

## 39. NEKONVENČNÍ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE

# VÝVOJ TEPELNEJ AKUMULAČNEJ JEDNOTKY ZALOŽENEJ NA HETEROGÉNNEJ ŠTRUKTúRE MF/PCM PRE KOGENERAČNÉ JEDNOTKY

M. Kaľavský<sup>1</sup>, R. Rybár<sup>1</sup> a M. Beer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Košice, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Institute of Earth Resources, Letná 9, Košice, Slovakia,  
*michal.kalavsky.2@tuke.sk, radim.rybar@tuke.sk, martin.beer@tuke.sk*

### *Abstract*

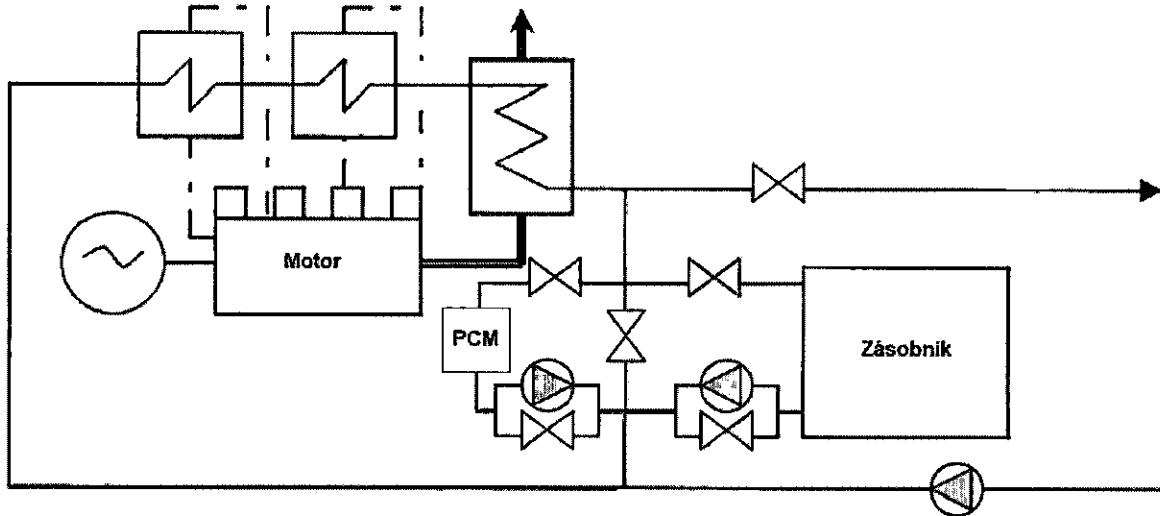
The paper deals with the possibility of heat accumulation in cogeneration units with combustion engines with a storage unit, which uses a phase change of the accumulation material. The concept of the thermal storage unit designed by the authors uses a unique combination of the PCM material of sodium acetate and the metal foam structure, which reduces the fundamental shortage of commonly used PCM - low thermal conductivity. The heterogeneous metal foam structure and sodium acetate create suitable conditions for increasing thermal conductivity throughout the entire volume of the heat storage unit. The research was mainly focused on the mapping of processes related to charging a composite storage element created with the heterogeneous structure of PCM-MF. An experiment that evaluates heat accumulation of heat memory was performed on a functional prototype in the BERG Center of Renewable Energy Resources on an experimental device designed and manufactured by the authors. The results obtained show that the author has succeeded in achieving the heat distribution in the total volume of the storage element at such a level that a complete passage of the entire solid-phase sample to the liquid is achieved.

### *Úvod*

Kogeneračná jednotka (KJ) je zariadenie na súčasnú výrobu elektrickej energie a tepla. Elektrická energia sa produkuje rovnakým spôsobom ako v iných elektrárenských zariadeniach generátorom. Generátor, je poháňaný pomocou piestového spaľovacieho motora. Motory v kogeneračných jednotkách sú štandardne konštruované na zemný plyn, môžu však spaľovať i kvapalné alebo plynné palivá. Teplo, ktoré sa v spaľovacom motore uvoľňuje, je prostredníctvom chladenia motora, oleja a spalín efektívne využívané.

