

České Vysoké Učení Technické v Praze
Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague
Faculty of Civil Engineering

Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Akumulace tepla

Thermal Energy Storage

Summary

The increasing standard of living brings growing power consumption in buildings. Energy is used for securing the services of the building and operation of equipment used for work and entertainment. Part of the energy consumed in the building is used as heat, mainly for space heating and hot water generation. Heat energy source design is related to heat consumption and distribution in time. If the energy consumption is variable, the design of the energy source to the maximum required value is uneconomic in many cases. A better solution is to use a system with thermal heat storage. The methods of thermal storage are numerous. Selecting the right type depends on the technical and economic conditions. Energy storage can be done using the sensible heat, latent heat, or by thermochemical reactions. Sensible heat is one of the proven technologies and is often used. Phase change materials or thermochemical reactions can be used for the large scale storage system. The storage of waste heat or seasonal heat is performed into large scale water storage tanks, into the ground by drilling boreholes or into the aquifers. The effectiveness of these systems must be well considered during system design. An appropriate choice of storage system brings economic savings in operating costs.

Souhrn

Rostoucí životní úroveň společnosti s sebou přináší rostoucí spotřebu energie. Energie je využívána na zajištění služeb budovy a na provoz zařízení využívaných pro práci i zábavu. Část energie spotřebovaná v budově je využívána ve formě tepla, především pro vytápění a přípravu teplé vody. Řešení zařízení pro přípravu tepla souvisí s potřebou tepla a jeho rozložení v čase. Pokud je potřeba značně proměnlivá, je v řadě případů neekonomické navrhovat zařízení na maximální hodnotu potřeby. Výhodnější je využít systém s akumulací tepla. Způsobů akumulace je celá řada. Volba vhodného typu závisí na technických a ekonomických podmínkách. Akumulace může být prováděna s využitím citelného tepla, latentního tepla nebo díky termochemickým reakcím. Akumulace citelného tepla patří mezi osvědčené technologie a je často využívána. Pokud je však vyžadována větší kapacita akumulčního systému, je možné využít akumulaci s využitím materiálů měnících fázi nebo s využitím termochemických reakcí. Akumulaci přebytků tepla nebo sezónní akumulace je prováděna do velkoobjemových vodních zásobníků, do šterku, do země pomocí vrtů nebo do zvodnělé vrstvy. Efektivita těchto systémů musí být dobře zvažena již v průběhu návrhu systému. Vhodná volba akumulčního systému přináší ekonomické úspory provozních nákladů.

Klíčová slova:

akumulace tepla, zásobníky tepla, obnovitelné zdroje energie

Key words:

thermal energy storage, storage tank, renewable energy sources

Obsah

1.	Úvod	6
1.1	Životní úroveň.....	6
1.2	Spotřeba energie budov	6
2.	Akumulace tepla	7
2.1	Princip akumulace tepla	7
2.2	Parametry akumulačního systému	8
2.3	Způsoby akumulace	9
2.4	Účinnost akumulačního systému	12
2.5	Tepelné ztráty zásobníku.....	12
2.6	Využití akumulace	13
2.7	Akumulace citelného tepla	14
2.7.1	Akumulace tepla do vodních zásobníků	14
2.7.2	Akumulace tepla do štěrkových zásobníků.....	16
2.7.3	Akumulace tepla do země pomocí vrtů.....	17
2.7.4	Akumulace tepla do zvodnělé vrstvy	18
2.7.5	Akumulace tepla v solární elektrárně.....	19
3.	Závěr.....	20
	Literatura	20
	Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.	22

1. Úvod

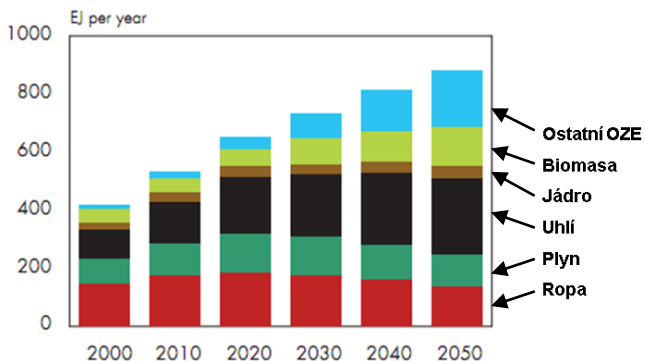
1.1 Životní úroveň

Životní úroveň je možné vyjádřit jako míru uspokojování materiálních i nemateriálních potřeb a přání jednotlivce nebo skupiny osob zbožím nebo službami. S tím, jak společnost bohatne, roste její životní úroveň a rostou také požadavky na služby. Na budovu je možné dívat se jako na zařízení poskytující službu. Službu vytváření optimálního vnitřního prostředí, které je vhodné dle požadavků pro práci i zábavu [11]. Požadavky na vnitřní prostředí se z pohledu historického zvyšují. To, co bylo běžné před několika desítkami let, je nyní již nevyhovující. Příkladem může být požadavek na zajištění vhodného vnitřního prostředí v letním období, kdy v řadě budov potřeba energie na přípravu chladu převyšuje potřebu energie na přípravu tepla v zimním období. A s těmito zvyšujícími se požadavky roste také spotřeba energie budov. Energie je využívána na zajištění vhodného vnitřního prostředí a samozřejmě je také využívána v budovách pro provoz technických i elektronických systémů.

Počet obyvatel se na naší planetě zvyšuje. V současné době žije na Zemi 7 miliard obyvatel a toto číslo by se mělo v průběhu dalších 50 let zdvojnásobit. Zeměmi s největším počtem obyvatel jsou země ležící v Asii. Jde především o Indii a Čínu. Tyto země nepatří k zemím s vysokou životní úrovní a je zřejmé, že s rozvojem ekonomiky se začnou zvyšovat i požadavky na služby a dojde k nárůstu spotřeby energie v budovách.

