídavného tepelného výměníku.

U systémů s přirozeným oběhem vzniká cirkulace na základě rozdílů hustot média, obvykle vody. Díky zahřívání se jeho hustota zmenšuje a horké médium stoupá. Zároveň dolů proudí chladnější médium a ohřívá se na kolektoru – cirkulace začíná od začátku. Zásobník nebo tepelný výměník musí být proto umístěn na nejvyšším bodě, aby se dosáhlo optimálního přechodu tepla. Obr. 3.2 ukazuje příklad takového zařízení, kdy zásobník je integrován v celek s kolektory.



Obr. 3.1: Jedno- a dvouokruhový samotížný systém

#### Výhody

- nízké pořizovací náklady
- jednoduchá montáž
- montáž svépomocí (stavebnicový systém) je možná
- provoz bez elektřiny
- minimální náklady na údržbu
- bezproblémové úplné vyprázdnění kolektoru je možné

#### Nevýhody

- zásobník musí být umístěn nad kolektory (potřeba místa)
- krátký sluneční svit se nedá téměř využít



Obr. 3.2: Příklad samotížného kompaktního zařízení

## 3.2 *Funkce a oblasti využití systémů s nuceným oběhem*

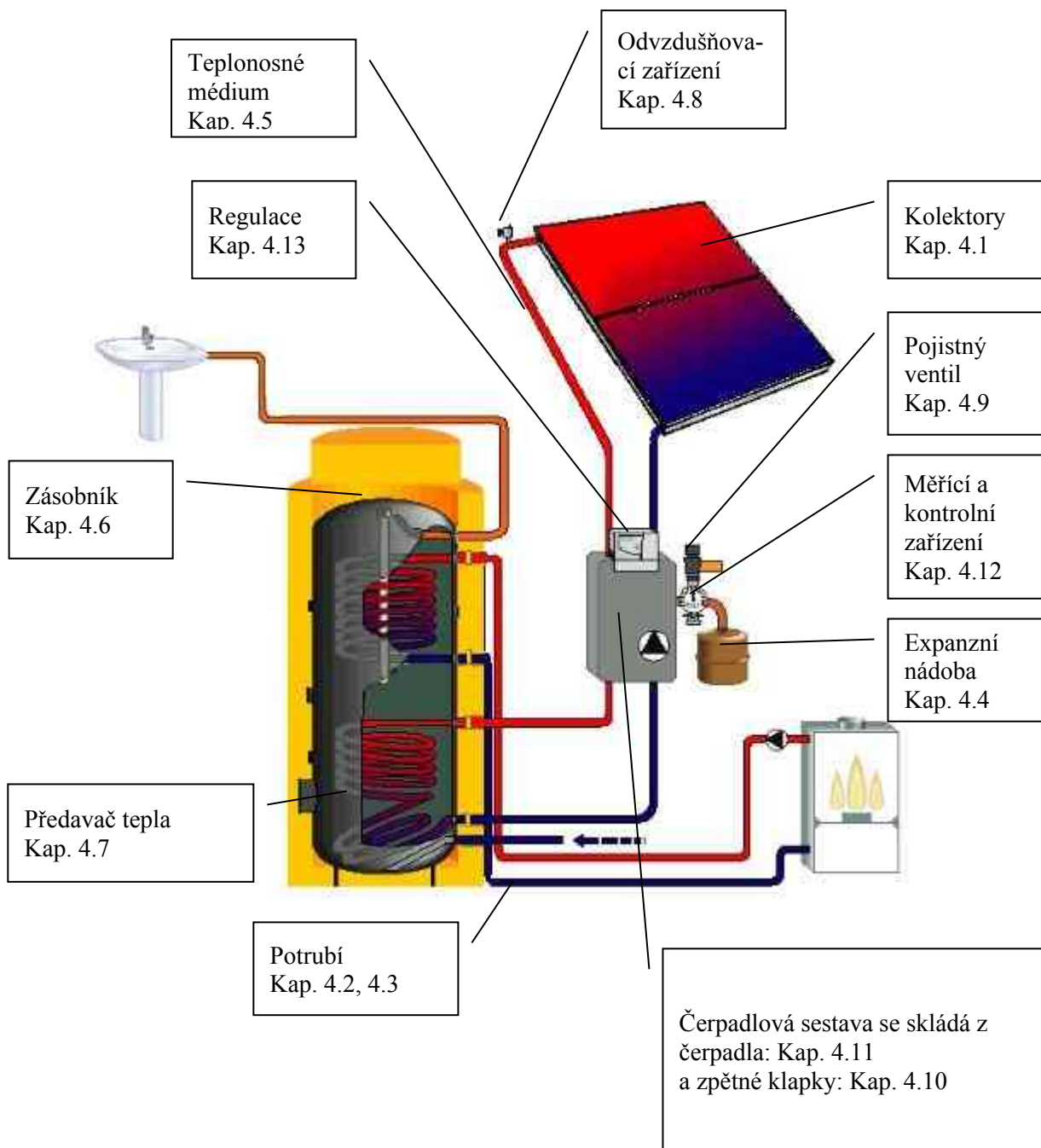
### 3.2.1 **Funkce**

Systémy s nuceným oběhem na rozdíl od systémů samotížných mají v okruhu integrované oběhové čerpadlo, které přečerpává teplotně médium. To je nutné z toho důvodu, že se kolektor většinou nachází na nejvyšším místě zařízení a zásobník v kotelně, která bývá situována v nejspodnější části domu. Cirkulace na základě rozdílu hustot teplotně média tak není možná, proto musí být uvedeno do pohybu čerpadlem.

- Efektivita systémů s nuceným oběhem je vyšší než efektivita systémů s přirozeným oběhem.
- Většinou není prostor na to, aby mohl být zásobník umístěn na vyšším místě, než kolektory.
- Do zásobníku je dodatečně zapojeno dotápění nebo je zásobník centrálním elementem celé topné soustavy, pročež by měl být celý systém umístěn v jedné místnosti.

## 4 Nejdůležitější komponenty solárního systému

Úvodní grafika představuje vzorové zařízení a jeho komponenty. Jedná se o zařízení k ohřevu pitné vody s dotápěním prostřednictvím kotle.



*Zdroj: Wagner Solar*

## 4.1 Kolektory

### 4.1.1 Tok energie kolektorem

Sluneční záření dopadá na transparentní kryt kolektoru. Část záření se odráží od krytu, část se odráží od absorberu a opouští kolektor přes kryt. Záření přijaté absorberem (= krátkovlnné záření) se přeměňuje na teplo. Toto záření je částečně opět vydáváno ve formě dlouhovlnného tepelného záření. Dodatečné tepelné ztráty vznikají na zadní straně absorberu a na základě proudění vzduchu v kolektoru (konvekce). Proto by měl být kolektor za absorberem a také po stranách dobře tepelně izolován.



Obr.4.1: Ztráty energie na plochém kolektoru

### 4.1.2 Parametry kolektorů

#### Kolektorová křivka

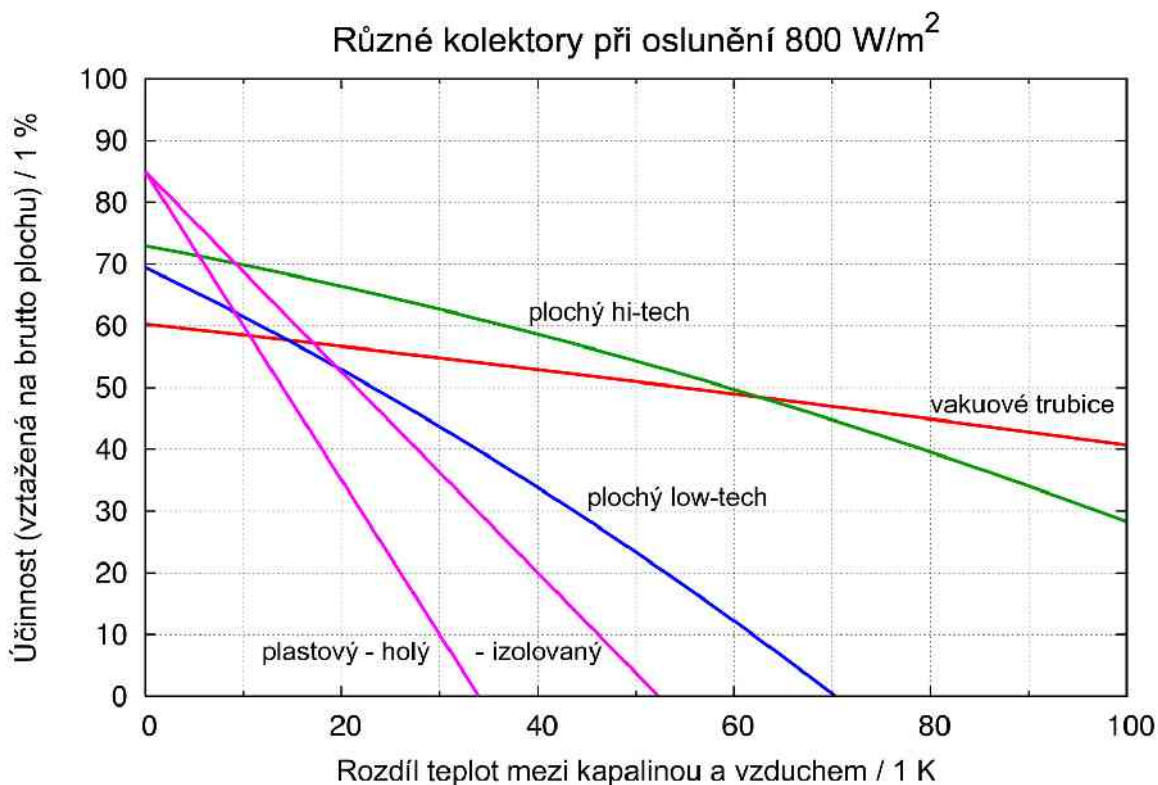
Kolektorová křivka charakterizuje příslušný kolektor a jeho výkonnost. Označuje se také jako křivka účinnosti.

Kolektor se zahřívá díky slunečnímu záření a sám také vyzařuje teplo (tepelné ztráty). Čím teplejší je kolektor a čím větší jsou tedy teplotní rozdíly mezi ním a okolím, tím také vyzařuje více tepla do okolí. Využitelnou energii tedy představuje přijatá sluneční energie po odečtení tepelných ztrát kolektoru. Čím vyšší jsou tepelné ztráty, tím je účinnost nižší.

Z obr. 4.2 se dají dovodit výhodné oblasti využití pro současné typy kolektorů. Bazénový absorber se využívá k ohřevu vody v bazénu, jejíž teplota se od okolní teploty liší pouze o několik °C. Teplotní rozdíl mezi bazénovým absorberem a okolím je tedy velmi malý. V této oblasti mají bazénové absorbery vysokou účinnost. Protože nemají selektivní povrch, kryt a tepelnou izolaci, nejsou příliš horké, čímž jsou také ztráty vyzařováním velmi nízké. Na druhou stranu je energetická účinnost při vyšších teplotních rozdílech s okolím nízká, jak také ukazuje velmi strmá křivka.

Ploché kolektory a vakuové trubkové kolektory mají o něco nižší optickou účinnost ( $\eta_0$ ), než bazénové absorbery. To vyplývá ze ztrát odrazem skleněného krytu. Ploché a vakuové trubkové kolektory pracují oproti bazénovým absorberům za vyšších teplotních rozdílů s okolím s mnohem větší efektivitou.

Nejplošší křivku mají vakuové trubkové kolektory, protože u nich díky přítomnosti vakua odpadají další tepelné ztráty způsobené konvekcí (proudění vzduchu v kolektoru). Takové kolektory mohou být použity k výrobě procesního tepla, protože i při velmi vysokých teplotních rozdílech pracují s velkou efektivitou.

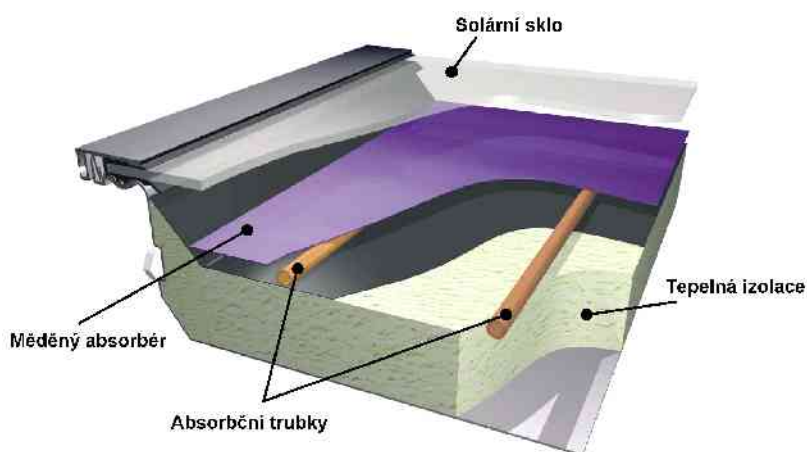


Obr. 4.2: Grafy účinnosti různých typů kolektorů

### 4.1.3 Plochý kolektor

#### Struktura

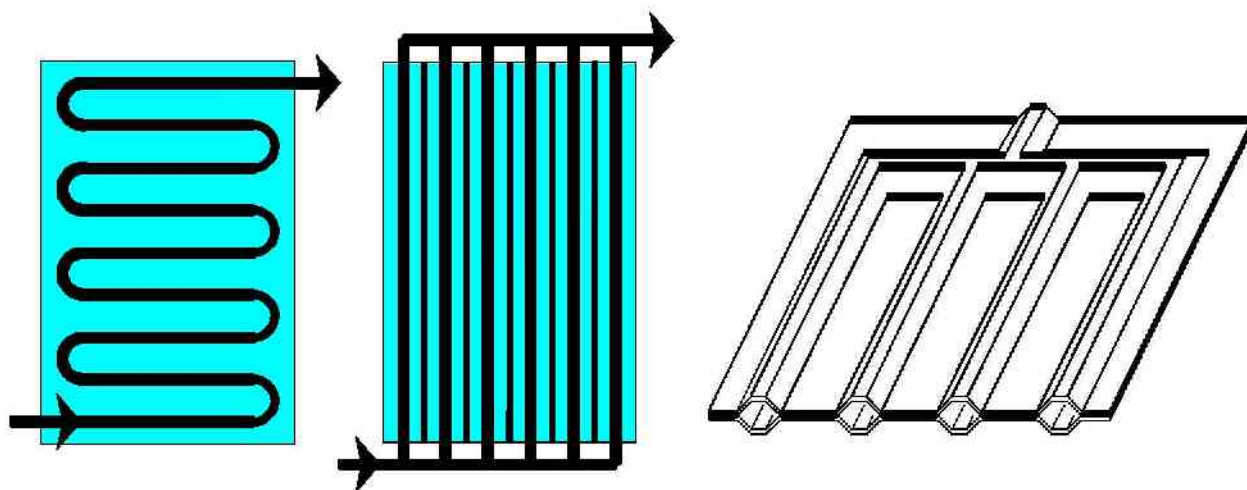
Úvodní grafika představuje schéma struktury plochého kolektoru. Ten se skládá z vany (plechové nebo dřevěné), ve které je uložena tepelná izolace. Na ní jsou položeny absorbéry a vana je uzavřena solárním sklem. Prostor mezi absorpční plochou a krycím sklem může být vakuovaný, potom se hovoří o plochem vakuovém kolektoru. Tepelnou izolaci



Obr. 4.3: Struktura kolektoru

většinou tvoří speciální minerální vlna bez pojidel, protože v kolektoru mohou být velmi vysoké klidové teploty – dokonce až 200 °C, které musí izolace vydržet bez poškození.

Absorpční plochy mohou být protékány napříč (absorbér s trubicou, kterou protéká kapalina, připojenou serpentinově) nebo podélně (oddělené absorbové proužky propojené sběrnou trubicou) (srov. obr. 4.4). Existují i absorbéry, v nichž jsou dutiny protékané kapalinou zalisovány (obr. 4.5).

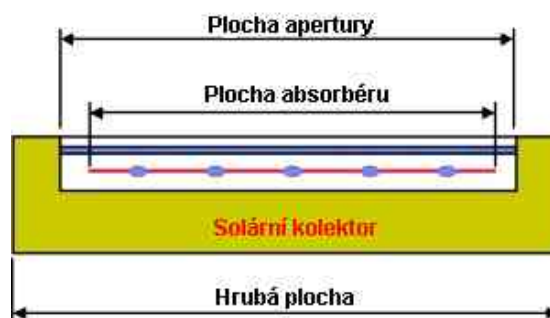


Absorpčním materiálem je většinou měď, hliník nebo ušlechtilá ocel. Kryt kolektoru představuje bezpečnostní sklo, které může být prizmatické, zamžené nebo průhledné. Má také malý obsah železa a tím i vyšší propustnost pro sluneční záření. Kryt je koncipován tak, aby co nejvíce odolával kroupám a zatížení sněhem.

### Parametry

Abychom mohli hovořit o parametrech kolektorů, musíme se nejdříve zabývat příslušnou plochou. U kolektorů se rozlišují následující plochy:

- hrubá plocha
- plocha apertury
- plocha absorberu



Obr. 4.6: Definice základních ploch

### 4.1.4 Vakuový kolektor

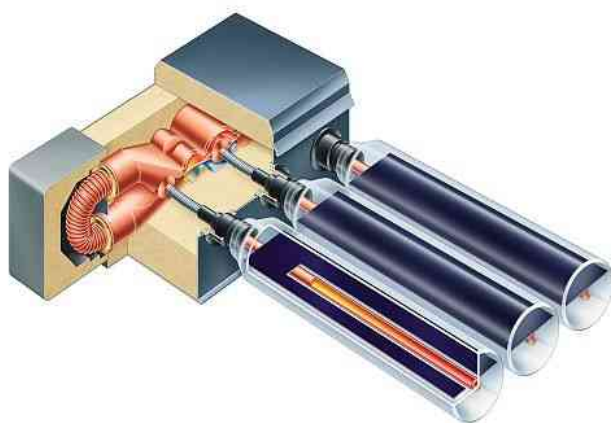
U vakuových kolektorů je mezi absorberem a krycím sklem vakuum. Tím odpadají tepelné ztráty způsobené konvekci uvnitř kolektoru. Ten tak vykazuje už jen ztráty způsobené zářením, rozvody a event. odrazem na absorberu. Obvykle je známe v podobě trubic.

Vakuové trubicové kolektory je možno rozdělit na přímo protékané a kolektory založené na principu heatpipe.

U přímo protékavých kolektorů protéká teplotnosné médium od rozvaděče na konec trubice, přijímá teplo prostřednictvím absorberu nacházejícího se ve vakuu a teče dále do sběrače. Výhodou těchto kolektorů je, že nevyžadují nejmenší sklon.

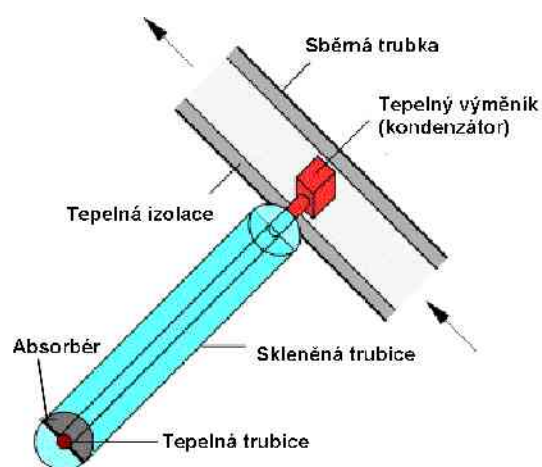
U kolektorů založených na principu heatpipe se v trubici nachází tekutina – většinou alkohol, který se v prostředí s vysokou teplotou odpařuje. Tato pára stoupá trubicí až na horní konec, kde je umístěn malý tepelný výměník. Na tomto výměníku (kondenzátoru) pára kondenzuje a odevzdává tak nepřímo své teplo teplotnosnému médiu. Dolů stékající kapalina se znovu otepluje, vypařuje se a cirkulace začíná od začátku. Aby mohla cirkulace probíhat, musí mít kolektor sklon min. 30°.

Obr. 4.7 představuje suché připojení, při kterém kondenzátor a teplotnosné médium solárního okruhu nejsou v přímém kontaktu, ale kondenzátor je napojen na sběrnou trubku kovový kontaktem. Při mokřém napojení ústí výměník tepla (kondenzátor) do sběrné trubice a je přímo obtékán teplotnosným médiem, které odvádí teplo (srov. obr. 4.8).



#### 4.1.5 Bazénový absorber

Obr.4.7: Heatpipe, Vitosol 300 (suché připojení)



Obr.4.8: Heat

U bazénových absorberů se jedná o absorpční plastové „matrace“ z jednoho kusu, event. černé žebrované trubky z plastu s rozdělovačem a sběračem. Absorpční matrace nemají žádný kryt. Bazénová voda je oběhovým čerpadlem vedena přímo skrze absorber. Musí být proto odolné vůči chemikáliím, které se užívají k jeho dezinfekci. Bazénové kolektory mají pro požadované použití dokonce větší účinnost, než kolektory s krytem, protože u nich na jedné straně odpadají ztráty odrazem krytu a také je teplota vody v bazénu nanejvýš o málo vyšší, než teplota vzduchu ve dne. Zcela stačí, když je voda na výstupu z kolektoru teplejší jen o pár stupňů.. Bazénové absorbery nejsou vhodné k použití za vysokých teplot.



Obr.4.9:Plastový absorber

#### 4.1.6 Testování a parametry kolektoru

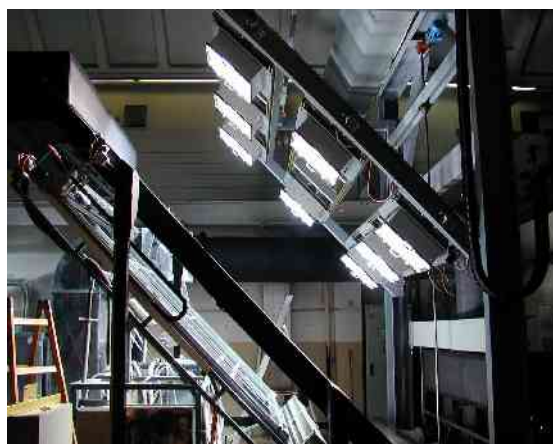
Pro uvedení termického solárního kolektoru na rakouský trh nejsou v současné době nutné žádné testy. Přesto je přezkoušení kolektoru předpokladem pro získání veřejné podpory. Proto se jenom zřídka objevují výrobci, kteří nenechají své výrobky zkoušet.

Podle místa přezkoušení můžeme rozlišovat mezi testováním pod širým nebem (v exteriéru) a testováním v interiéru s využitím slunečních simulátorů. Při testování v exteriéru může být kolektorové pole fixováno (nepohyblivé) nebo se může natáčet podle polohy Slunce.

V současnosti pro zkoušení slunečních kolektorů platí evropská norma EN 12795.



Obr.4.10: Přezkoušení pod širým nebem ve zkušebně arsenal research



Obr.4.11: Přezkoušení za použití slunečního simulátoru ve zkušebně arsenal research

## 4.2 Potrubí

Potrubí propojuje kolektory se solárním tepelným výměníkem. Potrubí a trubková spojení (obzvláště měkký spoj) musí splňovat následující požadavky:

- odolnost vůči teplotě do -20 °C (resp. nejnižší venkovní teplotě v zimě) a min. 250 °C (resp. nejvyšší klidové teplotě v létě)
- tlaková odolnost do max. výše provozního tlaku zařízení
- odolnost vůči nemrznoucí směsi
- jednoduché a flexibilní spojení

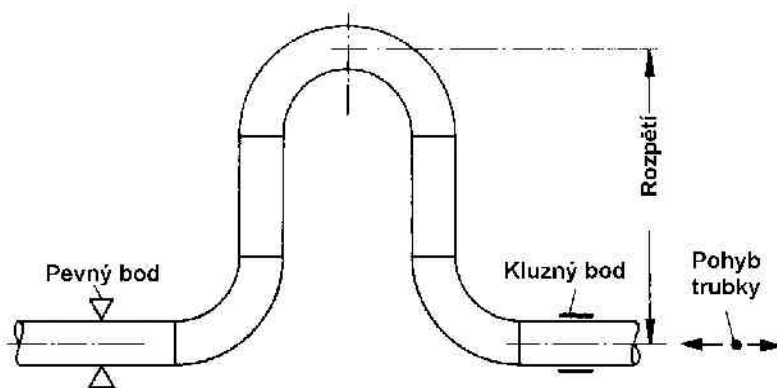
V kolektorovém okruhu mohou být použity měděné a ocelové trubky, stejně tak i vlnité trubky z ušlechtilé oceli. Plastové trubky nejsou vhodné, protože nejsou dostatečně odolné vůči vysoké teplotě. U malých zařízení se prosadila měděná trubka s běžnými způsoby napojení – měkkými a tvrdými pájenými spoji. Flexibilní vlnité trubky z ušlechtilé oceli se často používají k propojení kolektorů na střeše a k propojení kolektorů s kotelnou. Ocelové trubky jsou relativně náročné na zpracování (svařování, ohýbání, řezání, vyříznutí závitů) a díky vzrůstajícím nárokům na



dimenzování jsou nahrazovány u větších solárních zařízení měděnými trubkami od dimenze DN 28. Při kombinování různých kovů je třeba dbát na korozi!

