

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008

HOFÍREK JAKUB

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví

Akumulace tepelné energie z alternativních zdrojů

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Autor práce: Jakub Hofírek

PRAHA 2008

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita v Praze Fakulta: technická

Katedra: mechaniky a strojnictví

Akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Jakub Hofírek**

Studijní obor: Technologická zařízení staveb

Studijní zaměření:

Název práce: Akumulace tepelné energie z alternativních zdrojů

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Analýza literárních poznatků o technických, fyzikálně-chemických a jiných systémech akumulace tepelné energie získané z alternativních zdrojů.

Osnova práce:

1. Úvod - specifikace problémů, vymezení pojmů.
2. Charakteristika současného stavu řešení problematiky po stránce výzkumu a realizace systémů v ČR a zahraničí.
3. Analýza současných poznatků.
4. Diskuse k výsledkům analýzy.
5. Závěr.

Metodika práce:

- zpracovat literární rešerši na základě domácích a zahraničních zdrojů na dané téma,
- analyzovat současné poznatky se zřetelem na doby akumulace, ztráty energie a ekonomické aspekty

Rozsah práce: 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

www.tzb-info.cz

Kolektiv. *Topenářská příručka*. 1. vyd. Praha: GAS s.r.o. Praha, 2001, 2396 s., ISBN 80-86176-81-9.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Datum zadání bakalářské práce: 30. 11. 2006

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2008



prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

vedoucí katedry

prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.

děkan

V Praze dne 30. 11. 2006

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem citoval a danou problematiku nastudoval.

V Praze dne 5. dubna 2008

.....

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je přehled možných způsobů získávání tepelné energie z alternativních zdrojů a následná akumulace takto získané energie.

V hlavní kapitole Charakteristika současného stavu ukazují nejprve druhy akumulace z fyzikálně – chemického hlediska, poté se zaměřuji na získávání energie z prostředí kolem nás, a nakonec možnosti provedení samotných akumulačních prvku, spíše z technického hlediska.

V kapitole Analýza současných poznatků se snažím porovnat akumulační materiály z mnoha pohledů. Přidávám zde i názorné příklady pro lepší představivost dané problematiky.

V kapitole Diskuze je se shrnutí dané problematiky, které vychází hlavně z analýzy a podmínky za kterých je analýza provedena.

V práci lze najít jen získávání tepelné energie přímo z prostředí. Nevyskytuje se získávání ze zdrojů jako je větrná či vodní energie.

Klíčová slova: alternativní zdroje energie, akumulace tepla

Summary:

The goal of this assignment is to list possible technologies of gathering energy out of alternative resources and sequentially accumulating itself.

In the main chapter the characteristics of today's situation it is shown what kinds of accumulation we have in physical and chemical way and then I focus on gathering the energy from the environment around us. The end is about actual technical components.

The other chapter is analyzing today's components in various ways. Other examples are here to explain in details.

In discussion is summary of the whole difficulties which reflect mainly the analysis and conditions that are made by the analysis.

This figure does not contain gathering energy strictly from environment such as wind or water energy.

Key words: alternative resources of energy, accumulation of heat

1. Úvod.....	1
2. Charakteristika současného stavu.....	1
2.1 Možnosti alternativních zdrojů.....	1
2.2 Principy akumulace tepla.....	2
2.2.1 Akumulace citelného tepla.....	2
2.2.2 Akumulace latentního tepla.....	3
2.2.3 Absorpce vodní páry.....	3
2.2.3.1 Sorpce vodní páry v hygroskopických látkách.....	3
2.2.3.2 Chemická absorpce vodní páry.....	4
2.3 Získávání tepelné energie pro akumulaci.....	4
2.3.1 Solární kolektory.....	4
2.3.2 Tepelná čerpadla.....	8
2.3.2.1 Venkovní vzduch.....	9
2.3.2.2 Země.....	10
2.3.2.2.1 Zemní plošný kolektor.....	10
2.3.2.2.2 Hlubkové vrty.....	11
2.3.2.3 Voda.....	12
2.3.2.3.1 Podzemní voda	12
2.3.2.3.2 Povrchová voda	13
2.3.3 Kotle pro spalování biomasy.....	14
2.4 Hlavní způsoby akumulace.....	17
2.4.1 Rozdělení akumulačních zásobníků.....	17
2.4.1.1 Štěrkové akumulátory.....	18
2.4.1.2 Vodní akumulátory.....	19
2.4.1.2.1 Homogenní.....	19
2.4.1.2.2 Stratifikační.....	19
2.4.1.3 Akumulátory z netypických materiálů.....	22
2.4.2 Akumulace do stavebních konstrukcí.....	25
3. Analýza současných poznatků	28
3.1 Hlavní porovnání PCM s klasickými materiály	28
3.2 Grafické srovnání akumulačních látek dle více hledisek.....	30
3.3 Příklady srovnání.....	34
4. Diskuze k výsledkům analýzy.....	35
5. Závěr.....	36
6. Použitá literatura.....	37

1. Úvod

Snaha používat obnovitelné zdroje energie roste rok od roku. Nezáleží na druhu či odvětví kde se snaží firmy a společnosti o zavedení alternativního využití energie. Pro odvětví jako je pohoda prostředí jde tento trend vývoje značně rychle. Je to vidět i v normálním životě, když se řekne „tepelné čerpadlo“, tak mnoho lidí ví, o co jde a spousta již má něco takového doma. Dnes známe mnoho pomocných prvků, které se dají velmi hojně využívat. Na trhu je mnoho výrobců, kteří vyrábí jak přístroje pro získávání alternativní energie tak i další prvky celých soustav počínaje ventily až po velké akumulární nádoby. U získávání tohoto druhu energie je velký problém, že alternativní zdroje nefungují, tak jak by jsme chtěli a proto musíme například u topení řešit kde uložit (akumulovat) energii, kterou zrovna nevyužíváme. V České republice se zhruba 1/3 energie spotřebovává ve formě nízkopotencionálního tepla k pokrytí tepelných ztrát budov (vytápění a větrání) a na ohřev teplé užitkové vody (TUV). Srovnatelná situace je i v jiných státech s obdobným klimatem jak v Evropské unii, tak v USA. Vedle přednostního snižování tepelné propustnosti stavebních konstrukcí je akumulace tepla jednou z cest snižování energetické náročnosti budov. Akumulace tepla umožňuje přenést energii v čase (v protikladu k přenosu v prostoru) z období relativního přebytku do období relativního nedostatku (den-noc, léto-zima).

2. Charakteristika současného stavu

2.1 Možnosti alternativních zdrojů pro akumulaci tepla:

Solární energie: Při získávání tohoto druhu energie lze použít pro získávání nejen tepelné energie, ale i elektrické energie. Při získání tepelné energie se velmi využívá akumulace tepelné energie, protože dodávka tepelné energie je nerovnoměrná ve dne i v roce. Získává se pomocí solárních kolektorů.

Vodní energie: Přímo se nepoužívá pro získání tepelné energie. Získává se ve vodních elektrárnách na turbínách.

Větrná energie: Přímo se nepoužívá pro získání tepelné energie. Získává se ve větrných elektrárnách.

Biomasa: Používá se přímo na získání tepelné energie. Využit jí lze k výrobě tepla pro účely vytápění, k ohřevu užitkové vody v rodinných domcích, bytech, v průmyslu i v zemědělství je možné několika způsoby:

- *termochemicky* – suché procesy – např. spalování či zplyňování dřeva, slámy, atd.
- *biochemicky* – mokré procesy – např. produkce bioplynu,
- *mechanicko – chemicky* – např. výroba bionafty.

Bioplyn a bionaftu lze využít k výrobě elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách.

Tepelná čerpadla: Odebírají teplo z půdy, vody či vzduchu, případně odpadní teplo průmyslových technologií k vytápění, klimatizaci a přípravě teplé užitkové vody v domácnostech a v rodinných domcích. Vzhledem k nerovnoměrné spotřebě tepla v průběhu roku je vhodné tepelné čerpadlo provozovat s akumulací tepla.

2.2 Principy akumulace tepla:

Dle fyzikálně-chemického principu lze rozdělit:

- akumulace citelného tepla
- akumulace latentního tepla
- absorpce vodní páry
- jiné procesy

2.2.1 Akumulace citelného tepla

Nejjednodušší způsob akumulace tepla. Tento způsob byl historicky první. Využívá měrné teplo pracovní látky. Látka, která akumuluje dobře teplo, má mít velkou tepelnou kapacitu a nízkou cenu. Těmto požadavkům nejlépe odpovídá voda. V menší míře se používá kamenivo nebo jiná pevná látka.

Výhoda této akumulace je nízká cena pracovní látky, naopak nevýhoda je velký objem akumulátoru a skutečnost, že využitelná teplota v průběhu vybíjení klesá.

2.2.2 Akumulace latentního tepla

Tento způsob je trochu obtížnější, protože využívá fázovou přeměnu pracovní látky. Při přeměně pracovní látky se mění látkové skupenství a tím uvolňují nebo přijímají velké skupenské (latentní) teplo. Jsou možné tři druhy fázových změn: tání/tuhnutí, výpar/kondenzace a sublimace/resublimace, ale vzhledem ke skladování velkého množství páry by bylo potřeba objemné zařízení odolávající velkým tlakům. Používá se pouze změna tání/tuhnutí. Používají se látky, které tají při požadované teplotě. Kromě chemicky čistých látek např. síran sodný se používají i směsi např. parafin. Chemicky čisté látky tají při konstantní teplotě. Naproti tomu směsi tají v širším rozsahu teplot. V současnosti se používají stavební materiály s náplní, využívající fázovou změnu pracovní látky (PCM) z *angl. Phase Change Materials*. [4]

Výhodou oproti akumulaci citelného tepla je konstantní teplota a často i menší objem, naopak nevýhodou je vyšší cena pracovní látky.

2.2.3 Absorpce vodní páry

2.2.3.1 Sorpce vodní páry v hygroskopických látkách:

Rovnovážná vlhkost materiálu se liší v závislosti na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Při zvýšení obsahu vlhkosti vzduchu dochází k sorpci (zvýšení) a naopak při poklesu k desorpci vlhkosti materiálu. K akumulaci se využívá bilance tepla při sorpci/desorpci vlhkosti v pracovní látce. Rozdíl oproti jiným akumulacím je, že sorpce nezávisí přímo na teplotě, ale na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Může tedy probíhat při konstantní teplotě. To se využívá při vybíjení akumulátoru. Při nabíjení se snižuje relativní vlhkost vzduchu na potřebnou hodnotu ohřevem akumulátoru na vyšší teplotu. Výhodou tohoto způsobu je, že teplota pracovní látky v průběhu skladování může být libovolná. Naopak nevýhodou je velká nabíjecí teplota, někdy i velmi nízká teplota při vybíjení. [4]

2.2.3.2 Chemická absorpce vodní páry:

Některé z látek, které obsahují ve své krystalové struktuře chemicky vázanou vodu, ji při zvýšení teploty uvolňují a při poklesu zpět absorbují. Proces akumulace závisí kromě teploty i na tlaku páry. Chemická absorpce vodní páry se využívá v absorpčních tepelných čerpadlech, ve kterých je chladivem voda. Při nabíjení akumulátorů na principu chemické absorpce vlhkosti se uvolňuje pára o vysoké teplotě (odpovídá nabíjecí teplotě), kterou lze s výhodou použít např. k ohřevu teplé užitkové vody. Takto je možno sekundárně využít množství tepla srovnatelné s množstvím tepla akumulovaného v zásobníku. Nevýhodou je vysoká teplota, které je potřeba pro nabití akumulátoru, proto nejsou vhodné pro spolupráci s plochými kapalinovými kolektory.[4]

2.3 Získávání tepelné energie pro akumulaci

2.3.1 Solární kolektory

Na solárním trhu v současné době působí velké množství firem - dovozců, výrobců, prodejních a instalačních firem. Na trhu je široký výběr kolektorů, v poslední době stoupá dramaticky nabídka nových typů, především z dovozu. Vedle klasických kolektorů českých, slovenských, německých a rakouských jsou např. nabízeny i výrobky čínské, řecké nebo turecké. V roce 2006 se na trhu objevilo i několik nových tuzemských výrobců kolektorů. Zcela zřetelný je i nárůst počtu dovážených čínských trubcových kolektorů. Kolektory nabízejí specializované firmy, běžné firmy topenářské i dodavatelé střešního materiálu. [7]

Solární kolektory můžeme charakterizovat a rozdělit podle různých hledisek. Podle tvaru se dělí na ploché, trubcové a koncentrační. Podle způsobu přenosu tepla rozlišujeme kolektory kapalinové, teplovzdušné a kombinované. Blíže si všimneme jen nejběžnějšího typu, kterým je plochý kapalinový kolektor. Jeho základními stavebními prvky jsou absorber, skříň, izolace a krycí sklo (obr. 1).

Absorbér - je vyroben z měděného nebo hliníkového plechu, k jehož zadní straně jsou připájeny nebo nalisovány měděné trubice. Povrch absorberu je upraven tak, aby

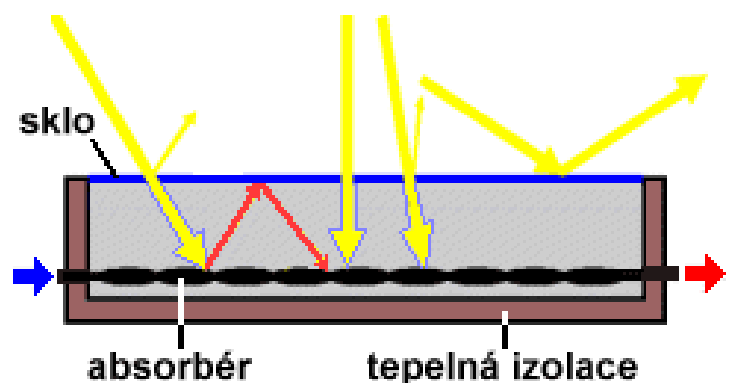
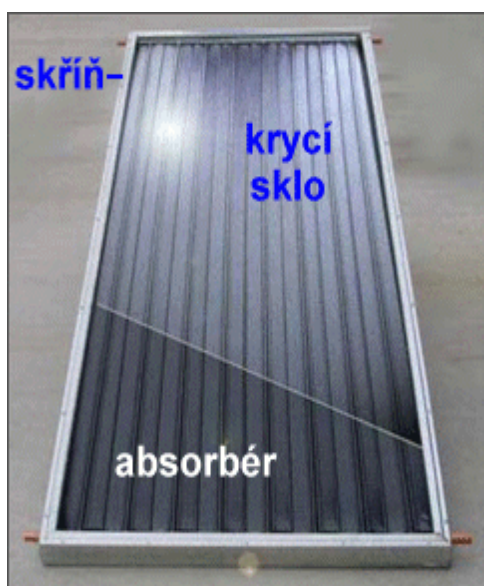
pohlcoval co nejvíce záření. Levné absorbery, dostačující pro letní období, jsou natřeny matnou černou barvou. Kvalitnější typy mají na povrchu tzv. selektivní spektrální nátěr, který pohlcuje až 96 % záření a přitom teplo jen minimálně vyzařuje. Tyto nátěry umožňují využít nejen přímé, ale i rozptýlené sluneční světlo a jsou vhodné pro celoroční využití. Získané teplo se odvádí vodou nebo nemrznoucí kapalinou proudící v trubicích.