1.2 Spotřeba energie budov

V současné době existuje několik scénářů vývoje využívání energie ve světě. Tyto scénáře jsou zpracovávány vládními i nevládními organizacemi nebo soukromými společnostmi. Existuje často několik scénářů, které jsou vytvořeny s rozdílným akcentem k novým technickým řešením nebo politickým rozhodnutím. Příkladem může být zde uvedený scénář vývoje světové energetiky.



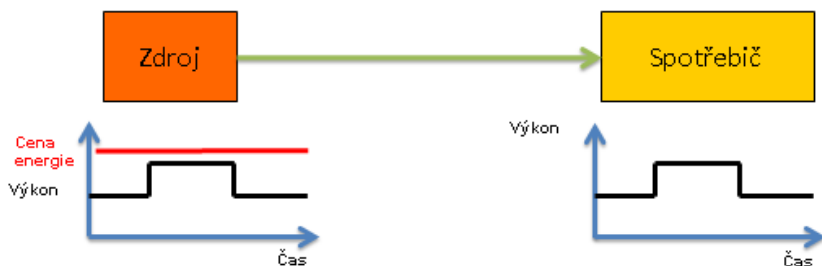
Obr. 1 Scénář vývoje světové energetiky[1]

Z tohoto scénáře je možné usuzovat, jak velký je předpokládaný nárůst spotřeby energie a také, že v příštích 40 letech budou fosilní paliva stále patřit mezi nejdůležitější zdroje energie. Výrazné je především zvyšování využití uhlí jako paliva. Technologicky se ale musí jednat o systémy, které mají nižší emise škodlivin. Obnovitelné zdroje se stanou mnohem důležitější, než je tomu dnes. Především pak je předpokládáno využívání biomasy, solární energie a energie větru.

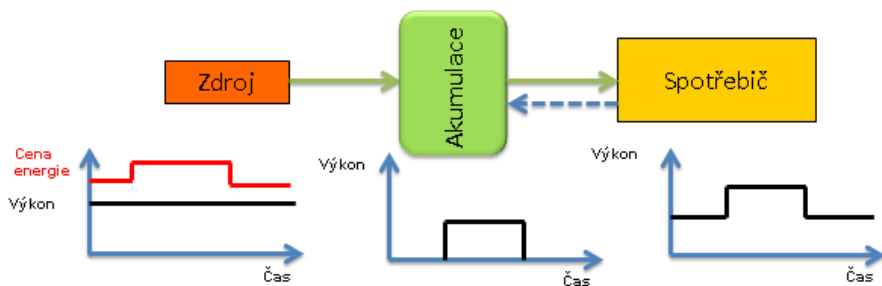
2. Akumulace tepla

2.1 Princip akumulace tepla

Velká část energie spotřebovávaná v budově je spotřebována ve formě tepla. Pokud je spotřeba energie a cena energie málo proměnná v čase, je výhodné přímé propojení spotřebiče, budovy a zdroje energie. Pokud však je rozdíl mezi dodávkou energie a její spotřebou výrazný, bývá výhodnější využívat akumulací systém, který nerovnoměrnosti dodávky nebo špičkové spotřeby dokáže pokrývat. Důvody použití akumulacího systému tak mohou být obvykle technické nebo ekonomické. Mezi technické důvody lze zařadit nedostatečný výkon zdroje tepla, využívání přebytků energie nebo velké rozdíly mezi potřebou a dodávkou energie. Mezi ekonomické důvody patří využití akumulace z důvodu rozdílných cen energií ve sledovaném časovém období, snaha snížit investiční náklady díky pořízení zařízení s menším špičkovým výkonem nebo snížení provozních nákladů tím, že zdroj energie pracuje díky akumulaci s vyšší účinností.



Obr. 2 Systém bez využití akumulace



Obr. 3 Systém s využitím akumulace

2.2 Parametry akumulčního systému

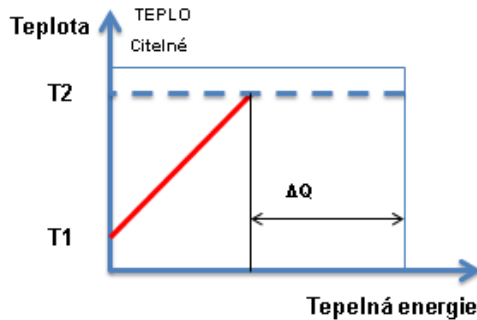
Mezi základní parametry akumulčního systému patří kapacita akumulace ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$). Ta závisí na vlastnostech akumulčního materiálu, jeho fyzikálních, chemických a termodynamických vlastnostech. Nabíjecí a vybíjecí výkon ($\text{kW}\cdot\text{m}^{-3}$) závisí na způsobu přenosu energie mezi zdrojem, spotřebičem a akumulátorem. Doba akumulace má pak dopad na účinnost celého systému. Účinnost akumulčního systému ovlivňují především tepelné ztráty v době uložení energie a ztráty při přenosu energie. Cílem je navrhnout vhodný systém, který je ekonomicky přínosný. Důležitým faktorem je návratnost investice do tohoto systému.

2.3 Způsoby akumulace

Teplo můžeme akumulovat v podobě tepla citelného, tepla latentního nebo v podobě tepla vázaného na termochemické procesy. Citelné teplo představuje teplo, při jehož dodávce dochází ke zvyšování teploty látky. Fyzikálně je možné vyjádřit množství akumulovaného citelného tepla Q (J) pomocí rovnice (1).

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} V \cdot \rho \cdot c \cdot dT \quad (1)$$

kde V je objem látky (m^3), ρ je hustota látky ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), c je měrná tepelná kapacita látky ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a T je teplota respektive teplotní rozdíl ($^{\circ}\text{C}$, K).