Zdroje využiteľného tepla v systéme kogeneračnej jednotky sú chladenie motora, výfukové splodiny, olej, medzichladič stlačeného vzduchu (pozri obr. 1). Z hľadiska toku energie je dominantný výstup výfukových plynov zo spaľovacieho motora, ktorý poskytuje konštantný tepelný výkon. V menšom rozsahu je možné použiť tepelné toky z chladiaceho priestoru prevádzkových kvapalín a plynov, respektíve z hydraulického čerpadla v hydraulickom okruhu. Uvedené zdroje predstavujú zdroje pracujúce v jednom okruhu s nízkym energetickým potenciálom, ktoré by mali byť výhodné pre konštrukcie s tepelným akumulátorom. Tepelná energia obsiahnutá vo výfukových plynoch a chladiacich systémoch vo všeobecnosti predstavuje 60-70% celkového energetického obsahu paliva [5]. V zdrojoch

[1-4] boli popísané koncepcie KJ obsahujúce aj tepelno-akumulačný prvok. Cestou k dlhodobému uskladneniu tepla je jeho uloženie do PCM s efektom podchladenia. To umožňujú niektoré materiály vyznačujúce sa, týmto efektom. Koncepcia tepelnej skladovacej jednotky navrhnutá autormi, ktorá pracuje s fázovými výmennými materiálmi (ďalej len PCM) v kombinácii s kovovými peny, je vhodným technickým riešením, ktoré možno aplikovať pri vyššie uvedených prevádzkových podmienkach.



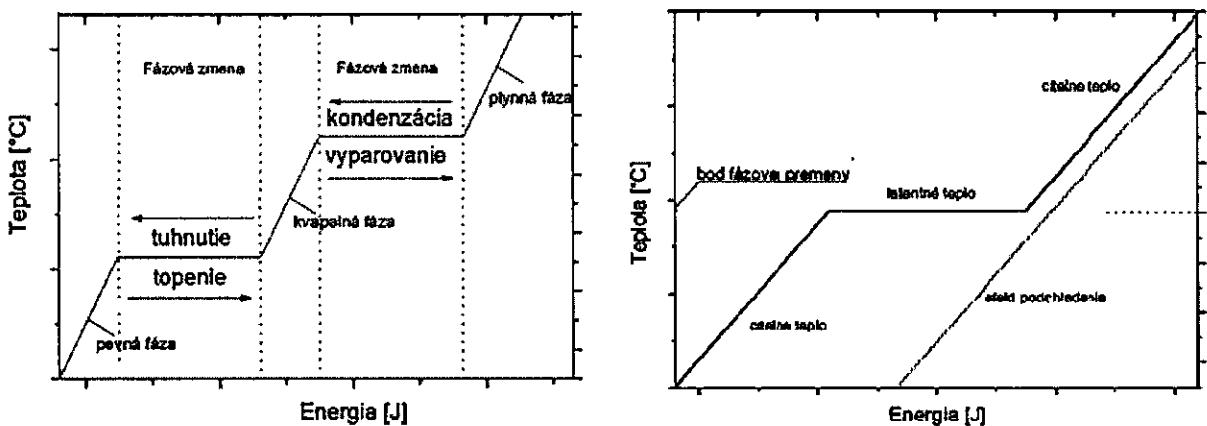
Obr. 1. Schéma kogeneračnej jednotky s akumuláciou tepla.

Z fyzikálneho hľadiska je akumulácia tepla možná niekoľkými spôsobmi: akumulácia cieľného tepla, latentné teplo, sorpčné teplo a chemické teplo ako sa uvádza v [6]. V posledných rokoch sa dostáva do pozornosti využívanie akumulácie tepla pracujúceho na princípe fázovej zmeny PCM, kde je uložené latentné teplo. Ako bolo uvedené v [7] latentné teplo je jedným z najúčinnejších spôsobov skladovania tepelnej energie. Materiály vhodné na skladovanie tepla by mali dosiahnuť najvyššie hodnoty akumulácie tepelnej energie v minimálnom objeme materiálu. Ďalšie požiadavky na PCM zahŕňajú: cyklickú stabilitu, odolnosť voči plameňu, zmeny v malom objeme spojené s fázovými zmenami, nekorozívne vlastnosti a nízka tendencia k podchladneniu.

Z hľadiska pomeru medzi skladovacou kapacitou materiálov a ich hmotnosťou sú organické (vosky) a anorganické (hydratované soli) PCM takmer porovnatelné. Pri porovnaní množstva nahromadeného tepla s objemom akumulačného materiálu existuje jasný významný rozdiel v hustote medzi akumuláciou organických (voskov) a anorganických (hydratovaných solí) PCM.