Skříň - kovová, plastová nebo dřevěná vana pro uložení absorberu a dalších prvků. Musí být dostatečně robustní, protože slouží ke spolehlivému uchycení kolektoru na střechu nebo stěnu budovy a chrání jeho prvky před nepříznivými povětrnostními vlivy.

Izolace - omezuje tepelné ztráty a brání úniku tepla z absorberu stěnami skříně. Nejčastěji se používá tepelná izolace z minerální vlny nebo polyuretanu. Musí odolávat teplotám do 200 °C a nesmí přijímat z okolního prostředí vlhkost.

Krycí sklo - omezuje tepelné ztráty přední stěnou kolektoru. Viditelné světlo jím snadno prochází a v absorberu se mění na teplo. Dlouhovlnné tepelné záření však sklo nepropouští ven. Uvnitř kolektoru vzniká skleníkový jev, při kterém se zvyšuje teplota proudící kapaliny. Používá se speciální bezpečnostní solární sklo s velkou propustností a dlouhou životností.

Obr. 1: Jednotlivé části solárního kolektoru. [7]

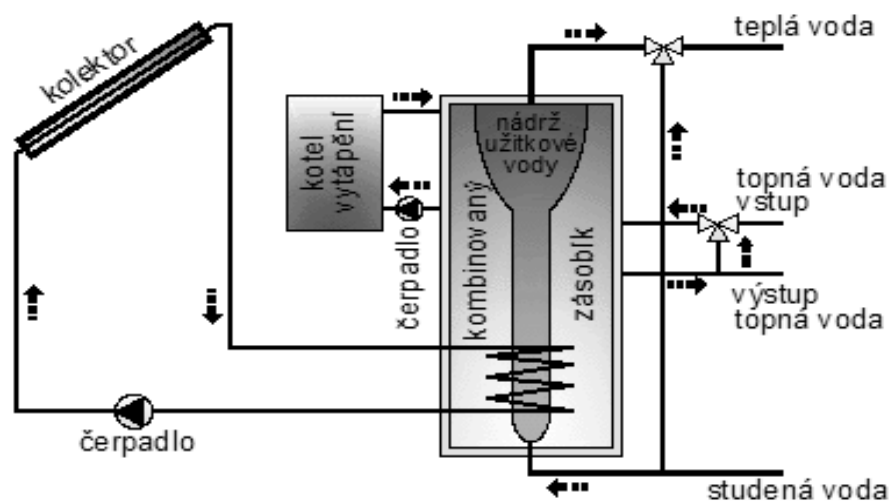


Soustav získávání energie solárními kolektory je více např. jednookruhová (používá se při vytápění bazénů), ale pro naše téma bereme kombinované soustavy (obr. 2). Kombinované protože je v soustavě akumulční nádoba. Tepelná energie získaná absorberem se přenáší k trubkovému registru absorberu, v němž obíhá nemrznoucí solární kapalina, která je tímto teplem velmi rychle ohřívána. Solární regulace neustále vyhodnocuje prostřednictvím čidel teplotu měřených míst a dle nastavení programu zabezpečuje spínání příslušných oběhových čerpadel či změny stavů uzavíracích ventilů na rozvodech systému. Ohřátá solární kapalina vystupuje z kolektorů, protéká výměníkem solárního akumulčního zásobníku a předává získané teplo. Ohřívá tak jeho obsah k pozdějšímu vytápění budovy. Současně dochází k ohřevu TV ve vnořeném zásobníku uvnitř akumulční nádrže. Solární systém jako provozně nejlevnější zdroj energie je k akumulční nádrži připojen na spodní integrovaný trubkový výměník a vyhřívá akumulční zásobník v celém objemu (obr. 3). Podobně je velmi výhodné provozovat teplovodní krb, kamna nebo i kotel na tuhá paliva přes akumulční nádrž. Tyto řekněme provozně levnější zdroje se zapojují do akumulční nádrže tak, aby vytápěly akumulční nádobu těsně nad solárním výměníkem. Zde také bývá umístěna elektrická topná jednotka potřebného výkonu. Horní, nejteplejší část zásobníku je vytápěna provozně dražšími zdroji, především plynovým kotlem.

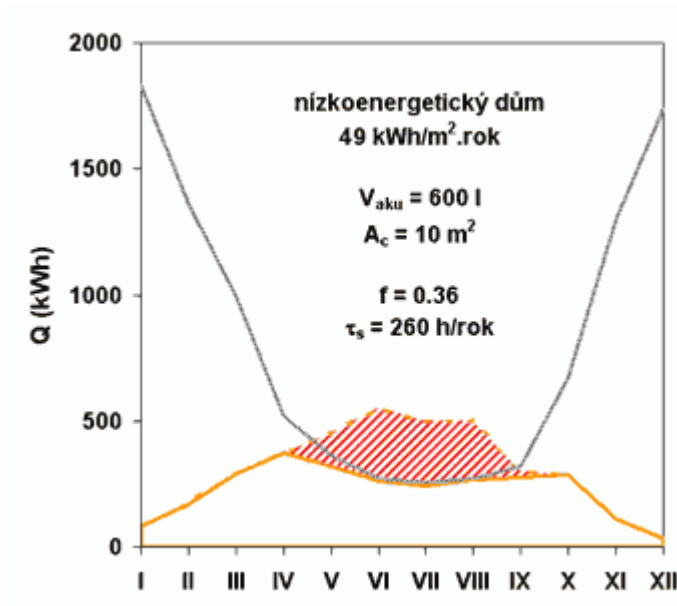
Kombinované solární soustavy se navrhují běžně na pokrytí potřeby tepla nízkoenergetického domu v přechodovém období, což vede k vyšší ploše solárních kolektorů a vyššímu objemu akumulčního zásobníku. Podle požadovaného pokrytí potřeby tepla sluneční energií (solární podíl, solární pokrytí) se jedná zhruba o 2 až 3-násobek oproti běžné solární soustavě pro TUV, pro nízkoenergetické domy běžné velikosti (150 až 200 m² vytápěné podlahové plochy) se jedná o akumulční zásobníky s objemem 500 až 1000 l a plochu selektivních solárních kolektorů 10 až 25 m². Předimenzovaný objem akumulčního zásobníku vzhledem k denní potřebě TUV (několikadenní akumulace) spolu s odpovídající plochou kolektorů má výhodu ve výrazném zvýšení solárního podílu na přípravu TUV během roku z běžných 60 % až na 80 %. Na druhou stranu dochází v letním období k výrazným přebytkům tepla ze solárních kolektorů. Pokud není k dispozici smysluplný spotřebič tepla, jsou přebytečné solární zisky mařeny v kolektorech. To vede k jejich přehřívání, varu a odpaření teplonosné látky (nemrznoucí směsi) v kolektoru a pronikání páry do potrubní sítě primárního okruhu solární soustavy a s tím spojeným provozním problémům. Z těch

nejčastějších je to především degradace teplotnosné látky, odvedení par teplotnosné látky do okolního prostředí automatickým odvzdušňovacím ventilem nevhodně umístěným na výstup z kolektoru, nedostatečná teplotní odolnost izolace potrubí primárního okruhu a další. Nevyužitě solární zisky samozřejmě vedou také k poklesu ekonomické efektivity solární soustavy vlivem poklesu měrných ročních zisků kolektorové plochy. [8]

Obr. 2: Schéma solární kombinované soustavy. [8]



Graf 1: Bilance energie



V grafu 1 je uvažovaný případ znázorněn z hlediska bilance energie v jednotlivých měsících roku. Plocha pod šedou křivkou je potřeba tepla na vytápění a přípravu TUV během roku, plocha pod žlutou křivkou jsou využitelné solární zisky a červeně vyšrafovaná plocha jsou nenevyžitelné (mařené) solární zisky.[8]

Základní požadavky na koncepci budovy se solárními kolektory

- Jižní orientace v nezastíněném prostranství, sklon kolektorů 45-60°
- Maximální tepelná izolace domu a kvalitní okna
- Nízkoteplotní otopná soustava, podlahové nebo stěnové vytápění, vhodná otopná tělesa
- Možnost spotřebovat teplo vyrobené solárním systémem v létě (bazén, akumulace)
- Dostatečná plocha (střechy, zahrady) pro instalaci solárních panelů a technické místnosti
- Vhodná návaznost na ostatní zdroje tepla a technologie
- Komplexní způsob řízení celé technologie a energetiky

2.3.2 Tepelná čerpadla

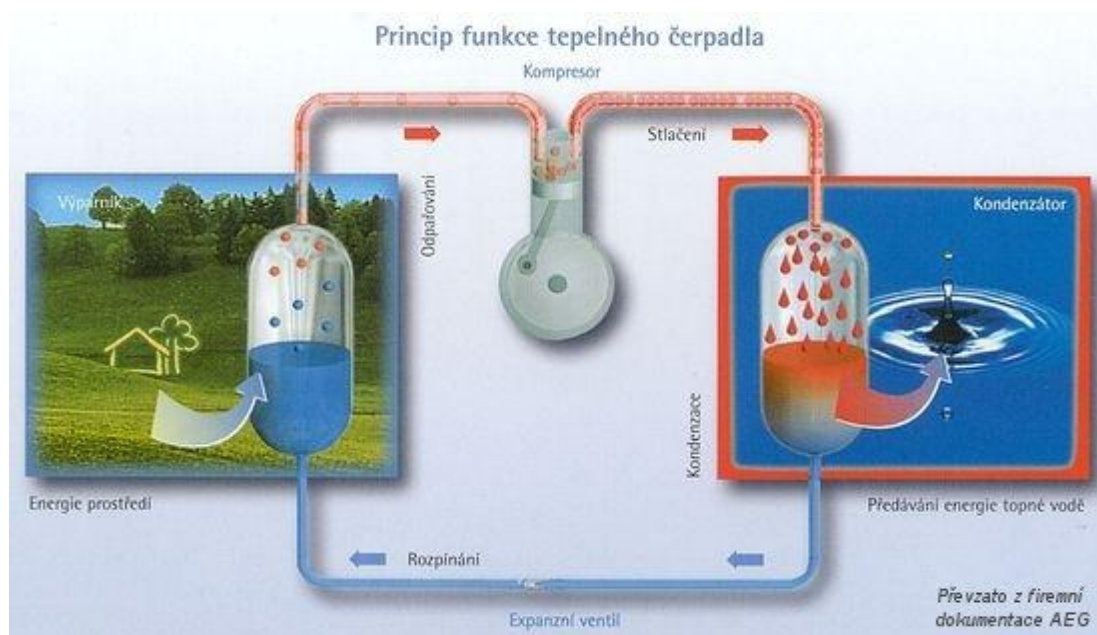
Tepelné čerpadlo se většinou skládá ze dvou částí - venkovní a vnitřní. Vnitřní jednotka je na první pohled nerozeznatelná od běžného plynového kotle nebo ohříváče vody. Nemá žádné zvláštní nároky na umístění ani velikost prostoru a zajišťuje předávání tepla do topného systému. Venkovní část zajišťuje odebrání tepla ze zvoleného "zdroje" (země, vzduchu, vody). Velikost a podoba venkovní části závisí na tom, z jakého zdroje se teplo získává. Z dostupných informací vyplývá, že v roce 2006 bylo na český trh dodáno a instalováno zhruba 2500 tepelných čerpadel o celkovém výkonu přes 40 MW. To je výrazný nárůst oproti roku předchozímu, kdy bylo dodáno necelých 1800 tepelných čerpadel o tepelném výkonu zhruba 25 MW. Nejvíce byla instalována tepelná čerpadla typu země-voda (cca 1 360 kusů). V roce 2006 bylo ve speciálních sazbách pro tepelná čerpadla nově připojeno 2 459 odběratelů, z toho 2 282 v domácnostech. Ze státních prostředků bylo v roce 2006 vybráno k podpoře 219 instalací tepelných čerpadel v domácnostech, tedy zhruba 10 % z celkového počtu instalací.[9]

Tepelná čerpadla můžeme charakterizovat a rozdělit podle různých hledisek. Podle prostředí ze kterého získávají teplo lze rozdělit na vodní, vzduchové a získávání ze země. Dále lze rozdělit podle druhu ochlazovaného/ohřívaného média.

- **vzduch / voda**
- **vzduch / vzduch**
- **voda / voda**
- **solanka / voda**
- **voda / vzduch**

Princip funkce tepelného čerpadla (obr. 3). Teplo je odebíráno z okolního prostředí pracovní látkou (vzduch, voda, glykol, solanka, atd.) a je přenášeno do výparníku. Tam je teplo odnímáno pracovní látce pomocí chladiva. Zahřátím kapalného chladiva dochází k jeho vypařování. Páry chladiva jsou odsávány a současně stlačovány v kompresoru. Tímto procesem se ještě zvýší jejich teplota. Páry jsou dále odváděny do kondenzátoru, kde předají teplo ohřívané látce, zchladí se a změní své skupenství na kapalně. Kapalně chladivo je zpět přiváděno přes expanzní ventil do výparníku. Celý cyklus se opakuje.[1]

Obr. 3: Cyklus principu tepelného čerpadla. [9]



Druhy tepelných čerpadel

2.3.2.1 Venkovní vzduch

Tepelná čerpadla, která využívají tepla obsaženého ve venkovním vzduchu, se vyrábějí ve třech odlišných variantách:

1. Samostatná venkovní a vnitřní jednotka

Venkovní jednotka s ventilátorem je propojena s vnitřní částí izolovaným potrubím, ve kterém proudí chladivo. Venkovní jednotka je relativně malá a lze ji postavit na zem nebo na střechu, případně umístit na venkovní stěnu (závisí na provedení a výrobci). Vzdálenost venkovní a vnitřní části je omezena většinou na přibližně 10 m. Vnitřní jednotka je připojena na topnou soustavu stejně jako kotel.