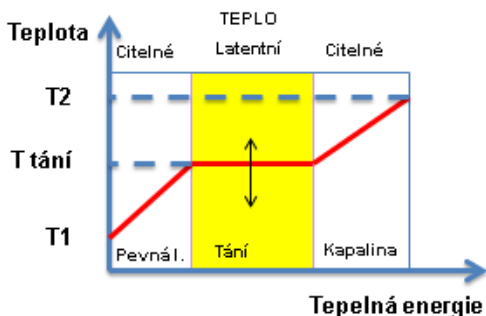
Obr. 4 Akumulace citelného tepla

Latentní teplo představuje teplo uvolňované nebo využívané při změně skupenství látky. Pro systémy využívající latentní teplo je možné použít vyjádření podle rovnice (2).

$$Q = \int_{T_1}^{T_{\text{tání}}} V \cdot \rho \cdot c \cdot dT + m \cdot l + \int_{T_{\text{tání}}}^{T_2} V \cdot \rho \cdot c \cdot dT \quad (2)$$

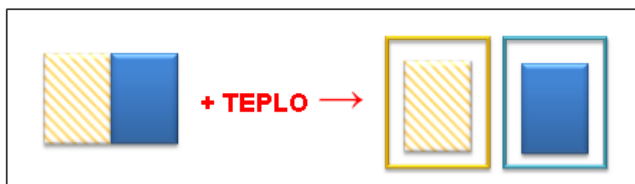
kde m vyjadřuje hmotnost látky (kg) a l skupenské teplo tání nebo tuhnutí ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$). Akumulaci latentního tepla provádíme do zásobníků s látkou měnící fází (PCM). Ta může být umístěna přímo v zásobníku a pomocí výměníku tepla je dodávána nebo odebírána energie. Jiným řešením je umístění PCM do obalu, ve kterém je pak PCM umístěno do zásobníku. Předností tohoto řešení je velké povrchová plocha obalu, která umožňuje zlepšit přenos tepla mezi zdrojem a PCM. Rada látek používaných pro akumulaci tepla má poměrně nízkou tepelnou vodivost a přenos

tepla je tak pomalý. Příkladem látek využívajících latentní teplo jsou hydráty solí nebo parafíny.



Obr. 5 Akumulace latentního tepla

Termochemická akumulace představuje využití chemických reakcí pro ukládání nebo odebírání energie. Často je využívána hydratace nebo dehydratace. Výhodou tohoto způsobu akumulace je vysoká tepelná kapacita bez ztrát citelného tepla, nevýhodou pak technologicky náročnější provoz. Příkladem látek je zeolit, silikagel nebo oxidy hořčíku.



Obr. 6 Způsob ukládání tepla při využití termochemických reakcí

V technických systémech využíváme pro akumulaci tepla zásobníky tepla. K akumulaci ale přirozeně dochází i u stavebních konstrukcí. Konstrukce akumulují teplo a to následně vyzářují do svého okolí.

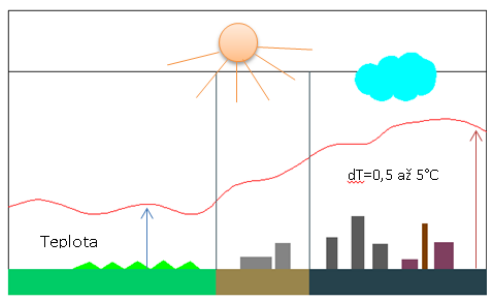
Akumulace tepla do stavebních konstrukcí

Dle termodynamické věty (nulový zákon termodynamiky) si tělesa vyměňují teplo tak dlouho až dospějí do rovnovážného stavu. Protože vnější podmínky stavebních konstrukcí jsou proměnlivé, jedná se o trvalý proces výměny tepla. Konstrukce dle své tepelné kapacity, akumulační schopnosti, přijímá nebo odevzdává energii a tyto přebytky nebo nedostatky energie jsou uvnitř budov kompenzovány pomocí

systemů technických zařízení budov [15]. Zásadní je vliv solárního záření na budovy.

Solární záření, které dopadá na budovu, je zčásti odraženo, zčásti pohlceno a dle optických vlastností konstrukce může zčásti prostupovat do interiéru. Při průchodu solárního záření zasklením a dopadu na předměty v interiéru dochází ke změně vlnové délky vyzařovaného záření z krátkovlnného na dlouhovlnné a toto záření pak již nemá schopnost prostupovat zasklením a uniká do exteriéru. Tím dochází v interiéru ke zvyšování teploty. To můžeme s výhodou využít v zimním období, kdy je možné uspořit náklady na vytápění. V letním období však tyto zisky zvyšují spotřebu energie na chlazení. Hlavním zdrojem tepelné energie je přímé solární záření, které do objektu proniká skrz prosklené plochy. Vliv nepřímého difúzního záření na prosklené konstrukce je malý.

Teplo akumulované v neprůsvitných konstrukcích působí na okolí. Tento účinek je zřejmý zejména v letním období. Většina budov se nachází v městském prostředí a jejich povrch stejně jako povrch okolních komunikací má zcela jiné akumulací vlastnosti než mají povrchy v oblastech mimo město. To se projevuje nepříznivě, v závislosti na klimatickém pásu, zejména v letním období v době, kdy po sobě následují teplé dny spojené s intenzivním solárním zářením. Postupně dochází ke zvyšování teploty povrchů [10]. Na rozdíl od vegetace v okolí měst, kde dochází k odpařování vlhkosti a k částečnému ochlazení v nočních hodinách, v městském prostředí vlivem výrazného snížení procenta vegetace se tento efekt projevuje jen velmi omezeně. To má negativní dopad na energetickou náročnost systémů zajišťujících vhodné vnitřní prostředí.



Obr. 7 Teplota vzduchu ve městech a v oblastech mimo město

Částečným řešením zvyšujících se teplot povrchů v městských oblastech je zvyšování odrazivosti povrchů. Příznivým řešením je i zvýšení množství zeleně. V souvislosti s budovami je zajímavé využití vegetace zejména v případě zelených střech a zelených fasád.