Prevádzkový cyklus takéhoto koncipovaných akumulačných jednotiek sa dá rozdeliť na tri fázy, prvá fáza zahŕňa akumuláciu (nabíjanie) tepelnej akumulačnej jednotky, v druhej fáze dochádza k stabilizácii tepelného zásobníka a v tretej fáze je uvoľnenie skladovanej energie. Teplota akumulačného materiálu (PCM) sa zvyšuje vo fáze nabíjania. V prvej časti tejto fázy sa nahromadilo cieľné teplo bez fázovej zmeny PCM, trihydrát octanu sodného je obmedzený teplotou  $58^{\circ}\text{C}$ . Nad touto teplotou sa akumuluje latentné teplo, táto akumulácia sa skončí v okamihu, keď sa fázová zmena z pevnej na kvapalnú fázu dokončí v celom objeme tepelnej akumulačnej jednotky, tj keď PCM prijíme všetko latentné teplo vzhľadom na jeho objem (napr. trihydrát octanu sodného je  $265 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Ak akumulačná jednotka získa viac energie, teplota PCM sa zvyšuje a akumuluje sa ďalej citlivé teplo. Po prvej fáze nasleduje fáza podchladenia, ktorá stabilizuje tepelnú pamäťovú jednotku tým, že zabraňuje nežiaducej nukleácií a tým predčasnému uvoľneniu skladovanej energie [8]. Keď je PCM vo fáze podchladenia, tepelná pamäťová jednotka je v stave kvapalnej fázy pod bodom zmeny

fázy ( $58^{\circ}\text{C}$  pre trihydrát octanu sodného). Priebeh teploty pre fázy akumulácie a podchladenia je znázornený na obr. 2.



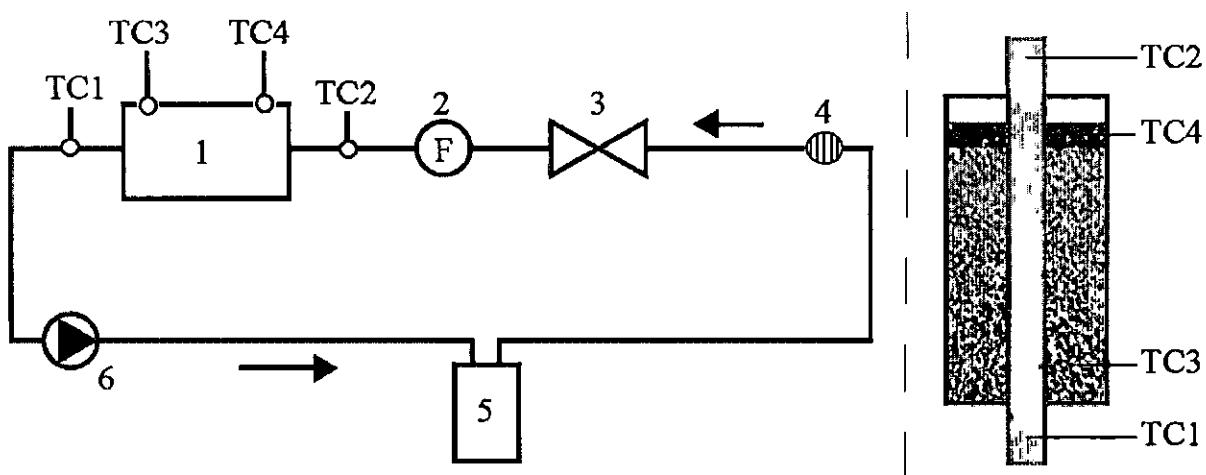
Obr. 2. Teplotná krvka PCM pre akumuláciu (vľavo) a s efektom podchladenia (vpravo).

Dôležitou charakteristikou materiálov PCM z hľadiska tepelných vlastností je ich nízka tepelná vodivosť [9]. Táto vlastnosť predstavuje určité koncepcné obmedzenie pri konštrukcii akumulačnej jednotky na báze PCM, čo sa odráža v dobe roztavenia a tuhnutia PCM. Problémy týkajúce sa distribúcie tepla v PCM sú prezentované napríklad v publikácii [10], kde autor experimentálne testoval možnosť zlepšenia prenosu tepla v PCM (parafinovom vosku) s využitím štruktúry otvorených buniek medených pien. Pridaním kovových pien do parafinu sa tepelná vodivosť vytvorenej štruktúry zvýšila zo 16 na 18 krát v porovnaní s čistým parafinom. Ďalším spôsobom zvýšenia tepelnej vodivosti PCM je aplikácia aditíva, ktorá produkuje heterogénnu zmes s PCM [11-13].

