

Ing. Evžen PŘIBYL  
Raen s.r.o.

# Akumulace solární energie vratnými termochemickými reakcemi

## Solar Energy Accumulation by Reversible Thermochemical Reactions

Recenzent  
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

V článku se uvádějí provozní zkušenosti ze sezónní akumulace sluneční energie tzv. chemickým tepelným čerpadlem. Sluneční a geotermální energie z podzemního horizontálního výměníku o ploše asi 450 m<sup>2</sup> se hydratační reakcí přečerpává do akumulátoru se sorbentem (Na<sub>2</sub>S · 5 H<sub>2</sub>O) k vytápění domku s obytnou plochou 80 m<sup>2</sup>. Sorbční akumulátor má 8x menší objem, než by měl odpovídající teplovodní akumulátor a navíc nedochází k tepelným ztrátám

**Klíčová slova:** sluneční energie, akumulace, vytápění, hydratační reakce, chemické tepelné čerpadlo

The paper describes author's experience with seasonal storage of solar energy by so-called chemical heat pump. The solar and geothermal energy is transferred by hydration reaction from an underground horizontal heat exchanger with surface area of about 450 m<sup>2</sup> into an accumulator with sorbent (Na<sub>2</sub>S · 5 H<sub>2</sub>O). The system is designed for the heating of a house with floor area of 80 m<sup>2</sup>. The sorption accumulator has 8 times smaller volume than an equivalent standard hot-water accumulator, in addition there is not heat loss.

**Key words:** solar energy, accumulation, heating, hydration reaction, chemical heat pump

Využití solární energie pro vytápění naráží na zásadní problém v časově rozdílném ročním výskytu intenzity solární radiace a požadovaného tepelného příkonu pro vytápění. V zimním období s velmi nízkou solární radiací, vysokým počtem oblačných dnů a velmi nízkou teplotou vzduchu jsou solární zisky velmi nízké, pro vytápění budov je však v tomto období třeba nejvyšší tepelný příkon. Naopak v letním období produkuje solární systém přebytek tepla, pro které není využití.

Solární systémy nižších výkonů sloužící pro dodávku tepla a přípravu teplé vody a případně pro přitápění v přechodném období jsou vybaveny běžnými akumulacími systémy na bázi tepelně izolovaných vodních zásobníků pro překlenutí jen krátkodobého (maximálně několikadenního) nedostatku slunečního záření.

Velké solární systémy pro dodávku tepla pro menší obce nebo části měst vybudované v zahraničí v posledních 30 letech jsou obvykle doplněny tzv. sezónními akumulátory umožňujícími dlouhodobou akumulaci zachycené solární energie v trvání i několika měsíců. Tyto akumulátory tepla jsou koncipovány na stejném základě jako v malých solárních systémech. Jedná se především o využití citelného tepla vody nebo zeminy, ve zcela výjimečných případech latentního tepla vhodné substance měnící skupenství pevné na kapalné a zpět při požadované teplotě akumulace. Vodní zásobníky pro tento účel mají velký objem (řádově tisíce m<sup>3</sup>) se značnou tloušťkou tepelné izolace. Tepelné ztráty jsou přesto tak vysoké, že na konci otopného období je již teplota akumulací látky pro účely vytápění nízká, v některých případech jsou proto akumulátory doplněny tepelnými čerpadly.

### AKUMULACE SOLÁRNÍ ENERGIE VRATNÝMI TERMOCHEMICKÝMI REAKCEMI

Pro dlouhodobou akumulaci solární energie je možno využít vratných termochemických reakcí. Při průběhu reakce jedním směrem (endotermní reakce) dochází při dodávce tepla k „nabití“ akumulátoru, produkty reakce jsou uchovávány odděleně. Při požadavku na zpětné získání akumulovaného tepla jsou oddělené produkty předchozí reakce uvedeny do kontaktu a reakce probíhá opačným směrem (exotermní reakce) s vývinem akumulovaného tepla a „vybití“ akumulátoru.

Pro možnost akumulovat tepelnou energii získanou z energie solární běžnými nízkoteplotními solárními systémy je nutno tedy použít zpětné termochemické reakce probíhající při nízké teplotě. Pokud u nízkoteplotních re-

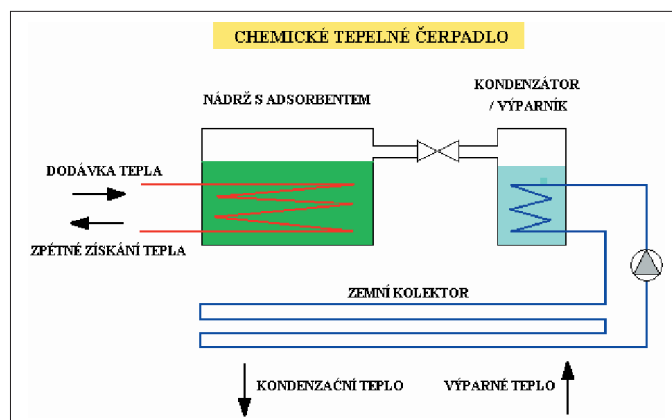
akcí po „nabití“ zanedbáme částečnou ztrátu akumulovaného tepla po vychladnutí oddělených produktů reakce na teplotu okolí je evidentní, že je možno akumulované teplo uchovávat časově neomezeně dlouho. Z reakcí, které se v nízké teplotní úrovni nabízejí je z ekologického hlediska vhodné využít tzv. reakce hydratační – tedy reakce sorbentu s vodou.