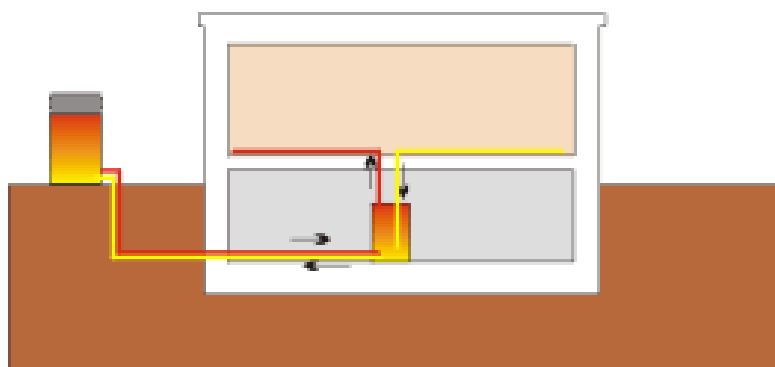
2. Kompaktní provedení venkovní

Celé tepelné čerpadlo je umístěno ve venkovním prostoru. Propojení s vnitřní topnou soustavou se provede izolovaným potrubím, ve kterém proudí topná voda. Výhodou je, že zařízení nezabírá žádný vnitřní prostor a nezatěžuje ho hlukem.

3. Kompaktní provedení vnitřní

Celé tepelné čerpadlo je umístěno ve vnitřním prostoru. K čerpadlu musí být z venkovního prostoru přiveden vzduch a ochlazený vzduch zpět do venkovního prostoru odváděn (sací i výfukové potrubí má průměr cca 400 mm). Aby mezi nasávaným a vyfukovaným vzduchem nedocházelo k promíchání a tím snížení účinnosti, musí být sací a výfukový otvor v dostatečné vzdálenosti od sebe. Vnitřní provedení je levnější než venkovní, ale zabírá podstatně více vnitřního prostoru (zejména díky rozměrnému vzduchovému potrubí).[9]

Obr. 4: systém vzduch – voda



2.3.2.2 Země

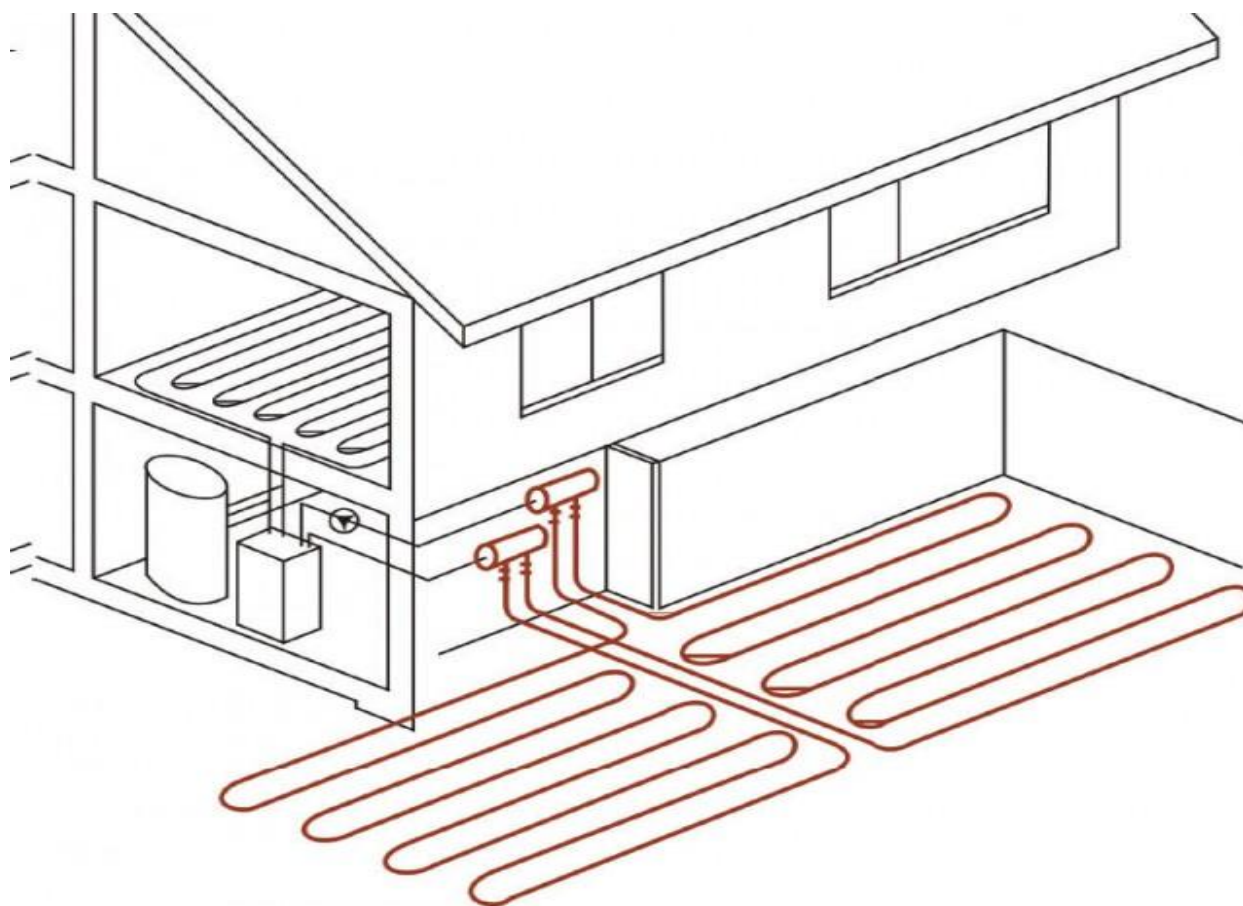
2.3.2.2.1 Zemní plošný kolektor

Tepelné čerpadlo využívá odběru tepla z půdy, např. ze zahrady (obr. 5). V hloubce přibližně 1 m a s roztečí také 1 m je položena plastová trubka (zemní kolektor), kterou proudí nemrznoucí kapalina. Instalace zemního kolektoru tedy vyžaduje plošnou skryvku poměrně velké plochy nebo bagrování dlouhých výkopů. Pro tepelné čerpadlo o výkonu 10kW je třeba přibližně 250-350 m² plochy pozemku. Výhodnější jsou půdy obsahující větší množství vody.

Výhoda jsou nižší pořizovací náklady ve srovnání s vrty.

Nevýhody jsou potřeba dostatečně velkého pozemku, na ploše kde je uložen zemní kolektor nelze stavět, neustálým ochlazováním zemního kolektoru dochází v zimních měsících k jeho promrzání a tím snižování výkonu F_d .

Obr. 5: Schéma položení zemního plošného kolektoru. [13]



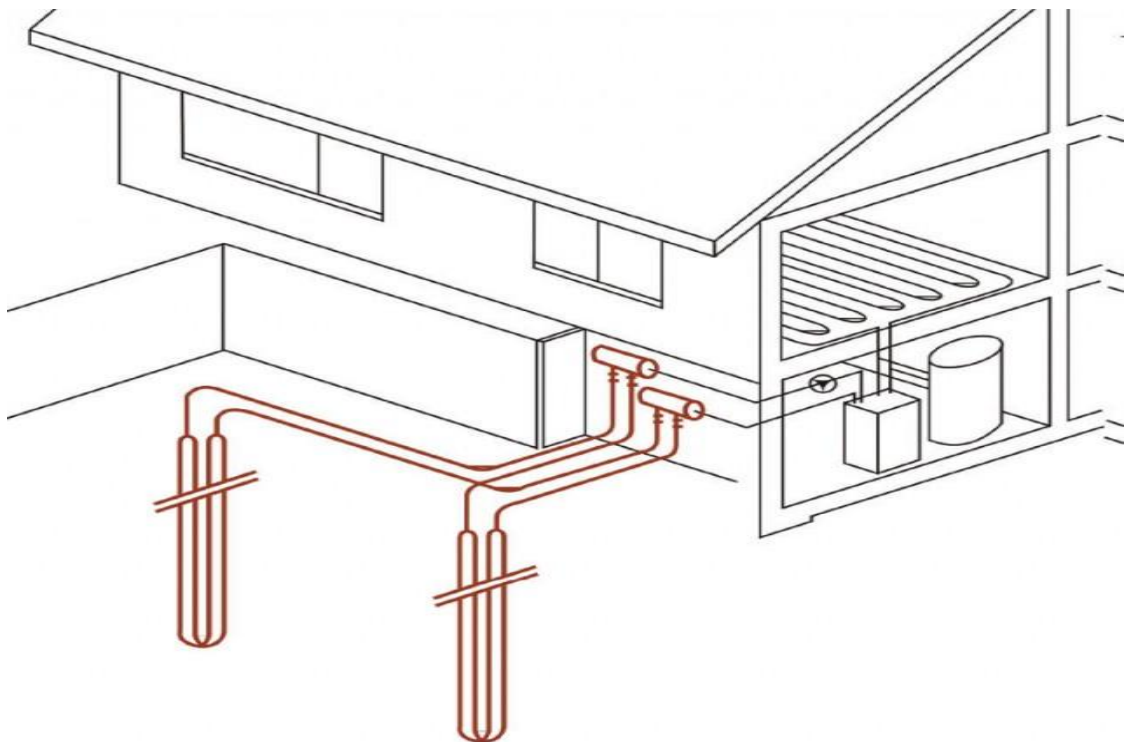
2.3.2.2.2 Hloubkové vrty

Tepelné čerpadlo odebírá teplo z vrtu (obr. 6). V něm jsou zasunuty plastové nebo měděné sondy naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem. Vrt je zaplněn suspenzí cementu a bentonitu pro lepší vodivost tepla mezi zdrojem a jímacím zařízením. Jeden metr hloubky stojí průměrně 1000,-Kč. Běžně se hloubí 50 až 120 m. Vrty dále podléhají schvalovacímu řízení. Vrty musí být umístěny nejméně 10m od sebe. Teplota země se zvyšuje na každých 30 m o 1°C. Z toho plyne, že se vyplatí jeden hluboký vrt než několik mělčích. Železné pravidlo říká, že na 1 kW tepelného výkonu je třeba 15 m hloubky vrtu. [10]

Výhoda jsou stabilní teplota zdroje tepla z vrtu (ve vrtu se teplota po celý rok prakticky nemění) a tím provoz s nízkými náklady. Spotřeba elektrické energie není téměř vůbec ovlivněna venkovní teplotou.

Nevýhody jsou poměrně vysoké pořizovací náklady na zhotovení vrtů, nepořádek spojený se zhotovováním vrtů, neustálým ochlazováním vrtu dochází k jeho postupnému promrzání a tím se dlouhodobě snižuje výkon tepelného čerpadla.

Obr. 6: Schéma hloubkového vrtu kolektoru. [13]



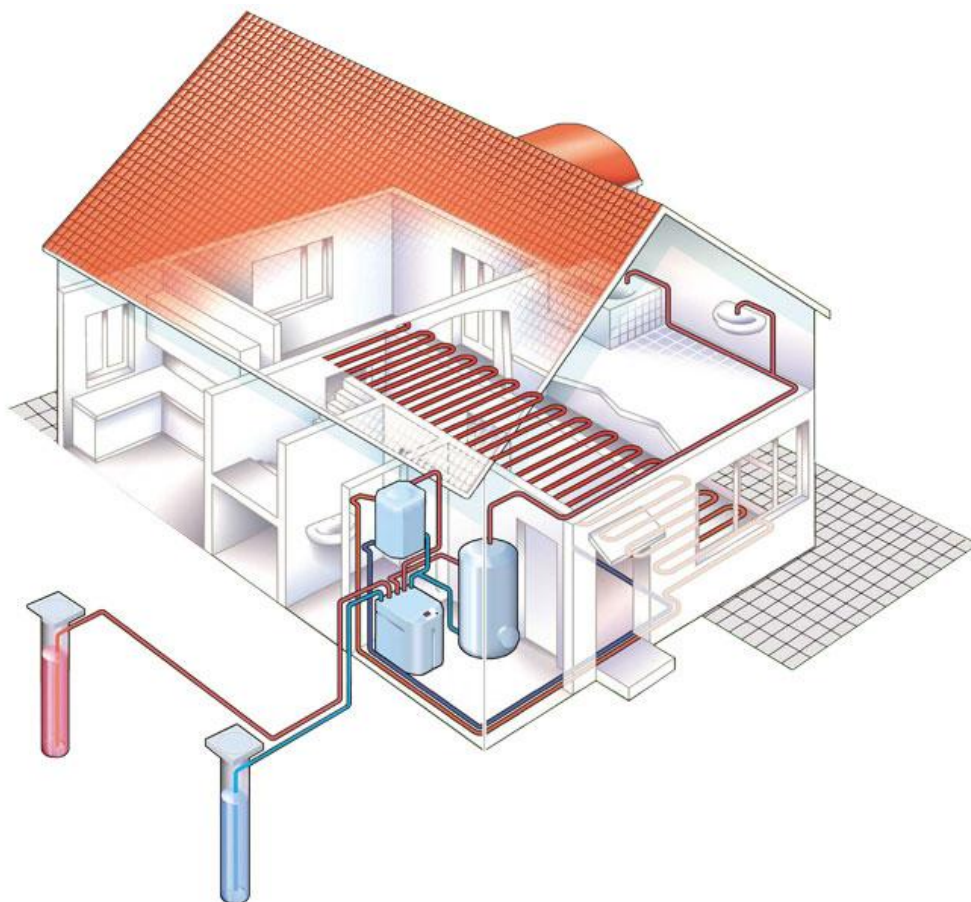
2.3.2.3 Voda

2.3.2.3.1 Podzemní voda

Tepelné čerpadlo odebírá teplo ze spodní vody (obr. 7). Spodní voda je vyčerpávána ze studny, v tepelném čerpadle je ochlazena a pak zavedena do druhé vsakovací studny. Je nutné, aby voda měla alespoň 7°C a vyhověla chemickému rozboru. Dále je třeba, aby vydatnost studně byla alespoň 0,5 l/s. Podle železného pravidla platí, že na 1 kW tepelného výkonu je zapotřebí 150 l vody za hodinu. Musí se také zajistit dostatečné oddělení obou studní, aby se voda ve vsakovací studni dostatečně ohřála předtím, než se dostane do jímací studny, a pak zavedena do druhé vsakovací studny. V tomto případě se využívá skutečnosti, že si spodní voda celoročně udržuje teplotu cca 4°C.