Konkrétny koncept akumulačnej jednotky, ktorý je prezentovaný v tomto dokumente, je kombináciou materiálu PCM - trihydrátu octanu sodného a priestorovej štruktúry pozostávajúcej z blokov kovovej peny s otvorenou pórovitou štruktúrou, ktorá v tomto heterogénom priestorovom usporiadani vytvára výmenník tepla. Táto jedinečná kombinácia je navrhnutá s cieľom eliminovať charakteristicky nízku tepelnú vodivosť materiálov PCM.

### **Metodológia**

Predložený experiment sa uskutočnil v Centre obnoviteľných zdrojov energie fakulty BERG na experimentálnom zariadení vyrobenom autormi, v ktorých bola inštalovaná tepelná akumulačná jednotka. Návrh zariadenia bol založený na analýze vstupných podmienok na vyvolanie a riadenie nestacionárnych procesov z pohľadu zmeny teplôt a fázovej zmeny PCM. Zariadenie umožňovalo konštantný tok tepla z média na prenos tepla, ktoré cirkuluje v hydraulickom obvode, ktorý je znázornený na obr. 4, kde 1 – akumulačná jednotka, 2 - prietokomer, 3 - regulácia prietoku, 4 - prietokový ohrievač, 5 - expanzná nádoba, 6 - hydraulické čerpadlo, TC1 až TC4 - sondy termočlánkov.



Obr. 3. Schematický diagram hydraulického okruhu (vľavo) a akumulačná jednotka s vyznačeným umiestnením termočlánkových sond (vpravo).

Teplo bolo privedené prostredníctvom média na prenos tepla (voda) s teplotou 80 °C cez vnútornú medenú rúrku tepelnej skladovacej jednotky, čo simuluje zdroj tepla zo spaľovacieho motoru kogeneračnej jednotky. Tepelný tok z teplenosného média preteká štruktúrou kovovej peny, kde sa teplo prenáša do trihydrátu octanu sodného, čo mení jeho teplotu a fázu pri súbežnej akumulácii rozumného a latentného tepla. Úlohou takto koncipovaného experimentu bolo otestovať schopnosť prenosu tepla zo zdroja tepla cez štruktúru kovovej peny do PCM - trihydrát octanu sodného.

Pokiaľ ide o overenie funkčnosti kombinácie štruktúry kovovej peny a trihydrátu octanu sodného ako akumulačnej jednotky, bolo potrebné na meranie teploty PCM, tj. trihydrátu octanu sodného, ako aj teploty kovovej peny pomocou termočlánkových sond, ktoré sú označené ako TC3 a TC4. Sondy označené ako TC1 a TC2 merané teploty teplenosného média pred a za akumulačnou jednotkou, ako je znázornené na obr. 5. Experimentálny prístroj bol doplnený o merací prístroj, ktorý pozostával z termočlánkov KIMO TTKE-363 (typ K, rozsah od -40 °C do + 400 °C), zberu dát KIMO AMI 300 s teplotným rozsahom od -100 °C do + 250 °C s celkovou odchýlkou ± 0,4 %. Krok zaznamenávania údajov bol 10 s. Prietok média prenosu tepla bol sledovaný analogickým prietokomerom s rozsahom 0,3 až 1,5 l/min a odchýlkou ± 10 % F.S.

Stav fázovej premeny trihydrátu octanu sodného bol tiež monitorovaný a zaznamenaný vo forme časovo zberných snímok s použitím kamery umiestnenej v bezprostrednej blízkosti akumulačnej jednotky. Frekvencia snímania obrazu bola stanovená s ohľadom na rýchlosť zmeny fázy na interval 5 minút. Objektív fotoaparátu bol vybavený polarizačným filtrom, ktorý eliminuje oslnenie z vonkajšej akrylovej trubice jednotky na uchovávanie tepla. Na telese tepelnej pamäťovej jednotky bola umiestnená meracia páska umožňujúca presné sledovanie fázovej zmeny trihydrátu octanu sodného.