### Tepelná roztažnost

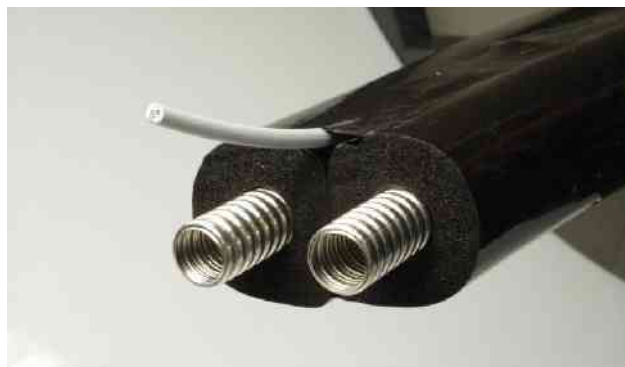
Koeficient tepelné roztažnosti ( $\alpha$ ) oceli je  $11 \cdot 10^{-6}$  [1/K] a mědi  $16 \cdot 10^{-6}$  [1/K]. Tepelná roztažnost měděné trubky činí např. při zahřátí trubky o délce 10 m na 50 °C přibližně 6,7 mm. Pokud by roztažnost nebyla brána v úvahu, došlo by k pnutí a vzniku trhlin. U potrubí je proto třeba pamatovat na kompenzátory roztažnosti. Aby mohly plnit svou úlohu, musí být stanoveny pevné a kluzné body objímek. Kvůli jednoduchému zhotovení se se používají převážně smyčkové kompenzátory.



Obr.4.12: Smyčkový kompenzátor

### 4.3 Tepelná izolace

Potrubí solárního okruhu a armatury musí být izolovány nepřerušovaně. Jako materiál je třeba v solárním okruhu použít izolaci odolnou vůči vysoké teplotě. U venkovního potrubí musí být navíc izolace vodotěsná a odolná vůči UV-záření, povětrnostním vlivům a ptačímu klovaní, např. použitím plechového opláštění. Vedle klasických, jednotlivě prodávaných kombinací - potrubí, tepelná izolace a elektrický kabel, se na trhu nabízí i prefabrikované sestavy - tzv. twin tubes, které se skládají z měděné trubky nebo vlnité trubky z ušlechtilé ocele, tepelné izolace a elektrického kabelu pro instalaci solární vratné a vstupní větve a kabelu čidla kolektoru.



Obr.4.13: Flexibilní vlnitá trubka z ušlechtilé oceli s izolací a kabelem čidla

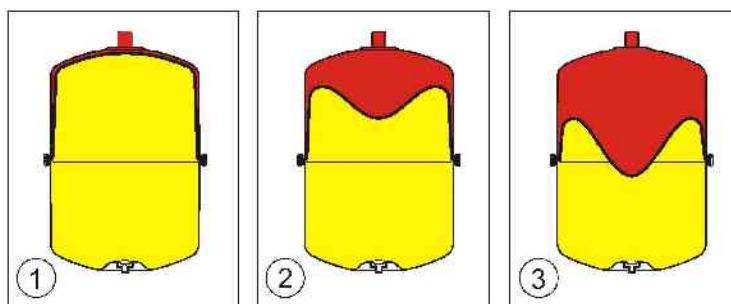
## 4.4 Expanzní nádoba

### 4.4.1 Obecná charakteristika

Každý uzavřený potrubní a zásobníkový systém naplněný kapalinou potřebuje expanzní nádobu, aby se tekutina při zvýšení teploty mohla rozpínat a při jejím snížení smršťovat. Pokud by tomu tak nebylo, část systému by se při kolísání teploty rozpínala a smršťovala jen s velmi malou odolností, což by vedlo k prasknutí některé ze součástí nebo prosakování. V systému by také mohl stoupnout tlak na takovou míru, kterou již nepovoluje pojistný ventil. Dimenzování expanzní nádoby pro kolektorový okruh se selektivními absorbéry se liší od dimenzování pro běžné hydraulické okruhy, ve kterých nedochází k vypařování teplotosného média.

Dnes jsou v kurzu převážně membránové expanzní nádoby. Jedná se o uzavřenou kovovou nádrž, v jejímž středu se nachází pružná membrána, která odděluje dvě média: dusík pod vstupním tlakem a teplotosnou kapalinu, která při zvýšení tlaku vstupuje do nádoby a rozpíná se na úkor plynu. Pro konvenční topný systém a solární zařízení se používají odlišné expanzní nádoby. V té pro solární zařízení musí být membrána odolná také vůči glykolu.

Obr. 4.14 ukazuje závěsnou membránovou expanzní nádobu u studeného zařízení (1), při provozním tlaku (2) a při vyšším tlaku v systému (3).



Obr.4.14: Stavy v membránové expanzní nádrži

### 4.4.2 Kapalina v nádobě

V expanzní nádobě by měl být vždy určitý obsah kapaliny, aby membrána nemohla přilehnout k hornímu okraji nádoby a tím ztratit schopnost vytvářet přetlak v solárním okruhu. I když je solární okruh velmi studený, má být horní desetina objemu nádoby naplněna kapalinou. Expanzní nádoba musí i tehdy vytvářet v solárním okruhu takový přetlak, aby ani v nejvyšším místě okruhu nemohl nastat naopak podtlak. Při plnění zařízení by měl být zvolen nepatrně vyšší tlak (např. o 0,5 bar), aby se při úniku plynu přes odvzdušňovače zajistil požadovaný tlak v celém solárním systému.

Při vypařování teplotosného média z kolektorů v klidovém stavu musí být zásoba kapaliny i horká kapalina vytlačovaná z kolektoru (až 130 °C) zregulována na přípustnou teplotu membrány 90 °C.

### 4.4.3 Vstupní tlak v expanzní nádobě

Vstupní tlak plynu má za úkol tlačit expanzní objem při ochlazování zpět do zařízení a také chránit expanzní nádobu před přeplněním. Pokud chybí tlak nebo je příliš nízký, pojme expanzní nádoba již při nízkých teplotách zařízení tolik vody, že během fáze rozehrívání již není k dispozici žádný prostor pro fyzikální roztažnost. V uzavřeném systému se obsah kolektoru v klidovém stavu

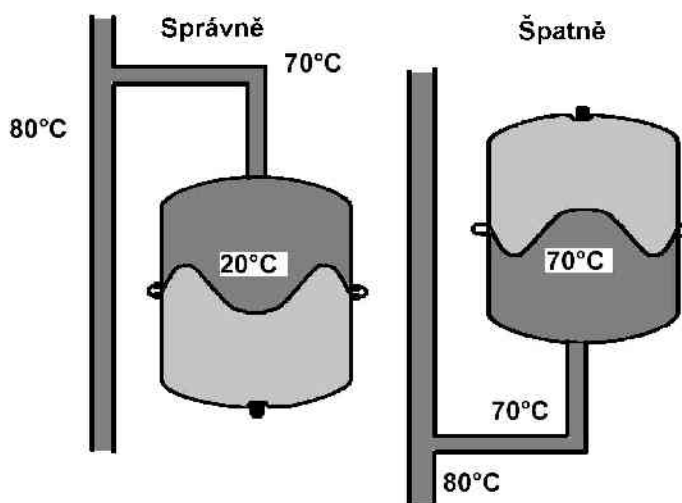
vypařuje a expanzní nádoba musí přijmout veškerý objem páry. Jinak by systémový tlak překročil reakční tlak pojistného ventilu a zařízení by ztratilo mnoho kapaliny.

Velmi důležitá je kontrola vstupního tlaku při zabudování expanzní nádoby. Poté by se již s odvzdušňovacím ventilem nádže nemělo manipulovat.

#### 4.4.4 Montáž

Expanzní nádrž by měla být montována zásadně jako závěsná. U stojací nádoby dochází k následujícímu efektu:

Pokud proudí horká voda kolem expanzní nádoby, stoupá i do ní, protože je lehčí než studená voda, která se nachází v nádobě (srov. obr. 4.15, vpravo). Protože expanzní nádoba zpravidla není tepelně izolována (u soustav se selektivními absorbéry ani nesmí být), znamená to značné ztráty. Kromě toho se při rozběhu solárního okruhu, je-li předtím kolektor odstavený a rozpálený, do okruhu dostávají dávky přehřáté kapaliny. Membrány nesnesou vyšší teploty a expanzní nádoba by se trvale poškodila. Správná je tedy závěsná montáž, kdy horká voda proudí vždy kolem expanzní nádoby (viz obr. 4.15, vlevo). Membránové expanzní nádrže jsou se zdrojem tepla spojeny bez možnosti, aby propojení bylo přerušeno uzavřením kohoutu.



Obr.4.15: Správná a špatná montáž membránové expanzní nádoby

## 4.5 Teplonosné médium

### 4.5.1 Obecná charakteristika

Teplonosné médium přejímá teplo od absorbéru a přenáší ho k tepelnému výměníku, přes který se energie dostává dále.

Jako teplonosné médium se nejlépe hodí čistá voda, protože je k dispozici téměř bez omezení, je netoxická, levná a má nejvyšší specifickou tepelnou kapacitu (při 50 °C je to 4,17 kJ/kgK). Avšak protože solární systémy jsou v provozu většinou po celý rok, je nutné přimíchat do vody nemrznoucí kapalinu, aby bylo zařízení chráněno před poškozením mrazem. Většinou se používá směs vody s glykolem (např. propylenglykol, ethylenglykol). Díky používání této směsi se zvyšuje viskozita média, čímž je tlaková ztráta při neměnném objemovém proudu a rozměru potrubí vyšší. Proto je třeba při dimenzování kolektorových ploch a navrhování typu systému (low-flow nebo high-flow) tyto faktory zohlednit.

Nemrznoucí kapaliny na propylenglykolové bázi používané v současnosti splňují díky přimíchaným inhibitorům koroze také úlohu ochrany proti ní.

## 4.6 Zásobníky

Tepelné zásobníky se rozlišují podle způsobu nabíjení a vybíjení (aktivní a pasivní zásobníky) a podle doby akumulace (krátkodobý a dlouhodobý zásobník). Aktivní tepelné zásobníky regulují nabíjení a vybíjení, zatímco pasivní zásobníky se nabíjí prostřednictvím přirozeného oběhu. Dlouhodobé nebo sezónní zásobníky se instalují relativně zřídka. U většiny solárních zařízení přichází ke slovu aktivní krátkodobé zásobníky, které nahromadí teplo na několik hodin nebo dní.

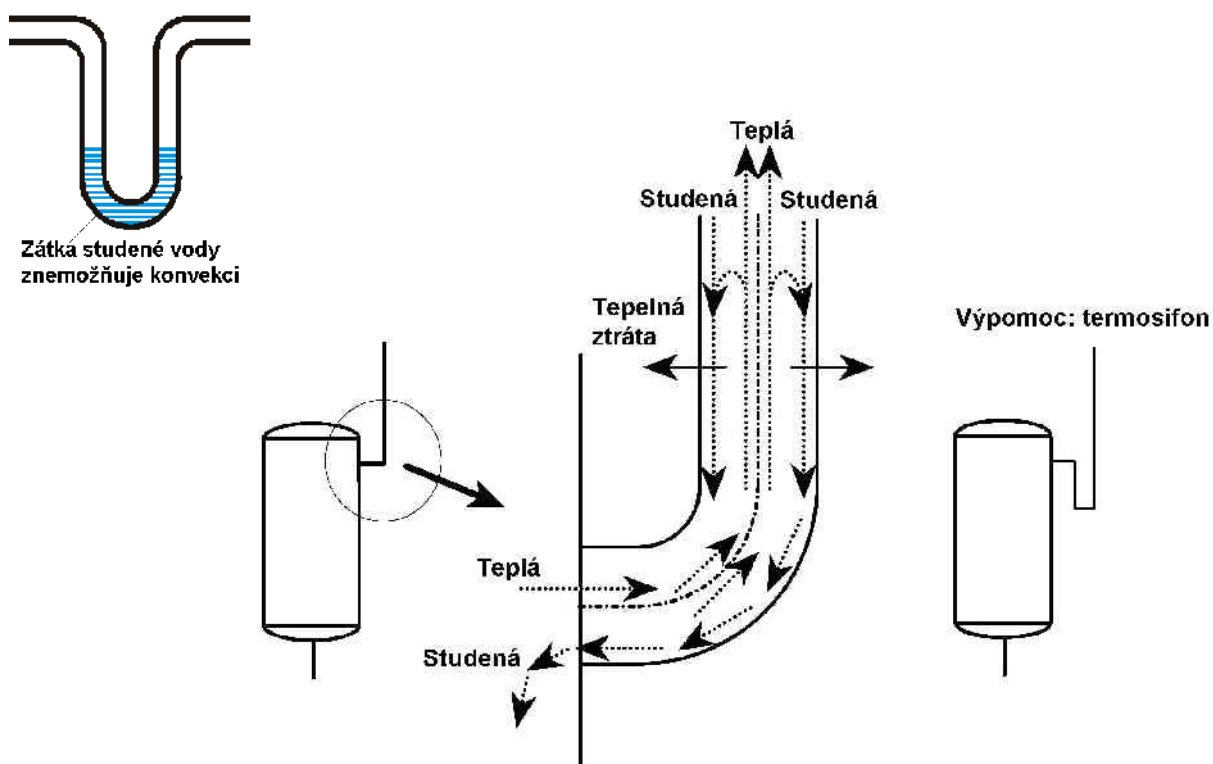
### 4.6.1 Požadavky na tepelné zásobníky v souvislosti se solárními zařízeními

#### Rozvrstvení teplot

V tepelném zásobníku se většinou nachází zároveň studená, teplá i horká voda. Díky rozdílné měrné hmotnosti dochází k rozvrstvení teplot. Nejstudenější spodní vrstva zajišťuje, aby samotné solární zařízení mohlo při omezeném slunečním záření pracovat na nízké teplotní úrovni ještě s dobrou účinností. Vrstvení je tím výraznější, čím užší a vyšší je zásobník – doporučený poměr mezi výškou a průměrem je 2:1 až 4:1. Ležící zásobníky nejsou pro solární zařízení vhodné.

#### Přípojky

Aby byla zachována vrstvení teplot v zásobníku, je třeba v souvislosti s přívodem studené vody a odběrem teplé vody upozornit na následující: zásobníky na pitnou vodu by měly mít v každém případě u přívodu studené vody klapku, aby se zabránilo víření vstupující studené vody s teplou vodou z vyšších vrstev.



Obr. 4.17: Nezbytnost použití termosifonu u přípojek k zásobníku

## Tepelné ztráty

Zvláštní pozornost je třeba věnovat i porušení vrstvení při odběru teplé vody, která vzniká díky klesání ochlazené vody z potrubí zpět do zásobníku (jednotrubková cirkulace). Aby se zabránilo těmto tepelným ztrátám, které představují až 15 % z celkových ztrát zásobníku, je třeba opatřit vývod teplé vody trubkovým kolenem (sifonem). Také u ostatních trubkových přípojek zásobníku by se mělo co nejvíce zabránit vzniku tepelných mostů. Pokud je to možné, měly by trubkové průchodky vést v chladné – tedy nejspodnější části zásobníku.

## Izolace zásobníku

Požadavky na izolaci zásobníku jsou:

- nehořlavost
- co nejmenší tepelná vodivost
- žádná vzduchová mezera mezi izolací a stěnou zásobníku

K výkonnému solárnímu zásobníku patří dobrá tepelná izolace. Měla by vykazovat tepelnou vodivost  $\lambda < 0,035 \text{ W/mK}$ , zakrývat i dno zásobníku, na všech místech dobře přiléhat, izolovat příruby, zátky atd. a na trubkových přípojkách přiléhat bez mezer.

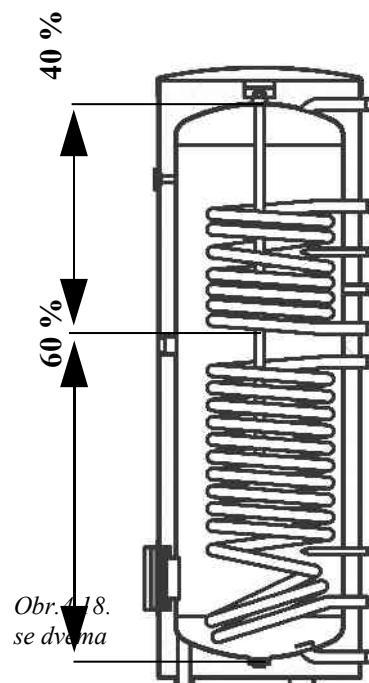
### 4.6.2 Zásobníky ohřáté pitné vody

U systémů s přímým ohřevem pitné vody prostřednictvím kolektorového okruhu představuje zásobník pitné vody současně celou tepelnou zásobu.. V soustavách se zvláštním tepelným zásobníkem obsahuje nádrž s ohřátou pitnou vodou jen pohotovostní zásobu pro odběr teplé vody.

### Typy konstrukce

Zásobníky na pitnou vodu musí být chráněny před korozí způsobenou kyslíkem přítomným ve vodě. Z tohoto důvodu jsou ocelové zásobníky a zásobníky z ušlechtilé oceli opatřeny vnitřní vrstvou ze smaltu nebo umělé hmoty. Zásobníky z ušlechtilé oceli jsou sice lehčí a odolné vůči korozi, ale také znatelně dražší než ostatní varianty. Smaltované zásobníky musí být z důvodu ochrany před korozi opatřeny buď magneziovou anodou nebo anodou na cizí proud.

Podle koncepčních návrhů celkového zařízení se setkáváme s různými typy zásobníků na pitnou vodu. Především u solárních zařízení, která slouží jen k ohřevu teplé vody, jsou velmi rozšířené zásobníky se dvěma integrovanými předavači (výměníky) tepla. Přitom je zásobník napájen ze solárního okruhu přes spodní předavač tepla. Horní předavač tepla, který je napájen přes běžný zdroj tepla, dotápí v případě potřeby horní část zásobníku, odkud se odebírá teplá voda. U některých zásobníků je horní předavač tepla nahrazen elektrickou topnou patronou.



V rodinných domcích a dvojdomcích se běžně používají zásobníky o kapacitě 300 až 500 litrů. U zásobníků na pitnou vodu, jejichž objem přesahuje 400 l, by se měl zásobník jednou denně ohřát na 60 °C. U velkých solárních zařízení se zásobníky na pitnou vodu používají mj. i kvůli hygienickým problémům čím dál méně. Zde se využívají především zařízení se dvěma zásobníkovými systémy, u kterých se zásobník na pitnou vodu ohřívá jako bojler z hlavního tepelného zásobníku.

### **Tepelné výměníky, přípojky**

Přenos energie do zásobníku na pitnou vodu se většinou děje prostřednictvím zabudovaného trubkového registru nebo žebrovaného trubkového výměníku tepla, které mohou být podle potřeby dodatečně zabudovány přes přírubu. Výměník solárního okruhu by měl v zásobníku dosahovat co nejnižší, aby mohl být obsah zásobníku ohříván až k samotnému dnu (viz také obr. 4.18 – šroubovice směrem dolů). Připojení výměníku na dotápění v horní části zásobníku garantuje rychlé ohřátí pohotovostního objemu, aniž by solární okruh ztratil možnost přesunout omezené množství solární energie do chladnější části zásobníku.

### **Teplota zásobníku**

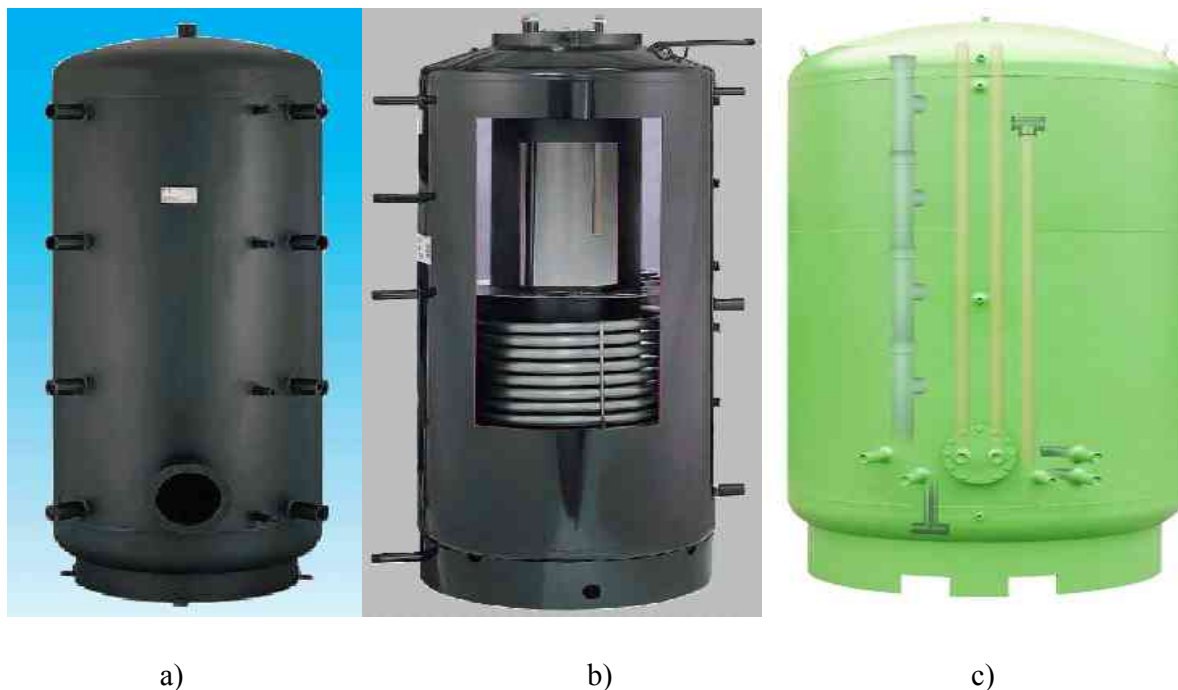
Teplota zásobníku na pitnou vodu by neměla jak při solárním nabíjení, tak při dotápění překročit cca 60 °C, protože při vyšších teplotách se více vylučují vápenné úsady. To má za následek, že uvolněné vápenaté spoje tvoří na nejteplejších místech pevné usazeniny, které brání průchodu tepla. Kromě toho se pomalu ukládají na dně zásobníku jako kal.

#### **4.6.3 Zásobník**

Zásobníky jsou plněny topnou vodou. V nich uložené teplo může dle volby přímo napájet topný systém (podpora vytápění) nebo se může přenést přes výměník na pitnou vodu. Oproti zásobníkům na pitnou vodu mají výhodu v tom, že u nich není nutná ochrana vůči korozi a tím jsou levnější. Kromě toho může být předzásobená voda na vytápění ohřáta až na 90 °C – u upravené topné vody nevzniká nebezpečí zvápenatění – přičemž může být v zásobníku při stejném objemu uloženo více energie.

U uzavřených systémů s přetlakem v okruhu zásobníku energie se většinou používají ocelové nádrže z „obyčejné“ oceli (St37). Ty mohou být bez problémů namontovány bez další ochrany proti korozi, protože systém je naplněn vodou pouze jednou a přetlak brání pronikání čistého kyslíku. U otevřených beztlakých systémů se kvůli nebezpečí koroze používají plastové zásobníky. Protože plast má omezenou hranici zatížení, je u takových systémů bezpodmínečně nutné stanovit maximální dosahovanou teplotu.

Zásobníky energie mohou být provedeny jako víceúčelové, kombinované a stratifikační.



Obr.4.19: Druhy zásobníků energie: a) víceúčelový zásobník, b) kombinovaný zásobník, c) stratifikační zásobník

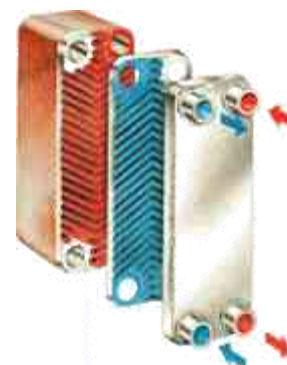
## 4.7 Výměníky tepla

### 4.7.1 Obecná charakteristika

Předavače tepla (nebo-li výměníky) se uplatňují při přenosu energie mezi médii, která se spolu nesmí smíchat. U solárních zařízení má funkce předavače zvláštní význam, protože teploty, za kterých se energie přenáší, mají významný vliv na provozní režim kolektoru. Na primární straně zdroje tepla (kolektor) cirkuluje voda smíchaná s nemrznoucí směsí, na sekundární straně se nachází topná nebo pitná voda. Předavač tepla by měl kolektorem dodaný výkon odevzdat s co nejmenším teplotním rozdílem do kapalinového oběhu zásobníku.