2.4 Účinnost akumulčního systému

Na provoz akumulčního systému se můžeme dívat jako na provoz tepelného stroje. Účinnost reálného tepelného stroje je vždy nižší než účinnost ideálního tepelného stroje pracujícího v Carnotově cyklu. Účinnost ideálního tepelného stroje je možné popsat jako poměr vykonané práce a dodaného tepla. Odvodit pak lze rovnici (3), kdy je účinnost η (%) vyjádřena v závislosti na teplotách.

$$\eta = 1 - \frac{T_a}{T_c} \quad (3)$$

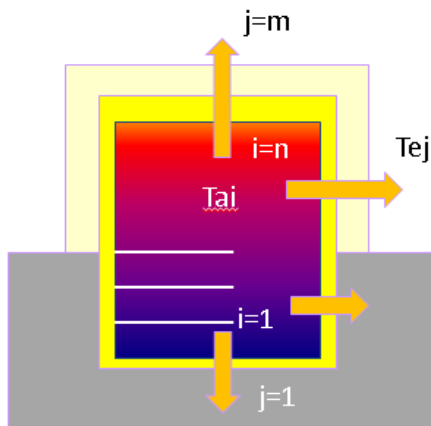
T_c (K) je teplota vstupního média vstupujícího do tepelného stroje a T_a (K) je teplota výstupního média z tepelného stroje. Z výše uvedené rovnice je tedy zřejmý důležitý poznatek, že teoretická maximální účinnost tepelného stroje závisí pouze na teplotách nikoli na množství energie. Vybíjení zásobníku tepla může být chápáno jako práce tepelné stroje, který odnímá energii prostředí. Jde tedy o stroj podobný tepelnému čerpadlu. Teoretická účinnost je tak dána převrácenou hodnotou účinnosti dle rovnice (3) a platí pro ni stejné zákonitosti, které již byly pro tepelný stroj uvedeny.

2.5 Tepelné ztráty zásobníku

Tepelné ztráty zásobníku, zvláště u systémů s dlouhodobou akumulací tepla, mají zásadní vliv na účinnost celého akumulčního systému. Jejich podhodnocení při návrhu je dle zkušeností z realizací hlavní příčinou neuspokojivé funkce akumulčního systému. Další příčinou může být nekvalitní provedení tepelné izolace, jejíž tloušťka je v některých instalacích značná (i více než 800 mm). Tepelná ztráta zásobníku Q_z (W) je dle rovnice (4) přímo úměrná součinu součinitele prostupu tepla pláště zásobníku U ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$), dané ploše povrchu zásobníku tepla A (m^2) a teplotnímu rozdílu mezi teplotou uvnitř zásobníku T_a (K) vně zásobníku T_e (K). Potřeba energie za dobu uložení energie v zásobníku Q_{cz} (MJ, kWh) je součtem tepelných ztrát v daném čase τ (s, h) dle rovnice (5). Návrh parametrů zásobníku je nejvýhodnější provádět s využitím simulačních programů, které dokáží pracovat jak s proměnlivými podmínkami v exteriéru tak s proměnlivými podmínkami na straně spotřeby a dodávky energie [4].

$$\dot{Q}_z = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \cdot (T_{ai} - T_{ej}) \quad (4)$$

$$Q_{cz} = \int \dot{Q}_z \cdot d\tau \quad (5)$$



Obr. 8 Tepelné ztráty zásobníku tepla

2.6 Využití akumulace

Akumulace tepla má časté využití v oblasti přípravy a distribuce chladu. Je to dáno vyšší cenou výroby chladu ve srovnání s výrobou tepla. Chlad je využíván především pro úpravy vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách. Využití je časté v rozsahu teplot 0–25 °C. Využívány jsou PCM materiály, které mají v tomto rozsahu teplot výhodné vlastnosti. Akumulační systémy jsou využívány i pro technologické účely. Vytápění a příprava teplé vody je oblastí, kde je běžně využívána teplota pracovní látky v rozsahu 25–90 °C. Obnovitelné zdroje jsou zdroje, jejichž dodávka je v čase proměnlivá a tak je pro zlepšení jejich vlastností často využita akumulace. Příkladem mohou být solární systémy, kdy akumulátor tepla slouží pro uchovávání tepla ze solárních kolektorů a pro integraci energie z více zdrojů tepla. Základním pravidlem u těchto systémů je maximálně využít energii ze solárních kolektorů, a proto je výměník tepla v zásobnících umístěn ve spodní části, kde lze díky přirozenému vrstvení vody podle teploty očekávat teploty nejnižší. Tepelné čerpadlo je zdrojem energie, který je možné zařadit za určitých podmínek mezi obnovitelné. Mezi tyto podmínky patří zejména vyšší topný faktor, který vyváží ekologický dopad výroby elektrické energie. Tato výroba a distribuce je charakterizována nízkou účinností. Pro optimální provoz tepelného čerpadla je třeba zajistit jeho minimální dobu provozu. A odběr

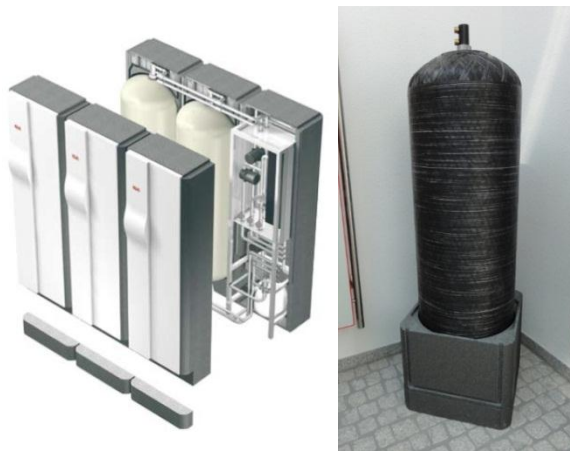
vyrobené tepelné energie je třeba zajistit. Nejběžnější je využití akumulačního zásobníku, možné je též využití kapacity tepelné sítě nebo zásobníku pro přípravu teplé vody. Při spalování biomasy je akumulační systém využíván pro ukládání tepla, které je vyrobeno při optimálním provozu zdroje. Díky využití akumulace je možné snížit emise zdroje tepla, zvýšit účinnost zdroje a také omezit požadavky na další technické systémy například na řešení odvodu spalin.