Hydratační vratné reakce probíhají mezi vodní parou a vhodným adsorbentem páry. Ohřátím adsorbentu s obsahem vody je dosaženo snížení jeho vlhkosti odpařením části vody, v tomto stavu je adsorbent uchováván.

Po zpětném kontaktu adsorbentu s vodní parou (zpětná reakce) je tato adsorbována za vývinu adsorpčního tepla. Pro zajištění průběhu této zpětné reakce je nutno tedy mít k dispozici vodní páru.

Konkrétního využití hydratační reakce pro akumulaci tepla zachyceného solárním systémem bylo dosaženo tzv. chemickým tepelným čerpadlem. Činnost akumulátoru tepla pracujícího na principu chemického tepelného čerpadla je znázorněna na obr. 1.

Chemické tepelné čerpadlo sestává ze dvou navzájem propojených nádrží. Ventilem na spojovacím potrubí je možno prostor obou nádrží od sebe navzájem oddělit. Systém je udržován připojenou vývěvou v hlubokém podtlaku. Levá nádrž je naplněna adsorbentem, pravá nádrž je prázdná. Obě nádrže mají vestavěnou teplosměnnou plochu pro dodávku nebo odnimaní tepla z nádrže, teplosměnná plocha pravé nádrže je připojena na zemní kolektor naplněný nemrznoucí kapalinou.



Obr. 1 Schéma chemického tepelného čerpadla

### Fáze „Nabíjení“

Do levé (horké) nádrže je dodáváno teplo o takové teplotě, která při daném podtlaku zajistí oddělení vodní páry z adsorbentu. Vodní pára je přes otevřený ventil vedena do pravé (studené) nádrže, která v tomto případě funguje jako kondenzátor a kde je vodní pára kondenzována odnímáním kondenzačního tepla cirkulačním okruhem zemního kolektoru. Kondenzační teplo páry je odváděno do zeminy. Po snížení obsahu vody v adsorbentu v levé nádrži na hodnotu danou provozními podmínkami je ventil uzavřen, pravá nádrž je naplněna kondenzátem z odvedené páry.

### Fáze „Vybijení“

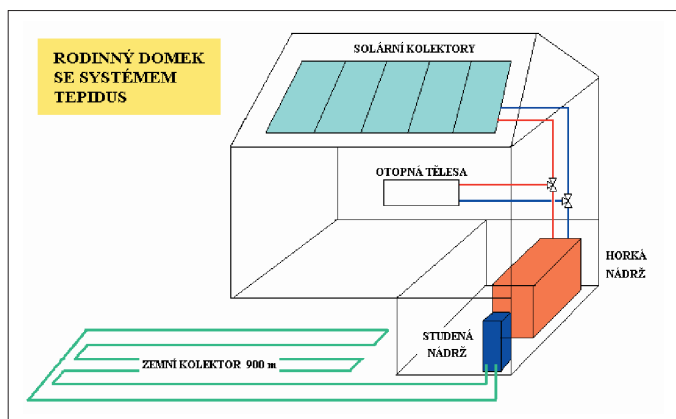
Po otevření ventilu na spojovacím potrubí je dodáváno teplo ze zeminy do pravé nádrže (která nyní funguje jako výparník), kondenzát je při nízkém tlaku odpařován a vodní pára je vedena do levé nádrže, kde je pohlcována do adsorbentu za vývinu adsorpčního tepla, které je odváděno přes teplosměnné plochy k využití. Proces probíhá do okamžiku, kdy obsah vody v adsorbentu dosáhne opět původní hodnoty na začátku „nabíjecí“ fáze.

Teplo dodané při „nabíjecí“ fázi bylo využito na zrušení vazeb vody na adsorbent a na její odpaření. Při „vybijecí“ fázi je teplo odebírané z levé nádrže součtem tepla dodaného ze zeminy (o teplotě zeminy) a energie vazeb vody na adsorbent. Výsledným efektem „vybijecí“ fáze je tedy dodávka nejen součtového tepelného výkonu, ale též zvýšení teploty zpětně dodávaného tepla vůči teplotě zeminy.

Vzhledem k „přečerpávání“ tepla zeminy na vyšší teplotu se současným využitím energie chemických vazeb vodní páry na adsorbent je popsané zařízení nazýváno chemickým tepelným čerpadlem. Kompresor poháněný elektrickou energií u běžného kompresorového tepelného čerpadla je zde nahrazen energií chemických vazeb vody na adsorbent.