### 4.7.2 Deskové výměníky

Deskové výměníky (DV) se skládají z desek umístěných za sebou, mezi nimiž protéká teplotněná kapalina, většinou na principu protiproudu. Díky speciálně raženému povrchu desek vzniká turbulentní proudění, čímž se zvyšuje přestup tepla. DV mohou být pájené nebo šroubované. U šroubovaného DV je možné desky vyměnit, stejně tak se dá změnit i jejich počet.



Obr.4.20: Proudění v deskovém výměníku

Pro použití do přibližně 300 kW se většinou používají pájené DV, které mají následující výhody:

- jsou extrémně kompaktní, oproti běžným trubkovým výměníkům ušetří 85 až 90 % objemu a váhy
- maximální využití materiálu; až o 25 % vyšší kapacita, než u šroubovaných deskových výměníků a 10 krát vyšší, než u trubkových výměníků
- menší spotřeba energie, protože lepší součinitel přestupu tepla vede k vyšším teplotním rozdílům
- výměna tepla i při teplotních rozdílech 1 K

Je dimenzován na potřebný tepelný výkon (v kW). Ten je zajištěn kolektorovými plochami a průtokem v kolektoru, tzn. tepelný výměník by měl při nejsilnějším slunečním záření odevzdat plný kolektorový výkon do zásobníku.

### 4.7.3 Trubkové výměníky

Mohou být provedeny jako žebrové nebo hladké (srov. obr. 4.21 nahoře nebo dole). Jako materiál se většinou používá měď kvůli velmi dobré tepelné vodivosti. Výhodou tohoto výměníku je relativně jednoduchá konstrukce a omezené tlakové ztráty ve srovnání s deskovými výměníky. Výrobce je montuje přímo do zásobníku, nepotřebují tedy mnoho místa a nejsou náročné na instalaci. Integrované tepelné výměníky se většinou prodávají jenom jako příslušenství k zásobníku a jsou proto vázány na přesné geometrické rozměry. Externí tepelné výměníky se naproti tomu prodávají v různých velikostech a jsou nezávislé na výkonu zásobníku. S externím tepelným výměníkem je možné vytvářet mnohem více kombinací.



Obr.4.21: Trubkové výměníky

Pro dimenzování tepelného výměníku integrovaného do zásobníku platí při průměrných logaritmických teplotních rozdílech 10 K následující zjednodušené vzorce:

M	<p>Hladký trubkový výměník: cca 0,2 m<sup>2</sup> povrchu výměníku na m<sup>2</sup> kolektorové plochy</p> <p>Žebrový trubkový výměník: cca 0,3 – 0,4 m<sup>2</sup> povrchu výměníku na m<sup>2</sup> kolektorové plochy</p>
---	--

Udávané hodnoty jsou minimální, kterých by se mělo používat v praxi.

### Kalčinóza, vápenné usazeniny

Díky vápenným usazeninám může být redukována účinnost přenosné plochy předavače tepla. Již vrstva o tloušťce 2 mm snižuje výkon přenosu tepla o 20 %, při tloušťce 5 mm o více než 40 %. Při nepřetržitém provozu s teplou vodou nad 60 °C vznikají masivní vápenné uložení – důsledky toho jsou ukázány na obr. 4.22. Vápno, které vse vylučuje při teplotě vody vyšší než 60 °C, vede ke



vzniku vápenných usazenin. Při nepřetržitém provozu nad 60 °C je používání žebrových trubkových výměníků problematické, protože se vápno usazuje mezi žebry. U hladkých trubkových výměníků se vápno z velké části odlupuje díky tepelné roztažnosti trubky. Pokud trubkou protéká pitná voda, může se v nejhorším případě stát, že vápenné usazeniny zúží její průměr natolik, že ji zčásti nebo úplně ucpou.

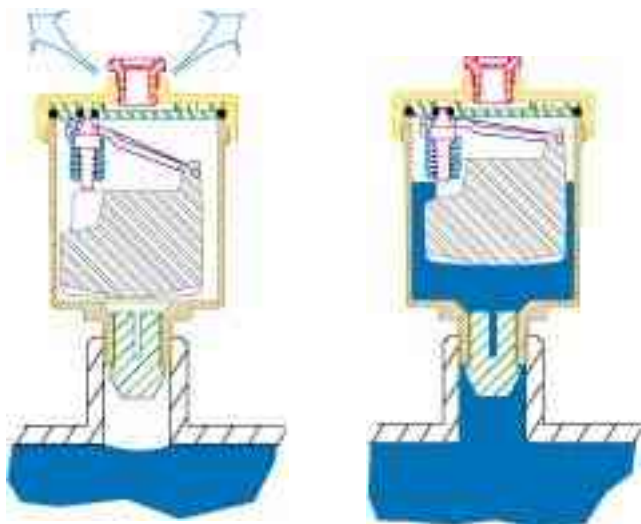


Obr.4.22: Vápenné usazeniny: vlevo na trubkovém žebrovém výměníku, vpravo v trubkách

#### 4.8 Odvzdušňovací zařízení

Úkolem odvzdušňovacího zařízení je odvádět nahromaděný vzduch ze systému a zajistit tak neomezené proudění kapaliny.

V současné době se velmi často používají odvzdušňovače, ve kterých se nachází dírkovaný plech. Protože rychlost proudění klesá a vstupující médium proudí proti perforovanému plechu, stoupají vzduchové bubliny po plechu nahoru a sbírají se na nejvyšším místě odvzdušňovače, kde se nachází manuální odvzdušňovací zařízení. Také se montují odvzdušňovací zátky, které fungují automaticky.



Obr.4.23: Otevřený a uzavřený ventil odvzdušňovací zátky

Stejně tak se centrálně montují cyklonové odvzdušňovače ve výtopně. Zde se využívá toho, že při rychlosti proudění větší než 0,4 m/s mohou být vzduchové bubliny navzdory vztlakovým silám přemisťovány dolů. V cyklonu se vzduchové bubliny díky vznikajícímu víření dostávají na jeho horní okraj, kde unikají ručním odvzdušňovačem. Výhodou v tomto případě je, že se např. ve vybudovaném podkroví nemusí instalovat žádné odvzdušňování.

## 4.9 Pojistný ventil

Pojistný ventil nabízí doplňkové zabezpečení v případě, kdy v kolektorovém okruhu dojde k poruše a navzdory expanzní nádobě i nadále stoupá tlak v systému. Pojistný ventil zareaguje, jakmile je překročen určitý tlak. Zařízení poté „odfoukne“, tzn. že pára nebo kapalina vystoupí z pojistného ventilu. Ztráta nemrznoucí kapaliny spojená s tímto jevem musí být v každém případě vyrovnána.

Pro pojistný ventil stejně jako pro expanzní nádobu platí, že nesmí být v žádném případě umístěna mezi dvěma uzavíracími ventily nebo zpětnými klapkami. Reakční tlak pojistného ventilu musí být orientován na nejslabší součástku. Běžné reakční tlaky se pohybují mezi 3 a 6 bary. Pojistný ventil by měl být opatřen odfukovacím potrubím, které ústí do sběrné nádoby odolné vůči teplotě a glykolu. Sběrná nádoba by měla pojmout celkový objem solárního okruhu.

Jako směrnice pro dimenzování by měly být použity hodnoty z tab. 4.1.

Vstupní průřez	Plocha kolektoru do
DN 15	50 m <sup>2</sup>
DN 20	100 m <sup>2</sup>
DN 25	200 m <sup>2</sup>
DN 32	350 m <sup>2</sup>
DN 40	600 m <sup>2</sup>

Tab.4.1: Směrnice pro dimenzování pojistného ventilu

## 4.10 Zpětná klapka

### Požadavky

Je známo, že zásobník se samovolně vybíjí přes oba kolektorové rozvody (např. v noci) prostřednictvím přirozené cirkulace. Proto se jako "gravitační brzda" montuje zpětný ventil. Zpětný ventil je umístěn ve směru proudění před závěsnou expanzní nádobou, která tak může z obou stran kolektoru pojmout objem páry vznikající vypařováním v kolektoru.

## 4.11 Oběhové čerpadlo (solární pumpa)

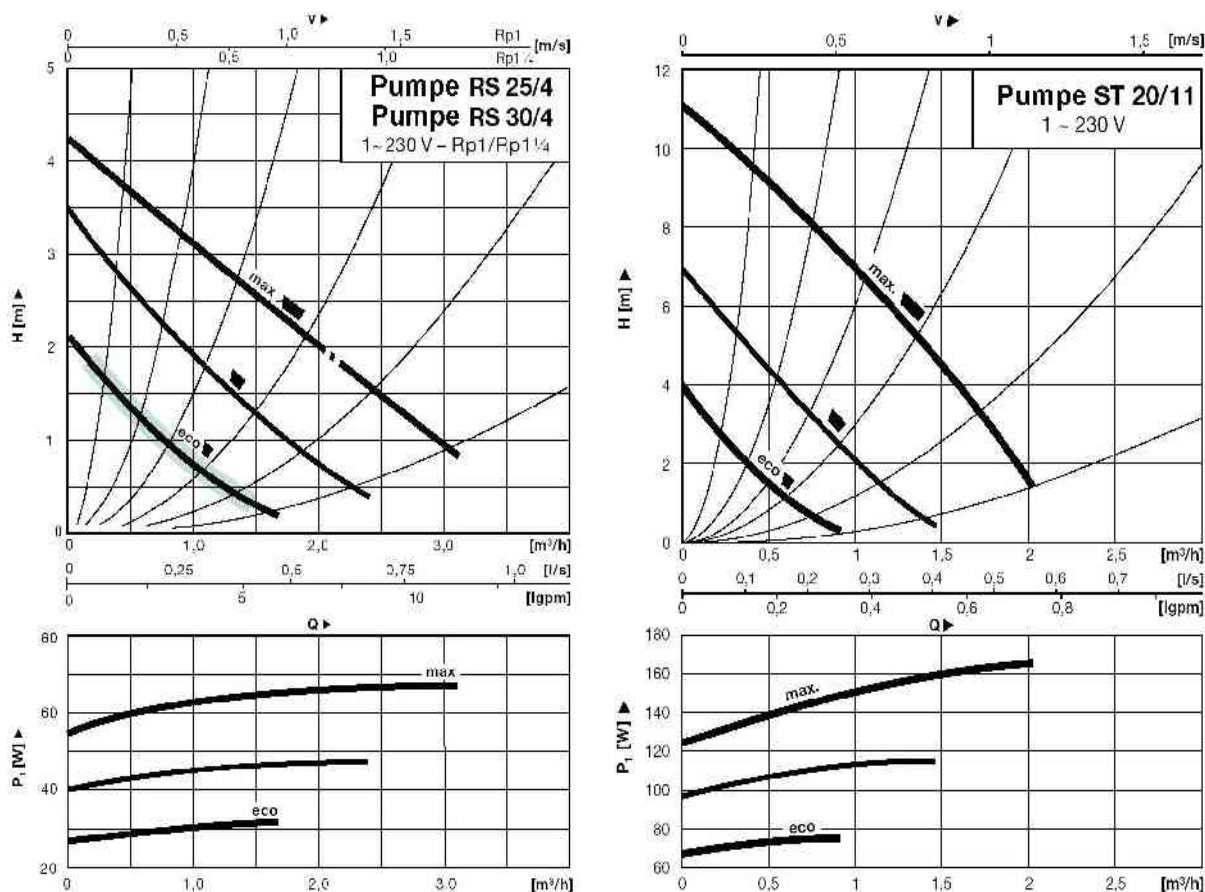
### 4.11.1 Obecná charakteristika

V solárním zařízení musí být teplotně médium čerpáno prostřednictvím hydraulického systému, aby mohlo dojít k transportu energie zachycené v kolektorech. Oběhové čerpadlo překonává formou čerpacího výkonu jen průtokové odpory systému zapříčiněné viskozitou média.

Jako charakteristická veličina pro dimenzování požadovaného čerpacího výkonu platí tzv. čerpací výška při určitém průtoku. Čerpací výška se vztahuje k hydrostatickému tlaku sloupce vody udávané výšky.

#### 4.11.2 Křivka čerpadla a provozní bod

Označení „solární pumpa“ má zdůraznit odlišnost od běžných tepelných čerpadel. Běžná oběhová čerpadla jsou koncipována pro vyšší průtok a nižší čerpací výšku, tedy pro jiné podmínky, než které platí u solárních zařízení. U nich jsou totiž průtoky menší, tlaková ztráta vyšší a navíc se v solárních okruzích na rozdíl od topných okruhů používá směs glykolu a vody.



Obr. 4.24: Srovnání křivek tepelných oběhových čerpadel (vlevo) s čerpadly pro solární využití (vpravo)

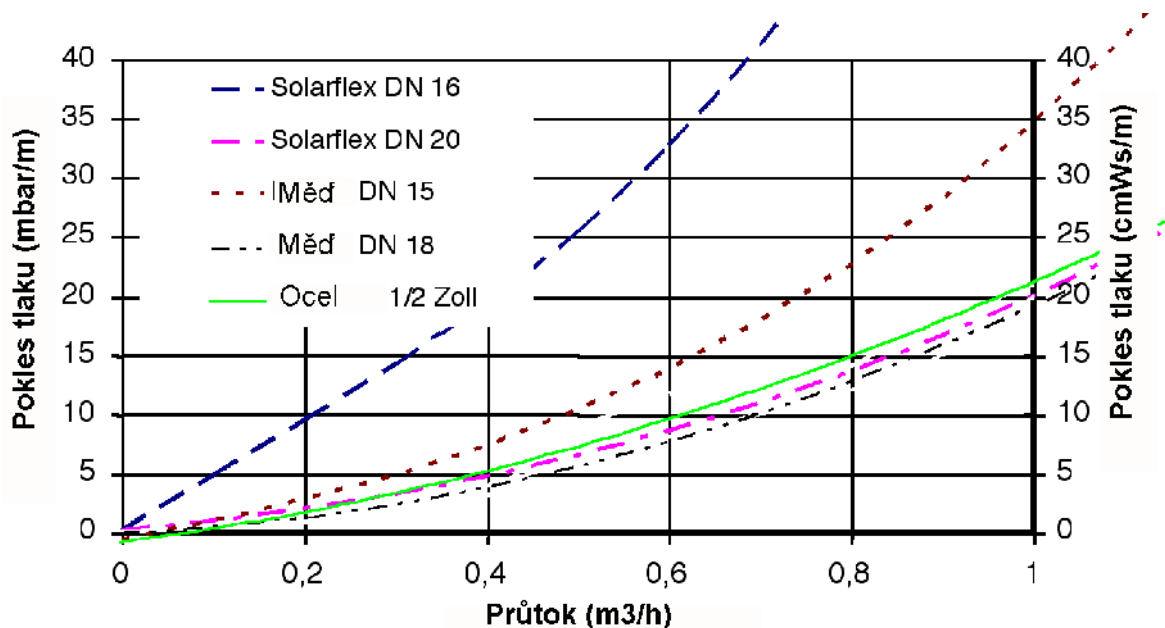
Obr. 4.24 zachycuje křivkové diagramy udávané výrobcem pro výše jmenovaná čerpadla. V těchto diagramech jsou zaneseny čerpací výšky pump nad objemovým proudem. Zakresleny jsou jak křivky solární pumpy s vyšším stupněm otáček, tak soustava křivek zařízení. Průsečíkem křivky zařízení a křivky čerpadla je provozní bod. Dříve, než se přistoupí k dimenzování čerpadla, je třeba znát provozní bod zařízení, tzn. průtok v zařízení a k tomu příslušnou ztrátu tlaku v projektovém bodu.

Pokud je tedy stanoven provozní bod zařízení, měla by křivka čerpadla v ideálním případě protínat tento bod, tzn. že čerpadlo přesně dodává požadovaný objemový proud a výšku tlaku. V praxi jen málokdy leží provozní bod na křivce čerpadla. Trefit ho přesně není s výjimkou frekvenčně regulovaných čerpadel většinou možné.

Obecně by mělo dimenzování čerpadla probíhat tak, aby provozní bod ležel v horní třetině čerpacího výkonu a co nejblíže maximálnímu počtu otáček, protože v této oblasti podávají odstředivá čerpadla své nejlepší výkony.

### 4.11.3 Exkurz: Tlaková ztráta v solárním okruhu a dimenzování čerpadla

Směs glykolu a vody má vyšší vazkost (= dynamická viskozita), než čistá voda. Stejně jako u vody, platí i zde kvadratický vztah mezi objemovým proudem a tlakovou ztrátou. To znamená, že při zdvojení počtu otáček čerpadla se zdvojí i objemový proud, zatímco tlaková ztráta se zečtyřnásobí. Potrubí by tedy mělo vykazovat co nejmenší průtokový odpor, rychlost proudění média by měla být mezi 0,5 a max. 1 m/s. Při použití směsi vody a glykolu je třeba zohlednit její viskozitu a s tím spojenou zvýšenou tlakovou ztrátou stejně jako vyšší proudový šelest. Obr. 4.25 nabízí srovnání poklesu tlaku v různých trubkách. Hodnoty platí pro 40 % ní propylenglykol.



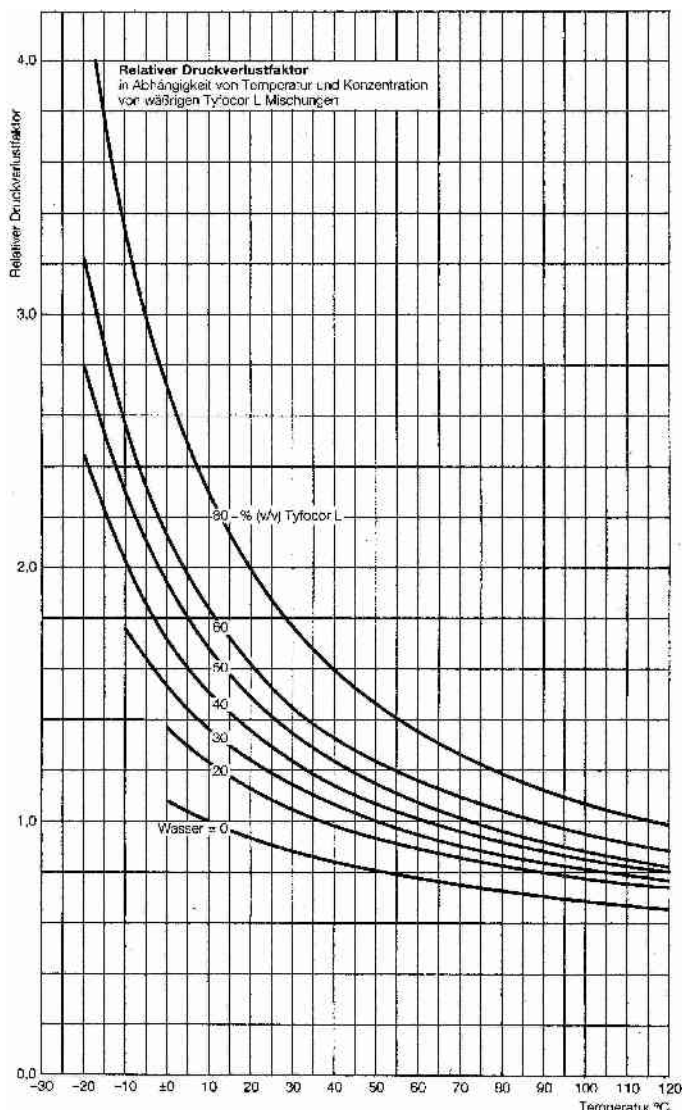
Obr.4.25: Tlaková ztráta způsobená třením v ocelových trubkách pro 40 %-ní propylenglykolovou směs při 40 °C

### Pokles tlaku v kolektorovém poli

Pro maximální pokles tlaku v kolektorových polích by neměly být překročeny hodnoty z tab. 4.2.

Velikost kolektorového pole [m <sup>2</sup> ]	Přípustný pokles tlaku [mbar]	Přípustný pokles tlaku [mWs]
do 6	50 až 100	0,5 až 1
6 až 30	100 až 200	1 až 2
30 až 100	200 až 400	2 až 4

Tab.4.2: Přípustný pokles tlaku v kolektorových polích



Obr.4.26: Relativní faktor ztráty tlaku v závislosti na teplotě a koncentraci směsi Tyfocoru L (propylenglykol) s vodou

### Pokles tlaku v potrubí

Rychlost proudění teplotnosného média by měla být mezi 0,5 m/s a max. 1 m/s. Zejména u směsi vody s glykolem nabývá na významu viskozita, která je závislá na teplotě. Proto je třeba dobře dbát na výběr čerpadla. Obr. 4.26 ukazuje relativní faktor ztráty tlaku pro příslušné podíly propylenglykolu v závislosti na teplotě. Výkon čerpadla by měl být dimenzován na nejnižší provozní teplotu výměníku, protože viskozita směsi vody a glykolu s klesající teplotou prudce stoupá.

Pokles tlaku v potrubí včetně všech armatur (kromě výměníku) by měl být max. 100 mbar (= 1 mWs). Velmi malé průměry trubek vedou k nízkým tepelným ztrátám a materiálním nákladům, ale k vyššímu výkonu čerpadla, což platí i obráceně.

Ztráty, které vyplývají z fitinek a armatur, mohou být za pomoci nomogramů přepočítány na ekvivalentní délku vedení.

Temperatur – teplota

Relativer Druckverlustfaktor – relativní faktor ztráty tlaku

### Pokles tlaku v solárním výměníku

Pokles tlaku výměníku udává výrobce. Ve srovnání se zabudovanými trubkovými výměníky se u deskových výměníků může tlaková ztráta a výkon upravit individuálně, přičemž nesmí být v žádném případě překročena tlaková ztráta 100 mbar (= 1 mWs).

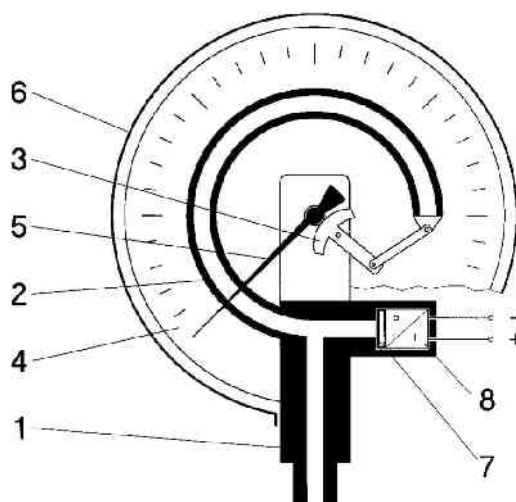
Ze součtu tlakových ztrát výše jmenovaných komponentů vyplývá celková tlaková ztráta, na kterou je čerpadlo dimenzováno. Je třeba požadovat čerpadlo, které může být provozováno na nejvyšší počet otáček a které musí být co nejméně škrceno.

## 4.12 Vizuální měřící a kontrolní zařízení

### Manometr:

Ve vytápěcí technice jsou hojně rozšířeny Bourdonovy manometry (s glycerinovou náplní nebo bez ní). Obr. 4. 27 představuje schéma Bourdonova manometru (doplňkově s elektrickým výstupem signálu).

- 1 - Přípojný čep
- 2 - Měřicí prvek
- 3 - Ručičkové ústrojí
- 4 - Číselník
- 5 - Ručička
- 6 - Kryt
- 7 - Měrný článek
- 8 - Převodník na elektrický signál



Obr. 4.27: Bourdonův manometr s výstupem signálu

### Měřič průtoku

Malé mechanické ukazatele umožňují přibližnou kontrolu průtoku. Měly by vykazovat co nejmenší tlakovou ztrátu a zároveň by měly být odolné vůči teplotě, tlaku a glykolu (ne z plastu!). Elektrický výstup signálu je užitečný (např. jako valuátor pro jednoduché měření množství tepla).

### Teploměr

Většinou se jedná o jednoduché bimetalové teploměry, které odolávají teplotě až do cca 160 °C. Montáž se provádí do objímky vnořené do zásobníku. Na obr. 4.28 je bimetalový teploměr.



Obr. 4.28: Bimetalový teploměr s objímkou ke vnoření do zásobníku

## 4.13 Regulace

Úkolem regulace je řídit čerpadla, přepínací ventily atd. tak, aby energetická účinnost odpovídala vyzařované sluneční energii, resp. aby celý systém optimálně fungoval a tím vznikala minimální potřeba dotápění.