Celkové možné množstvo akumulovanej energie tepelnej pamäťovej jednotky sa určuje výpočtom podľa rovnice 1 až 3:

$$Q_A = Q_{solid} + m \cdot Q_L + Q_{liquid} \quad 1)$$

$$Q_{solid} = m \cdot c_{solid} \cdot \Delta t_{solid} \quad 2)$$

$$Q_{liquid} = m \cdot c_{liquid} \cdot \Delta t_{liquid} \quad 3)$$

kde  $Q_A$  - celkové množstvo akumulovanej energie,  $Q_{\text{solid}}$  – cieľné teplo pevnej fázy,  $Q_L$  - latentné teplo z PCM,  $Q_{\text{liquid}}$  – cieľné teplo kvapalnej fázy,  $m$  - hmotnosť PCM. Vo rovnici 1. a 2. je  $c_{\text{solid}}$  respektíve  $c_{\text{liquid}}$ , špecifická tepelná kapacita pevnej resp. kvapalnej fázy a  $\Delta t_{\text{solid}}$ , respektíve  $\Delta t_{\text{liquid}}$  je rozdiel medzi teplotami pevnej a kvapalnej fázy vzhľadom na teplotu fázovej zmeny trihydrátu octanu sodného.

### Výsledky a diskusia

Vyrobený a zostavený prototyp jednotky na uchovávanie tepla má valcovitý tvar so základňou vo forme prstenca. Použitá kovová pena má vonkajší priemer valca 50 mm a vnútorný priemer 12 mm. Výška valca kovovej peny, a teda celá jednotka na uskladnenie tepla, je 103 mm. Kovová pena je charakterizovaná otvorenou štruktúrou pórov s hustotou pórov 10 PPI (pórov na palec) a celkovou pôrovitosťou 96 %, pričom základným materiálom kovovej peny je med'. Druhou zložkou jednotky na ukladanie tepla je PCM, trihydrát octanu sodného ( $C_2H_5NaO_2 \cdot 3H_2O$ ) s teplotou topenia 58 °C a tepelnou kapacitou latentného tepla 265  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Objem použitého PCM, ktorý vyplňuje póry kovovej peny, bol 184,3  $\text{cm}^3$  pri použití objemovej hustoty 1,45  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , celková hmotnosť použitého PCM bola 267,235 g. Na zlepšenie prevádzkových a technických charakteristík predloženého prototypu sa použil trihydrát octanu sodného v zložení 59,86 % bezvodého octanu sodného a 40,14 % vody. Teplo-skladová jednotka pozostáva z medenej rúry, do ktorej bol spájaný medený kovový penový prstenec. Tento objekt bol uzavretý akrylovými panelmi, resp. akrylovou rúrkou s vrstvou vzduchu nad kovovou penou, ktorá kompenzuje zmeny objemu PCM spôsobené zmenou fázy a zvýšením teploty. Vyrobený prototyp jednotky na uchovanie tepla je znázormený na obr. 4.



Obr. 4. Prototyp akumulačnej jednotky.

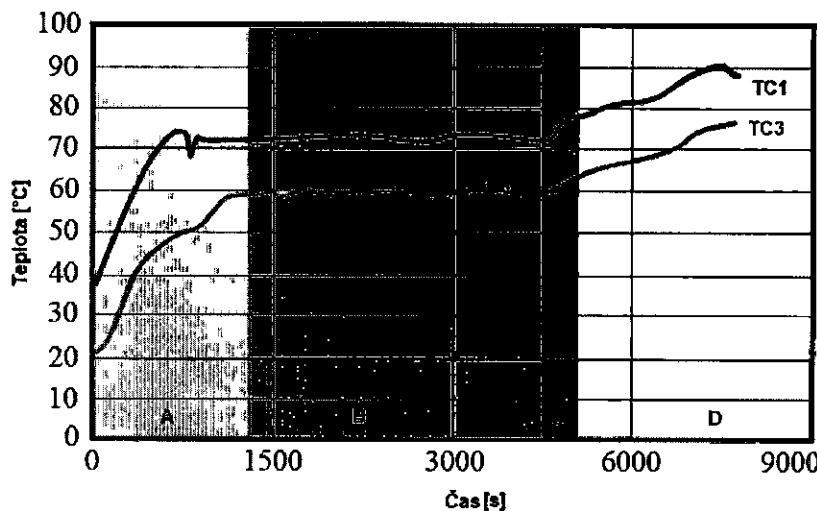
Tab. 2. Kľúčové parametre experimentálnej akumulačnej jednotky.