2.7 Akumulace citelného tepla

Akumulátory citelného tepla patří mezi nejčastěji využívané akumulátory. Mezi tyto akumulátory patří zásobníky vodní, šterkové nebo šterko-vodní, zemní zásobníky vytvořené pomocí systému vrtů nebo zásobníky tvořené zvodnělou vrstvou (aquifery).

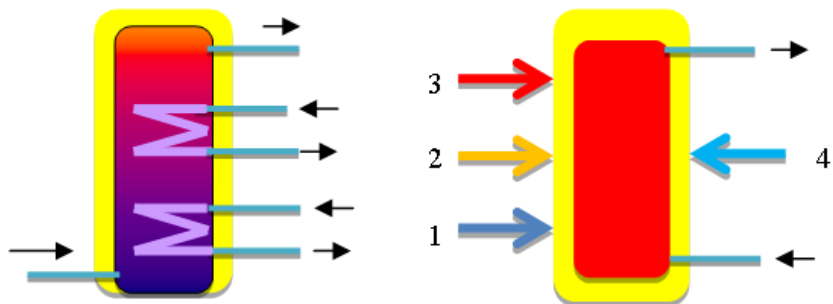
2.7.1 Akumulace tepla do vodních zásobníků

Vodní zásobníky představují nejběžnější typ zásobníku. Zásobníky jsou řešeny jako tlakové nebo beztlakové. Materiálem pláště je nejčastěji uhlíková ocel s možnou povrchovou úpravou nebo ušlechtlejší nerez. Tento materiál se vyznačuje odolností a dlouhou životností, pokud zabráníme jeho korozi. Možné je také využití betonu. Jeho využití je vhodné tam, kde jeho vyšší hmotnost a robustnost není překážkou. To bývá u zásobníků větších objemů nebo u zásobníků podzemních. Mezi nové materiály využívané pro zásobníky patří plasty. Jejich výraznou předností je nízká hmotnost a vysoká chemická odolnost. Nevýhodou však může být nižší mechanická pevnost a kratší životnost. Zásobníky tepla lze dělit podle řady kritérií. Základním dělením představuje počet energií, které do zásobníku vstupují. Hovoříme tak o zásobních monovalentních (jedna energie), bivalentních (dvě energie) nebo trivalentních nebo vícevalentních (tři a více energií). Pro akumulační systémy je zásadní velikost tepelných ztrát. Ty lze omezit pomocí tepelné izolace s dostatečným tepelným odporem. Dle legislativních požadavků je pro akumulační zásobníky předepsána minimální tloušťka tepelné izolace 100 mm při součiniteli tepelné vodivosti $\lambda \leq 0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Tloušťka tepelné izolace u systému dlouhodobého akumulace tepla se určuje s ohledem na ekonomicky efektivní úspory energie [2].



Obr. 9 Plastové akumulční zásobníky [3]

Speciálním typem je zásobník využívající tepelné rozvrstvení (stratifikaci) tepla. Díky tomuto rozvrstvení můžeme využívat teplo ze zásobníku v době, kdy ještě celý objem vody v zásobníku nedosáhl požadované teploty [14].



Obr. 10 Akumulační zásobníky, vlevo – akumulční zásobník pro přípravu teplé vody nebo vytápění, vpravo – víceveletní akumulční zásobník

Dále je též možné využívat i nadále dodávku tepla ze zdrojů o nižší teplotě. Díky tomu může dojít ke zvýšení účinnosti provozu systému až o 15 %.

Ovšem je třeba upozornit, že stratifikaci tepla není vhodné využívat u všech systémů a v některých případech je její použití dokonce nevhodné. Běžným zásobník tepla akumuluje teplo do svého vodního objemu a energie je dodávána výměníky tepla, nejčastěji trubkovými, umístěnými v zásobníku.

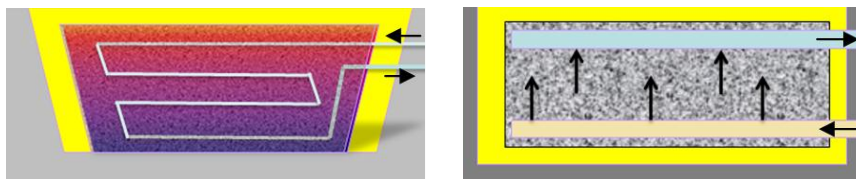
Jiné řešení, využívané zejména v menších úsporných objektech, je průtoková příprava teplé vody ve výměníku tepla v zásobníku. Výměník tepla však musí mít dostatečnou plochu a množství dodávané teplé vody je omezené. Toto řešení představuje úspornou variantu přípravy teplé vody, kdy není třeba používat další zásobník na přípravu teplé vody a nedochází k dalším tepelným ztrátám.



Obr. 11 Stratifikační zásobník tepla s detailem stratifikační vložky[13]

2.7.2 Akumulace tepla do šterkových zásobníků

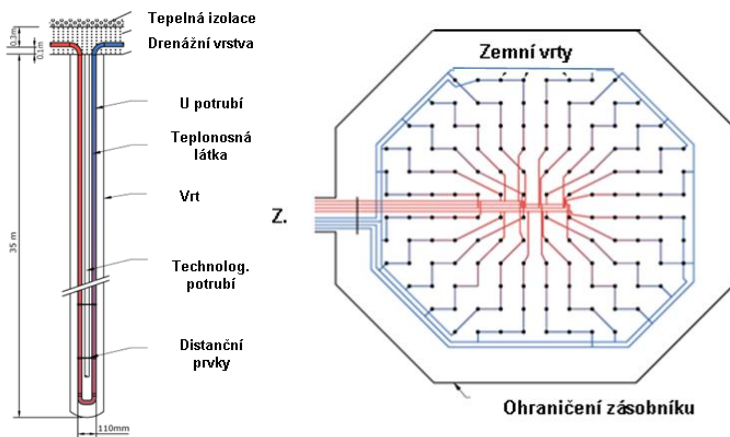
Šterkový zásobník je zásobník, kdy se pro ukládání tepla využívá šterk. Předností šterku je možnost jeho využití pro vyšší teploty a jeho vysoká mechanická odolnost. Zároveň je možné využívat šterk i pro teplovzdušné systémy, kde je teplo předáváno pomocí vzduchu jako teponosné látky. V zásobníku nedochází k promíchávání. Konstrukčně je šterkový zásobník nejčastěji řešen jako zemní. V zemi je vytvořen výkop, jeho stěny jsou ve sklonu a opatřeny tepelnou izolací. Teplo je dodáváno pomocí výměníků tepla. Tepelně izolována je i horní část zásobníku pro omezení tepelných ztrát do venkovního prostředí.