Dnešní trh nabízí jednoduché regulátory teplotních rozdílů, víceokruhové regulátory (z části s regulátorem otáček) nebo volně programovatelné regulátory dle různých požadavků. Některé přístroje disponují také možností uchovávat určitá data jako např. dobu chodu čerpadla, které mohou být předávány přes rozhraní do počítače nebo modemu.

### 4.13.1 Způsoby regulace

**Jednookruhová regulace:** Zde je regulován jenom jeden hydraulický okruh. Většinou se přitom jedná o regulaci podle rozdílu teplot. Teplotní čidlo se nachází na nejteplejším místě solárního okruhu před výstupem z kolektoru, druhé čidlo je zasunuto objímkou do zásobníku ve výšce předavače tepla ze solárního okruhu. Pokud je dosaženo stanoveného teplotního rozdílu, spustí regulátor čerpadlo solárního okruhu.

Aby se sepnutí neustále neopakovala, umožňují obvyklá regulační zařízení spínat a vypínat čerpadlo v rozsahu nastavitelné hystereze. Teplotní rozdíl vyžadovaný pro zapnutí je 5 K až 10 K v závislosti na délce potrubí a teplotním spádu na rozhraní v předavači tepla. Práh pro vypnutí je mezi 2 K a 3 K.

**Dvouokruhová regulace:** Regulátor řídí např. kolektorový okruh a dotápění zásobníku na teplou vodu nebo zařízení se dvěma kolektorovými soustavami.

**Víceokruhová regulace:** Na regulátor je připojeno více okruhů. Lze nastavit přednostní zapojení, spínat několik topných okruhů, regulovat vytápění místností a bazénu atd. U větších zařízení se přechází k volně programovatelným regulátorům.

*Volně programovatelné regulátory:* U těchto regulátorů mohou být volně nastaveny teplotní rozdíly, křivky zahřívání, proporční koeficienty a částečně také P-část (rychlost), I-část (přesnost) a D-část (tlumení). Uživatelé tak umožňují přizpůsobit regulaci samotnému zařízení. Velmi jednoduše se dá regulace řídit prostřednictvím počítače (zejména u velmi velkých zařízení), kde může software – naprogramovaný, rozšířený a změněný dle požadavků – převzít funkci regulátoru.

## 5 Výpočet spotřeby tepla – obecná charakteristika

Nejdůležitějším parametrem pro dimenzování kolektorové plochy je spotřeba. Z toho důvodu by se jí měla věnovat zvláštní pozornost. Kromě spotřeby energie na vytápění místností, zaujímá spotřeba teplé vody větší či menší podíl v závislosti na budově a jejím využití. Kromě toho by měly být do energetické spotřeby celé budovy zahrnuty ztráty zásobníku, potrubí a armatur. Tyto ztráty by měly být brány v potaz i při dimenzování.

Běžná spotřeba se skládá ze dvou položek:

- Teplá voda
- Vytápění místností

### 5.1 Výpočet spotřeby tepla pro vytápění

Ve vztahu slunečního záření a topné sezony je možné sledovat protichůdný trend. Zimní měsíce s nejmenším slunečním svitem totiž souvisí s nejvyšší spotřebou tepla. Přesto mohou mít solární systémy zejména v přechodovém období přínos pro zásobování teplem.

Pokud se solární systémy používají také k podpoře vytápění, je nutné znát pro dimenzování spotřebu tepla na vytápění budovy.

### 5.2 Výpočet spotřeby teplé vody

Pro výpočet spotřeby teplé vody, se kterým se nepřímo pojí dimenzování kolektorové plochy, hraje kromě průměrné denní její spotřeby podstatnou roli i charakteristika, tzv. spotřební profil. Spotřební profil se může podstatně měnit v závislosti na čase a využívání budovy.

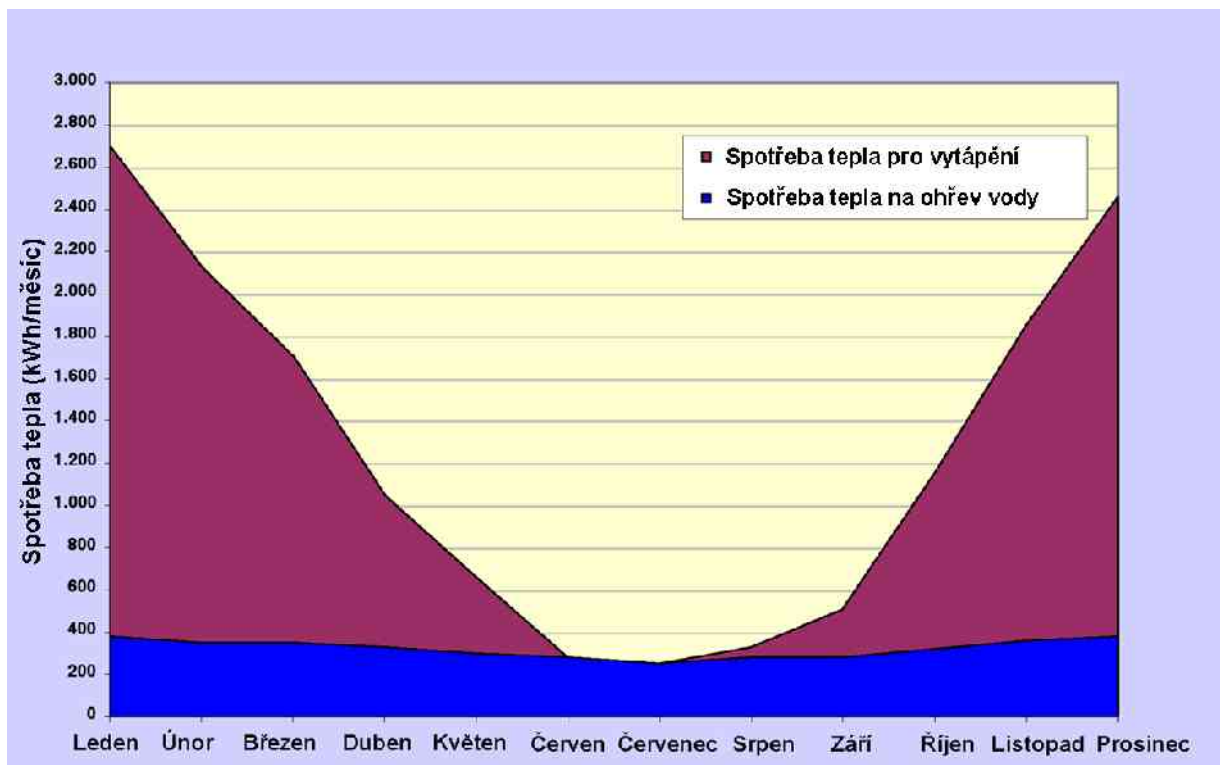
Podíl teplé vody na celkové spotřebě energie je u **rodinných domů** relativně nízký. Během letních měsíců je spotřeba teplé vody malá, což souvisí s časem dovolených a nižšími teplotami teplé vody během letních měsíců.

Jak již bylo právě zmíněno, měsíční spotřební profil teplé vody v rodinných domcích a domech pro více rodin je během roku téměř konstantní (pouze během letních měsíců dochází k omezení spotřeby).

#### 5.2.1 Výpočet spotřeby teplé vody v rodinných domech

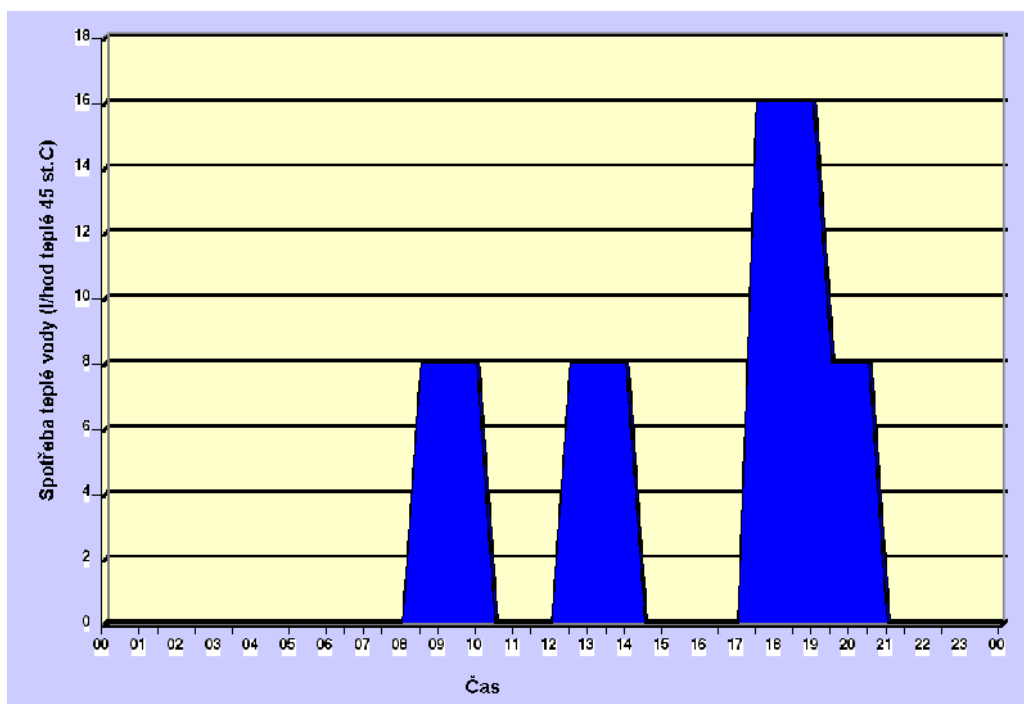
Očekávaná spotřeba teplé vody v domácnosti má pro dimenzování solárního zařízení rozhodující význam. Záleží na zvyklostech uživatelů a technickém vybavení. Pokud se např. rodina spíše sprchuje, je denní spotřeba teplé vody podstatně nižší, než při koupání.



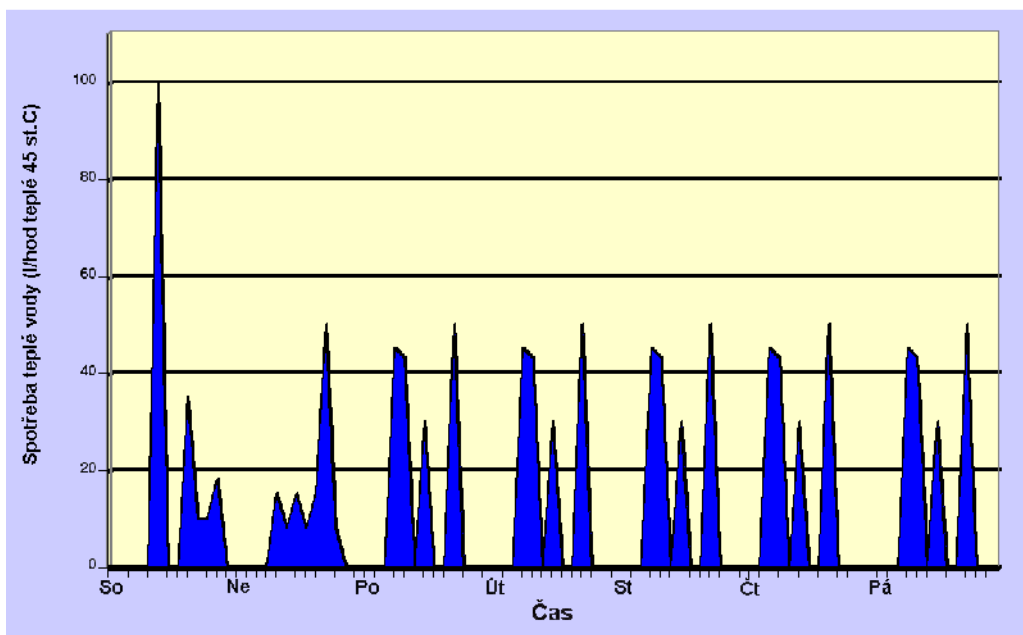


Obr.5.1: Průběh spotřeby tepla na ohřev vody a vytápění místností v rodinném domě během sledovaného období jednoho roku

Spotřeba v rodinných domech v průběhu dne silně kolísá. Je třeba rozlišovat mezi pracovními dny a víkendem. Následující obrázky (obr. 5.2 a obr. 5.3) ukazují průměrné spotřební profily rodinného domu. Zde jsou představeny jak spotřební špičky v průběhu dne, tak rozdíly spotřeby mezi pracovními dny a víkendem.



Obr.5.2: Průměrný denní spotřební profil vody u rodinného domu



Obr.5.3: Průměrný týdenní spotřební profil vody u rodinného domu.

Obě grafiky odráží spotřební charakteristiku běžných rodinných domů. Dále budou představeny špičky spotřeby (ráno a večer). Ty se objevují zřídka a na krátkou dobu, nemají tedy význam pro dimenzování kolektorové plochy, ale je třeba na ně dbát v souvislosti se zabezpečením zásobování (nepřetržité poskytování teplé vody). U běžných systémů pro zásobování teplou vodou nehrají tyto špičky spotřeby podstatnou roli. Pokud je ale teplá voda ohřívána prostřednictvím externího deskového výměníku (což přichází v úvahu u kombinovaných zařízení) musí být tato maximální momentální spotřeba pokryta prostřednictvím přechodného výkonu deskového výměníku.

U běžných rodinných domů s průměrnou spotřebou je denní spotřeba teplé vody zachycena v tab. 5.1.

	Spotřeba teplé vody [litry]	Teplota [°C]
Spotřeba na osobu a den	50	50

Tab.5.1: Průměrné údaje o denní spotřebě teplé vody v rodinných domech

Pokud mají obyvatelé domu výjimečnou spotřebu, může být k výpočtu denní spotřeby teplé vody použita tab.5.2 pro určení spotřeby v kombinaci se spotřebním chováním uživatelů (mělo by být dohodnuto s obyvateli)

	Spotřeba teplé vody [litry]	Teplota [°C]
Mytí nádobí na osobu a den	12 - 15	50
Mytí rukou	2 - 5	40
Mytí hlavy	10 - 15	40
Sprchování	30 - 60	40
Koupání - normální vana	120 - 180	40
Koupání – velké vana	250 - 400	40

Tab. 5.2: Přehled různých množství spotřeby a s tím související teplota. (Themessl et al. 1999)

Výpočet pro průměrný rodinný dům:

$$V_{DS} = P \cdot V_P$$

$V_{DS}$     Denní spotřeba teplé vody celého domu [litr/den, 50 °C]

$P$         Počet osob

$V_P$        Průměrná denní spotřeba teplé vody [litr/den a osoba, 50 °C]

**M**

**Přibližný základ výpočtu: 50 l na den a osobu s teplotou 50 °C**

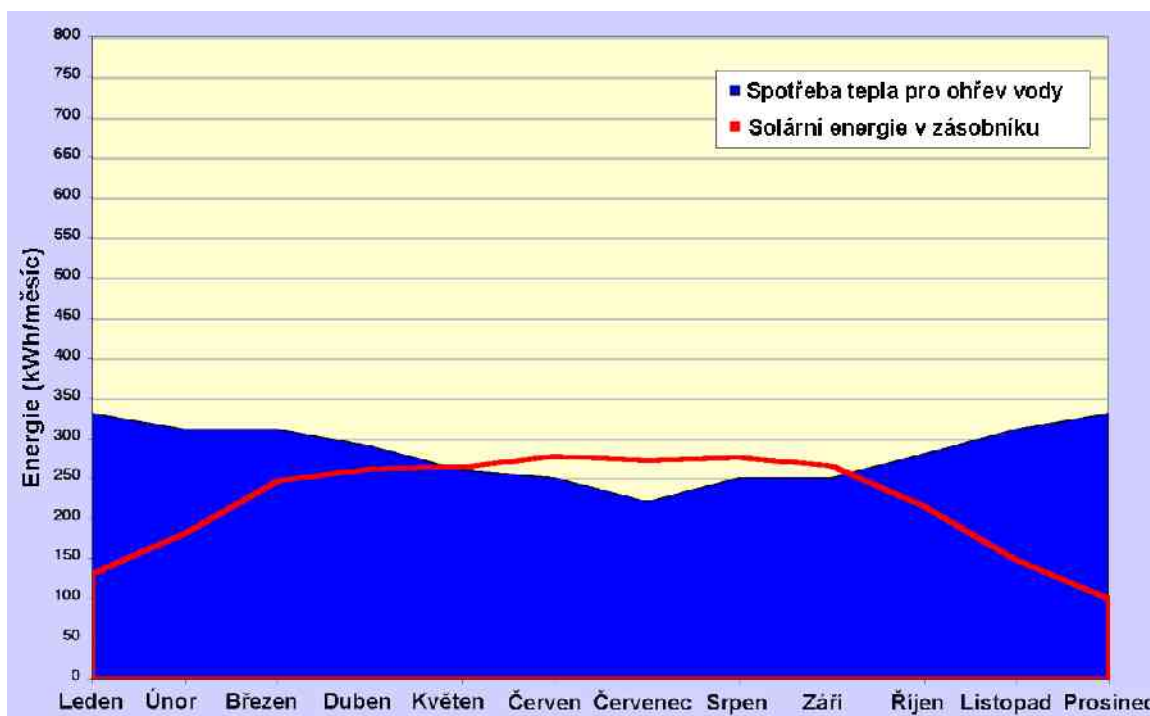
## 6 Solární systémy a jejich dimenzování pro rodinné domy

### 6.1 Solární systémy k ohřevu teplé vody

Běžně se v našich zeměpisných šířkách užívá k ohřevu vody elektrický proud, ropa, plyn, dálkové vytápění nebo biomasa. Pokud se voda v létě ohřívá prostřednictvím klasického topného kotle, jeho účinnost je velmi špatná. Z tohoto důvodu je v měsících, kdy není potřeba vytápět místnosti, solární ohřev teplé vody hospodárnější a podstatně šetrnější k životnímu prostředí.

Sluneční energie stačí pokrýt v letní polovině roku v závislosti na dimenzování solárního zařízení spotřebu teplé vody v rozmezí 80 % až 100 % (viz obr. 6.1).

V přechodném období a v zimních měsících stačí sluneční energie k predehřátí vody; tzn. že studená voda musí být ještě dohřáta topným kotlem nebo elektrickou topnou patronou. V zimní polovině roku se během slunečných dnů teploty vody mohou pohybovat v rozmezí 30 °C až 60 °C. Úspora energie je tak i v zimním období významná.

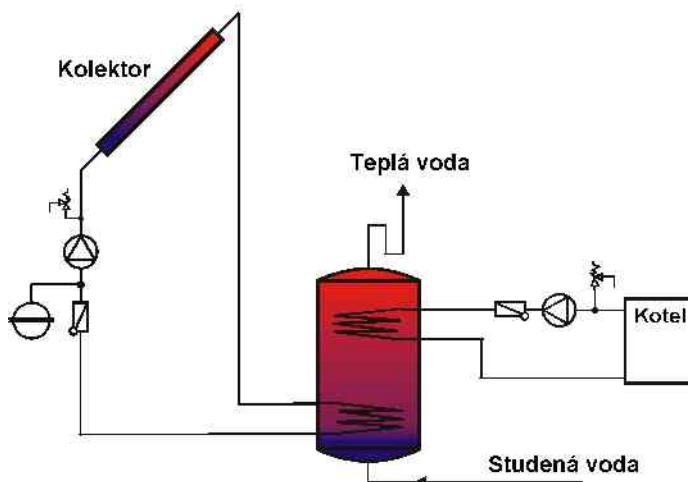


Obr. 6.1: Spotřeba teplé vody a solární výnos energie rodinného domu se 4 osobami a denní spotřebou teplé vody 200 litrů při 50 °C během sledovaného období jednoho roku. Roční solární stupeň pokrytí: 68 %

#### 6.1.1 Solární systém pro ohřev teplé vody

Realizace hydraulického zapojení solárního systému na ohřev teplé vody probíhá u všech firem téměř shodně. Zařízení na ohřev teplé vody jsou většinou stejně jako v Rakousku tlakové systémy. Jednotlivé rozdíly jsou pouze v použití typu tepelného výměníku (žebrové nebo hladké trubkové výměníky) solárního systému. Obr. 6.2 ukazuje příklad zapojení solárního systému na ohřev teplé vody pro rodinné domy.

Dle spotřebního chování uživatelů se používají různé velikosti kolektorových ploch a objemy zásobníku na ohřev teplé vody. Energie se z kolektoru přenáší přes solární okruh do zásobníku prostřednictvím čerpadla. Odtud se dostává přes integrovaný předavač tepla k vodě v zásobníku. Ohřev teplé vody probíhá nepřetržitě za pozvolna stoupajících teplot. To znamená, že se celkový objem zásobníku pomalu otepluje a teprve po delší době provozu solárního systému je dosaženo požadované teploty teplé vody (min. 45 °C).



Obr. 6.2: Hydraulické zapojení solárního systému na ohřev teplé vody v rodinných domech.

Pohotovostní objem zásobníku na teplou vodu se udržuje ohřátý většinou díky automatickému kotli. Tento objem se stará o to, aby byla v průběhu celého dne k dispozici teplá voda s požadovanou teplotou.

Mnoho firem zabývajících se solární technikou nabízí na trhu prefabrikované zásobníky na vodu s integrovanou regulací a čerpadlovou soustavou pro solární okruh. Při vysokém stupni prefabrikace těchto systémových komponentů musí být ještě k zásobníku připojen kolektorový okruh a zdroj dotápění, aby se mohlo přistoupit k solárnímu ohřevu teplé vody.



Obr.6.3: Vlevo: Připojení solárního výměníku na teplou vodu ve spodní části zásobníku prostřednictvím solárního okruhu.

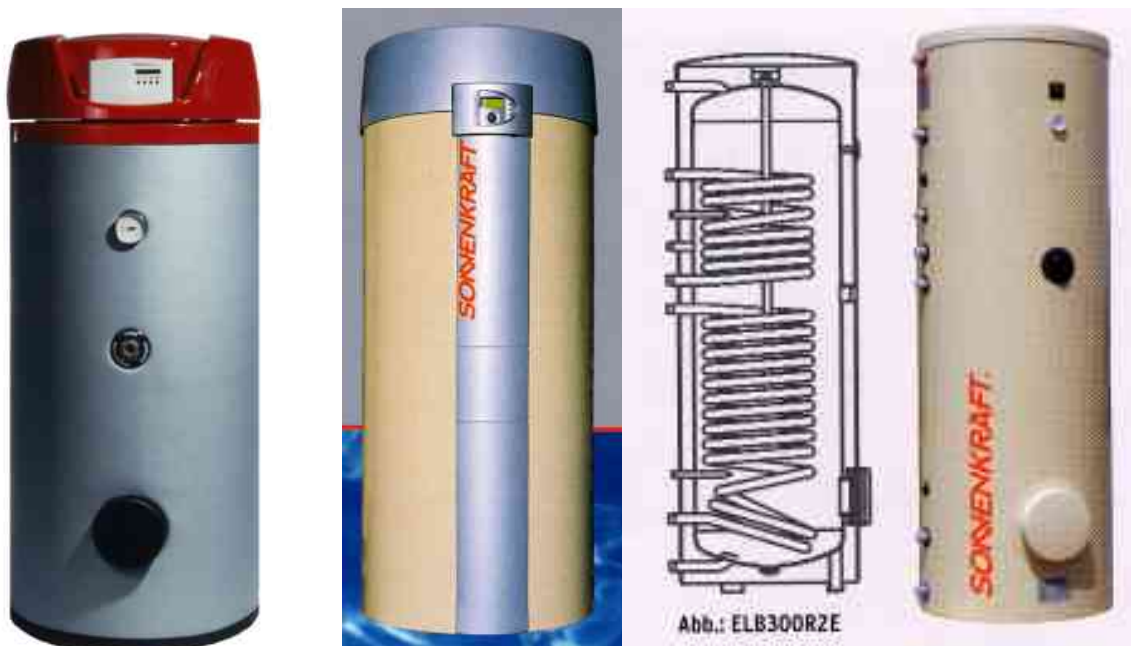
Vpravo: Prefabrikovaný modul solární vratné soustavy a zásobník na teplou vodu v rodinném domě.

### 6.1.2 Dimenzování kolektorové plochy a objemu zásobníku na teplou vodu

Při dimenzování důležitých rozměrů systému (objem zásobníku na teplou vodu, kolektorová plocha) by mělo být zachováno následující pořadí:

1. Výpočet denní spotřeby teplé vody (teplota 50 °C)
2. Výpočet objemu zásobníku na teplou vodu
3. Výpočet kolektorové plochy

Pokud je spočtena denní spotřeba teplé vody, může být vypočítán i objem zásobníku. Objem zásobníku v jedno- a dvojdomku by měl pro solární zařízení na ohřev teplé vody činit 2 až 2,5 násobek denní spotřeby. Tím je zajištěno překlenutí ve dnech slabšího slunečního svitu a mohou být pokryty špičky spotřeby.