## AKUMULACE SOLÁRNÍ ENERGIE SYSTÉMEM TEPIDUS

Zařízení nazvané TEPIDUS (pravděpodobně od anglického výrazu „tepid“ – v češtině „vlažný“) pracující na principu chemického tepelného čerpadla pro akumulaci solární energie v rodinném domku bylo vyvinuto a aplikováno ve Švédsku na přelomu 70. a 80. let minulého století. Rodinný domek měl obytnou plochu 80 m<sup>2</sup> a uvedený systém TEPIDUS (umístěný v suterénu domku) měl zajistit zcela požadavky na vytápění a částečně na přípravu TV (viz obr. 2)



Obr. 2 Rodinný domek s chemickým tepelným čerpadlem

V systému TEPIDUS v rodinném domku bylo použito jako adsorbentu krystalického siřnku sodného s pěti molekulami vody ( $\text{Na}_2\text{S} \times 5\text{H}_2\text{O}$ ). Křivky závislosti tlaku nasycené vodní páry nad čistou vodou a nad tímto adsorbentem jsou v podstatě ekvidistanty vzdálené od sebe 55 °C. Tento teplotní rozdíl je definován jako „termomotorická síla“ chemického tepelného čerpadla a odpovídá rozdílu teplot mezi „horkou“ a „studenou“ nádrží při ustáleném stavu.

Je-li systém vybijen, vzniká nový rovnovážný vztah, kdy se uplatňují teplotní spády na teplosměnných plochách a poklesy teploty vlivem poklesu tlaku při proudění páry. Při vybijení systému je tedy teplotní rozdíl mezi horkou a studenou nádrží nižší než v rovnovážném stavu – ekvivalentní ztrátě napětí v důsledku vnitřního odporu při vybijení elektrochemického akumulátoru.

Teplota teplotonosné látky dodávané z „horké“ nádrže při „vybijení“ systému je tedy cca o 45 °C vyšší než teplota zeminy v této době. Např. pro teplotu zeminy +5 °C je tedy teplota otopné vody cca 50 °C.

Uvedený adsorbent byl vybrán pro jeho vysokou akumulační schopnost, která činí cca 1 kWh/kg adsorbentu nebo cca 500 kWh/m<sup>3</sup> adsorbentu, přičemž cca 2/3 z této kapacity připadá na teplo „přečerpané“ ze zeminy a cca 1/3 na energii vazeb vodní páry na adsorbent. Další výhodou tohoto adsorbentu je jeho nízká cena a možnost provozovat systém s tímto adsorbentem při nižších „nabíjecích“ teplotách (50 až 70 °C) zajistitelných plochými kolektory. Provoz při těchto teplotách vyžaduje podtlak v systému cca 0,65 až 1,3 kPa, což klade extrémní nároky na jeho těsnost.

Další důležitou charakteristikou systému TEPIDUS je závislost teplotního rozdílu mezi „horkou“ a studenou“ nádrží na množství adsorbované vody (tzv. křivka vybijení), která je ekvivalentní napětí u elektrochemického akumulátoru. Při zkouškách adsorbentu  $\text{Na}_2\text{S} \times 5\text{H}_2\text{O}$  na menším zařízení bylo zjištěno, že se zvyšováním počtu cyklů nabíjení – vybijení se průběh křivky zlepšuje. To je pozitivní poznatek v porovnání např. s akumulátory pracujícími na principu latentního tepla s tzv. Glauberovou solí, kde s přibývajícím cykly dochází k degradaci náplně především v důsledku změn v krystalizaci.

Systém TEPIDUS ve zmíněném rodinném domku obsahoval 7 000 kg adsorbentu, délka zemního kolektoru byla cca 900 m v hloubce 1 m pod úrovní terénu. Plocha kolektorů nebyla udána.

Akumulační kapacita tohoto systému o objemu cca 14 m<sup>3</sup> je tedy cca 7 000 kWh což představuje ekvivalent objemu vodního zásobníku 120 m<sup>3</sup> (při ochlazení vody o 50 °C), který však není schopen akumulovat teplo v délce několika měsíců.

Kontakt na autora: [pribyl@raen.cz](mailto:pribyl@raen.cz)

### Použitý zdroj:

- [1] Ernst – Ake Brunberg: „The TEPIDUS System for heat storage and for cooling“, April 1980, Department of Electron Physics, Royal Institute of Technology, S – 100 44, Stockholm, 70 Sweden. ■

### \* Pilotní projekt v Rostoku: zavádění energetických pasů

Energetické pasy mají být od začátku roku 2007 v Německu zákonnou povinností. Měřicí firma *Ista* a rostocký podnik pro výstavbu bytů *WIRO* uzavřely na základě tohoto pilotního projektu na výstavbu energeticky úsporných 27 000 bytů, což je asi 70 % celkového bytového stavu. Součástí projektu je vystavování příslušných energetických pasů.

*Ista International GmbH* je vedoucí podnik pro evidenci a účtování spotřeby energie, vody a vedlejších nákladů u odběratelů. Pracuje ve 24 zemích Evropy, severní Ameriky a Asie. V roce 2005 měla celkem 3432 pracovníků.

CCI 6+11/2006

(Ku)