Výhodou jsou nižší pořizovací náklady než u vrtu a především vysoký topný faktor. Nevýhodou je nutnost častějšího čištění a instalace nových filtrů, větší poruchovost.

Obr. 7: Schéma kolektoru v podzemní vodě. [15]



2.3.2.3.2 Povrchová voda

Tepelné čerpadlo čerpá teplo z povrchové vody (obr. 8). Na dně jsou položeny plastové hadice se zátěžkami, naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi vodou a tepelným čerpadlem. Vodní zdroj nesmí v zimě zamrznout. Podle železného pravidla se na 1 kW tepelného výkonu spotřebuje 310 l vody za hodinu teplejší 4°C. Výhodou jsou opět nižší náklady než u vrtu a vysoký topný faktor. Nevýhodou je že plastové hadice se mohou snadno poškodit např. při povodních či jiném zásahu.

Obr. 8: Kolektor v povrchové vodě.



2.3.3 Kotle pro spalování biomasy

Z hlediska typu biomasy jsou pro výrobu tepla nejvíce využívány celulózní výluhy (necelých 900 tisíc tun). Následuje kategorie "dřevní odpad, piliny, kůra, štěpky, zbytky po lesní těžbě". Biomasy tohoto typu bylo prokazatelně spotřebováno v roce 2006 zhruba 881 tisíc tun. To je o necelých 30 tisíc tun více než v roce 2005. Vedle "tradičních" paliv - dřevního odpadu, pilin a štěpky (250 tisíc tun) a celulózních výluhů (185 tisíc tun) byla v roce 2006 zaznamenána zvýšená spotřeba neaglomerované rostlinné hmoty (62 tisíc tun) i pelet a briket z rostlinných materiálů (16 tisíc tun). V roce 2006 byl nárůst spotřeby kategorie dřevního odpadu, pilin a štěpky činil 60 tisíc tun.

Výroba tepelné energie z biomasy bylo zjištěno u 1 394 firem ze zhruba 40

tisíc sledovaných subjektů. V roce 2006 bylo v těchto firmách vyrobeno z biomasy celkem 16 PJ tepelné energie, z toho bylo 91 % využito ve vlastním závodě (počítáno včetně ztrát) a 9 % bylo prodáno třetím osobám. Zvláště překvapivý je stále nízký podíl energeticky využívaných neaglomerovaných rostlinných materiálů, který činí zanedbatelných 12 tisíc tun. V roce 2006 došlo ke zvýšení produkce palivového dříví, ovšem při markantním nárůstu jeho ceny. Současně vzrostla i celková těžba dříví všech sortimentů, lze tedy předpokládat, že bylo k dispozici více lesních zbytků po těžbě (samosběr a samovýroba) a také při větším objemu zpracovávaného dříví i větší produkce palivového dřeva a dřevního odpadu na pilách apod. Tyto faktory ovlivňují dodávku paliva do domácností. Odhadovaná spotřeba (dodávka) palivového dřeva a dřevního odpadu v domácnostech činila v roce 2006 zhruba 3 miliony tun.[11]

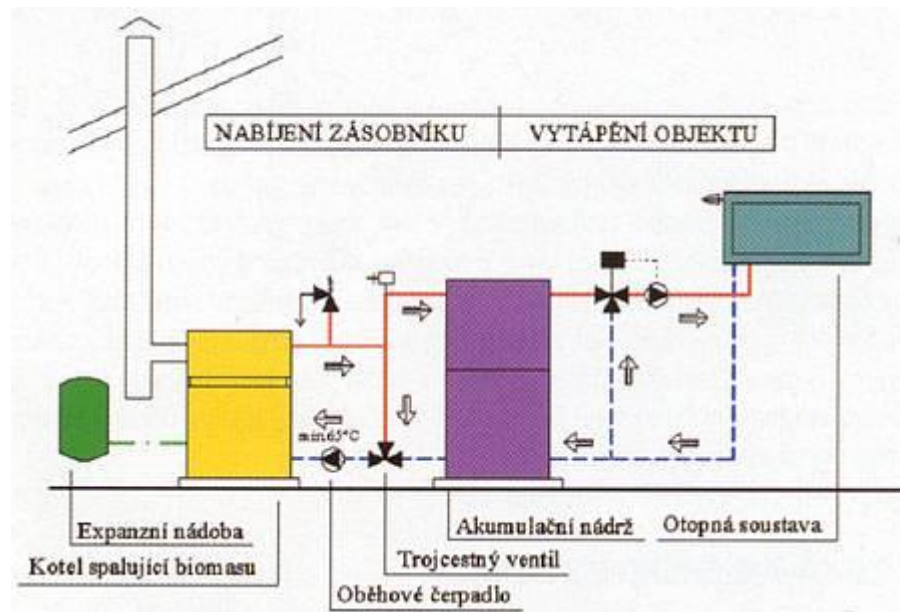
Tab. 5: Využití biomasy na výrobu tepla v roce 2006.

Palivo	Na výrobu tepla
Dřevní odp., štěpka, piliny atd.	881 457
Palivové dřevo	54 102
Rostlinné materiály	12 307
Brikety a pelety	8 134
Celulózové výluhy	883 578
Celkem	1 839 578

Princip spalování působením vysokých teplot se uvolňují hořlavé plynné složky, které jsou označovány souhrnně jako dřevoplyn. Pokud k tomuto dochází za přítomnosti vzduchu, jedná se o prosté spalování. Pokud vzduch není při tomto procesu přítomen, hovoříme o zplyňování. Vzniklý plyn pak odvádíme do jiné části spalovacího prostoru a tam ho spalujeme obdobně jako u jiných plynných paliv. Hovoříme zde však o spalování, při kterém je zajištěn dostatečný přívod vzduchu. Při regulaci výkonu zdroje snížením přívodu vzduchu dochází k nárůstu emisí vlivem nedokonalého spalování. Zdroj tepla je kotel na spalování biomasy. Pro rodinné domy jsou určeny zdroje tepla o výkonu cca do 25 kW. Ten je nutný napojit na otopnou soustavu a ta je v dnešní době především s nuceným oběhem vody. U kotlů je třeba nejprve zajistit, aby teplota vratné

vody neklesala pod 65 °C a nedocházelo k nízkoteplotní korozi kotle. Problém nastává, když je přerušena dodávka energie do cirkulačního čerpadla, dá se řešit více způsoby např. jiný zdroj elektrické energie, výměníkem, který je chlazen studenou vodou, která pak odtéká do kanalizace. Lepším řešením může být zapojení otopné soustavy do zásobníku TUV a tím využití jinak ztraceného tepla nebo použití akumulčních nádrží[11]. Při technickém řešení zapojení, (obr. 9) se zapojuje kotel na biomasu stejně jako kotel na tuhá paliva.

Obr. 9: Vytápění pomocí kotle na biomasu.



Princip používání akumulátorů.

Kotel provozujeme na plný výkon, tedy s nejvyšší účinností a také nejdelší životností, a to až do maximální akumulace nádrží na teplotu cca 90 °C. Zároveň při tomto spalování produkujeme minimum škodlivin do ovzduší. Kotel poté necháme dohořet a znovu ho již nenaplňujeme palivem a tím snižujeme nebezpečí jeho přehřátí při výpadku elektřiny. Teplo ze zásobníků poté odebíráme běžným způsobem přes směšovací ventil, který je vhodné řídit elektronicky. Na tomto místě je možné říci i první omezení použití - je nutný dostatečný prostor pro umístění akumulčních nádrží a provoz znamená také zvýšené nároky na obsluhu kotle v době nabíjení systému. Je též zřejmé, že akumulční nádrže musí být dostatečně izolovány, aby nedocházelo k velkým tepelným ztrátám a tím k prodražení provozu celé soustavy. Umístění

akumulačních zařízení je proto problematické u některých rodinných domů, kde je prostor na kotelnu zcela minimalizován nebo není vůbec.

Pro ekonomiku provozu akumulčního vytápění je klíčovým faktorem volba optimálních parametrů zásobníku tepla, tedy stanovení jeho nevhodnějšího objemu. Teplota v zásobnících by měla být při nabíjení co nejvyšší, aby mohl kotel pracovat s co nejvyšší účinností a aby tím byl též snížen jejich objem. Výrobci nabízejí běžně zásobníky o objemu 500 až 700 l, které je možné vzájemně propojovat. Velikost celkového akumulovaného objemu je vhodné stanovit podle požadavků majitele rodinného domu v závislosti na požadované době vybíjení. Omezujícím faktorem pak může být i doba samotného nabíjení, které by vzhledem k pohodlnosti provozu nemělo být delší než 1 den. Akumulace energie v souhrnu představuje úsporu provozních nákladů cca 10 až 15 %. K tomu je vhodné ještě přičíst ekologický přínos provozu. Zásobníky lze rovněž používat i pro akumulaci tepla od slunečních kolektorů[11].

2.4 Hlavní způsoby akumulace

Cílem akumulace tepla v domě je uchování energetického přebytku na období, kdy je potřeba teplo do domu dodávat. Akumulaci tepla lze využít i k chlazení staveb, v tomto případě se používá termín akumulace chladu. V zásadě se využívají dva způsoby akumulace tepla - akumulace tepla do stavebních konstrukcí a akumulace tepla do samostatných akumulčních zásobníků (akumulačních prvků). Zatímco k uvolňování naakumulovaného tepla ze stavebních konstrukcí dochází nekontrolovatelně vždy, když teplota okolí poklesne pod teplotu konstrukce. Teplo v akumulčních zásobnících lze za určitých podmínek skladovat delší dobu a využít ho až v době, kdy je opravdu potřebné. Do stavebních konstrukcí se teplo dostává přímým ozářením nebo konvektivním přenosem tepla (prouděním). Konvektivní přenos je podstatně méně účinnější, než přímé ozářením, ale působí na větší povrch. Největším problémem tohoto způsobu akumulace je časté přehřívání vnitřního vzduchu a tím vytváření tepelné nepohody.

2.4.1 Rozdělení akumulčních zásobníků

Dle doby uchování tepla: krátkodobé - Využívají citelného i latentního tepla. Slouží k překlenutí jednoho až několika dnů.

dlouhodobé – Využívá pouze citelné teplo. Slouží k překlenutí prakticky celého otopného období.

Dle látky obsažené v zásobníku:

vodní zásobníky (kapalinové solární soustavy): Homogenní (promíchávané)
Stratifikační (vrstvené)

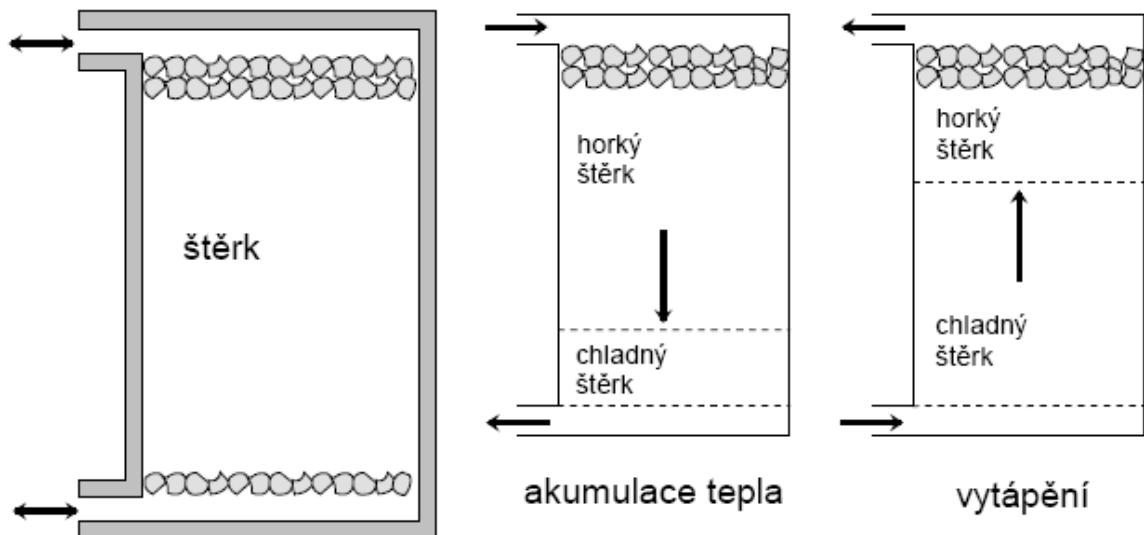
štěrkové akumulátory (vzduchové solární soustavy)

netypické materiály PCM (z anglického Phase Change Material).

2.4.1.1 Štěrkové akumulátory

Hodí se pro vícedenní až sezonní akumulaci tepelné energie, kde teponosným médiem bývá vzduch, který se ohřívá v horkovzdušných kolektorech. Tento způsob má oproti akumulaci do vody několik výhod: nepotřebujeme tepelné výměníky, nedochází k přenosu tepla konvekcí, přesně je dán teplotní rozdíl mezi jednotlivými vrstvami (Obr. 10), přenos tepla kondukcí je minimální (kamínky štěrku se dotýkají pouze hranami). Velká nevýhoda je že kamenivo má nízkou tepelnou vodivost (příliš velký zásobník).