Obr.6.4: Kompaktní zásobník pro solární ohřev teplé vody s vysokým stupněm prefabrikace – vlevo, a zásobník na teplou vodu s integrovaným hladkým trubkovým výměníkem - vpravo

$$V_Z = V_{DS} \cdot 2 [l]$$

$V_Z$             Objem zásobníku na teplou vodu [litry]

$V_{DS}$             Denní spotřeba teplé vody celého rodinného domu [litry/den, 50 °C]

Protože výrobci nenabízejí zásobníky všech velikostí, je třeba se orientovat na velikosti běžně dostupné na trhu. Zásobník by se ale neměl od spočítaného objemu odchylovat směrem dolů ne více než o 10 % a nahoru ne více než o 20 % . Na trhu se běžně dají sehnat zásobníky na 300, 400, 500, 750 a 1.000 litrů.

### Výpočet kolektorové plochy

Dalším krokem je výpočet kolektorové plochy. Kolektorová plocha je závislá na některých faktorech, které musí být při dimenzování zohledněny. Možné ovlivňující faktory jsou:

- Spotřeba teplé vody
- Objem zásobníku na teplou vodu
- Typ kolektoru
- Požadovaný solární stupeň pokrytí spotřeby teplé vody
- Klimatické podmínky místa
- Sklon a orientace kolektoru

Zatímco spotřeba, objem zásobníku na teplou vodu a klimatické podmínky místa jsou dány, měly by se ostatní faktory přizpůsobit co nejoptimálnějšímu využití sluneční energie.

Pro solární ohřev teplé vody nejsou vhodné vakuové kolektory. Na základě nepříliš vysokých provozních teplot by měly být využívány cenově výhodnější ploché kolektory. Ve srovnání s vakuovými kolektory vykazují v tomto potřebném teplotním rozmezí jen zanedbatelně horšího výkonu.

Pro solární ohřev teplé vody by mělo být cílem dosáhnout téměř 100 % solárního pokrytí v letních měsících. Během těchto měsíců je třeba zajistit, aby se nemuselo využívat dotápění. Vedle získání komfortu se tak zamezí provozu topného kotle na ohřev teplé vody s velmi špatnou účinností. Z tohoto důvodu je třeba při dimenzování usilovat o přibližně 70 % solární roční pokrytí teplé vody. Jako předlohu pro dimenzování je možné použít tab. 6.1.

Denní spotřeba [litry/den, 50 °C]	Objem zásobníku na teplou vodu [litry]	Hrubá kolektorová plocha (plochý kolektor) [m <sup>2</sup> ]
100	200	4
200	400	6
300	500-750	8-12
400	750 – 1.000	12-16

Tab. 6.1: Přehledná tabulka spotřeby, příslušného objemu zásobníku na teplou vodu a kolektorové plochy

Představené hodnoty dimenzování je třeba brát jako orientační.

### 6.1.3 Faktory ovlivňující sklon a orientaci kolektorové plochy

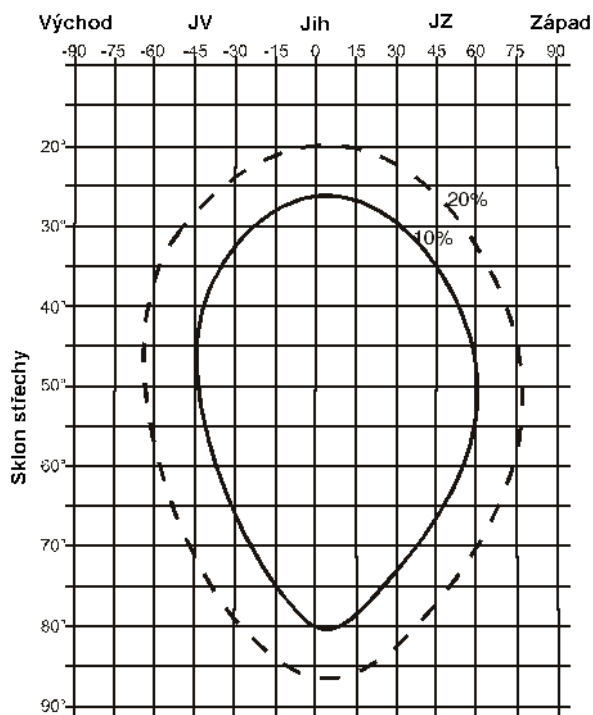
Dalšími faktory ovlivňující kolektorovou plochu jsou její sklon a orientace.

Nejčastějším místem pro umístění kolektoru je střecha rodinného domu. Pokud není montáž na střeše možná, mohou být kolektory umístěny na vhodné konstrukci v blízkosti domu, na svahu nebo na ploché střeše. V každém případě by se mělo dbát na to, aby potrubí vedoucí k zásobníku a od něj bylo co nejkratší. Pro montáž solárních kolektorů se nejlépe hodí plochy orientované na jih. Odklon o 45 stupňů na východ nebo na západ je možný, protože energetický zisk se tím podstatně nemění.

Jak je zřejmé z obr. 6.5, pro solární systémy k ohřevu teplé vody je optimální sklon kolektorové plochy cca 45° a orientace na jih.

Kromě závislosti na parametrech kolektoru je solární zařízení ve velké míře závislé i na tom, v jakém úhlu je solární kolektor vzhledem ke Slunci. Největší účinnosti se dosáhne tehdy, když je k němu kolektor stále v pravém úhlu, ale obvykle nemáme u solárních systémů natáčecí zařízení. U jižně orientované plochy se největšího zisku energie v letní polovině roku dosahuje při sklonu kolektoru od 20 do 30 stupňů.

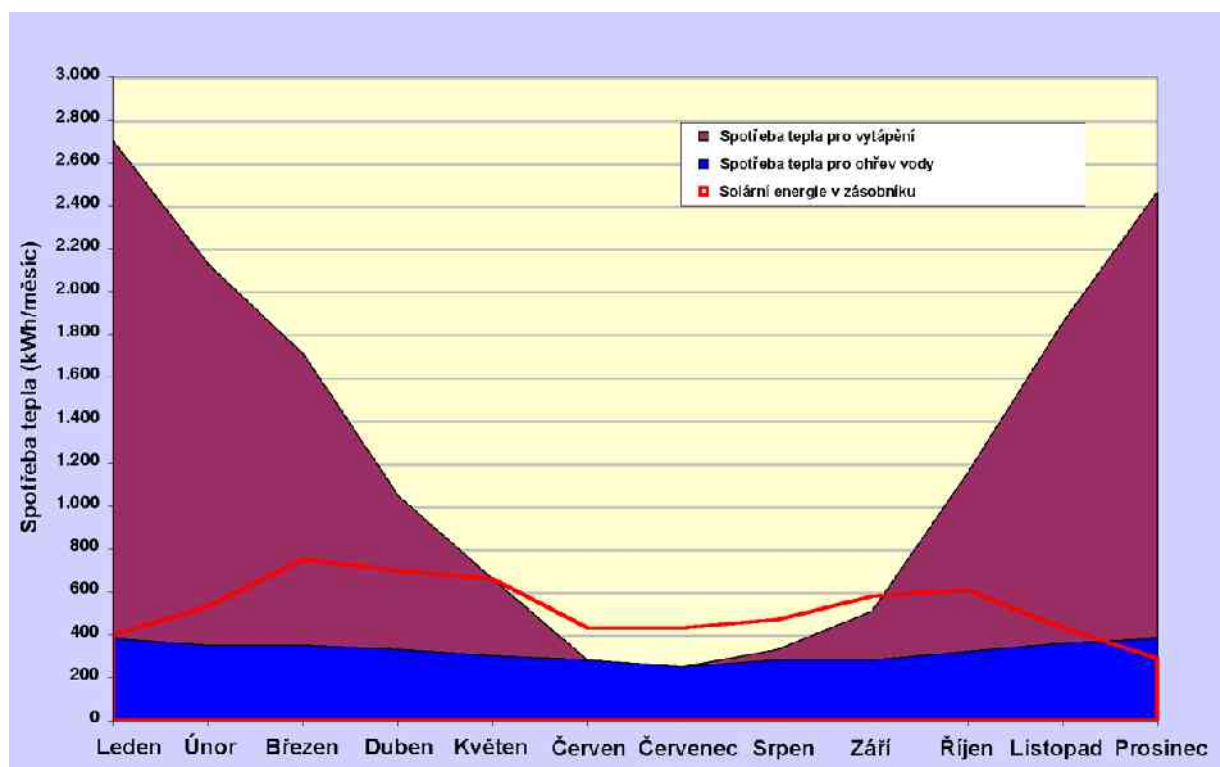
V zimních měsících je nejpříznivější úhel cca 60 stupňů. Pro celoroční užívání solárních systémů na ohřev teplé vody v rodinných domech je v našich zeměpisných šířkách ideální úhel 45 stupňů. Malé odklony od optimálního úhlu se neprojevují drasticky. Pokud se orientace a sklon kolektorové plochy nalézají vně plné čáry a uvnitř čárkované oblasti, je třeba počítat s 10 až 20 % snížením zisku.



Obr.6.5: Vliv sklonu a orientace kolektorové plochy solárního systému k ohřevu teplé vody na solární zisk. (Themessl et al. 1999)



## 6.2 Solární systémy na ohřev teplé vody a podporu vytápění místností



Obr.6.6: Průběh spotřeby tepla a solárního výnosu energie rodinného domu s obytnou plochou 130 m<sup>2</sup> (tepelná ztráta 6 kW) a 4 osobami. 25 m<sup>2</sup> kolektorové plochy a zásobník na 1.800 litrů umožňují téměř 40 % stupeň solárního pokrytí.

### 6.2.1 Typické hydraulické koncepty systémů na vytápění

U solárních zařízení na ohřev teplé vody a podporu vytápění se nabízí podstatně větší a komplexnější rozmanitost hydraulického zapojení, než u jednodušších solárních zařízení na ohřev teplé vody. Firmami doporučené koncepty sahají přes „systémy sestavené z jednotlivých součástí“ až po „systémy s vysokým stupněm prefabrikace“, což většinou vyžaduje individuální plánování a svědomitou montáž. Je důležité zvolit vhodný celkový systém s důrazem na substituci běžných zdrojů energie a komfortní obsluhu. Systém by měl být co nejjednodušší a ve vztahu k použitým instalačním komponentům co nejméně poruchový (zřící se komplikovaných čerpadlových a ventilových rozvodů). V zásadě by při zhotovování hydraulického konceptu solárního zařízení na ohřev teplé vody měly být brány v potaz následující parametry:

- Jaký výkon se očekává od kolektoru (kolektorová plocha, typ kolektoru)?
- Způsob provozu solárního zařízení (high flow, low flow, matched flow)?
- Jaký prostor a výška je k dispozici v místnosti, kde bude umístěn zásobník?
- Zdroj tepla (s regulací výkonu nebo bez ní)?
- Způsob ohřevu teplé vody?
- Druh otopné soustavy (vysoko- nebo nízkoteplotní, s velkou nebo malou setrvačností)?
- Typ regulace vytápění?

Na základě rozmanitosti a technicky velmi rozdílných produktů na trhu se pokusíme v následující části shrnout podstatné systémové koncepty. Jako výchozí hodnota poslouží počet zásobníků (systémy s jedním nebo dvěma zásobníky).

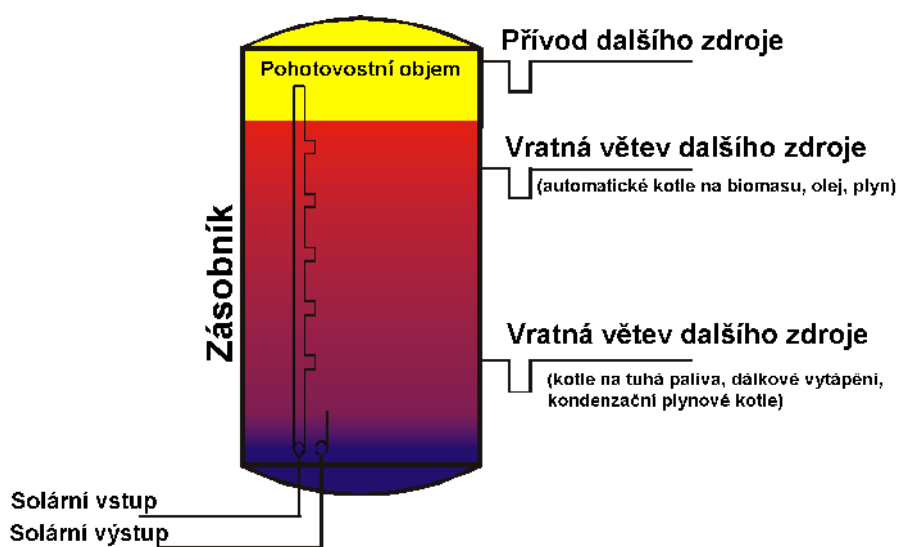
### 2.1.1 Systémy s jedním zásobníkem

Energie se centrálně hromadí v nádobě a tvoří tak hydraulickou výhybku pro zdroj tepla (solární systém, běžný zdroj tepla) stejně jako pro zásobování spotřebitelů (teplá voda, vytápění místností).

Zásobník můžeme rozdělit na základě tří teplotních úrovní (teplá voda, vytápění a předehřívání vody v zásobníku) do tří vrstev, které by měly během provozu zůstat co nejvíce oddělené. Ohřev teplé vody vyžaduje u nízkoteplotních otopných soustav nejvyšší teplotní úroveň. Ta musí být stálá a je jedno, zda se v nejvyšší části zásobníku pro garantované zásobování teplou vodou nachází integrovaný zásobník na teplou vodu nebo externí tepelný výměník. Studená voda má nejnižší teplotu v systému a je proto přiváděna na samotné dno zásobníku. Mezi tím se nachází oblast pro topné potřeby. Napojení běžného zdroje tepla se musí provést tak, aby horké médium vstupovalo do oblasti ohřevu teplé vody a přednostně pokrylo tuto potřebu. Přípojka vstupní větve vytápění musí být zapojena tak, aby se zóna pro topné účely nikdy nepřiblížila zóně stanovené pro ohřev teplé vody. Také vratná větev vytápění se nachází nad teplotní úrovní studené vody. Tak je tato zóna k dispozici pouze solárnímu zařízení a způsobuje, že ve vratné větvi kolektoru jsou výhodné nízké teploty.

Připojení běžného zdroje tepla nevyžaduje u systémů s jedním zásobníkem velké rozdíly ve vztahu ke zvolenému zdroji energie. Protože všechny běžné zdroje tepla jsou vedeny přes zásobník, musí umístění teplotních čidel odpovídat požadavkům kotle a výška vyústění větve, vracející se ke zdroji tepla, mu musí být přizpůsobena. Rozhodující je neposuzovat výhody jednotlivých částí systémů odděleně, ale všimnout si efektivity celého systému (co nejmenší spotřeba energie na dotápění). Obr. 6.7 ukazuje schematické uspořádání přípojek v závislosti na použití zdroje energie.

Běžně se zdroje tepla, které vyžadují dostatečně vysokou teplotu vratné vody nebo u nichž vyšší vratné teploty neovlivňují podstatně jejich účinnost (automatické vytápění biomasou, olejový kotel, plynový kotel bez kondenzace spalin), napojují v horní čtvrtině nebo třetině zásobníku. Čidla a vratná přípojka jsou umístěny tak, aby takový zdroj nemohl ohřívat spodní část zásobníku. U zdrojů tepla, které vyžadují co nejnižší vratné teploty (zařízení s kondenzací spalin, dálkové vytápění), se doporučuje zvolit umístění čidel jako předtím (horní čtvrtina až třetina zásobníku), ale výšku vyústění vratné větve posunout do spodní třetiny zásobníku.

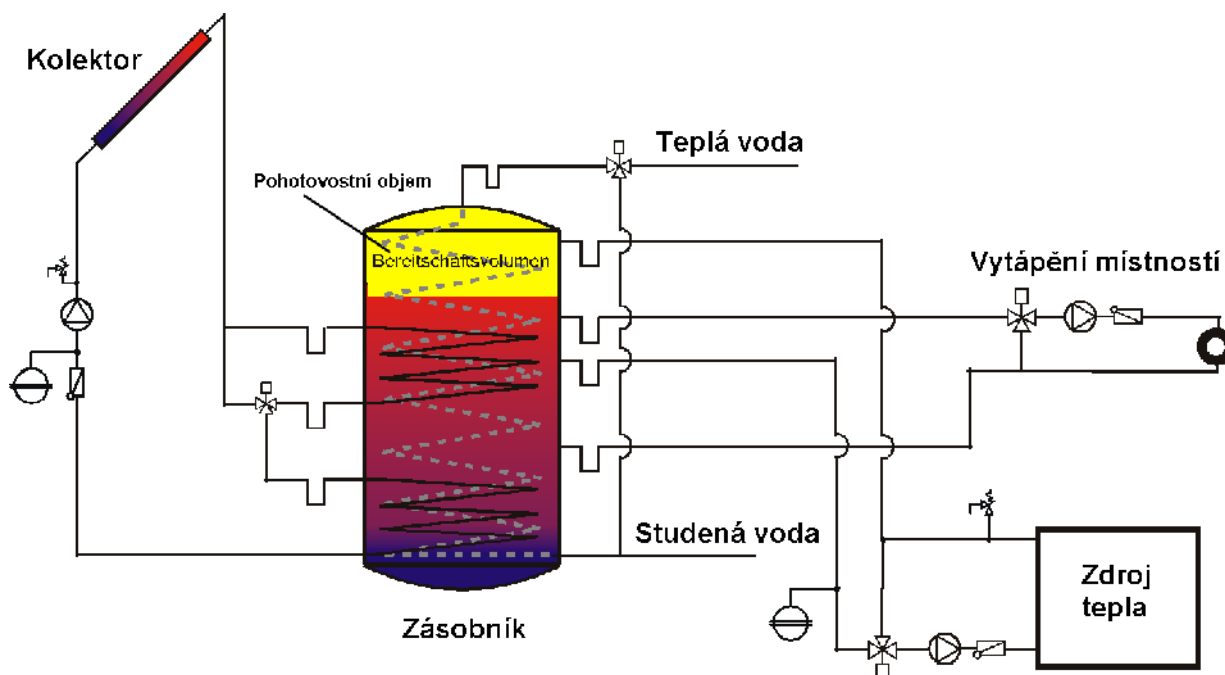


Obr. 6.7: V závislosti na typu dodatečného zdroje tepla musí být vratné větve umístěny v různých výškách

Tím se zajistí, aby byla u plynových spotřebičů optimálně využita kondenzace spalin a u napojení dálkového vytápění klesly ztráty na nejnižší míru.

Připojení solárního systému se může realizovat různými způsoby v závislosti na kolektorové ploše a sledované strategii nabíjení. Stejně tak i ohřev teplé vody, který u systémů s jedním zásobníkem probíhá přes integrovanou nádrž nebo na principu průtoku (vnitřní trubkový svazek, externí deskový výměník tepla). Následující obrázky ukazují možnosti běžných systémů s jedním zásobníkem.

Na obr. 6.8 je představeno napojení solárního systému přes dva integrované předavače tepla. Velikost systému je zde omezena využitelností a výkonností předavačů (obvykle do kolektorové plochy velikosti 20 m<sup>2</sup>). Díky přepínacímu ventilu může být v zásobníku v závislosti na momentálním výkonu kolektoru a teplotní situaci protékán buď jenom spodní výměník nebo oba sériově zapojené výměníky. Díky seriovému proudění ve výměnících se může v horní části zásobníku dosáhnout rychleji požadované teplotní úrovně. Pokud je jí dosaženo, přepne se ventil sám na spodní předavač a ohřívá spodní část zásobníku.



Obr.6.8: Příklad systému s jedním zásobníkem se solárním nabíjením přes dva integrované předavače tepla umístěné v různých výškách. Systém se hodí při odpovídajícím dimenzování jak pro high-flow tak pro low-flow provoz solárního zařízení. Ohřev teplé vody probíhá na základě principu průtoku přes integrovanou šroubovici, která se rozprostírá po celé délce zásobníku.

Ohřev teplé vody probíhá u tohoto hydraulického konceptu na základě principu průtoku přes integrovaný trubkový svazek zásobníku. Protože se trubkový svazek rozprostírá po celé délce zásobníku, může se spodní část vnořené nádrže s pitnou vodou dobře ochlazovat. Aby bylo zajištěno zásobování, musí běžný zdroj tepla udržovat odpovídající pohotovostní objem na určité teplotě a trubkový svazek musí mít odpovídající velikost povrchu.



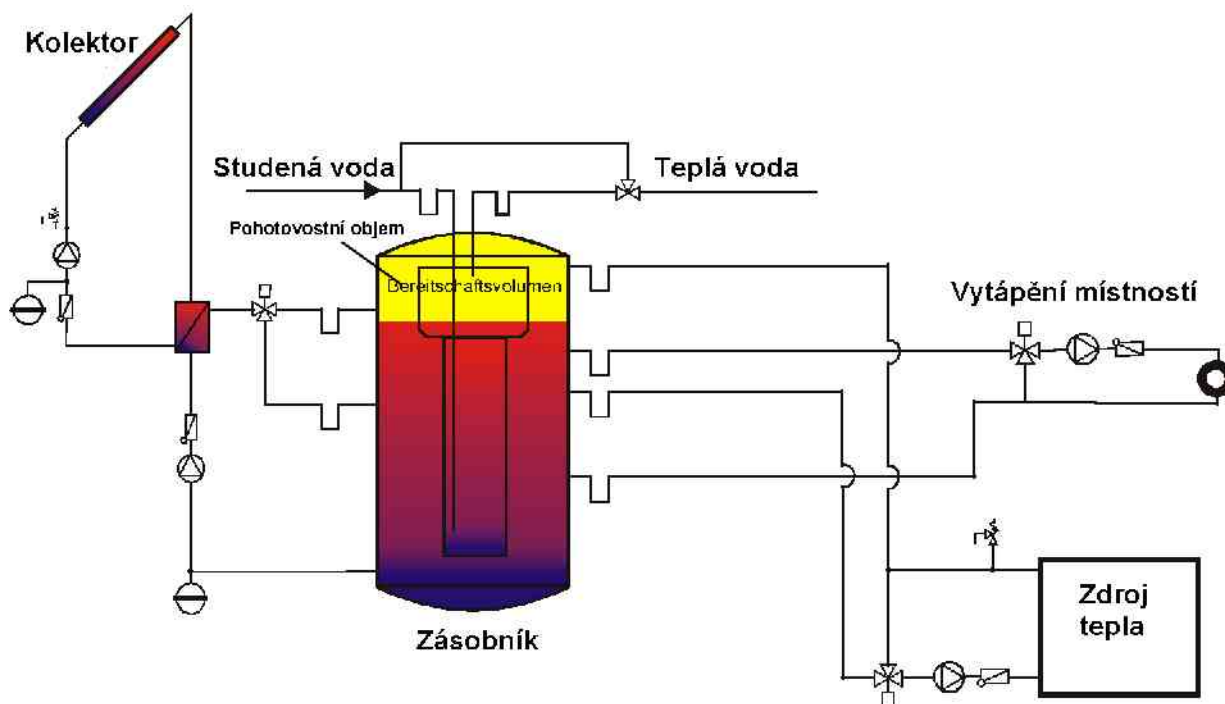
Obr. 6.9: Integrovaný vlnitý trubkový svazek uložený po celé délce zásobníku



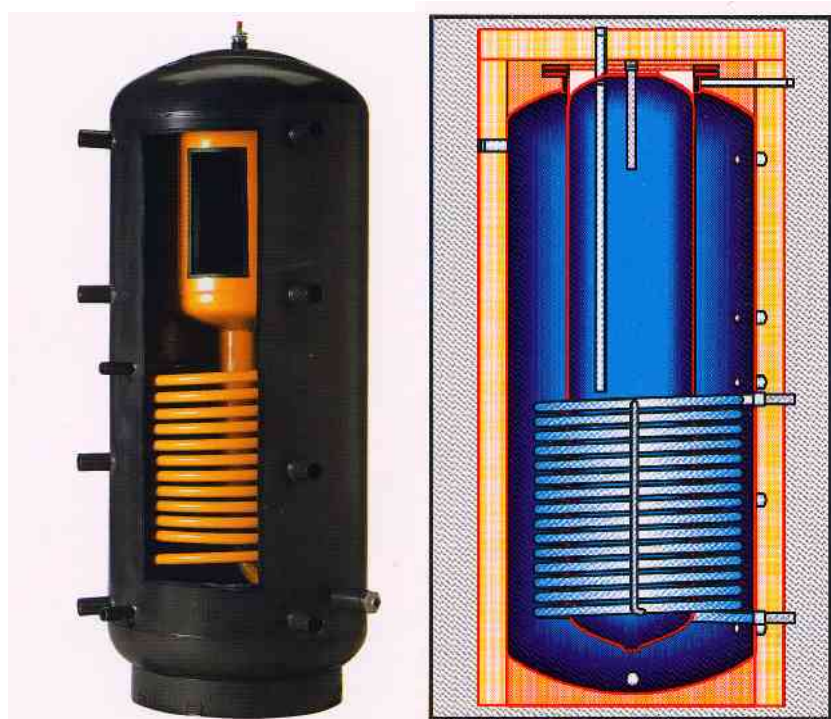
Obr. 6.10: Dodatečně je k vnitřním hladkým trubkovým výměníkům integrována vlnitá trubka z ušlechtilé oceli na ohřev teplé vody

Dalším často uplatňovaným konceptem se zásobníkem je pro kombinované systémy tzv. „tank-in-tank“ koncept. Připojení solárního systému v tomto případě nastává přes externí výměník (obvykle deskový) a přes dvě napájecí přípojky na zásobníku. Odpovídající hladina napájení se určuje v závislosti na teplotách zásobníku a převládajícím výkonu kolektoru (regulace třífázovým ventilem). Externí výměníky disponují sice velkou výkonností, ale vyžadují druhý regulovaný čerpadlový okruh (sekundární okruh), proto se používají teprve u větších kolektorových ploch (> 20 m<sup>2</sup>). Externí výměníky by se měly dimenzovat podle typu provozu (low-flow nebo high-flow) s max. logaritmičnými teplotními rozdíly 5 K.