Parameter	Hodnota	Jednotka
Tvar akumulačnej jednotky	Dutý valec	-
Rozmery akumulačnej jednotky	$\Phi 50(12) \times 103$	mm
Typ PCM	Trihydrát octanu sodného	-
Zloženie PCM	59.86 % Trihydrát octanu sodného 40.14 % Voda	-
Objem PCM	184,3	$\text{cm}^3$
Latentné teplo PCM	265	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Teplota topenia	58	°C

Predložený výskum týkajúci sa navrhovanej akumulačnej jednotky sa zameriava na časť overovania jeho funkčnosti, ktorá je v tomto prípade charakterizovaná prvou fázou pracovného cyklu, kde tepelná akumulačná jednotka prijíma a akumuluje tepelnú energiu z vybraného zdroja. Tento proces zahŕňa fázovú zmenu PCM, ktorá má na začiatku pevnú fázu a so zvyšujúcou sa teplotou sa mení na kvapalnú fázu. Teplota topenia prezentovaného trihydrátu octanu sodného je  $58^{\circ}\text{C}$ .

V prvej fáze pracovného cyklu sa vyskytuje cieľne a akumulované latentné teplo. Ich hodnota bola pre navrhovanú akumulačnú jednotku vypočítanú pomocou rovnice 1. až . 3. výsledky výpočtu, ktoré odrážajú skutočné charakteristiky trihydrátu octanu sodného, sú pre množstvo akumulovaného cieľného tepla  $Q_{\text{solid}}$  je 28,64 kJ. Toto teplo sa dodáva v teplotnom rozmedzí  $\Delta t = 58 - 20^{\circ}\text{C}$ , pretože teplota okolia na začiatku experimentu bola  $20^{\circ}\text{C}$  a citlivé teplo sa nahromadilo po teplotu  $58^{\circ}\text{C}$ . Množstvo nahromadeného latentného tepla  $m \cdot Q_L$  je s použitou hmotnosťou trihydrátu octanu sodného je 70,8 kJ. Pretože v akumulačnej jednotke bol použitý trihydrát octanu sodného v zložení 59,86 % bezvodého octanu sodného a 40,14 % vody, bolo podľa [14] potrebné zvýšiť teplotu PCM na  $65^{\circ}\text{C}$ , aby sa zabezpečila fázová zmena z tujej kvapaliny v celom objeme jednotky na uskladnenie tepla. Množstvo citlivého tepla nahromadeného v tomto procese, ku ktorému dochádza pri teplotnom rozdielte  $\Delta t = 65 - 58^{\circ}\text{C}$ , je  $Q_{\text{liquidus}} = 5,7$  kJ. Výsledné dodané teplo teda predstavuje hodnotu 105,1 kJ, z ktorej je užitočné teplo uložené na neskôršie použitie, 70,8 kJ (opísané pre navrhovanú tepelnú pamäťovú jednotku).

Obr. 4 znázorňuje teplotnú krivku teplonosného média simulujúceho užitočné teplo v systéme kogeneračnej jednotky (TC1) a teplotu PCM - trihydrát octanu sodného (TC3). Vzhľadom na použitú konštrukciu jednotky na ukladanie tepla z hľadiska prenosu tepla z vnútornej medenej rúrky cez štruktúru kovovej peny do PCM sa teplota tekutiny na prenos tepla zvola na  $80^{\circ}\text{C}$ . Teplota bola experimentálne stanovená pri skúšobnej prevádzke experimentálneho prístroja a poskytuje dostatočný tepelný tok a tým aj zvýšenie teploty PCM. Viditeľná anomália sondy TC1 v počiatočnej časti krivky predstavuje chybu pri regulácii prietokového ohrievača, ale ako je vidieť, problém bol rýchlo vyriešený.



Obr. 4. Teplotná krivka PCM a teplonosného média vo vnútri akumulačnej jednotky.

Z tvaru teplotnej krivky pre sondu termočlánku TC3, ktorou sa meria teplota trihydrátu octanu sodného, možno jasne rozpoznať fázy akumulácie. Prvá časť, keď je dodávané cieľné teplo (označené ako A), sa vyznačuje prudkým nárastom teploty na bod pri  $58^{\circ}\text{C}$ . Druhá časť je akumulácia latentného tepla (označená ako B), ktorá prebieha pri štandardnej teplote  $58^{\circ}\text{C}$ , vodorovný priebeh bez veľkých výkyvov dokazuje úspech konceptu z hľadiska jeho funkcie,

ktorou je uloženie latentného tepla používaných PCM. Po tejto časti, ktorá v uvedenom experimente skončila v čase  $t = + 4500$  s, sa teplota jednotky na uchovanie tepla zvýšila na  $65^{\circ}\text{C}$ , čím sa zabezpečila úplná zmena fázy z pevného na kvapalný stav (označený ako C). Posledná časť zobrazená na obr. 4 predstavuje experimentálne zavedenie extrémnych prevádzkových podmienok s cieľom zistiť chyby návrhu a konštrukcie prototypu tepelnej akumulačnej jednotky založenej na PCM.