Obr. 10: Štěrkový zásobník schematicky. [12]



2.4.1.2 Vodní akumulátory

2.4.1.2.1 Homogenní (promíchávané):

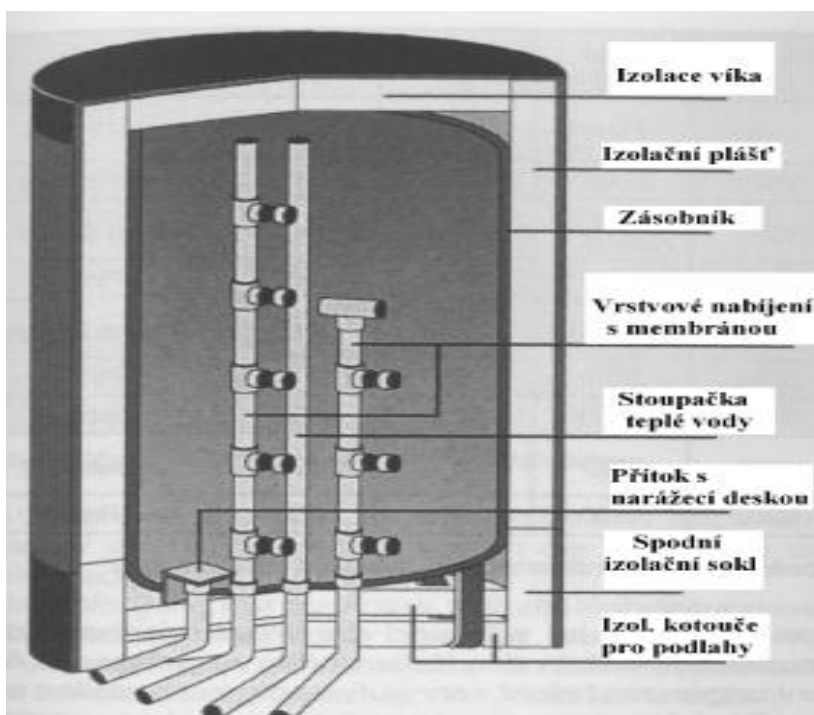
Vhodné pro solární systémy kde je vysoký průtok popř. tam kde kapalina v kolektorech a zásobníku je stejná. Klasická nádoba, která funguje jako boiler.

2.4.1.2.2 Stratifikační (vrstvené):

Zásobník, ve kterém dochází ke gravitačnímu rozvrstvení vody podle měrné váhy, tedy teplot. Jednotlivé vrstvy si pak udržují rozdílné teploty, neboť tepelná vodivost vody je relativně nízká. Při posuzování účinnosti zásobníků (poměr odebrané energie k energii získané ze slunce) bylo zjištěno při srovnatelných poměrech, že stratifikační zásobník má účinnost vyšší (47%) oproti homogennímu zásobníku (43%). Uváděný stratifikační zásobník byl pouze třívrstvý. U vícevrstvého (eventuálně kontinuálního) zásobníku vychází účinnost ještě vyšší. Vždy lépe obstojí zásobník s více vrstvením. Tím vzniká mnoho konstrukčních provedení tzv. vestaveb. K tepelnému vrstvení dochází tehdy, je-li teplá voda ukládána do správné části zásobníku a odběr je prováděn vždy ze spodní části. Tepelné rozvrstvení se udrží tak dlouho, dokud nedojde k promíchání vrstev. Výměna tepla mezi vrstvami je ztížena vlivem malé tepelné vodivosti vody. Rozhodující vliv na tepelné vrstvení zásobníku mají pochody probíhající při nabíjení a vybíjení, tedy vhodná konstrukce přívodu a odvodu teplé vody (obr. 10).

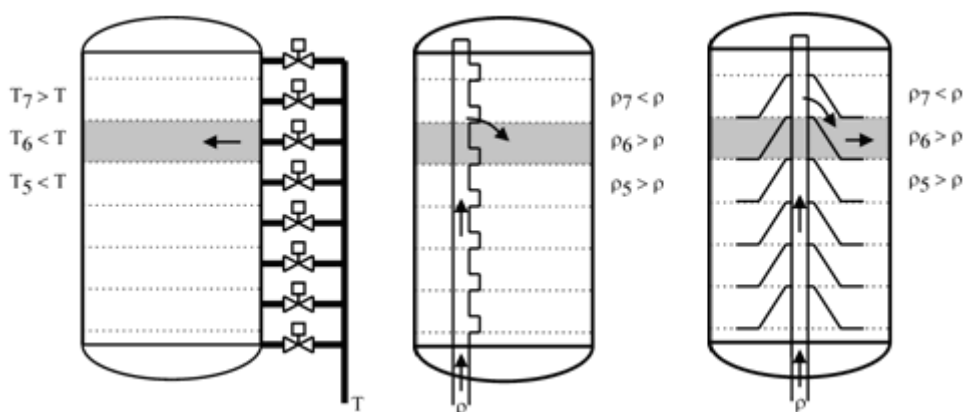
Nabíjení zásobníku solární energií vnitřním výměníkem ve spodní třetině výšky je snadno realizovatelné, ale má tu nevýhodu, že prouděním ohřáté vody dochází vždy také k promíchání vrstev. Proto byla vyvinuta tzv. vrstvicí nabíjecí zařízení, což je trubková vestavba, kterou stoupá voda jako komínem tak dlouho, dokud nedosáhne vrstvy o stejné teplotě. Tepelné ztráty zásobníků výrazněji zvyšuje přirozené proudění top. média do rozvodů, kde se ochlazuje a stejným potrubím (ve spodní polovině průřezu) se vrací zpět do zásobníku. Dá se tomu zabránit jednoduchým řešením buď armaturou nebo potrubním termosifonem.

Obr. 11: Stratifikační zásobník a jeho konstrukce.



U těchto zásobníků rozlišujeme různé typy řízení stratifikace (Obr. 12).

Obr. 12: Typy řízené stratifikace. [18]



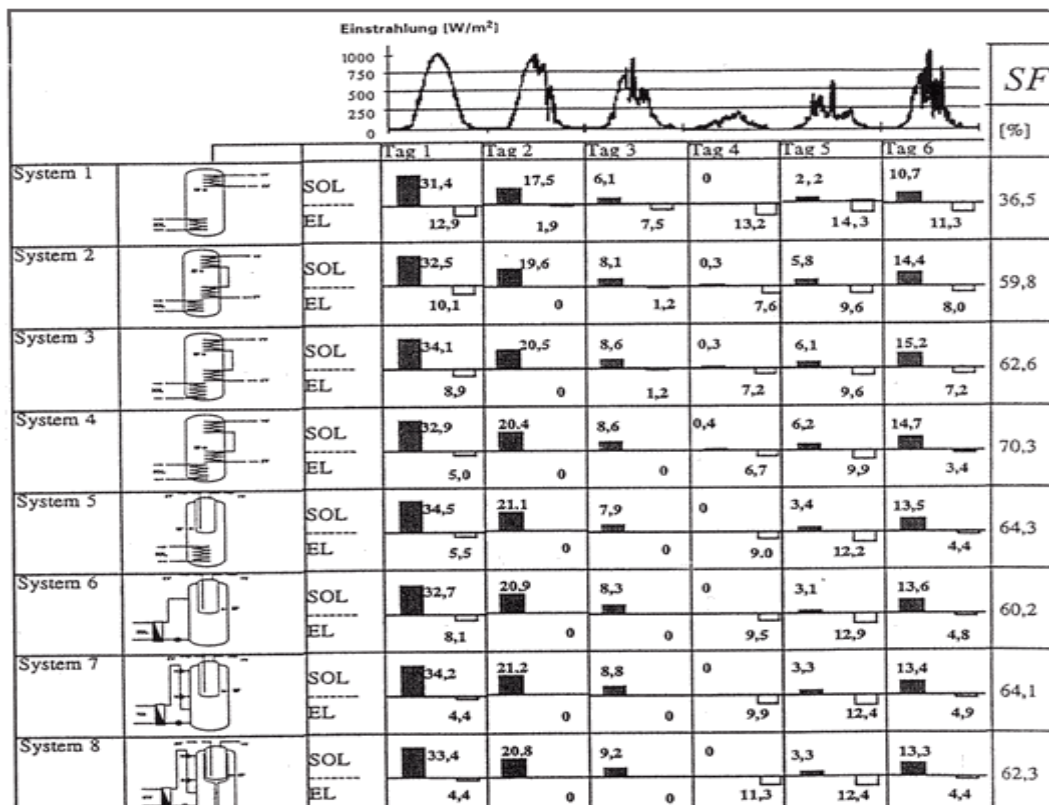
První způsob (vlevo) je řízení stratifikace ovládanými ventily na základě porovnávání teploty v dané vrstvě zásobníku a teploty přiváděné teplotnosné látky. Přívodní potrubí s ventily do zásobníku je nutné dimenzovat s ohledem na nízkou vstupní rychlost a konstrukčně řešit tak, aby přiváděný proud nenarušil teplotní rozvrstvení objemu zásobníku.

Samočinné trubkové vestavby (uprostřed), které pracují na základě rozdílu hustot mezi přiváděnou teplotnosnou látkou z výměníku a vrstvami akumulačního zásobníku. Teplotnosná látka o hustotě ρ (kg/m^3) je přiváděna vždy pod vrstvu, která má nižší hustotu. Trubkové vestavby jsou levné prvky, zpravidla z plastového PVC potrubí. Odbočky jsou často vybaveny velmi lehkými plovoucími zpětnými klapkami, které zabraňují znehodnocení teploty přiváděné teplotnosné látky přísávaním z dolní chladnější části zásobníku.

Speciální talířové vestavby (vpravo) mají toto vyřešeno vlastní konstrukcí (přirozená-gravitační zpětná klapka). U trubkových vestaveb je důležité udržet nízkou rychlost v přiváděcím potrubí pod 0,1 m/s, aby nebylo teplotní rozvrstvení narušeno účinkem kinetické energie proudu.

Druhů jak zapojit tyto zásobníky je více. Rozdílnost velikosti naakumulované energie při různém zapojení (obr. 13) je určující pro ono zapojení. Testování proběhlo na reálném solárním systému s 10 m² absorbující kolektorové plochy.

Obr. 13: posouzení typů zásobníků [14]



SF – solární pokrytí

EL – dohřívání na požadovanou teplotu elektrické energií

SOL – energie získané solární energií

V dnešní době jsou nejvíce využívány stratifikační zásobníky v kombinaci se solárními kolektory popř. jinými zdroji. Většina firem dodává zásobník přímo s kolektory. U nás na trhu se dají sehnat akumulční nádoby různých velikostí a provedení od různých firem např. REFLEX CZ, REGULUS spol., atd.

2.4.1.3 Akumulátory z netypických materiálů

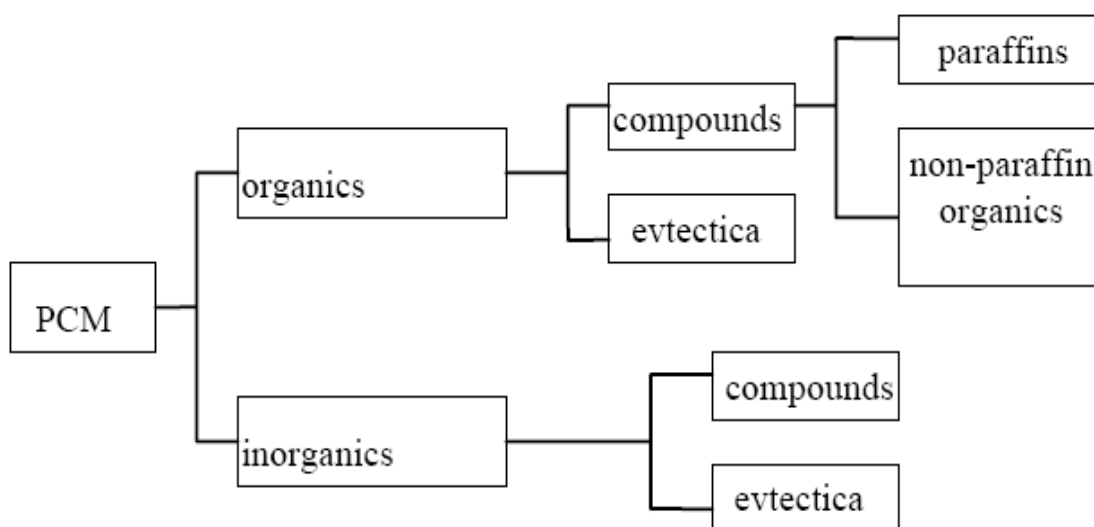
Zásobník, jehož nabíjení probíhá za konstantní teploty a dodaná energie se spotřebovává např. při tání náplně na rozrušení vnitřních vazeb v pevné látce, je schopen pojmout množství energie, které je rovno součinu jeho hmotnosti a měrného skupenského tepla tání. Pro název náplně takového zásobníku budeme používat zkratky PCM (z anglického Phase Change Material).

První aplikace PCM jsou velmi starého data a váží se spíše k problematice chlazení (ledárny, pivní sklepy, přeprava choulostivých potravin). Řada konstrukcí zásobníků, které využívaly pro náplně některých anorganických solí, se začaly rozvíjet ve 20. a 30. letech minulého století. Velký pokrok v systematickém vyhledávání a zkoumání PCM byl učiněn v programech vesmírného výzkumu na základě zadání NASA - zajistit v objektech pohybujících se vesmírem trvalou přiměřenou tepelnou pohodu. Jedním z prvních akumulátorů s PCM (hydratované soli, parafin) bylo v r. 1932 patentované zařízení pro ohřev TUV nebo sálavé vytápění bytových prostor, nabíjené levným nočním elektrickým proudem.

První stavbou, jejíž otopná soustava plně využívala PCM, byl tzv. "Dover House", postavený v r. 1948 nedaleko Bostonu v USA. Zásobníky byly realizovány třemi prostory, jejichž stěny působily jako radiátory do sousedních místností. Každá z těchto prostor obsahovala plastové sudy s náplní Glauberovy soli, dosud nejprozkoumanějším materiálem pro zásobníky s PCM. R. 1971 začal rozsáhlý systematický průzkum látek vhodných pro zásobníky s PCM na Pensylvánské státní universitě. Byla stanovena hlavní kritéria pro volbu PCM jak z technických, tak z ekonomických hledisek. [16]

PCM materiálů je mnoho druhů, pro znárornění rozdělení do tříd a kategorií slouží tabulka 6 a obr. 14, která navazuje na graf 2, kde jsou dle pořadových čísel zobrazeny.