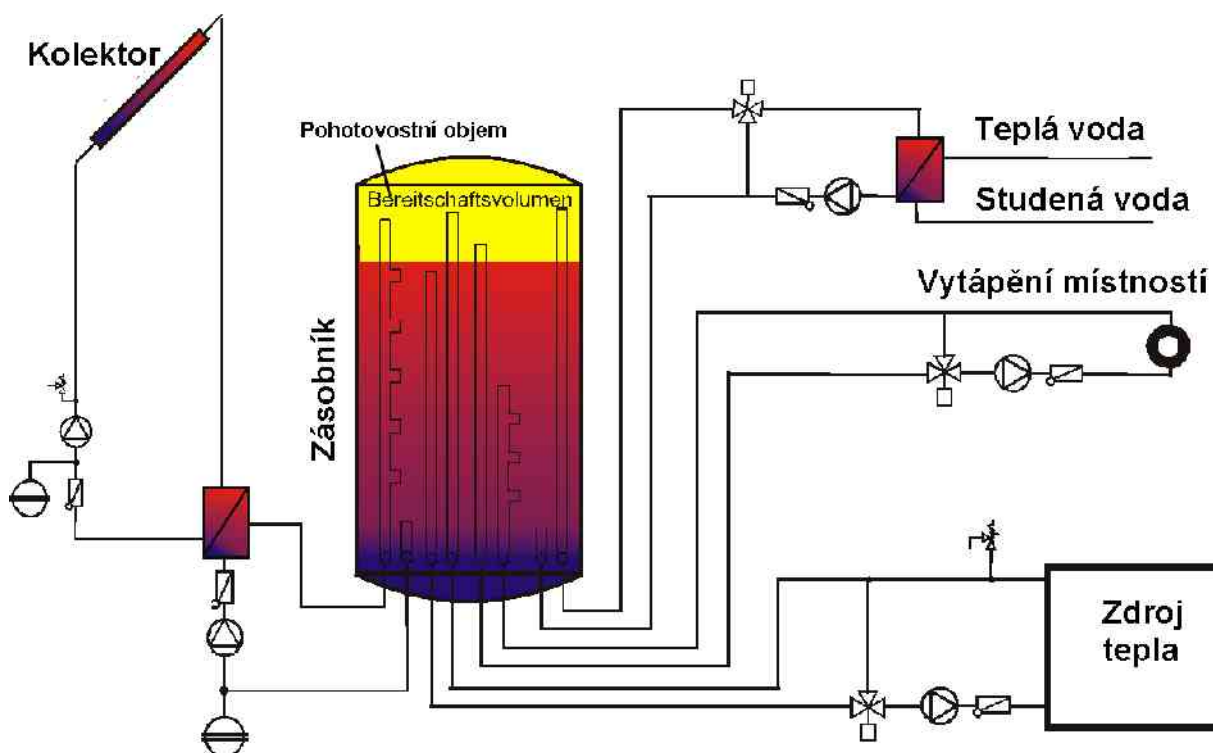
„Tank-in-Tank“ koncept znamená, že v zásobníku energie je integrován zásobník – bojler na teplou vodu (z ušlechtilé oceli nebo se smaltovaným vnitřním povrchem). To v každém případě vyžaduje, aby byl v horní části zásobníku udržován pohotovostní objem na odpovídající teplotě. Při používání integrovaných zásobníků na teplou vodu je třeba dbát na to, aby dosahovaly až na dno zásobníku, kde by měla být přípojka na studenou vodu. Pokud se používají integrované zásobníky na teplou vodu, které sahají pouze do horní třetiny zásobníku energie, dochází při odběru teplé vody k velmi silnému promíchání. Tím nemůže být teplota studené vody solárnímu zařízení k dispozici, což nevyhnutelně vede ke snížení efektivity solárního systému. Příklady dvou „Tank-in-Tank“ konceptů pro produkty dostupné na trhu jsou představeny na obr. 6.12.



Obr. 6.11: Příklad systému s jedním zásobníkem („tank-in-tank“ koncept) se solárním nabíjením přes externí výměník ve dvou úrovních zásobníku. Systém se při odpovídajícím dimenzování hodí jak pro high-flow tak pro low-flow provoz solárního zařízení. Ohřev teplé vody probíhá přes povrch integrované nádrže.



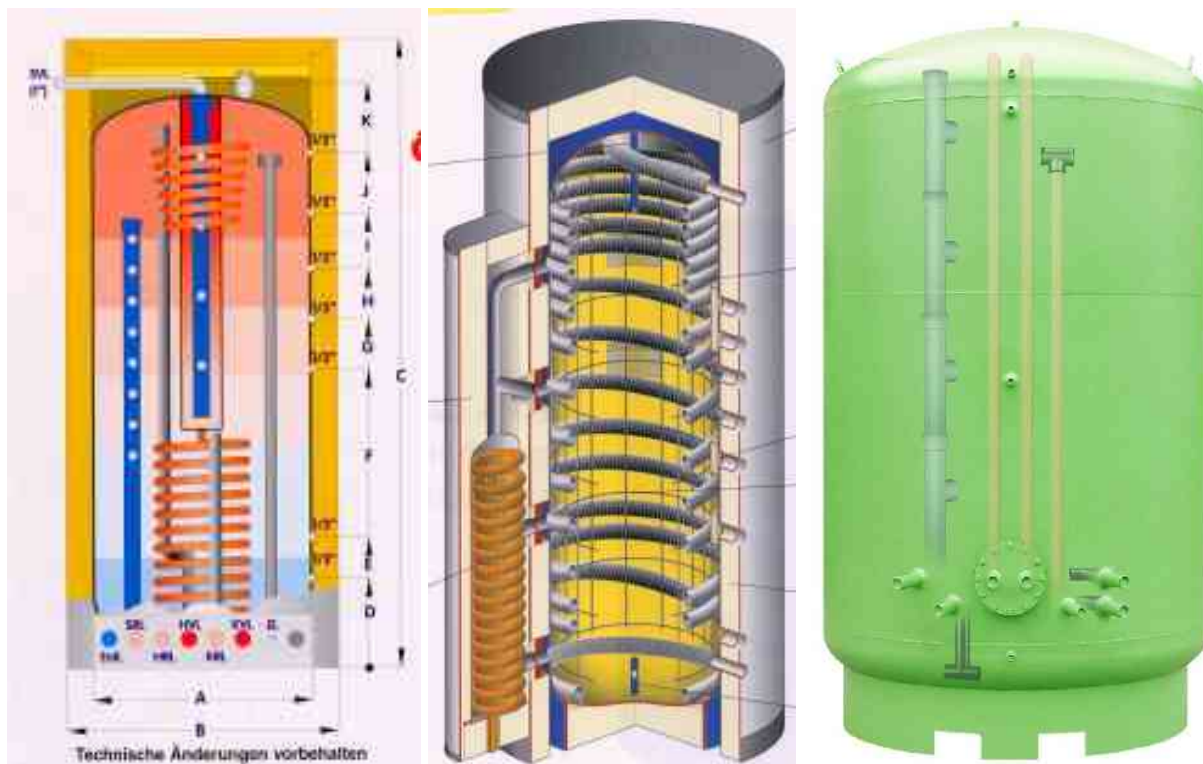
Obr.6.12: Vlevo: Tank-in-Tank zásobník s hruškovitým vnitřním tankem a integrovaným hladkým trubkovým výměníkem pro připojení solárního systému  
 Vpravo: Tank-in-Tank zásobník s cylindrickým vnitřním tankem a integrovaným hladkým trubkovým výměníkem pro připojení solárního systému



Obr.6.13: Příklad systému s jedním zásobníkem se solárním nabíjením přes externí výměník ve spojení s automatickým stratifikačním systémem. Tento systém vyžaduje low-flow provoz solárního zařízení. Ohřev teplé vody probíhá na základě průtokového principu přes externí výměník.

Hojně rozšířená jsou kombinovaná zařízení, která disponují tzv. stratifikovanými zásobníky, které rozdělují všechny tepelné proudy v systému podle jejich teplot. Obr. 6.13 představuje koncept s jedním zásobníkem se samočinnou stratifikací. Pojem samočinná stratifikace se rozumí systémy, které jsou založeny na rozdílu měrných hmotností teplé a studené vody. Studená voda je těžší než teplá a drží se ve spodní části zásobníku. Teplá voda je lehčí než studená a proudí stoupačkami do výšky s odpovídající okolní teplotou, kde z nich vystupuje. Samočinné stratifikační koncepty mají výhodu v tom, že jsou velmi jednoduché, málo poruchové a nepotřebují k provozu cizí energii.

Zatímco u obou výše představených hydraulických konceptů bylo možné provozovat solární systém jak podle high-flow tak podle low-flow principu, stratifikované zásobníky mohou uplatnit své přednosti z velké části jen ve spojení s low-flow principem. Využívá se i provoz podle matched-flow principu (řízený podle otáček). Některé běžně dostupné stratifikované zásobníky jsou představeny na obr. 6.14.

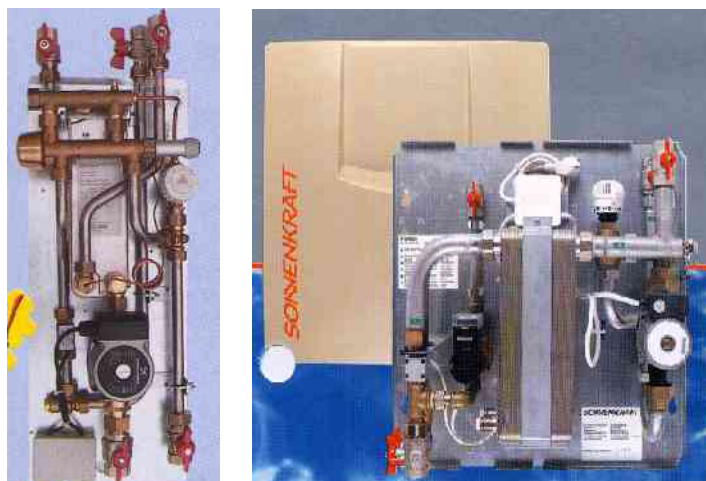


Obr. 6.14: Příklad rozdílných stratifikačních strategií

Pokud ohřev teplé vody probíhá přes externí výměník tepla (viz obr. 6.15), je třeba dbát na to, aby také potřebný výkon byl přenášen za nepříliš velkých teplotních rozdílů ( $< 5 \text{ K}$ ). Protože spotřeba teplé vody stejně jako teploty, které jsou nahoře v zásobníku energie, se liší případ od případu, musí být průtok ze strany zásobníku variabilní. Regulací otáček čerpadla nebo mechanickým proporčním regulátorem se hmotnostní průtok přizpůsobí skutečné spotřebě (usiluje se o stejné tepelné kapacity ze strany zásobníku a studené vody), aby se co nejrychleji dosáhlo požadované teploty. Je důležité, aby vratná teplota dosáhla do nejspodnější části zásobníku, co nejbližší na úroveň teploty studené vody.

Zatímco nabíjecí okruhy k ohřevu teplé vody přes externí výměníky byly na konci 90. let montovány ještě instalátorem ve kotelně z jednotlivých komponentů, v současné době existují mnohé prefabrikované osvědčené výrobky, které mohou být jednoduše montovány na stěnu.

Zvýšený stupeň prefabrikace jednotlivých částí systémů v solárních kombinovaných zařízeních znamená jednak redukci systémových nákladů a také redukci poruchovosti, protože kromě hydraulických spojení se stále více prefabrikují také elektrické



Obr.6.15: Vlevo: Prefabrikovaná stanice k ohřevu teplé vody na základě průtokového principu přes externí výměník s přizpůsobením množství přes mechanický proporční regulátor.  
Vpravo: Prefabrikovaná stanice k ohřevu teplé vody na základě průtokového principu přes externí výměník s přizpůsobením množství přes přimíchávací okruh

kabelové rozvody (řídící kabely a kabely čidel). V oboru solární techniky a především u kombinovaných solárních zařízení se trendem stává prefabrikace.

### **Obecně vykazují systémy s jedním zásobníkem následující výhody a nevýhody:**

#### Výhody systémů s jedním zásobníkem:

- Díky nepřítomnosti dalšího zásobníku na teplou vodu, mohou být redukovány ztráty vyzářováním.
- Kompaktnost a jednoduchost celkového konceptu.
- Potřeba prostoru pro komponenty zařízení je redukována.
- Ohřev pitné vody na základě průtokového principu je hygienicky (legionely, atd.) absolutně nezávadný.
- Systémy s jedním zásobníkem mají díky nepřítomnosti další nádoby menší investiční náklady.

#### Nevýhody systémů s jedním zásobníkem:

- Ohřev teplé vody probíhá přes dva výměníky (solární výměník na straně jedné a médium zásobníku na teplou vodu na straně druhé), což pro kolektor znamená vyšší vratné teploty (posunuté o teplotní spád výměníku). Menší význam má tato skutečnost u zásobníku s integrovaným zásobníkem ohřáté vody, pod nímž je dole had, ve kterém se přitékající pitná voda postupně předeřádívá.
- Nejvrchnější část zásobníku musí být stále udržována na požadované teplotě ohřáté vody. Pokud se používá zásobník s těsnou tepelnou obálkou, mohou být ztráty z toho vyplývající minimalizovány.

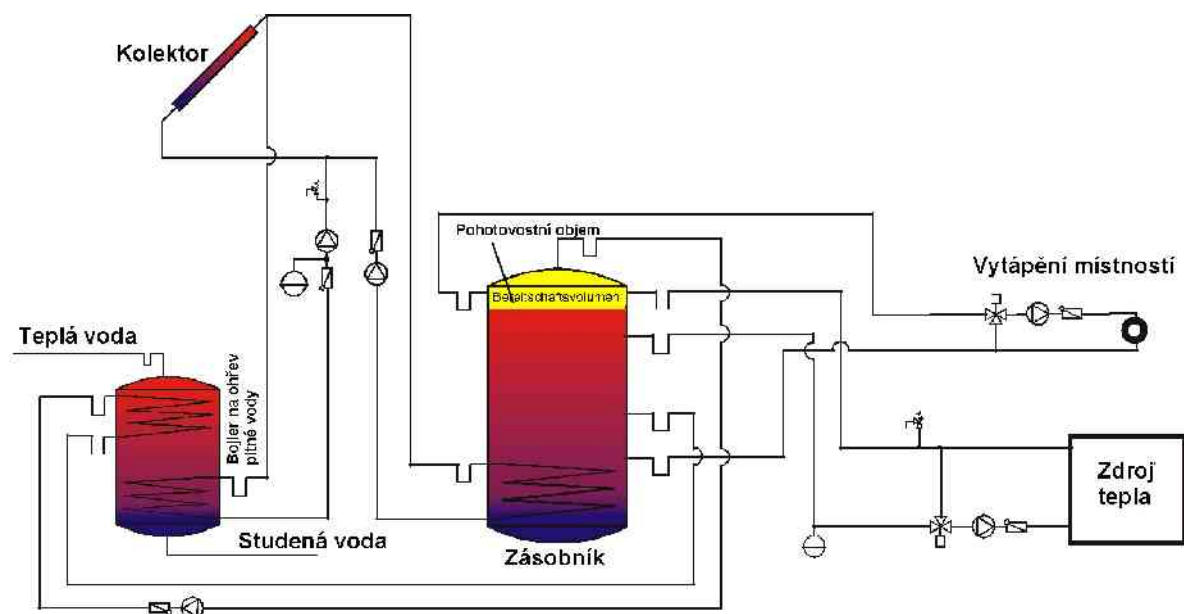
### **2.1.2 Systémy se dvěma zásobníky**

Systémy se dvěma zásobníky se podstatně liší od systémů s jedním zásobníkem v tom, že pro ohřev teplé vody se používá vlastní nádrž. První hydraulické koncepty tohoto druhu byly realizovány na konci 80. let a vlastní tak status klasiky solárních kombinovaných zařízení. Ačkoliv tyto systémy nevykazují jak z energetického (větší ztrátové povrchy), tak hospodářského hlediska (vyšší investiční náklady) bezpodmínečně výhody ve srovnání se systémy s jedním zásobníkem, mají ještě v současné době široké využití.

V podstatě mohou být systémy se dvěma zásobníky redukovány na následující dva koncepty.

Obr. 6.16 ukazuje systém se dvěma zásobníky, ve kterém je solární okruh veden přes předavač tepla na dně zásobníku s pitnou vodou nebo zásobníku s topnou vodou. Při takovém zapojení, v zásadě vhodném pro high-flow provoz, se docílí nejvyšších výnosů, když je vždy nabíjen zásobník s nižší teplotou. Výrobci regulačních zařízení nabízejí v praxi jednoduché řízení s možností upřednostnit jeden ze zásobníků nebo je napájet rovnocenně.



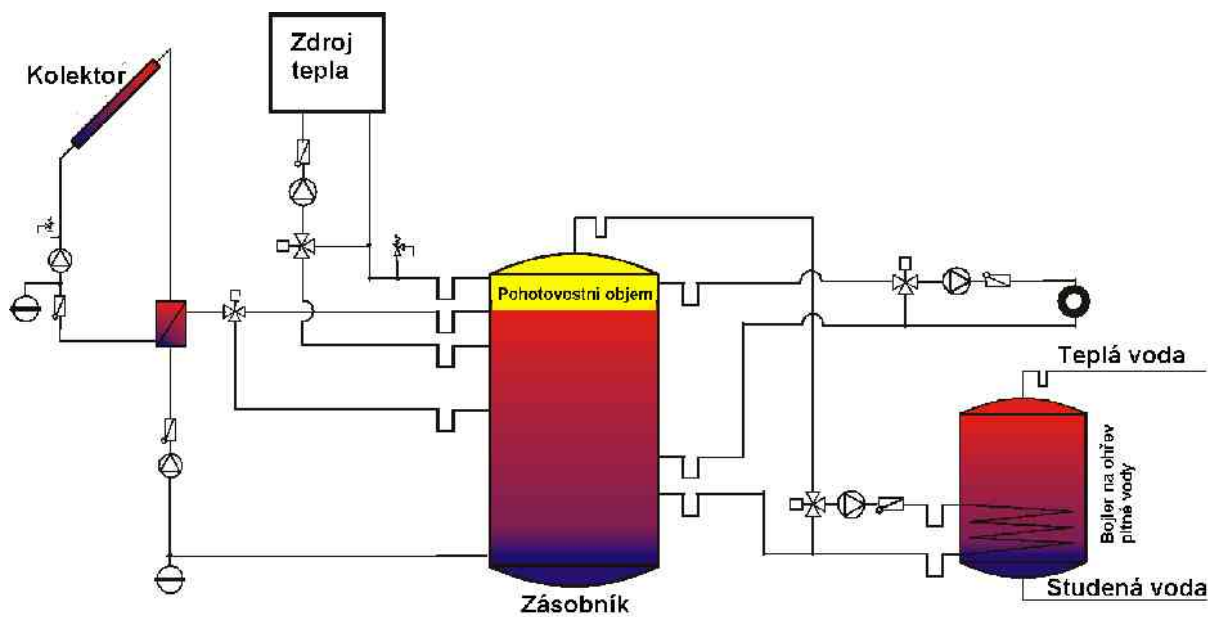


Obr. 6.16: Příklad systému se dvěma zásobníky se solárním nabíjením zásobníku energie na vytápění a zásobníku na teplou vodu přes integrovaný výměník. Tento systém vyžaduje high-flow provoz solárního zařízení.

Požadovaná teplota teplé vody je ve srovnání s požadovanými vstupními teplotami u nízkoteplotních otopných soustav podstatně vyšší. Aby zpětná teplota kolektoru zůstala co nejnižší, vyplatí se během fáze vytápění napájet oba spotřebiče rovnocenně. Po dobu této funkce se zásobník s nižší teplotou dostane na úroveň teploty druhého zásobníku a potom je z hlediska optimálního využití energie paralelně dále nabíjen tímto zásobníkem. Zásobník na pitnou vodu je tak dotápěn zásobníkem na topnou vodu. V době, kdy se netopí, se na požadovanou teplotu přednostně ohřívá voda v zásobníku na pitnou vodu, až poté se ohřívá zásobník s topnou vodou. Tento koncept je na základě omezení výkonnosti integrovaného výměníku vhodný spíše pro malé kolektorové plochy (< 20 m<sup>2</sup>).

Pokud se využívají větší kolektorové plochy, doporučuje se pamatovat na externí výměník umístěný mezi solárním systémem a zásobníkem. Zásobník na pitnou vodu je v tomto případě ohříván už jen zásobníkem s topnou vodou, což je zřejmé z obrázku. Přivádění solárního tepla do zásobníku může probíhat dle způsobu provozu buď ve fixované výšce (při high-flow) nebo přes stratifikační zásobník (při low-flow).

Tento koncept může u zdrojů tepla s ručním příkládáním a při příliš malé dimenzování solárního zařízení znamenat v přechodném období, kdy se topí jen kvůli ohřevu vody, ztrátu komfortu, kdy je sice dosaženo teplotní úrovně potřebné k vytápění, ale nestačí to pro ohřev pitné vody. V těchto případech musí být do provozu uveden kotel na tuhá paliva. V topné sezoně tento problém odpadá. Zásobník na pitnou vodu může být proveden jako jednodenní zásobník, což snižuje systémové náklady a zmenšuje ztráty vyzářováním díky menšímu povrchu.



Obr. 6.17: Příklad systému se dvěma zásobníky s přímým solárním nabíjením zásobníku přes externí výměník. Solární systém je možno provozovat při odpovídajícím dimenzování buď podle high-flow nebo low-flow principu solárního zařízení.

### Obecně vykazují systémy se dvěma zásobníky následující výhody a nevýhody:

#### Výhody systémů se dvěma zásobníky:

- Ohřev teplé vody a podpora vytápění jsou hydraulicky zcela oddělené. Tím jsou turbulence v zásobníku s topnou vodou redukovány.
- Ohřev teplé vody probíhá u zásobníku přímo napojeného na solární systém pouze přes solární tepelný výměník, což vede k nižším vratným teplotám kolektoru.
- Pokud je zásobník na teplou vodu ohříván jen ze zásobníku s topnou vodou, může být objem redukován na jednodenní spotřebu.

#### Nevýhody systémů se dvěma zásobníky:

- Větší ztráty vyzařováním díky přítomnosti druhé nádoby
- Větší potřeba prostoru
- Vyšší investiční náklady díky použití druhé externí nádoby

### 2.1.3 Solární systémy k ohřevu vody v bazénu

Solární systémy na přitápění jsou většinou dimenzovány pro přechodné období, tzn. že v době, kdy se netopí (léto) nemohou být plně využívány. Po pokrytí spotřeby teplé vody přechází do stavu stagnace. Stupeň využití celého systému by se mohl významně zlepšit, pokud by v tomto období docházelo k dalšímu odběru tepla.

Vhodné využití solárního tepla u těchto systémů představují v letních měsících bazény.

#### Dimenzování

Protože dimenzování solárních systémů na přitápění probíhá běžně v souladu se spotřebou teplé vody a spotřebou tepla na vytápění místností, je zbývající přebytek tepla k dispozici pro ohřev vody v bazénu a specifické dimenzování tak odpadá.