Obr. 5. Časozberná snímka zmeny fázy v akumulačnej jednotke (červené šípky ukazujú rozhranie medzi pevnou a kvapalnou fázou).

Okrem zaznamenávania teploty z termočlánkov TC1, TC2, TC3 a TC4 bol proces akumulácie tepla monitorovaný zachytávaním obrazu v pravidelných intervaloch bez zmeny polohy jednotky na osi objektívū. Týmto spôsobom je možné zaznamenať zmenu fázy PCM v smere vertikálnej osi akumulačnej jednotky. Proces fázovej zmeny začal v mieste s najvyššou teplotou, v tomto prípade v mieste vstupu média na prenos tepla do vnútornej medenej rúry. Obr. 5 znázorňuje proces fázovej zmeny v druhej časti akumulácie, keď už je nahromadené citelné teplo a jednotka na uchovávanie tepla začne akumulovať latentné teplo a tým meniť svoju fázu z pevnej na kvapalnú. Rýchlosť zmeny fázy trihydrátu octanu sodného bola vo vertikálnej osi  $3 \text{ cm.h}^{-1}$ . Je však potrebné zdôrazniť, že vnútorná konfigurácia opísanej jednotky nebola navrhnutá na rýchlu akumuláciu tepla (t.j. rýchla zmena PCM), ale na testovanie funkčnosti spojenia PCM a štruktúry kovovej peny.

## Záver

Akumulácia tepla na báze PCM zo strojov s kogeneračnou jednotkou a jeho opäťovné použitie je relatívne nová koncepcia, ktorá umožňuje eliminovať niektoré negatívne prevádzkové podmienky súvisiace predovšetkým s nestabilnou dodávkou a nárokom po tepelnej energii v sústavách s kogeneračnými jednotkami.

Jedinečnosť navrhovanej koncepcie spočíva v súčasnom použití kompozitnej kovovej penovej štruktúry a PCM - trihydrátu octanu sodného, ktorý zaistuje dostatočnú tepelnú vodivosť, ktorá by mala pri samostatnom použití octanu sodného nízku hodnotu, čo by bol pri prevádzke limitujúci faktor.

Podarilo sa experimentálne preukázať kompatibilitu MF skeletu a PCM materiálu pri zachovaní funkčnosti a vlastností pôvodnej látky. Podarilo sa zlepšiť distribúciu tepla z centrálnej do periférnych častí akumulačnej jednotky. Podarilo sa úspešne akumulovať latentné teplo do PCM, čo ukazuje priebeh teplotnej krivky PCM s plochou časťou na úrovni  $58^{\circ}\text{C}$ , čo súvisí s fázovou zmenou PCM, a teda s akumuláciou tepla.

## ***Podákovanie***

Podákovanie grantovej agentúre VEGA MŠVVaŠ SR: Tento príspevok vznikol v súvislosti s riešením projektu VEGA 1/0205/16 - Štúdium energetických a fluidných procesov v priestorovo konfigurovaných penových štruktúrach pre využitie v oblasti získavania zemských zdrojov.