Obr. 14: Kategorie PCM materiálu. [2]



Tabulka 6: Druhy PCM materiálu. [2]

PARAFFIN

1. PARAFIN 5913
2. PARAFIN 6106
3. PARAFIN 5838
4. PARAFIN 6035
5. PARAFIN 6403
6. PARAFIN 6499
7. OKTADEKAN

ORGANIC

COMPOUNDS

8. Capric acid
9. Poliglikol E600
10. Caprinic acid
11. Laurinic acid
12. Miristic acid
13. Poliglikol E6000
14. Laksiol
15. Palmitin acid
16. Stearin acid
17. Bifenil
18. Propionamid
19. Naftalen
20. Acetamid

INORGANIC

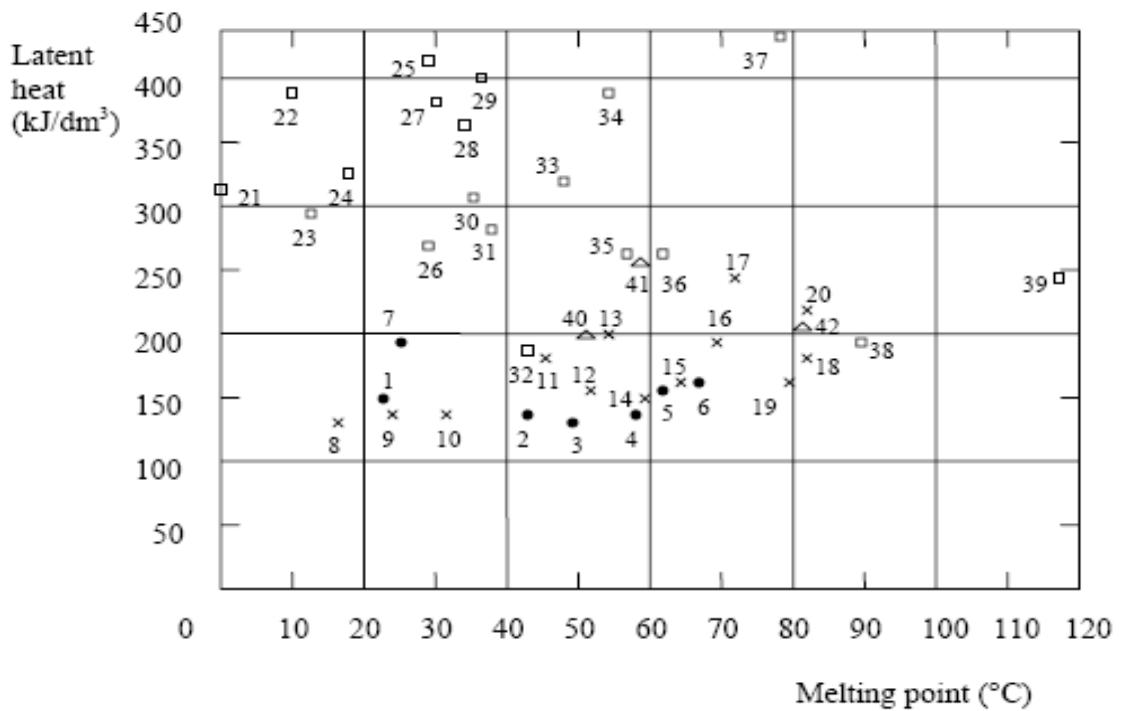
COMPOUNDS

21. H₂O
22. LiClO₃ · 3H₂O
23. LaOH · 3,5H₂O
24. KF · 4H₂O
25. NO₃ · 3H₂O
26. CaCl₂ · 6H₂O
27. Na₂SO₄ · 10H₂O
28. La₂CO₃ · 10H₂O
29. LiClO₃ · 3H₂O
30. Zn(NO₃)₂ · 10H₂O
31. CaBr₄ · 6H₂O
32. KF · 2H₂O
33. Na₂S₂O₃ · 5H₂O
34. Ni(NO₃)₂ · 6H₂O
35. NaCH₄COO · 3H₂O
36. NaOH · H₂O
37. Na(OH)₂ · 8H₂O
38. Na(NO₂)₂ · 6H₂O
39. MgCl₂ · 16H₂O

EVTECTICS

40. Propionamid + Palmitin acid
41. Mg(NO₃)₂ · 6H₂O + MgCl₂ · 2H₂O
42. LaNO₃ + Lh₂NO₃ + NH₄Cl

Graf 2: závislost teploty na velikosti latentního tepla[2]



Výhody a nevýhody látek:

Anorganické látky:

výhody - vysoké měrné skupenské teplo tání

- dobrá tepelná vodivost
- nehořlavé a levné

nevýhody - způsobují korozi u většiny kovů

- rozklad a ztráty hydroskopické vody
- možnost přechlazení

Organické látky:

výhody - vysoké měrné skupenské teplo tání

- chemicky stabilní
- nedochází k přechlazení
- nezpůsobují korozi

nevýhody - horší tepelná vodivost

- relativně velké změny objemu během změny skupenství
- hořlavost

2.4.2 Akumulace do stavebních konstrukcí

Když požadujeme dobrou akumulaci musíme počítat s tím, že obyčejné materiály, které se používají jako stavební konstrukce. Budou mít horší akumulační vlastnosti než materiály k tomu přizpůsobené. Abychom byli schopni dopadající energii využívat, musíme tomuto požadavku přizpůsobit tvar budovy a jeho dispoziční řešení. Z hlediska provozu se jedná v převážné míře o budovy sloužící pro bydlení. Charakteristickými vlastnostmi pasivních solárních domů, jak se domy využívající přímé sluneční záření nazývají, jsou velké prosklené plochy orientované na jižní stranu a minimální prosklení na stranu odvrácenou od slunce. Množství dopadající sluneční energie v zimním období je však v naší zeměpisné šířce nízké, a tak relativně malé musí být také tepelné ztráty objektu. Toho docílíme kvalitním zaizolováním a používáním oken s nízkou hodnotou součinitele prostupu tepla a vysokou hodnotou energetické propustnosti. Energie, která do interiéru dopadá v zimním slunečním dnu, většinou převyšuje okamžité tepelné ztráty a musí být proto akumulována nejlépe do akumulační konstrukce zde umístěné. Vzhledem ke krátkým zimním dnům ji pak hned po západu slunce začneme využívat. Díky akumulační konstrukci máme zajištěnu větší tepelnou setrvačnost prostředí, což znamená pomalejší změnu vnitřní teploty.[17] Pro akumulaci energie můžeme při návrhu energetického systému objektu využít přímo stavební konstrukci nebo vytvořit konstrukci speciální. Většinou se jedná o vnitřní hmotnou stěnu, vytvořenou z plných cihel nebo z betonu. Zvláště vhodný je strop, který na rozdíl od podlahy není zakryt kobercem nebo nábytkem. Zvýšit akumulační schopnosti interiéru je nutné zejména u dřevostaveb.

Při tomto typu akumulace se naskýtá využít pro akumulaci materiály z řady netypických materiálů PCM. Důvod je patrný z obr. 15. Např. společnosti BPB, která je v České republice známá díky dceřině společnosti Rigips, se snaží o zvyšování tepelné akumulačních vlastností sádrových desek. Dnes už je běžné, že jsou případy kdy je PCM neprodyšně uzavřeno v obalech různých velikostí a tvarů. Většinou to jsou ploché sáčky, které bývají sdružovány po 4 a více do větších montážních rohoží či panelů,

mohou to být ale také kusové prvky - kapsle, polštářky, váčky, koule apod., se kterými se pracuje jako se sypkým materiálem. Rohožemi či kusovým materiálem se vyplní dutiny ve střepech, případně stěnách a podlahách tak, aby jimi mohl cirkulovat vzduch z interiéru a zásobovat tak interiér teplem nebo chladem od PCM. Ve srovnání se sádkartonovými aplikacemi je tento způsob využití PCM univerzálnější, intenzivnější (lze nasadit prakticky libovolné množství PCM) a při dobrém návrhu účinnější (transport chladu od PCM je podpořen prouděním vzduchu). Nevýhodou je komplikovanější návrh stavebního řešení a vyšší pracnost. Výsledky, které to může přinést, mohou ale být neočekávaně dobré.

Obr. 15: Tloušťky stěn z různých stavebních materiálů, které akumulují teplo 5 700 kJ při vzrůstu pokojové teploty z 21 °C na 31. [5]



Jako ukázkou průmyslově vyráběného PCM určeného pro stavebnictví vezmeme systém DELTA-COOL 24 (obr. 16), který je v technické dokumentaci výrobce - německé firmy Dörken GmbH & Co. Teplotně stálé polštáře DELTA-COOL 24 využívají vysoké tepelné kapacity dané sdílením latentního tepla PCM, který je zapouzdřen injektováním PCM do pětivrstvé laminované fólie.

Obr. 16: Průmyslově vyráběné PCM. [5]



Porovnání akumulace do betonu a systému DELTA-COOL 24. Jeden m^2 betonové zdi o tloušťce 300 mm a hmotnosti 660 kg, která je dobře tepelně izolována z venkovní strany a která se vlivem trvalé vysoké venkovní teploty ohřeje z teploty $21\text{ }^\circ\text{C}$ na $25\text{ }^\circ\text{C}$, pohltí celkové teplo 554,4 kJ. Stejné teplo při stejném vzrůstu teploty pohltí díky přechodu z pevné do kapalné fáze pouhých 3,38 kg o objemu 2,24 l.[5] Z toho vyplývá, že necelých 2,5 litru PCM má podobný akumulární účinek jako hmota betonu o objemu 300 l.

Pro účelné vysvětlení zavedeme jednoduchou vzorovou budovu o rozměrech 10 x 10 x 3 (m), vnitřním objemu $V = 300\text{ m}^3$ a vnitřní plochou nadzemní obálky $S = 220\text{ m}^2$. Budiž je hned za vnitřní pohledovou deskou obvodových stěn a stropů budovy instalována rohož PCM o plošné hmotnosti 20 kg/m^2 . Při uvedené ploše obálky to představuje hmotnost PCM 4,4 tuny. Pro ohřátí takové stěny z $21\text{ }^\circ\text{C}$ na $25\text{ }^\circ\text{C}$ je třeba 721,160 kJ tepla. Pokud střední součinitel prostupu tepla obálkou bude $2\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, což je na současný standard nevyhovující hodnota, potom při setrvalé venkovní teplotě $40\text{ }^\circ\text{C}$ dojde z roztavení PCM a stoupnutí teploty nad $25\text{ }^\circ\text{C}$ až za více než 28 hodin (při venkovní teplotě $35\text{ }^\circ\text{C}$ za 41 hodin). S takovou „termostabilizační přízdívkou“ je možné překlenout i déle trávající období, pokud noční teploty klesnou pod $24\text{ }^\circ\text{C}$, kdy roztavený podíl PCM může tuhnout. Uvedené intervaly stabilní teploty se ovšem zkrátí větráním a také tehdy, když na chladných sáčkách PCM dojde ke kondenzaci vodní páry.[5]

Jakmile teplota PCM-D vystoupá na $24\text{ }^\circ\text{C}$, je další pohlcené teplo využito k tání PCM, nikoliv ke zvyšování teploty, a naopak při poklesu na $24\text{ }^\circ\text{C}$ způsobí další uvolněné teplo tuhnutí, nikoliv klesání teploty. Teplota taveniny, v níž plavou neroztavené kusy, se drží na stejné hodnotě $24\text{ }^\circ\text{C}$ tak dlouho, dokud veškerý PCM-D buď neroztaje nebo nezuhne³. Vratný přechod PCM-D z pevné fáze na kapalnou a naopak vyžaduje výměnu velkého množství latentního tepla s okolím, které je dáno hodnotou specifického tepla tání $158\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Již při relativně malém množství představuje PCM-D vydatný zásobník tepla a zároveň chladu, schopný stabilizovat vnitřní teplotu. Oproti stabilizaci založené na běžné tepelné akumulaci velké hmoty (např. betonu), jejíž teplota a potažmo i teplota interiéru závisí na množství v ní akumulovaného tepla, je s pomocí PCM-D teplota stabilizována na konstantní jmenovitou úroveň $24\text{ }^\circ\text{C}$.[5]

3. Analýza současných poznatků

Po objasnění získávání a akumulaci tepelné energie můžeme dávat různé látky do vztahů s jinými a tím je srovnávat.