Obr. 12 Princip štěrkového zásobníku, vlevo – vodní, vpravo – vzduchový

2.7.3 Akumulace tepla do země pomocí vrtů

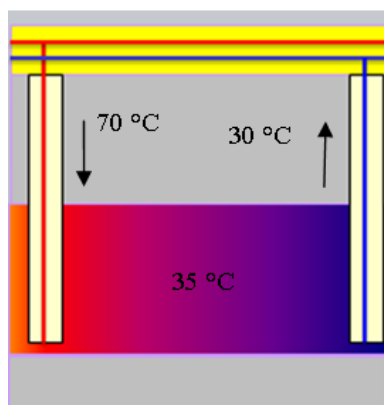
Teplo je možné akumulovat do zeminy v blízkosti povrchu. Pro přenos tepla jsou využívány zemní vrty, ve kterých je umístěno jedno nebo dvě potrubí ve tvaru U. Vrty jsou vzdáleny vzájemně od sebe 4–10 m. Zemní zásobník slouží pro ukládání přebytků energie. Na účinnost uložení tepla má vliv proudění spodní vody, které může způsobit odvádění uloženého tepla ze zásobníku. Odhadovaná účinnost je předpokládána nad 30 %. V podmínkách mírného evropského klimatu je však známa instalace, kdy je teplo využíváno pro vytápění a skutečná účinnost je po několika letech provozu pouhých 12 % (dodaná energie 1339 MWh, využitá energie 153 MWh) [7]. Vstupní teplota média je 70 °C a teplota média v zásobníku 40 °C. Systémy tohoto typu mají delší dobu náběhu a do standartních podmínek se dostávají až po 5–8 letech provozu. Účinnost moderního systému instalovaného pro akumulaci přebytků tepla v Kanadě dosahuje účinnosti 20 % (dodaná energie 750 MWh, využitá energie 156 MWh) [9].



Obr. 13 Umístění a řešení vrtů u zemního zásobníku tepla [9]

2.7.4 Akumulace tepla do zvodnělé vrstvy

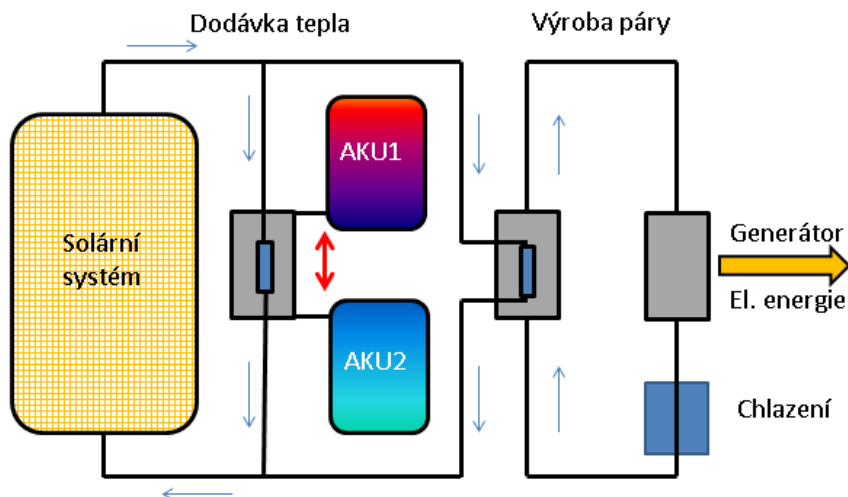
Jde o využití přirozeného zásobníku v podloží při příznivých geologických podmínkách. Využita je zvodnělá vrstva mezi jednotlivými vrstvami zeminy. Zpravidla je tato vrstva oddělena nepropustnou jílovou vrstvou. Voda by touto vrstvou měla proudit jen málo, aby nedocházelo ke ztrátám tepla. Kapacita takového zásobníku závisí na vlastnostech zeminy, orientačně je možné uvažovat $0,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$. Navržený zásobník má však dlouhou dobu, kdy dochází ke stabilizaci jeho tepelně technických vlastností (3–5 let). To může být překážkou pro využití této technologie uskladnění tepla. Tepelná energie se do zásobníku dostává pomocí vody, která je čerpána z prostoru zásobníku a následně tam je zase vypouštěna. Voda v zásobníku je ohřívána přibližně na $25\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$, vstupní voda má teplotu $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zásobník může být provozován přerušovaně nebo trvale. Sloužit může i pro sezónní akumulaci tepla. Podle zkušenosti z reálné instalace je účinnost takového systému, kdy je v zásobníku uchovávána přebytečná energie ze solárních kolektorů, 48 % [6]. Systém slouží jako zásobník tepla pro skupinu bytových domů. Podobný typ zásobníku může být využit i u administrativních budov. Zásobník v podloží potom může být využito více a mohou sloužit pro uchovávání chladu i tepla. Zásobník chladu může pracovat s teplotami $6\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota vody v zásobníku nesmí být příliš odlišná od teploty okolního prostředí, aby nedocházelo k neúměrným energetickým ztrátám.