Pokud se ale změní propozice a solární systém je užíván převážně pro ohřev vody v bazénu, musí být při dimenzování brán ohled na danosti bazénu a požadavky uživatele. Detailní výpočty solárních systémů na ohřev vody v bazénu mohou být provedeny např. v programu TSOL (TSOL, 2003).

Protože k podstatným tepelným ztrátám dochází na povrchu nádrže, je právě povrch bazénu rozhodujícím parametrem pro výpočet kolektorové plochy. Dalším důležitým bodem je, zda je plocha nádrže v noci nebo během chladnějších letních dnů zakrytá nebo zcela odkrytá. Pro hrubý odhad dimenzování kolektorové plochy je možné využít následující jednoduchý vzorec.

$$A_{\text{Brutto}} = 0,5 \text{ až } 1 \times A_{\text{plocha}} [\text{m}^2]$$

$A_{\text{Brutto}}$                     hrubá plocha kolektoru v m<sup>2</sup>

$A_{\text{plocha}}$                     plocha nádrže v m<sup>2</sup>

Faktor 0,5:                    u krytého bazénu

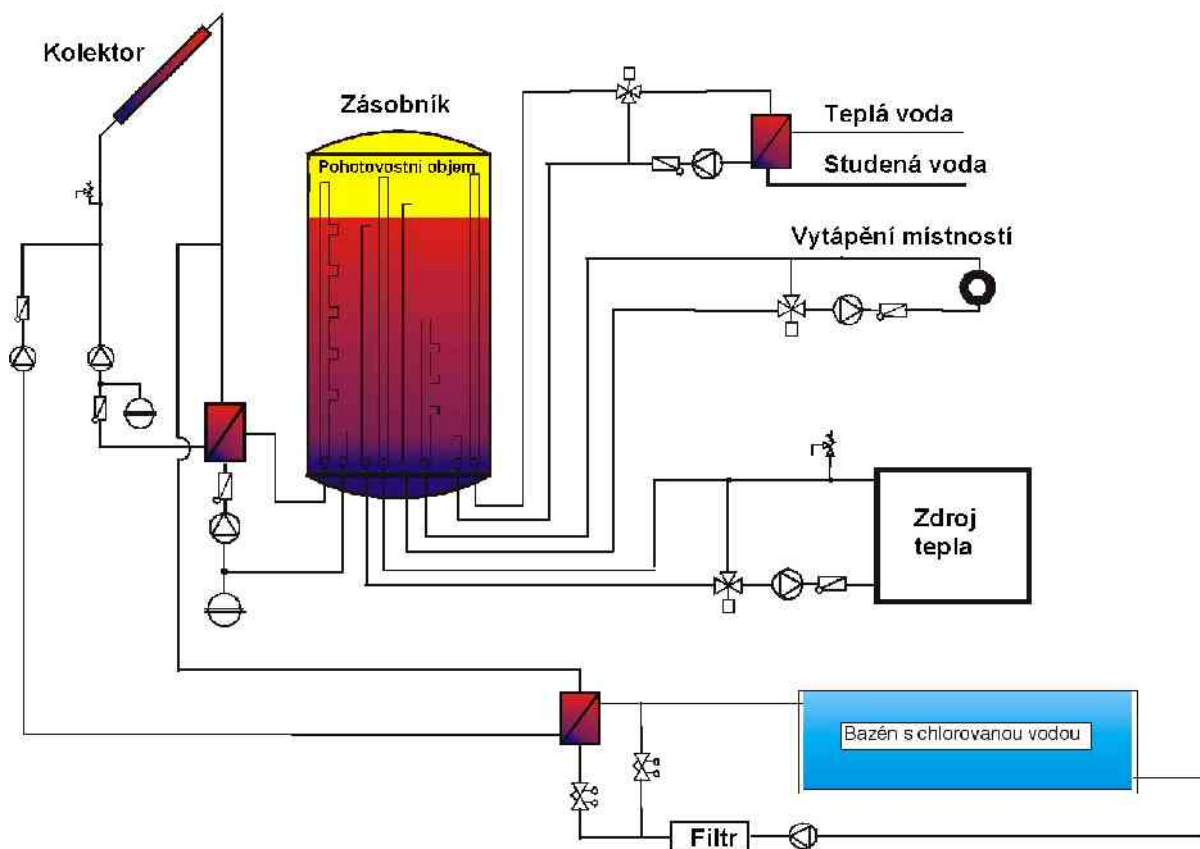
Faktor 1:                    u nekrytého bazénu

Výpočet hrubé kolektorové plochy musí být ještě rozšířen o kolektorovou plochu nezbytnou pro ohřev teplé vody. Potom tato veličina určuje zbývající dimenzování solárního systému na ohřev teplé vody a vytápění místností.

Je třeba vzít v úvahu, že účinnost krytých kolektorů pro ohřev vody v bazénu při běžné teplotě venkovního prostředí (20 až 30 °C) v létě může být stěží vyšší, než účinnost nekrytých plastových absorpčních desek (používají se jen pro ohřev vody v bazénech).

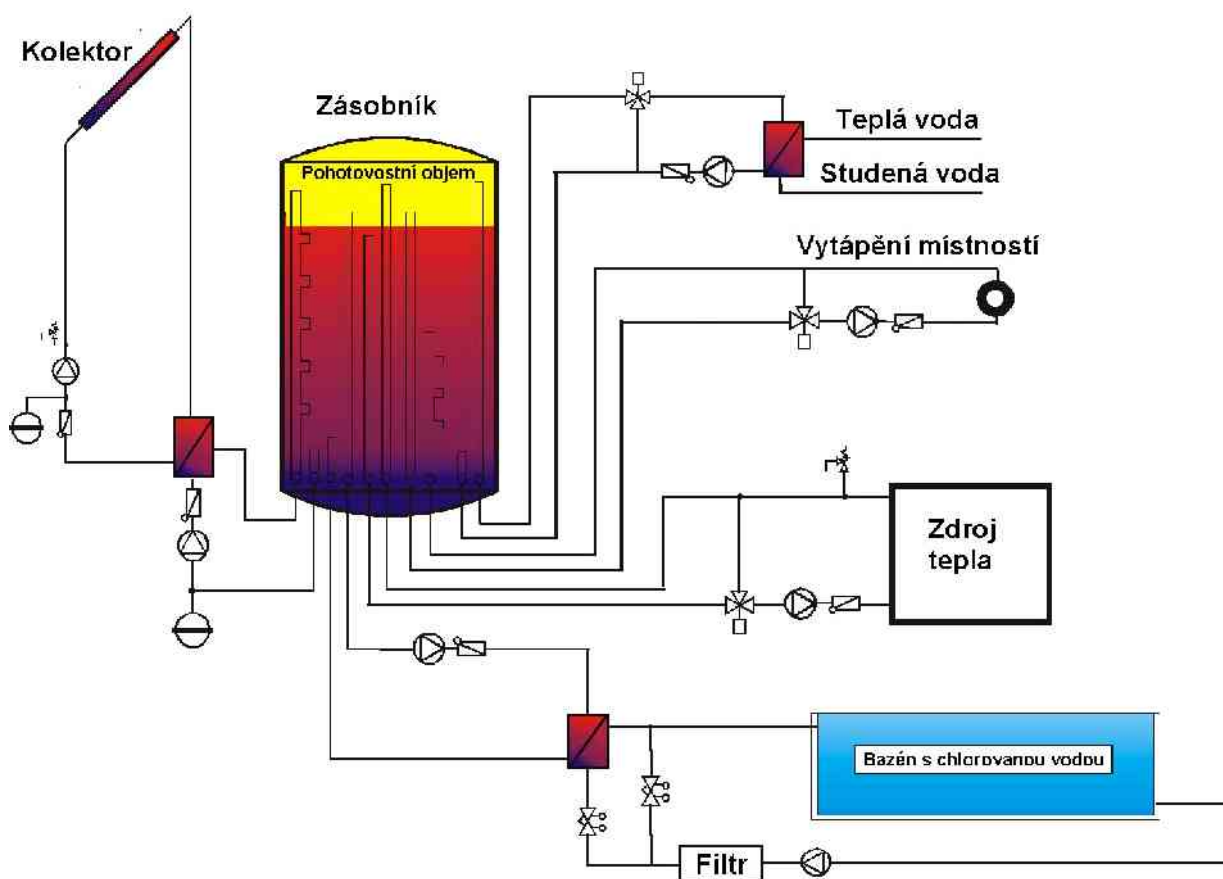
Hydraulické zapojení solárně vytápěného bazénu může být provedeno různými způsoby. Obrázek 6.18 představuje přímé zapojení solárního systému do bazénové hydrauliky. Tím se rozumí, že prostřednictvím druhého čerpadla je solární teplo odebráno přímo z primárního okruhu solárního systému k ohřevu bazénové vody. K oddělení systémů se používají buď deskové nebo trubkové svazkové výměníky.

Při regulaci je třeba dbát na to, že odpovídající objem k ohřevu teplé vody se přednostně připravuje v zásobníku a teprve poté následuje ohřev vody v bazénu.



Obr.6.18: Přímé napojení bazénu na solární okruh.

Další možnost zapojení ukazuje blokové schéma na obr. 6.19. Veškeré tepelné toky prochází v tomto případě přes zásobník. To má nevýhodu v tom, že mezi solárním systémem a bazénem musí ležet dva předavače tepla (a tak i dva teplotní spády), což snižuje účinnost kolektorů. Na druhé straně by ale tento hydraulický koncept mohl při chybějícím solárním teple umožnit ohřev bazénu běžným předavačem.



Obr.6.19: Nepřímý solární ohřev vody v bazénu ze zásobníku

### 6.2.2 Dimenzování solárních systémů na vytápění

Směrnice pro dimenzování solárních zařízení na vytápění nemohou být formulovány tak jasně, jako směrnice pro systémy na ohřev teplé vody. Rozmanitost omezujících podmínek umožňuje obecná doporučení k rozhodnutí o solárním stupni pokrytí, s nímž také souvisí finanční možnosti investora na pořízení zařízení.

Je třeba usilovat o dimenzování solárních zařízení s ohledem na budoucí zajištění dodávky energie při nízkých energetických nákladech a za vysokého úsporného potenciálu CO<sub>2</sub>, a ne o dimenzování na co nejvyšší roční hospodářský výnos kolektoru.

Aby mohl projektant předpovědět solární stupeň pokrytí a umístit ho do technicky nejefektivnější oblasti, jsou v této kapitole představeny některé diagramy. Tyto diagramy byly spočítány simulačním programem SHWwin (Streicher a kol. 1999) vyvinutým na Technické univerzitě v Grazu s přihlédnutím k definici stupně krytí.

Výchozím bodem simulačních výpočtů se stal referenční dům (klíčová data viz tab. 6.2), u něhož byly změněny některé parametry.

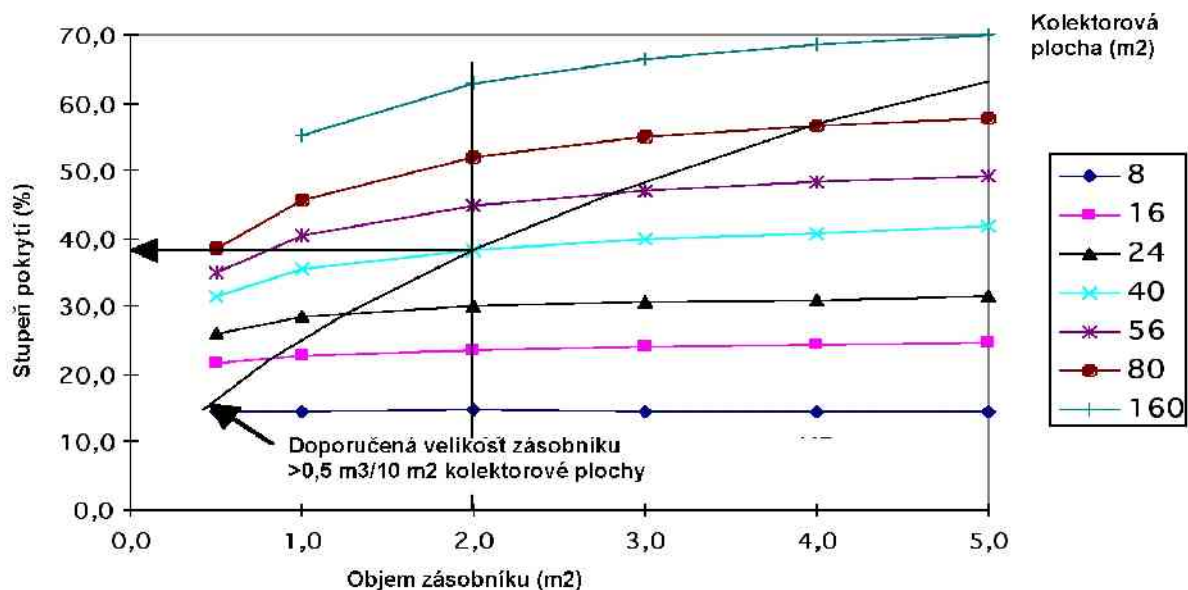
<b>Budova</b>	
Místo	<b>Graz</b>
Tepelná ztráta	<b>8 kW</b>
Venkovní teplota, pod jejíž úrovní začíná potřeba vytápění	<b>12 °C</b>
Max. teplota topné a vratné vody	<b>40/30 °C</b>
<b>Spotřeba užitkové vody</b>	
Množství	200 l/den při 45 °C
<b>Hydraulické zařízení</b>	
Systém se dvěma zásobníky	
<b>Solární systém</b>	
Kolektorová plocha	30 m <sup>2</sup> kolektorové plochy $\eta_0=0,771$ , $a_1=3,33$ W/m <sup>2</sup> K, $a_2=0,012$ W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>
Orientace	jih
Sklon	45°
<b>Zásobník na teplou vodu</b>	
Objem	500 litrů
<b>Zásobník na topnou vodu</b>	
Obsah	2.000 litrů
Tloušťka izolace	15 cm ( $\lambda = 0,05$ W/mK)

Tab.6.2: Přehled nejdůležitějších klíčových dat referenční budovy (základ pro zhotovení následujících diagramů dimenzování).

### 2.2.1 Dimenzování kolektorové plochy a objemu zásobníku

Na úvod je na obr.6.20 ukázán diagram, který představuje průběh solárního pokrytí referenčního domu s parametry kolektorové plochy a různých velikostí zásobníku.

Významný je nárůst solárního pokrytí u malých objemů zásobníku. Poté, co se vzrůstajícím objemem zásobníku stoupají i náklady, je zřejmé, že pro rodinný dům je cena zásobníku o objemu přes 4 m<sup>3</sup> ve špatném poměru k dosaženému zlepšení solárního pokrytí. To samé platí také pro kolektorovou plochu. Je možné to poznat podle malého zlepšení solárního pokrytí, které nastává s přibývajícím velikostí kolektorové plochy. Vzdálenosti mezi křivkami neměnné kolektorové plochy jsou menší.

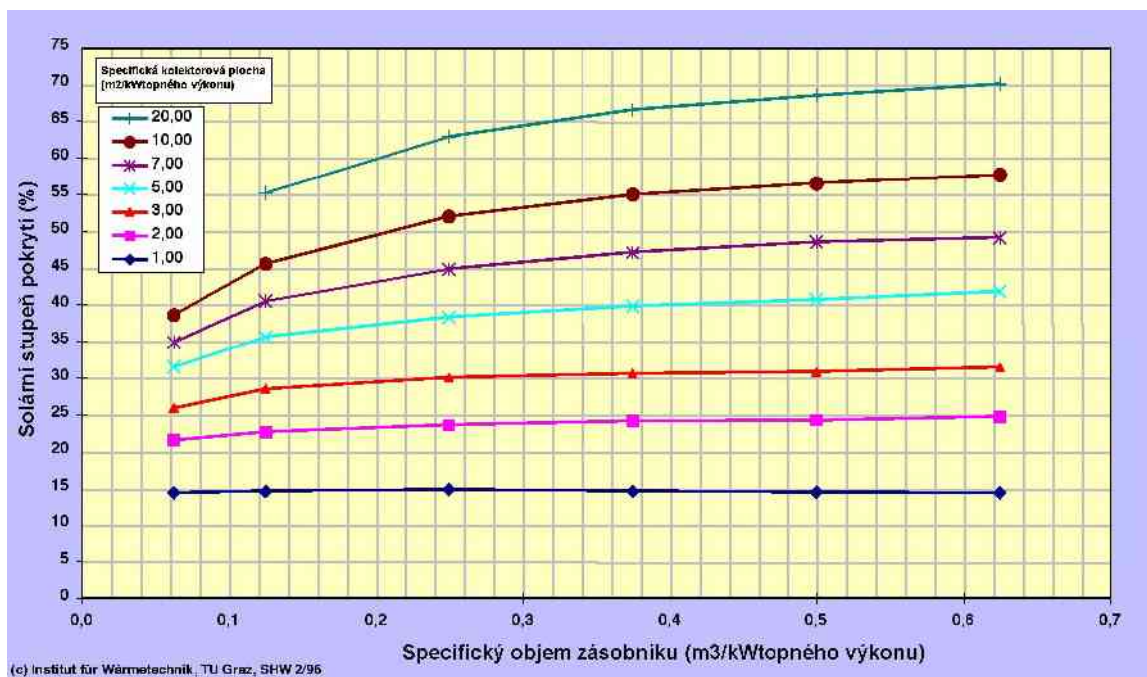


Obr. 6.20: Celkový solární stupeň pokrytí v závislosti na objemu zásobníku a velikosti kolektorové plochy s doporučeným dimenzováním

Na základě těchto úvah je zřejmé, kam směřuje strategie „podpory vytápění“. Kolísání nabídky solární energie a spotřeby se v zásobníku vyrovnává v časovém úseku několika dní, neusiluje se o plné zásobení.

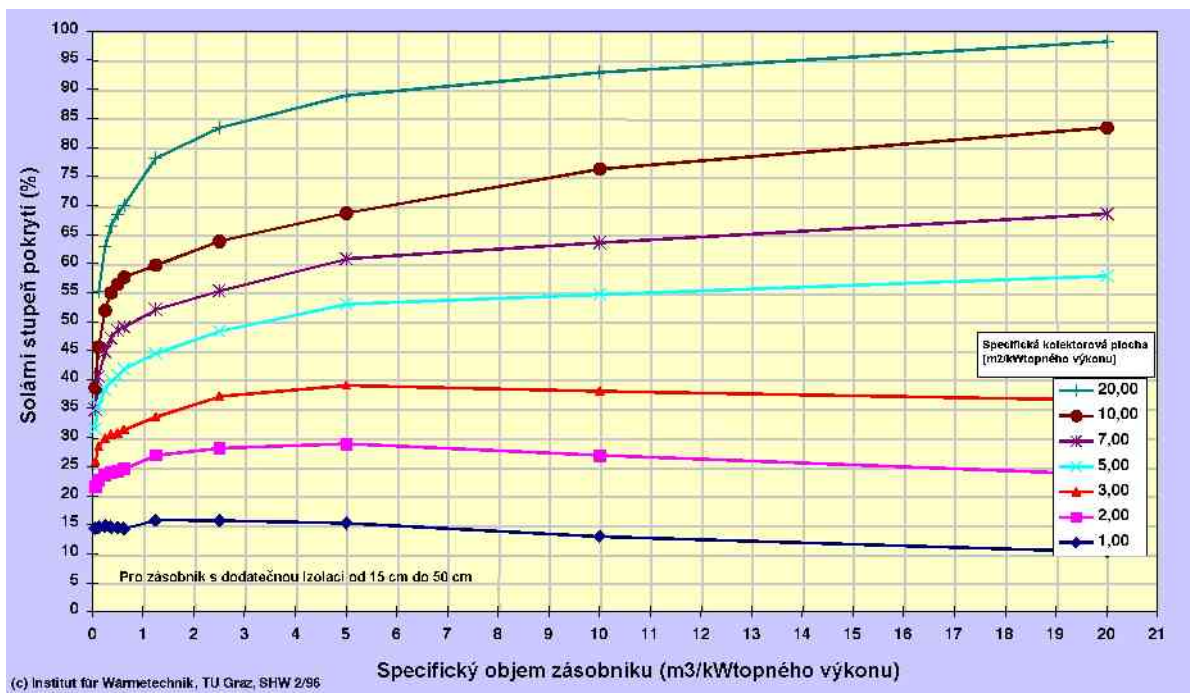
Protože diagram na obr. 6.20 platí pouze pro dům s tepelnou ztrátou 8 kW, byl vyroben specifický nomogram, jehož úsečky a kolektorové plochy se vztahují k tepelné ztrátě domu. Aby se z tohoto nomogramu dalo číst, musí být vždy kvocienty objemu zásobníků a kolektorové plochy vytvořeny k tepelné ztrátě domu.

Pokud se jako přídatného topného systému využívá dobře výkonostně regulovaný kotel, např. plynové zařízení s kondenzací spalin, není nutné využívat další objem zásobníku.



Obr. 6.21: Celkový stupeň solárního pokrytí v závislosti na objemu zásobníku a kolektorové ploše

Pokud se v rodinných domech dosahuje solárních stupňů pokrytí vyšších než 60 % a nebo jsou dimenzovány systémy pro objekty s většími tepelnými ztrátami, mohou být klíčová data (hrubá kolektorová plocha, objem zásobníku) vyčteny v následujícím nomogramu.



Obr. 6.22: Celkový stupeň solárního pokrytí o velikosti zásobníku a hrubé kolektorové ploše pro velikost zásobníku do 20 m<sup>3</sup>/kW tepelné ztráty



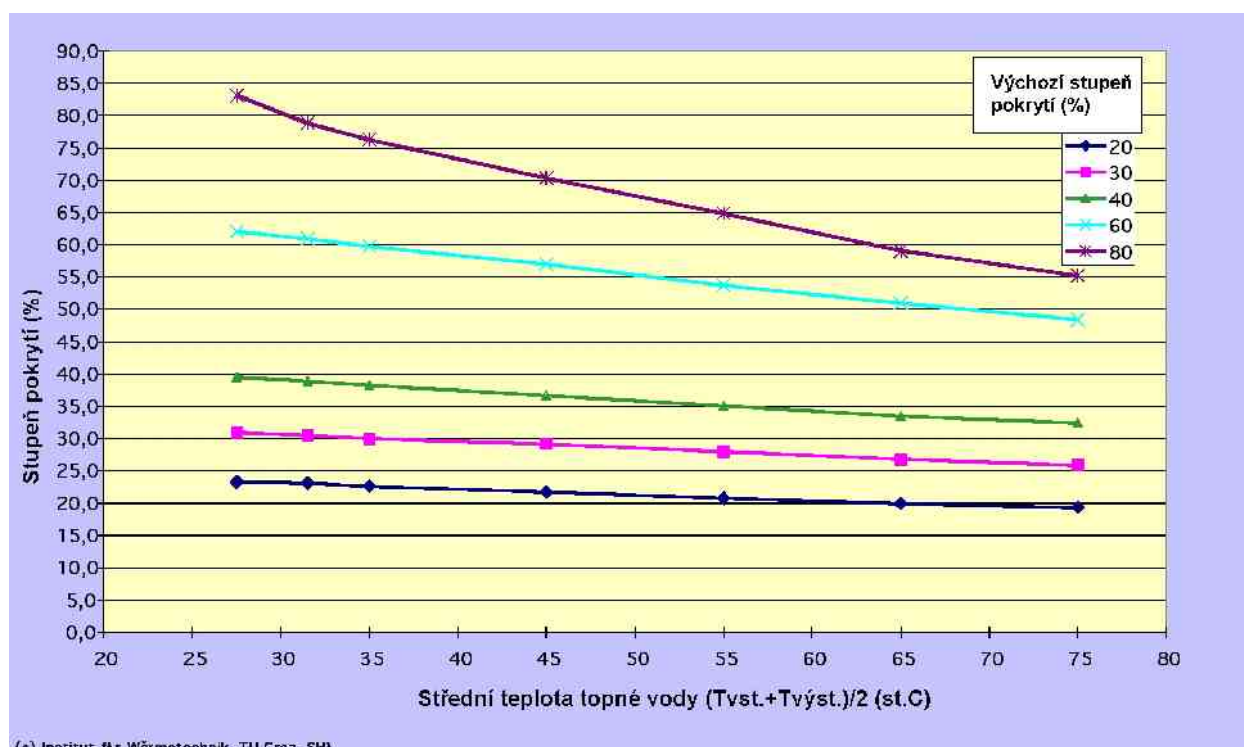
Běžné solární pokrytí se v Rakousku u rodinných domů s typickou spotřebou tepla pohybuje přibližně mezi 15 až 50 %. Tohoto pokrytí se zpravidla dosahuje prostřednictvím kolektorových ploch o velikosti 15 až 30 m<sup>2</sup> a objemu zásobníku od 0,8 do 3 m<sup>3</sup>. Na základě množství provedených výkonů se v každé zemi uplatňuje odlišná filozofie dimenzování. Zatímco se např. v Rakousku dimenzují solární kombinovaná zařízení (na vytápění a ohřev vody) velkých rozměrů, v Nizozemí se hovoří o kombinovaném zařízení (při odpovídající systémové hydraulice) už tehdy, když má kolektorová plocha kolem 5 m<sup>2</sup> a objem zásobníku 500 litrů. Zajímavý je také přístup Francouzů, kteří používají velké kolektorové plochy, ale jenom malé objemy zásobníků na vodu, protože je akumulací hmoty budovy často aktivována solárním teplem.