3.1 Hlavní porovnání PCM s klasickými materiály

Pro hlavní porovnání použijeme měrného skupenského tepla tání respektive tuhnutí dané látky. Kalorimetrická rovnice nabývá (po jistém zjednodušení) tvaru:

$$Q_{pcm} = \rho_{pcm,t} V c_{pcm,t} (\vartheta_{pcm} - \vartheta_0) + \rho_{pcm,t} V l_{pcm} + \rho_{pcm,k} V c_{pcm,k} (\vartheta_k - \vartheta_{pcm}).$$

$\rho_{pcm,t}$ měrná hustota PCM látky v tuhém stavu

$\rho_{pcm,k}$ měrná hustota PCM látky v kapalném stavu

$c_{pcm,t}$ měrná tepelná kapacita PCM látky v tuhém stavu

$c_{pcm,k}$ měrná tepelná kapacita PCM látky v kapalném stavu

l_{pcm} měrné skupenské teplo tání (tuhnutí) PCM látky

V objem PCM látky (akumulační náplně v zásobníku)

ϑ_0 počáteční teplota při zahájení nabíjení

ϑ_{pcm} teplota při které dochází ke změně skupenství

ϑ_k konečná teplota

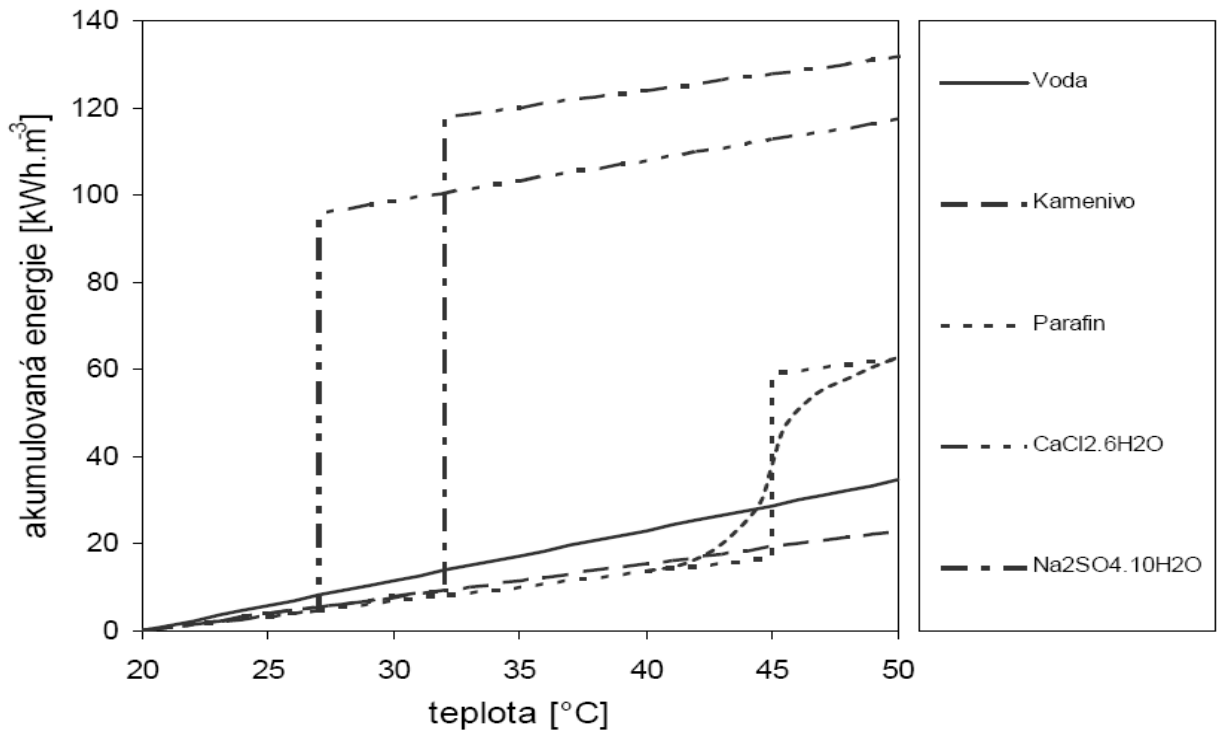
Q_{pcm} celkové akumulované teplo

Základní veličinou pro porovnání jednotlivých látek je hustota akumulované energie. V tab. 7 je výpočet pro několik představitelů klasických materiálů a PCM látek. Při výpočtu je uvažována počáteční teplota nabíjení 20 °C a konečná teplota 50 °C. Provedený výpočet je za ideálních podmínek. Přesto je ale množství naakumulované energie v případě PCM podstatně větší než u klasických látek. Průběh nabíjení akumulované energie je znázorněný v grafu 3 kde si lze též všimnout, že voda, kamenivo a linearizovaný průběh parafínu má při stejné teplotě okolo 35°C mnohem menší množství akumulované energie než PCM látky.

Tab. 7: Srovnání hustoty akumulované energie. [3]

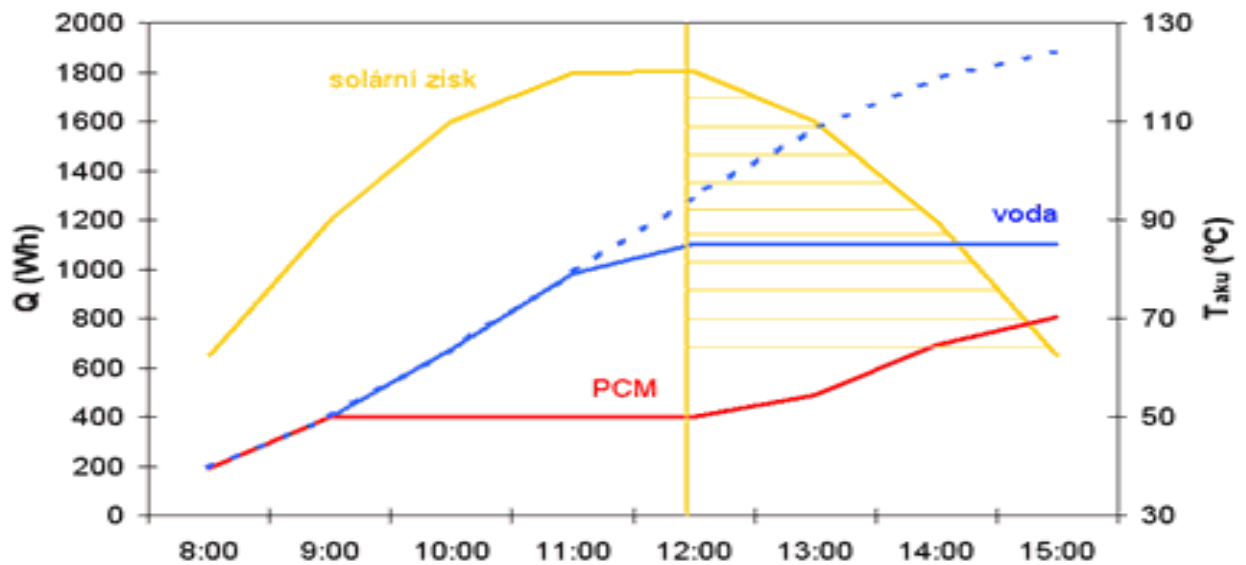
látka použitá k akumulaci v tepelném zásobníku	hustota akumulované energie [kWh.m ⁻³]
voda	34,5
kamenivo	23,0
parafin	62,4
hexahydrát chloridu vápenatého (CaCl ₂ . 6H ₂ O)	117,4
dekahydrát síranu sodného (Na ₂ SO ₄ . 10H ₂ O)	131,7

Graf 3: Průběh nabíjení akumulátoru pro různé PCM a klasické látky. [3]



Pro jasné porovnání rozdílů mezi akumulací do vody a PCM. Uvádím graf 4. Kde je jasné, že do vody lze ze solárního systému akumulovat teplo o vyšší teplotě.

Graf 4: Průběh teplot při nabíjení zásobníků v solární soustavě.

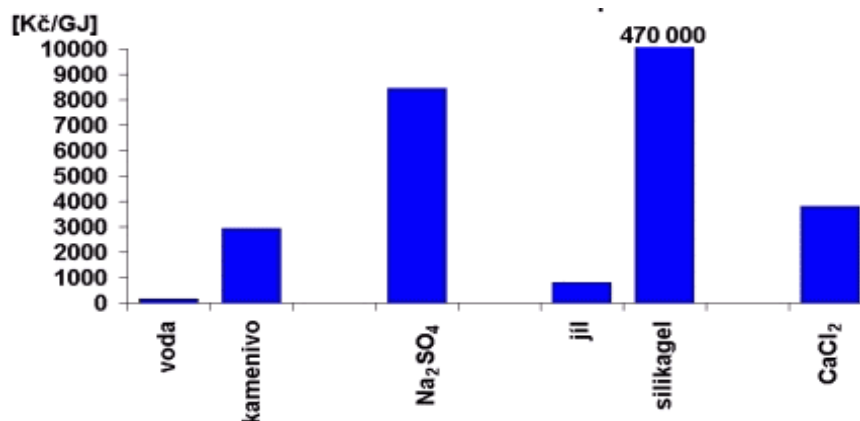


3.2 Grafické srovnání akumulčních látek dle více hledisek:

Pro všechny uvedené akumulátory se předpokládá: modelový zásobník má tvar krychle, k tomu je vhodné dodat, že ideální tvar je koule, protože má nejlepší poměr povrchu k objemu, z konstrukčního hlediska je vhodnější válec. Při výpočtu tepelné ztráty je zanedbán vliv geometrických tepelných mostů na hranách zásobníku. Objem zásobníku je roven objemu akumulční látky, ve skutečnosti nutně musí být objem zásobníku větší, částečně je to kompenzováno použitím objemové hmotnosti použitých materiálů v sypaném stavu. Uvažována je pouze cena tepelné izolace a cena náplně akumulátoru, bylo by vhodné uvažovat i cenu konstrukce zásobníku, protože požadavky se liší v závislosti na použité náplni.

Srovnáme-li vybrané akumulční látky z hlediska poměru mezi cenou a akumulční schopností (graf 5), je bezkonkurenčně nejvýhodnější akumulční látkou voda.

Graf 5: Látky v poměru mezi cenou akumulční schopností. [6]

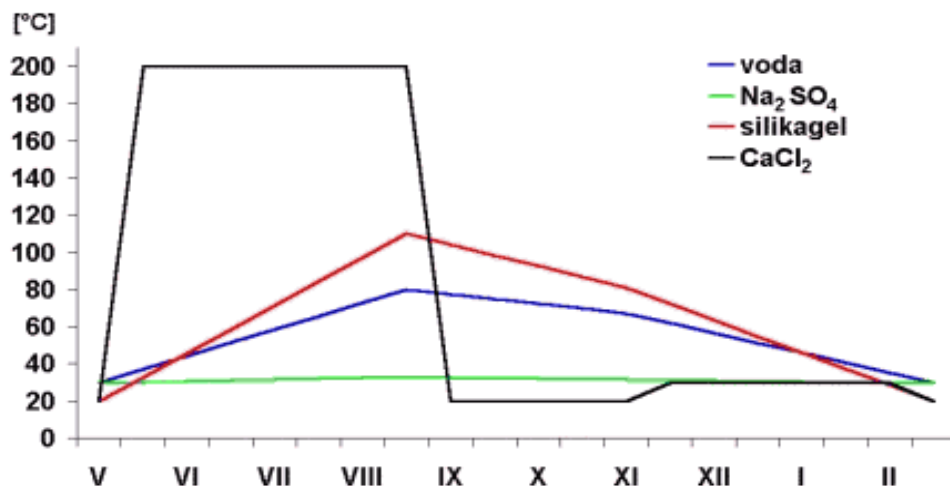


Při srovnání akumulčních látek je velice podstatnou veličinou doba nabíjení či vybíjení zásobníků (graf 6). Pro stavby je v průměrných klimatických podmínkách otopné období zhruba od poloviny listopadu do konce února. Tomu odpovídají periody nabíjení a vybíjení akumulátoru:

- nabíjení 3,5 měsíce (polovina května až srpen)
- skladování 2,5 měsíce (září až polovina listopadu)
- vybíjení 3,5 měsíce (polovina listopadu až únor)

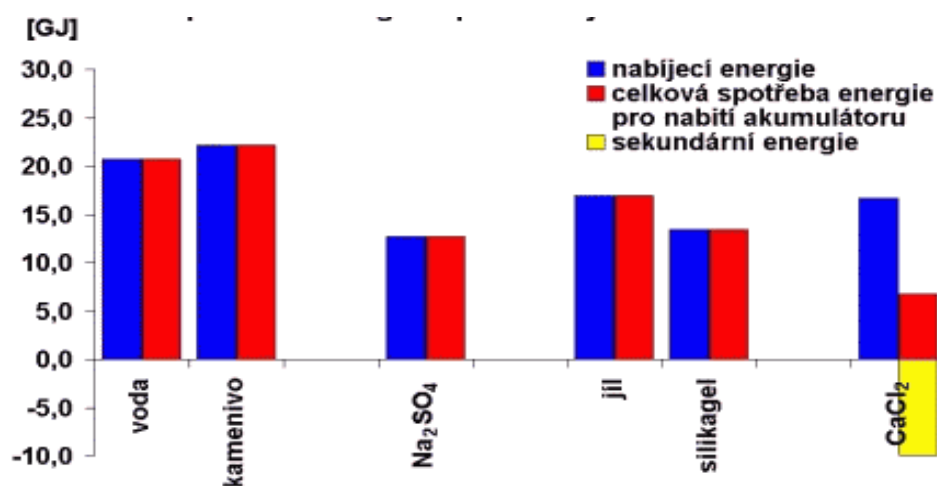
Pro zjednodušení předpokládám, že akumulátor bude nabíjen a vybíjen konstantním výkonem. V případě nabíjení solárními kolektory nabíjecí výkon kolísá v závislosti na intenzitě slunečního záření, v noci a ve dnech se zataženou oblohou je skoro nulový.