Obr. 14 Akumulace tepla do zvodnělé vrstvy

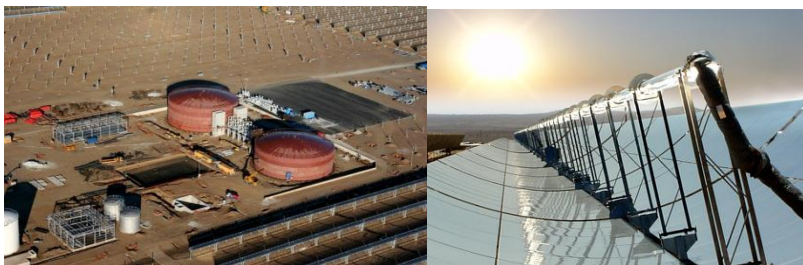
2.7.5 Akumulace tepla v solární elektrárně

Speciálním systémem využití akumulace představuje solární elektrárna se solárními koncentrátory. Solární koncentrátory soustředí solární energii do ohniska, kde je umístěna vakuová trubice s teplonosnou látkou. Teplonosnou látkou je syntetický olej. Ten je zahříván na vysoké teploty (až 400 °C) a teplo je využíváno pro výrobu elektrické energie a zároveň skladováno ve dvou akumulčních nádržích o objemu 14.000 m³.



Obr. 15 Schéma provozu solární elektrárny

Zásobníky jsou ohřívány až na teplotu 390 °C a teplo v nich uskladněné je využíváno v době nedostatku solárního záření pro provoz elektrárny. Solární elektrárna tak představuje stabilnější zdroj energie se schopností provozu delší než je doba dopadu solární energie na dané území. Tepelná účinnost solární elektrárny je 60 – 80 %, její elektrická účinnost je 15 % což odpovídá dnešním solárním fotovoltaickým systémům. Nevýhodou řešení tohoto systému však představuje vyšší spotřeba vody v parním okruhu. Tepelný systém také musí být řešen tak, aby bylo minimalizováno riziko požáru.



Obr. 16 Solární elektrárna s akumulací tepla, vlevo – výstavba, vpravo – řešení solárních koncentrátorů [5]

3. Závěr

Akumulaci tepla je možné využít řadou způsobů a technologií. Jde vždy o to, aby systém akumulace přinesl žádané úspory nebo zvýhodnil provoz systému. Nejvhodnější systém akumulace tepla je dán okrajovými podmínkami z pohledu fyzikálních zákonů a technických a ekonomických limitů. Použití akumulčního systému vede při správném návrhu k výrazným úsporám provozních nákladů. Nadějnou oblastí je dnes vývoj nových materiálů vhodných pro látky měnící fázi nebo termochemické reakce.

Literatura

- [1] Royal Dutch Shell. [Online]. [Cit.2011-09-01]. Dostupné na WWW: <<http://www.shell.com>>.
- [2] Vyhláška 193/2007 Sb. kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. Sbírka zákonů č. 62/2007 na straně 2398.
- [3] Roth Industries GmbH & Co [Online]. [Cit.2011-09-01]. Dostupné na WWW: <<http://www.roth-industries.de>>.
- [4] Software Trnsys v. 16.01. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2007.

- [5] Solar Millennium AG [Online]. [Cit.2011-09-01]. Dostupné na WWW: <<http://www.solarmillennium.de>>.
- [6] Schmidt, T., Muller-Steinhagen, H.: The central solar heating plant with aquifer thermal energy store in Rostock. Technical report. 7 p., Stuttgart 2004.
- [7] Raab, S. at al.: Solar assisted district heating system with seasonal hot water heat store in Fridrichshafen. Solar conference Eurosun 2004. 10 p., Freiburg 2004.
- [8] Ochs, F., Hedemann, W., Muller-Steinhagen, H.: Soil-water pit heat store with direct charging system. Technical report. 7.p. Stuttgart 2004.
- [9] Drake Landing energy system data. [Online]. [Cit.2011-09-01]. Dostupné na WWW: <<http://www.dlsc.ca>>.
- [10] Oke, T. R.: The urban energy balance. Progress in Physical Geography. Volume 12(4):1988, s. 471-508.
- [11] Jokl, M.: Zdravé obytné a pracovní prostředí. 1.vyd. , Academia: 2002, s. 280, ISBN 80-200-0928-0.
- [12] Kabele, K., Kabrhel, M.: Optimalizace návrhu a provozu vytápěcích systémů s akumulací tepla. Vnútorná klíma budov, Štrbské pleso 2002, s. 63-69.
- [13] Adamovský, D., Kabrhel, M., Kabele, K., Urban, M. : Evaluation of stratified storage tank experimental model against computer simulation. In: Effstock 2009 Thermal Energy Storage for Efficiency and Sustainability [CD-ROM]. Stockholm: Swedvac, The Swedish Society of HVAC Engineers, 2009, s. 51. ISBN 978-91-976271-3-9.
- [14] Roubíček, L. - Kabrhel, M. : Pasivní dům v Rychnově – nabíjení zásobníku tepla solárními kolektory v letním období v roce 2009 – část I. Topenářství, instalace. 2010, roč. 2010, č. 6, s. 44-46. ISSN 1211-0906
- [15] Kabrhel, M. Thermal storage wall. In Effstock 2009 Thermal Energy Storage for Efficiency and Sustainability. Stockholm: Swedvac, The Swedish Society of HVAC Engineers, 2009, vol. 1, s. 21-25. ISBN 978-91-976271-3-9.

Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Datum a místo narození: 10. listopadu 1975 v Hradci Králové

Vzdělání, pedagogické a vědecké hodnosti:

1993-1999	ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Obor pozemní stavby a konstrukce-magisterské studium, udělen titul Ing.
2000-2003	ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Obor pozemní stavby a konstrukce-doktorské studium, udělen titul Ph.D., Práce na téma Akumulace tepla v energetických systémech budov
2001-2009	ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov, asistent
2006-2007	Výzkumný a zkušební letecký ústav, částečný úvazek, spoluřešitel výzkumného záměru
2009-dosud	ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov, odborný asistent

Odborné aktivity:

Univerzitní činnost:

- Přednášející a garant povinných předmětů
- Tutor Fakulty stavební pro mezifakultní studijní program Inteligentní budovy
- Vedoucí diplomových prací (více než 10, včetně oceněných prací)
- Oponent doktorských disertačních prací
- Školitel studentů doktorského studia - prezenční forma 2 studenti, kombinovaná forma 2 studenti
- Řešitel grantových projektů, spoluřešitel výzkumného záměru, mezinárodních projektů

Mimouniverzitní činnost:

- Odborný garant sekce Ekonomie, ekologie a provoz 19. Konference Vytápění (2005, 2007, 2009, 2011)
- Člen organizačního výboru Konference Simulace budov a techniky prostředí 2010 (Praha 2010)
- Člen organizačního výboru a moderátor konference Vnútorná klíma (2007)
- Odborný recenzent článků časopisu Topenářství, Instalace (2008-2011)
- Předseda komise udělující Cenu Dr. Cihelky za nejlepší literární dílo v oblasti technických zařízení budov (2008, 2010)
- Přednášející na seminářích a odborných školeních (firma Protherm 2006-2010, firma Metrostav 2007-2010, firma Stiebel-Eltron 2008 a 2010, lektor Letní školy TZB 2004-2010, doprovodný program veletrhu Aquatherm 2008)
- Člen hodnotící komise soutěže Revit open - část technických systémů (2008 - 2010)
- Tajemník komise hodnotící nejlepší exponáty veletrhu Aquatherm 2005
- Provádění expertního měření teplotních polí v budovách, Metrostav (2008-2010)
- Odborný lektor obnovitelných zdrojů energie, Státní fond životního prostředí, 2009
- Moderátor odborné sekce Alternativní zdroje energie a úspory v budovách konference Alternativní zdroje energie 2010
- Přednášející Konference Vytápění (2005, 2007, 2009, 2011)
- Člen organizačního výboru mezinárodní konference Clima 2013 (Praha, 2013)

Výzkumné projekty:

- 5.FP EU Project SUNTool, Sustainable Urban Neighbourhood Tool (2002-2005), spolupráce na řešení
- IEEA Project Thermco, Thermal comfort in buildings with low-energy cooling (2007-2009), spolupráce na řešení

- 7.FP EU Project Clear-up, Clean buildings along with resource efficiency enhancement using appropriate materials and technology (2008-2011), spolupráce na řešení
- Výzkumný záměr MSM 6840770005 Udržitelná výstavba (2005-2011), vedoucí části řešené na katedře Technických zařízení budov, FSV, ČVUT v Praze (2005-2011)
- Grant SGS10/234/OHK1/3T/11 - Studentská grantová soutěž ČVUT v Praze (2010-2013), vedoucí řešitelského týmu (3 školitelé + 6 studentů Ph.D.)
- Projekt 2A-1TP1/051 - Snižování provozní energetické náročnosti budov inteligentními systémy řízení (2006-2010)
- IEA - ECBCS ANNEX47 - Cost Effective Commissioning of Existing and Low Energy Buildings (2007-2008), spolupráce na řešení

Vybrané publikace:

- Kabrhel, M. : Účinnost přípravy teplé vody. Topenářství, instalace. 2010, roč. 2010, č. 7, s. 30-31. ISSN 1211-0906.
- Kabrhel, M. - Ulč, J. : Efektivní využití elektrické energie z fotovoltaického systému v objektu. Topenářství, instalace. 2009, roč. 2009, č. 5, s. 28-31. ISSN 1211-0906.
- Kabele, K. - Urban, M. - Adamovský, D. - Kabrhel, M. - Musil, R. : Národní kalkulační nástroj na základě metodiky výpočtu energetické náročnosti budov. Autorizovaný software. : UPM
- Kabrhel, M. : Výpočet podtlakové dešťové kanalizace. Topenářství, instalace. 2003, roč. 36, č. 1, s. 58-60. ISSN 1211-0906.
- Kabele, K. - Urban, M. - Adamovský, D. - Kabrhel, M. - Musil, R. : Calculation of EPBD Energy Performance Certification in the Czech Republic In: Indoor Climate of Buildings '07. Bratislava: Slovenská spoločnosť pro techniku prostredia, 2007, s. 197-211. ISBN 978-80-89216-18-5.

- Adamovský, D. - Kabrhel, M. - Kabele, K. - Urban, M. : Evaluation of stratified storage tank experimental model against computer simulation In: Effstock 2009 Thermal Energy Storage for Efficiency and Sustainability [CD-ROM]. Stockholm: Swedvac, The Swedish Society of HVAC Engineers, 2009, s. 51. ISBN 978-91-976271-3-9.
- Kabrhel, M. - Ulč, J. : PV Energy. Autorizovaný software. [Online]. Dostupné na WWW: <http://tzb2.fsv.cvut.cz/vyucujici/16/sdileni-souboru/pv_energy_1_2.zip>.
- Roubíček, L. - Kabrhel, M. : Pasivní dům v Rychnově – nabíjení zásobníku tepla solárními kolektory v letním období v roce 2009 – část I. Topenářství, instalace. 2010, roč. 2010, č. 6, s. 44-46. ISSN 1211-0906.
- Kulhánek, F. - Kabrhel, M. - Urban, M. - Adamovský, D. - Šmelhaus, P. (ed.): Nízkoenergetické a pasivní domy - návrh a realizace. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2009. 354 s. ISSN 1803-6821.
- Kabrhel, M.: Aktivní tepelná ochrana. In Nízkoenergetické a pasivní domy - návrh a realizace. Praha: Verlag Dashöfer, 2009, ISSN 1803-6821.
- Kabele, K. - Urban, M. - Adamovský, D. - Kabrhel, M.: Energetická náročnost budov v souvislostech s platnou legislativou. 1. vyd. Praha: ABF a.s., 2008. 144 s. ISBN 978-80-86905-45-7.