### 2.2.2 Vliv teploty vstupní větve vytápění na solární pokrytí

Další často diskutovanou otázkou je vliv vstupní a vratné teploty vytápěcího systému na solární pokrytí vytápění. V principu je solární pokrytí tím vyšší, čím nižší jsou požadované vstupní teploty vytápění, protože kolektor vykazuje větší stupeň účinnosti při nižších teplotách.

Obr. 6.23 ukazuje tuto souvislost. Základní stupeň pokrytí zde byl zvolen pro průměrnou teplotu vytápění 30 °C při projektované teplotě.

Míra závislosti podléhá solárnímu pokrytí zařízení. Pokud je solární pokrytí malé, pak je solární zařízení v provozu zejména tehdy, kdy jsou teploty venku vysoké a požadované vstupní a vratné teploty jsou tedy nízké. Čím vyšší je stupeň solárního pokrytí, tím častěji jsou solárně pokryta období s nižšími venkovními teplotami. Zde se významněji projevují vyšší teploty topné a vratné vody.



(c) Institut für Wärmetechnik, TU Graz, SH

Obr.6.23: Vliv průměrných teplot topné a vratné vody k vytápění místností na solární pokrytí.  $T_{vst.} + T_{výst.}$

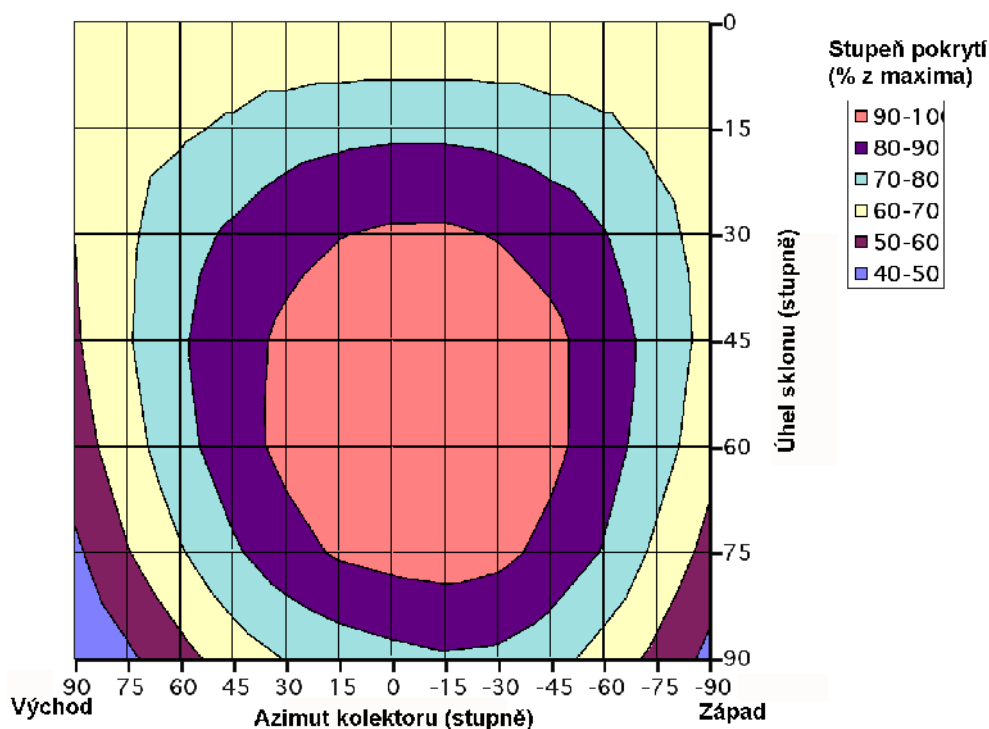
### 2.2.3 Vliv sklonu kolektoru a orientace na jih na stupeň pokrytí

Montážní možnosti a s tím spojené náklady, jsou rozhodujícími faktory pro výstavbu solárního kolektorového zařízení. Vliv orientace a sklonu kolektoru na roční solární pokrytí pro vytápění je představen na obr. 6.24.

Na základě výpočtu pro rodinný dům s 34 % solárním pokrytím byly spočítány varianty sklonu kolektoru k horizontále a orientace na jih (azimut). Vzniklý diagram ukazuje uvnitř soustředného kruhu možnosti nastavení kolektorových ploch s maximálním úbytkem solárního pokrytí o 10 %.

Optimální orientace je asi cca 7° na západ, nejvyššího solárního zisku se u základní varianty dosahuje při celkovém solárním pokrytí 34,1 % a sklonu 60°.

Odklon od optimální orientace o  $\pm 40^\circ$  (přibližně jihozápad, jihovýchod) znamená u sklonu mezi 45° a 60° zmenšení solárního pokrytí o 10 %. U orientace na jih může kolísat dokonce mezi 30° a 75°, aniž by stupeň solárního pokrytí klesl o více než 10 % vzhledem k optimální variantě. Je tedy možné odchýlit se do určité míry od optimální orientace střechy a sklonu, aniž by docházelo k většímu snížení solárního zisku.



(c) Institut für Wärmetechnik, TU Graz, SH1

Obr.6.24 Závislost solárního pokrytí na sklonu a azimutu kolektorového pole (pro zařízení s max. 34 % celkového pokrytí, při 60 % sklonu, a směru -10 % na západ)

Optimální sklon kolektorového zařízení je samozřejmě závislý na celkovém solárním pokrytí zařízení. Obecně platí: čím vyšší potřebujeme solární pokrytí, tím šikměji by měla být kolektorová plocha orientována na jih, protože v topné sezoně svítí Slunce na Zemi níže.

## 7 Minimalizace tepelných ztrát

Aby bylo dosaženo co největší účinnosti systému, je potřeba zabránit tepelným ztrátám. Jejich minimalizace není pouze specifickým požadavkem solárních systémů, ale týká se veškerých zařízení, která dodávají teplo.

Na straně jedné je třeba se věnovat tomu, jak vůbec zamezit povrchovým ztrátám a na straně druhé se zabývat minimalizací tepelné ztráty povrchů prostřednictvím větších tloušťek izolace.

### 7.1 Počet zásobníků a jejich izolace

Zásobníky v konceptech, které podporují solární zásobování teplem, by měly z energetického hlediska vykazovat dobré vrstvení teplot a vyznačovat se malým povrchem, aby se zabránilo tepelným ztrátám. Důležitým činitelem je zde poměr mezi výškou (H) a průměrem (D) zásobníku. Praxe ukázala, že pokud je poměr (H/D) mezi dvěma a čtyřmi, může být splněn jak požadavek vrstvení teplot, tak mohou být omezeny povrchové ztráty.

### 7.2 Tepelné ztráty zásobníku

Výzkumy solárně podporovaných zařízení pro zásobování teplem ukázaly vysoký podíl ztrát zásobníku na celkové spotřebě tepla (v extrémních případech až 30 %). Nápadná byla u zkušebních projektů odchylka mezi teoretickými a skutečnými tepelnými ztrátami.

Jak teoretické výsledky, tak výsledky měření ukázaly, že solární pokrytí má velký vliv na tepelné ztráty. Z teoretických výpočtů velikostí zásobníku mezi 3,5 a 11,5 m<sup>3</sup> vyplynulo, že energeticky a ekonomicky optimální jsou tloušťky izolace mezi 10 až 15 cm. S přihlédnutím ke korekčním činitelům (výsledky měření realizovaných systémů) blízkým praxi vyšla optimální tloušťka izolace mezi 20 až 25 cm.

Tyto velké rozdíly mezi teorií a praxí spočívají v tom, že kvalita výrobku a provedení izolace zásobníku a trubkových průchodů není zpravidla optimální:

- Uspořádání tepelné izolace je v praxi podle zkušeností vzdálené od teorie. Mezi pláštěm zásobníku a vrstvou izolace se běžně nachází vzduch. Tento efekt kombinovaný s mezerovitým provedením izolace způsobuje komínový efekt a tím i urychlené vybití zásobníku. To platí jak pro průmyslově zhotovené tepelně izolační obaly (malé zásobníky) tak pro individuálně namontovanou tepelnou izolaci u velkých zásobníků (většinou desky z minerální vaty s opláštěním z lesklého plechu).
- Tepelná izolace je na mnoha místech přerušována trubkovými přípojkami. Nesprávné provedení těchto průrazů tepelně izolačním obalem také podporuje výše uvedený komínový efekt.

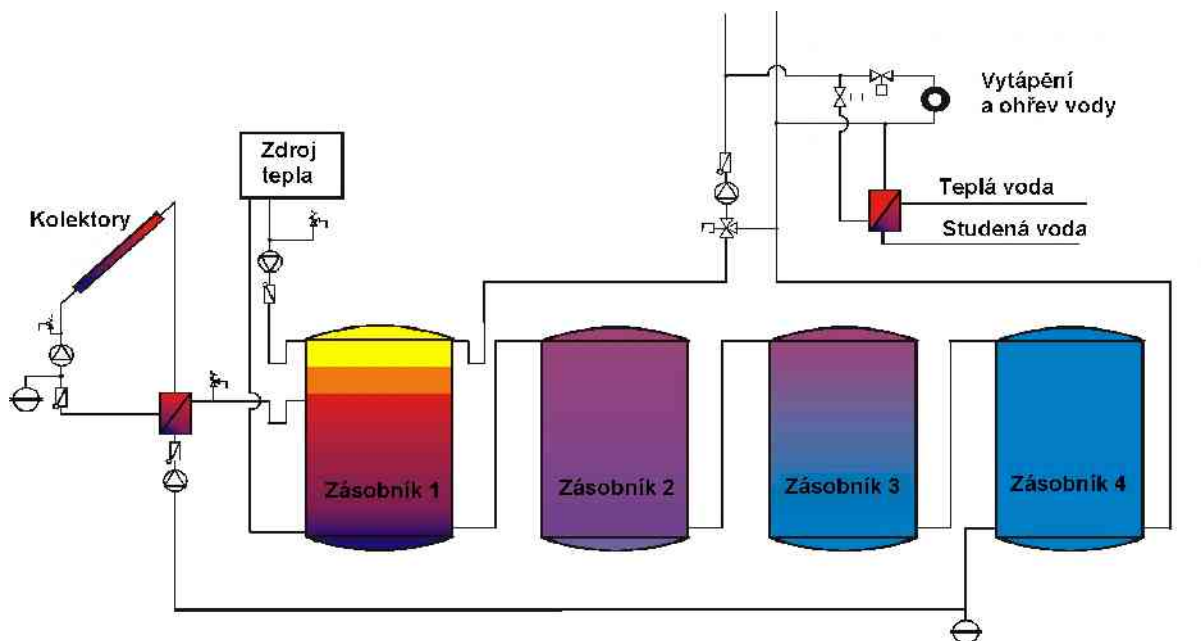
Dodatečně se k výše jmenovaným aspektům zvyšujícím tepelné ztráty zásobníku přiřazuje i cirkulace uvnitř trubek napojeného potrubí - povrchové ztráty jsou pak větší. Pomocí může být důsledné nainstalování termosifonů na všechny přípojky zásobníku v horké části.

### 7.2.1 Systémy s jedním zásobníkem místo systémů s více zásobníky

Podle zkušeností se v solárně podporovaných konceptech na zásobování teplem často jako zásobníku využívají akumulční baterie (jak zásobníky na pitnou vodu, tak zásobníky na vytápění). Toto provedení znamená maximalizaci poměru mezi povrchem a objemem a tím i velkou povrchovou ztrátou. Pokud je tento efekt kombinován s neefektivní tepelnou izolací zásobníku, vznikají nejvyšší tepelné ztráty v úseku systému, kde se akumuluje energie. Kromě toho se akumulční baterie vyznačují podstatně vyššími investičními náklady, než systémy s jedním zásobníkem (velikost, stejně jako uspořádání zásobníku je třeba zohlednit již při projektování budovy, aby byla základová deska zapuštěna odpovídajícím způsobem a zásobník mohl být ve sklepě umístěn před montáží stropu).

Výrobci nabízí i svařování na místě, což přes vyšší cenu velkého zásobníku znamená z provozně-hospodářského hlediska efektivnější výsledek, než u systémů s více zásobníky.

Pokud jsou navzdory všem dobrým záměrům (zejména kvůli stavebním dispozicím) systémy s více zásobníky jedinou možností, jak zaopatřit budovu, měla by být přinejmenším kvalita provedení tepelné izolace co nejvyšší a hydraulické spojení jednotlivých zásobníků by mělo být realizováno jako sériové zapojení (obr. 7.1).



Obr. 7.1: Pokud je použití systémů s více zásobníky nezbytně nutné, doporučuje se sériové zapojení jednotlivých nádob

### 7.3 Tepelné ztráty a provedení potrubí

Kromě zásobníku představuje veškeré potrubí pro zásobování teplem velký potenciál k redukci tepelných ztrát. To platí jak pro trubky, které připojují zdroj tepla (solární systém a běžný zdroj tepla), tak pro rozdělovací potrubí. První prioritou je zabránit co nejvíce ztrátám potrubí díky inteligentní koncepci jeho vedení a zapojení. Poté je třeba dle možností redukovat jeho tepelné ztráty.

Rozměr trubky	Minimální tloušťky izolace – vnější trubky [mm]	Minimální tloušťky izolace – vnitřní trubky [mm]
DN 15	30	20
DN 20	40	30
DN 25	40	30
DN 32	40	40
DN 40	50	40
DN 50	60	50

Tab.7.2: Tloušťky izolace

Podle zkušeností se doporučované tloušťky izolací dodržují v praxi jen zřídka, což s sebou nese vysoké tepelné ztráty potrubí. Například při instalování solárních systémů na plochých střechách se podceňuje izolace propojovacích hadic. Doporučení naleznete v tab.7.2.



Obr.7.2: Volně položené potrubí v solárních systémech by mělo být izolováno teplotně stálými a vodě rezistentními kaučukovými pouzdry.



Obr. 7.3: Povrch kaučukových pouzder trubek je trvale chráněn plechovým pláštěm před UV-zářením a poškozením způsobeným zvířaty.

Kromě vyšších teplotních rozdílů jsou volně položená potrubí vystavena i povětrnostním vlivům a speciálně pro montáž v solárních systémech musí být teplotně stálá min. do 180 °C. V praxi se osvědčila kaučuková pouzdra trubek (obr. 7.2 ). Protože tyto výrobky nejsou dlouhodobě rezistentní vůči UV-záření a poškození způsobených zvířaty (ptáci, hlodavci atd.), musí být povrch ochráněn i před těmito vlivy. To se běžně děje, jak je představeno na obr. 7.3, pomocí opláštění lesklým plechem. Izolační materiál jako minerální vata je sice odolný vůči teplotě, ale ne vůči vodě. U volně položeného potrubí dochází často i navzdory opláštění k protečení pouzder a účinnost izolace by pak byla znatelně redukována.

Naproti tomu může být uvnitř budov bez dlouhého rozmýšlení použita jako izolační materiál teplotně stálá minerální vata. V tomto případě je rozhodující, aby doporučená tloušťka izolace byla instalována bez mezer na veškerém potrubí, které vede teplo. Slabá místa představují především průrazy stěnou nebo stropem a neizolované armatury.

U průrazů stropů a stěn (jsou zpravidla neizolovány nebo provedeny jako 5 mm izolační trubice) by měla být protažena plná tloušťka izolace, což vyžaduje odpovídající včasné naplánování šacht. Pokud jsou pro průchodky potrubí nutná jádrová vrtání, je třeba dbát na to, aby byla použita izolace trubek v odpovídající tloušťce.



*Obr. 7.4: Žádné redukování nebo dokonce vynechání izolace trubek při průrazu stěny nebo stropu.*

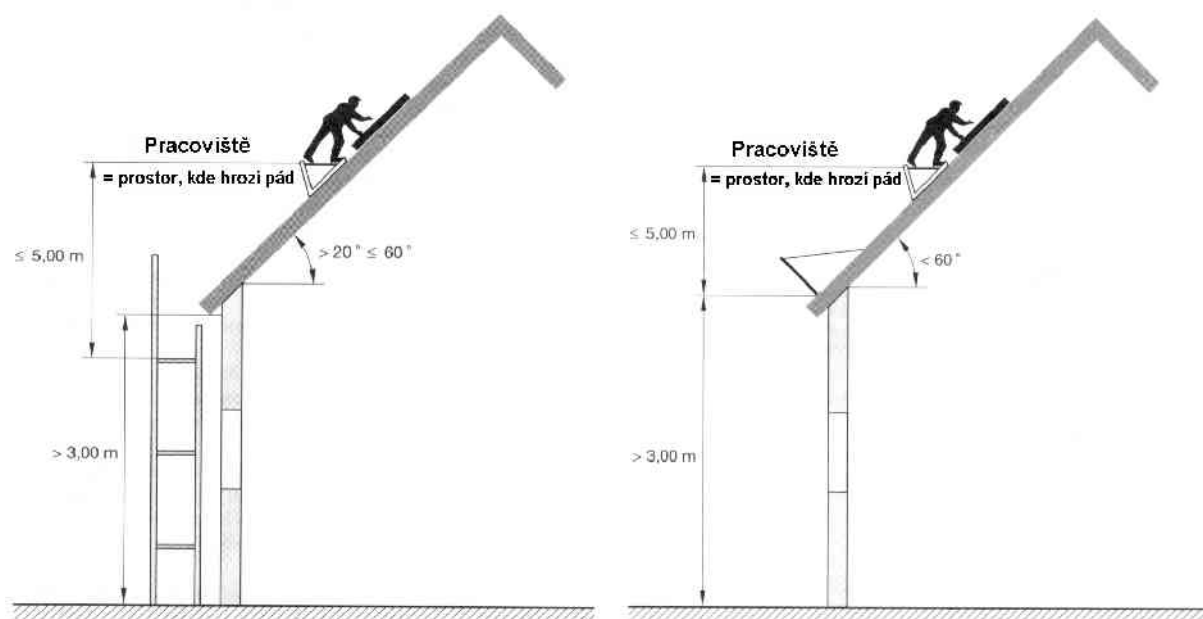


*Obr. 7.5: Izolace armatury jako standard moderních zařízení zásobujících teplem.*

## 8 Instalace a montáž zařízení

### 8.1 Bezpečnost práce na střeše

Zvláštností při montáži solárních zařízení jsou pro mnohé instalatéry neobvyklé práce na střeše. Jako podstatné nebezpečí je třeba jmenovat: riziko pádu osoby nebo materiálu ze střechy a u vakuových trubkových kolektorů nebezpečí imploze trubek. U lehčích montáží zařízení se vyplatí pamatovat na schůdky, stupně ze střešních tašek nebo střešní háky pro upevnění žebříku v oblasti kolektorového pole. Bezpečnostní zařízení pro případ pádu představuje záchytné lešení střechy (obr. 8.1) nebo záchytná stěna (obr. 8.2). Pokud jejich použití není možné nebo nemá význam, musí být nasazena osobní ochranná výzbroj jako např. pojistný řemen s pojistným lanem a tlumičem pádu. Vybudováním plošiny může být navíc zajištěna bezpečná pracovní plocha na střeše. Kvůli nebezpečí imploze musí mít osoby, které pracují s vakuovými trubkovými kolektory, po celou dobu práce ochranné kožené rukavice a těsně přiléhající ochranné brýle.



Obr. 8.1: Záchytné lešení při práci na střeše

Obr. 8.2: Záchytná stěna při práci na střeše

## 8.2 Montáž solárního okruhu

Materiály a techniky spojování, které se osvědčily při klasických topenářských a sanitárních pracích, mohou být použity také pro instalaci solárního okruhu, pokud neodporují jeho daným požadavkům. To jsou vznikají teploty nad 100 °C a solární médium představující směs vody a glykolu – většinou v poměru 60:40.

### 8.2.1 Potrubí kolektorového okruhu

V běžných kolektorech se dosahuje klidových teplot vyšších než 200 °C, ve vakuových trubkách až 280 °C. Pokud se zařízení po vypnutí uvede při vysokých teplotách opět do provozu, mohou teploty v kolektorovém obvodu vystoupit až na 130 °C. Díky vysokému teplotnímu zatížení se doporučuje tvrdé pájení trubek v solárním okruhu. V praxi se ovšem ukázalo, že solární zařízení v jedno- i dvojdomku vykazovala dobrý výsledek i při pájení naměkko. Pokud se použije měkký spoj, musí se v každém případě dbát na teplotní a bezpečnostní požadavky uváděné výrobcem. Avšak větší solární zařízení, zejména ta s vakuovými trubkovými kolektory, by se měla v každém případě pájet natvrdo nebo svařovat.

Přípojky kolektorů mohou být provedeny prostřednictvím sešroubovaných upínacích kroužků s nátrubky (hrdly), fitinkami k letování nebo lisovacími fitinkami zasazenými v měděné trubce. Všechny materiály musí být odolné vůči teplotě, tlaku a glykolu. V blízkosti silikonového těsnění je třeba zabránit pájení nebo dostatečně ochlazovat trubku u již utěsněných míst. Sešroubování spojů mezi kolektory a jejich napojení na sběrné potrubí se přednostně provádí momentovým klíčem, aby se zabránilo možnému „ukroucení“ pájených spojů uvnitř kolektoru.

Pokud se v kolektorovém obvodu používají šroubové spoje, měly by být závit utěsněny konopím s těsnící pastou, která je odolná vůči teplotě a glykolu.

Metr měděné trubky se nezávisle na jejím průměru prodlouží při teplotním rozdílu 100 K o cca 1,7 mm. Tepelná roztažnost materiálu, který se používá na trubky, musí být bezpodmínečně brána v potaz. Všechna spojovací vedení jsou opatřena pevnými body a pohyblivými podporami, výkyvnými závěsy, kompenzátory nebo ohebnými rameny, takže na kolektorových přípojkách nebo ostatních pevných bodech nevzrůstají síly tepelné roztažnosti na nepovolenou míru. Potrubí solárního zařízení nesmí být upevněno na vodovodním či plynovém potrubí a nesmí sloužit jako nosník pro jiné potrubí nebo zátěže. Musí být zajištěna zvuková izolace potrubí, ve kterém proudí voda.

U potrubí kolektorového okruhu je třeba navíc dbát na to, aby bylo venku položeno co nejméně metrů potrubí (vyšší tepelné ztráty, nákladná tepelná izolace), ponechat dostatek místa na dodatečnou tepelnou izolaci a zajistit možnost úplného vyprázdnění (trubka klesající směrem k technické místnosti).



### **8.3     *Montáž a umístění regulačních čidel***

Správná instalace měřicích čidel je důležitým předpokladem pro dokonalé fungování termického solárního zařízení. Kromě dobrého umístění (musí souhlasit s prováděcím plánem) záleží především na dobrém tepelném kontaktu (pevné uložení, tepelně vodivá pasta).

Teplotní čidlo kolektorového pole je namontováno na vstupní větev nejteplejšího kolektoru nebo v nejteplejším bodě kolektorového pole. Kolektorové čidlo je předmontováno jako ploché příložné čidlo buď přímo na absorberu (většinou již z výroby) nebo je umístěno ve vnořené objímce vstupní větve kolektoru. Při pokládce kabelů je třeba dbát na to, aby se kabely nedostaly do styku s horkými trubkami.

Teplotní čidla ke zjišťování teploty v zásobníku jsou umístěna v teploměrných objímkách z materiálu odolného vůči korozi a přezkoušena na pevné uložení. Pokud je na místech, na kterých se mají měřit relevantní teploty pro regulaci, žádný nebo nedostačující počet teploměrných objímek, mohou být použita také kontaktní teplotní čidla. Přitom je třeba dbát na to, aby byla správně formována a dobře izolována proti vlivům prostředí kvalitní tepelně vodivou pastou.

Pokud nedostačují délky kabelů k teplotním čidlům, musí být prodlouženy kabelem s min. průřezem 0,75 mm<sup>2</sup>. Průřez je závislý na délce a měl by se řídit výrobními podklady.

Kabel čidla nesmí být pokládán společně s vedením 230/400 V v jedné trubce nebo kabelovém kanálu.