Graf 6: Teplota zásobníku v průběhu vybíjení a nabíjení. [6]



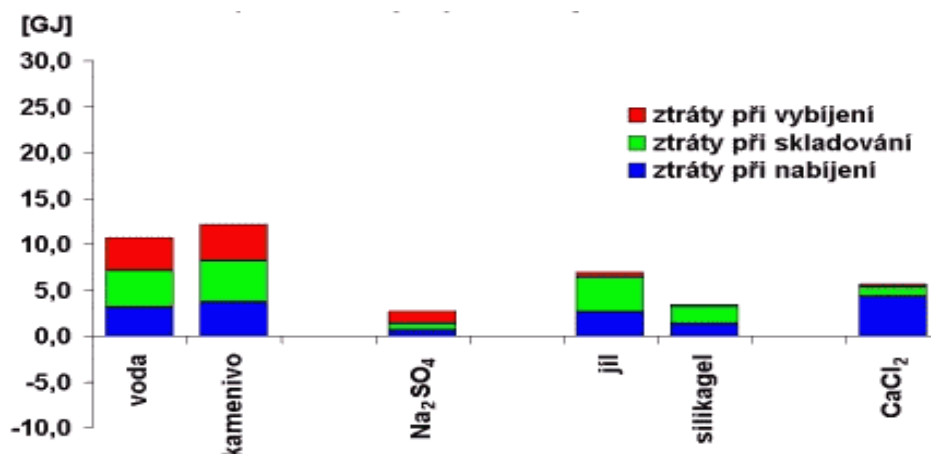
Jako srovnávací veličina, stejná pro všechny akumulátory, je použita užitečná tepelná kapacita (graf 7). Její velikost je určena na základě standardu spotřeby energie na vytápění pasivních staveb, který je 15 kWh/m² za rok. Pro stavbu s podlahovou plochou 180 m² tomu odpovídá roční spotřeba energie na vytápění přibližně 10 GJ. Ostatní parametry akumulátorů jsou optimalizovány tak, aby celkové náklady za dobu 20 let byly minimální.[6]

Graf 7: Spotřebované energie v průběhu jednoho roku. [6]

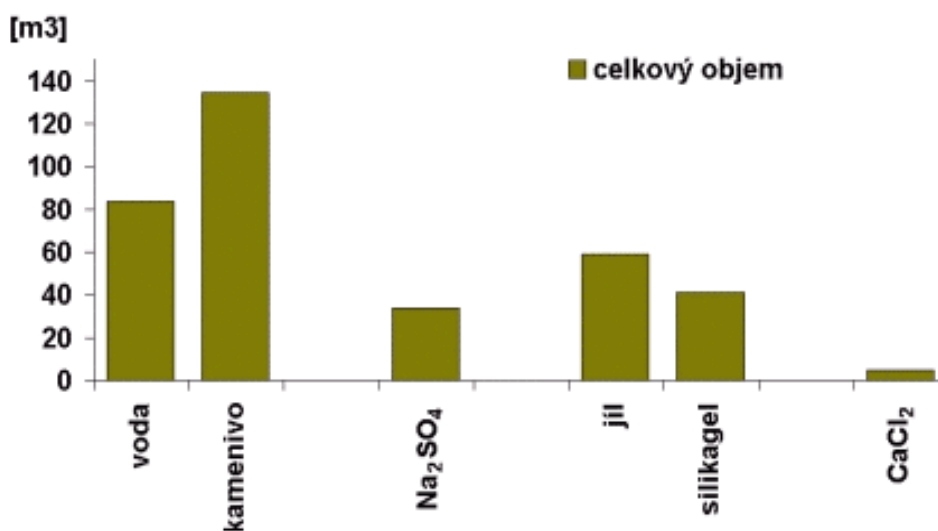


Akumulátor musí kromě užitečné tepelné kapacity pokrýt i ztráty tepla v průběhu skladování a vybíjení (graf 8). Proto množství tepla, které je do zásobníku dodáno, je nutně větší než užitečná tepelná kapacita. Tomu odpovídající objem akumulační látky je v grafu 9.

Graf 8: Tepelné ztráty v průběhu jednoho roku. [6]



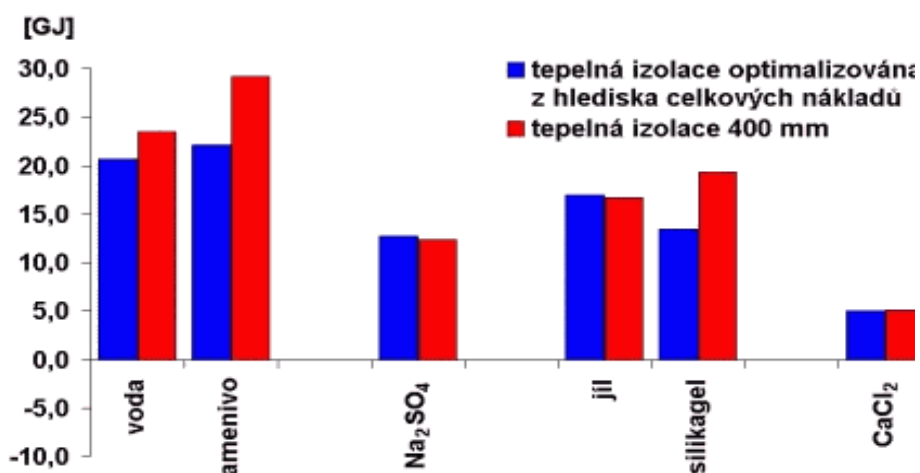
Graf 9: Objem zásobníku. [6]



Tepelná izolace akumulátoru je uvažována z minerální vaty se součinitelem prostupu tepla $\lambda = 0,04 \text{ W/(m.K)}$. V kalkulacích je použita jednotná cena tepelné izolace. Tloušťka tepelné izolace a objem akumulční látky jsou optimalizovány pro každý typ akumulátoru zvlášť tak, aby celkové náklady daného typu akumulátoru za dobu 20 let byly minimální (graf 10). Do celkových nákladů jsou zahrnuty:

- cena tepelné izolace
- cena akumulční látky
- cena energie spotřebované za 20 let (bez zvedání ceny)

Graf 10: Skutečná energie v průběhu jednoho roku. [6]

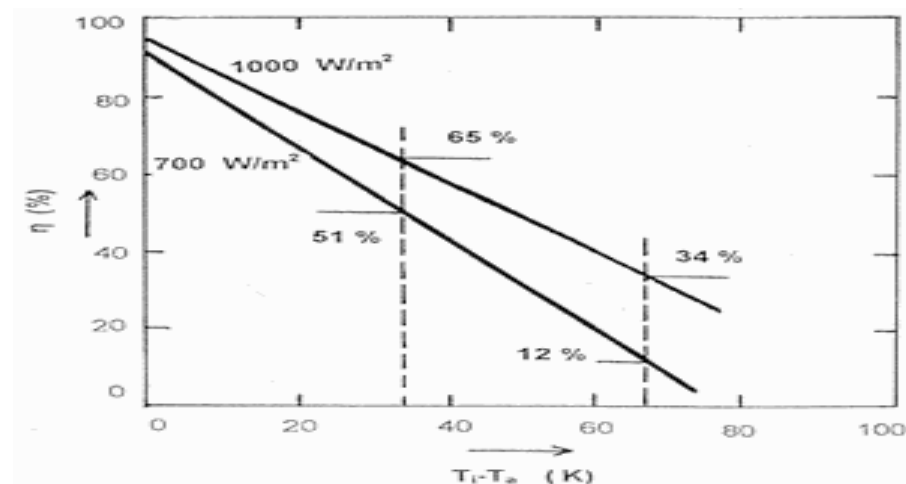


3.3 Příklady srovnání

Uvedme si příklady, které ukazují na výhodnost akumulace tepla do zásobníku s PCM: Jaký objem vody s počáteční teplotou 27 °C bychom museli mít, aby se při jejím ochlazení na 20 °C uvolnilo stejné množství tepla jako při zatuhnutí jednoho litru roztaveného hexahydrátu chloridu vápenatého (majícího teplotu těsně nad teplotou tání 27 °C)? Jednoduchým výpočtem zjistíme, že pro uložení uvažovaného tepla (309 kJ) bychom potřebovali 10,6 l vody. Výhoda zásobníku s PCM tedy jistě spočívá v jeho menším objemu i hmotnosti.

Druhý příklad je jednoduchý solární systém, který sbírá pomocí plochých fototermických kolektorů energii slunečního záření a ukládá ji do zásobníku s náplní PCM. Předpokládejme, že jde o zimní provoz, s teplotou okolí $T_a = -7$ °C. Ze zásobníku se vrací zpětnou větví do kolektoru teplotně kapalina s teplotou $T_i = 27$ °C (tj. teplota tání náplně zásobníku, která neporoste, dokud všechen obsah zásobníku neroztaje). Z grafu 11 můžeme odečíst z účinnostních křivek kolektoru, že při teplotním rozdílu $27 - (-7) = 34$ K jsou účinnosti 51 % (při ozáření 700 W/m²) resp. 65 % (při ideálních slunečních podmínkách s ozáření 1000 W/m²). Kdyby byl v systému prostý vodní zásobník, jehož teplota během nabíjení narůstá (předpokládejme opět z počáteční hodnoty 27 °C tak dlouho, až se uloží stejná energie, jako byla potřebná k roztavení náplně PCM, což se stane při teplotě např. 60 °C), klesala by účinnost kolektoru podle příslušné křivky (graf 11), tj. z počátečních 51 % na 12 % (při 700 W/m²) nebo z 65 % na 34 % (při 1000 W/m²). Opět přicházíme k závěru, že použití zásobníku s PCM v solárním systému je výhodnější, neboť lze např. snížit celkový počet potřebných kolektorů v systému.[1]

Graf 11: Účinnostní křivky kolektoru. [1]



4. Diskuze k výsledkům analýzy

Stále se v dnešní době nejvíce používá pro akumulaci klasických materiálů, ale instalace materiálů s fázovou změnou (PCM) je jedna z cest jak zlepšit tepelně akumulční vlastnosti. U výsledků uvedených v grafech se jeví akumulace tepla s využitím chemické sorpce jako velmi perspektivní. Jejimi výhodami jsou malý objem pracovní látky, nízké ztráty tepla a možnost využití sekundárního tepla z nabíjení. Je však nutno experimentálně prověřit splnění předpokladů: U citelného tepla v zásobníku s vodou je předpokládá teplotní rozsah 30-80°C. Spodní teplota je dána minimem pro podlahové vytápění, horní teplota je dána především možnostmi plochých kapalinových kolektorů. Stejně rozpětí teplot bylo zvoleno u zásobníku s kamenivem, jako akumulční látkou. Množství akumulované energie je prostým součinem měrného tepla a rozdílu teplot. U akumulátoru latentního tepla je předpoklad, že akumulátor bude provozován pouze v úzkém teplotním rozmezí v okolí teploty fázové změny. Při akumulaci je uvažováno pouze teplo fázové změny. Při sorpci vlhkosti v hygroskopických látkách se uvolní množství tepla, které je větší než výparné teplo vody za stejných podmínek. Pro účely porovnání je použit dolní odhad sorpčního tepla, předpokládá se, že sorpční teplo je rovno výparnému teplu vody. Při chemické absorpci vodní páry je absorpční teplo odhadnuto jako součet výparného tepla a skupenského tepla tání vody (platí jen přibližně). Ve srovnání je vyhodnocena varianta s využitím sekundárního tepla.[6] Také příklady srovnání ukazují na výhodnost akumulátorů s PCM, které se v dnešní době zatím nejvíce využívají při akumulaci solární energie. U ostatních druhů se zatím využívají převážně zásobníky z klasických materiálů.

5. Závěr

Není divu, že při dnešním růstu cen energií na trhu. Je mnoho výrobců, kteří chtějí pomoci a vydělat na rozvíjení se techniky pro získávání i akumulaci alternativních energií. Při rozhodování co a jak udělat dnes poradí mnoho renomovaných firem i zadarmo. Většina firem dodává celé soustavy, počínaje prvky, které získávají energii (tepelná čerpadla), vedou energii (rozvody), akumulují energii (stratifikační zásobník) i vydávají energii (otopná tělesa). Lze si vybrat i kvalitní firmu z domácího trhu. Investice do tohoto způsobu využití energie se zdá dražší než standardní druhy energií, ale musíme počítat s návratností investice, která při dnešních stoupajících cenách není nijak závratná.

V jiných zemích jako jsou země EU, jsou tyto způsoby více rozšířené než u nás v zemi. I když se stát snaží o tento rozvoj například dotacemi, které nejsou nějak zanedbatelné, budeme si muset počkat ještě chvíli, než toto alternativní využívání energie bude při volbě nového systému na prvním místě.

6. Použitá literatura

- [1] Tepelná čerpadla [online],
Dostupné z <http://www.energ.cz/index.phtml?page=/uspory/cerpadla.html&undefined>
- [2] U. Stritih – P. Novak, THERMAL STORAGE OF SOLAR ENERGY IN THE WALL FOR BUILDING VENTILATION [online]. Vystaveno 4.3.2005,
Dostupné z <http://www.fskab.com/Annex17/Workshops/EM2%20Ljubljana%202002-04-03--05/Presentations/Stritih.pdf>.
- [3] Ivo Běhounek, VYUŽITÍ ZMĚNY SKUPENSTVÍ LÁTEK PRO AKUMULACI TEPLA [online]. Dostupné z <http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/2-7/np/behunek.pdf>
- [4] Bronislav, Bechník., Akumulace tepelné energie - fyzikální principy [online].
Vystaveno 14.5.2003.
Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1482&h=11&pl=49//>.
- [5] Jiří Hejhálek, Stálá teplota v létě pomocí technologie PCM [online].
Vystaveno 1.9.2006, Dostupné z <http://si.vega.cz/pdf/2043.pdf>.
- [6] Bronislav, Bechník. Porovnání vybraných způsobů akumulace tepelné energie [online]. Vystaveno 21.5.2003. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1490>.
- [7] RNDr. Jaroslav Kusala, Solární kolektory [online]. Vystaveno 2006.
Dostupné z <http://www.cez.cz/presentation/static/solarni/k21.htm>.
- [8] Tomáš Matuška, Trendy v solární tepelné technice [online].
Vystaveno 15.8.2005. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2638>.
- [9] Ing. Miroslav Hořejší, Tepelná čerpadla pro každého [online].
Vystaveno 16.4.2002. Dostupné z <http://vetrani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=953>.

- [10] Tepelná čerpadla [online].
Dostupné z <http://www.ekoserver.cz/index.php/write/clanek/303/>.
- [11] Ing. Aleš Bufka, Využití obnovitelných zdrojů energie v roce 2006 z pohledu energetické statistiky [online]. Vystaveno 15.10.2007.
Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4411&h=13&pl=49>
- [12] Ivo Běhounek. ZÁSOBNÍKY PRO AKUMULACI SOLÁRNÍHO TEPLA [online].
Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/01_Pozemni%20stavitelstvi/1_04_Technicka%20zarizeni%20a%20energie%20budov/Behunek_Ivo.pdf.
- [13] p. Štěpánek, obnovitelné zdroje energie [online].
Dostupné z <http://www.ceskaenergetika.cz/index.php?art=227>.
- [14] Petr Kramoliš, zásobníky tepla [online]. Vystaveno 18.5.2004.
Dostupné z <http://vytapeni.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1950&h=11&pl=49>
- [15] Tepelná čerpadla, typ voda/voda - podzemní voda [online].
Dostupné z http://www.envi.cz/show.php?ida=18&ids=22&par=tepelna_cerpadla
- [16] RNDr. Vojtěch Orel, CSc, Akumulace tepelné energie při skupenských změnách látek [online]. Vystaveno 6.6.2002.
Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1005&h=11&pl=49>
- [17] Ing. Michal Kabrhel, Akumulace tepelné energie do stavebních konstrukcí [online].
Vystaveno 14.3.2003.
Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1401&h=13&pl=49>.
- [18] Ing. Tomáš Matuška, PhD, trendy v solární tepelné technice [online].
Vystaveno 24.10.2005. Dostupné z <http://vytapeni.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2799>.