## ***Literatúra***

- [1] Kimura, Shigeaki. "Cogeneration system with a heat reservoir." U.S. Patent Application No. 10/119,944.
- [2] Miguez, J. L., et al. "Feasibility of a new domestic CHP trigeneration with heat pump: I. Design and development." Applied Thermal Engineering 24.10 (2004): 1409-1419.
- [3] Prieto, M. M., B. Gonzalez, and E. Granado. "Thermal performance of a heating system working with a PCM plate heat exchanger and comparison with a water tank." Energy and Buildings 122 (2016): 89-97.
- [4] Katulić, Stjepko, Mislav Čehil, and Željko Bogdan. "A novel method for finding the optimal heat storage tank capacity for a cogeneration power plant." Applied thermal engineering 65.1-2 (2014): 530-538.
- [5] Spellman, F.R.: Water&Wastewater Infrastructure: Energy Efficiency and Sustainability, Boca Rator: CRC Press, 2013.
- [6] Bajnóczy, G., Gagyi Pálffy, E., Prépostffy, E., Zold, A.: Heat storage by two grade phase change material, Periodica Polytechnica SerChemEng, Volume 43, p. 137 - 47, 1999.
- [7] Mehling, H., Cabeza, L.F.: Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction in to basics and applications. Berlin: Springer, 2008.
- [8] Huang, L., Günther, E., Doetsch, CH., Mehling, H.: Subcooling in PCM emulsions - Part 1: Experimental, Thermochimica Acta, Volume 509, p. 93-99, 2010.
- [9] Srikanth, R. Balaji, C.: Experimental investigation on the heat transfer performance of a PCM based pin fin heat sink with discrete heating, International Journal of Thermal Sciences, Volume 111, p. 188–203, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.08.018>
- [10] Himanshu, P.: Thermal Energy Storage in Copper Foams filled with Paraffin Wax. Toronto: Mechanical& Industrial Engineering University of Toronto, 2011.
- [11] Choi, D.H., Lee, J., Hong, H., Kang, Y.T.: Thermal conductivity and heat transfer performance enhancement of phase change materials (PCM) containing carbon additives for heat storage application, International Journal of Refrigeration, Volume 42, p. 112–120, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.02.004>
- [12] Ansone A., Dzikevics, M., Zandekis, A.: Energy Accumulation Using Encapsulated Phase Change Materials with Recycled Material Components, Energy Procedia, Volume 95, p. 153–158, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.037>
- [13] Kumaresan, V., Chandrasekaran, P., Maitreyee N., Maini, A.K., Velraj, R.: Role of PCM based nanofluids for energy efficient cool thermal storage system, International Journal of Refrigeration. Volume 36, p. 1641–1647, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.04.010>
- [14] Nohejl, E.: Sezónní akumulátor tepla s minimálnimi ztrátami. [online] Available at: <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/11626-sezonni-akumulator-tepla-s-minimalnimi-ztratami> [Accessed 10 October 2016].

# OBSAH SBORNÍKU

O. Čech, P. Benešová a P. Vanýsek: POKROK V OBLASTI HLINÍKO-IONTOVÝCH AKUMULÁTORŮ.....	6
O. Čech, O. Klvač, L. Chladil, J. Libich a P. Vanýsek: RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ SPEKTROSKOPIE PRO STUDIUM INTERKALACE .....	10
Z. Dostál a M. Solanská: THE RENEWABLE ENERGY SOURCES WITH DEFINED ACCUMULATION UNIT.....	14
R. Fajtl a P. Pečený: VÝPOČET OTEPLENÍ START-STOP AKUMULÁTORU.....	18
T. Finsterle a L. Černá: LIGHTSOAKING EFFECT ON CdTe THIN FILM PHOTOVOLTAIC MODULE .....	22
P. Hrzina: OPTIMÁLNÍ VYBÍJECÍ PODMÍNKY PRO AKUMULÁTOROVÁ ÚLOŽIŠTĚ ENERGIE.....	26
J. Hylský, D. Strachala, J. Vaněk a J. Mucha: VLASTNOSTI PÍD REZISTIVNÍCH FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ .....	30
L. Chladil, O. Čech a J. Zimáková: MOŽNOSTI RENTGENOVÉ STRUKTURNÍ ANALÝZY PŘI POSOUZENÍ VLIVU ADITIV PRO OLOVENÉ AKUMULÁTORY .....	34
M. Jahn, I. Veselkova, M. Sedlaříková, J. Vondrák a K. Bartušek: GEL POLYMER ELECTROLYTES WITH NANOPARTICLES POLYMERIZED IN ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS.....	38
K. Jandová a M. Janda: SIMULACE VLIVU KONSTRUKCE NA PROUDĚNÍ VZDUCHU .....	43
K. Jaššo a T. Kazda: A REVIEW: ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY FOR BATTERY ANALYSIS .....	47
M. Kaľavský, R. Rybár a M. Beer: VÝVOJ TEPELNEJ AKUMULAČNEJ JEDNOTKY ZAĽOŽENEJ NA HETEROGÉNNÉJ ŠTRUKTÚRE MF/PCM PRE KOGENERAČNÉ JEDNOTKY .....	51
T. Kazda: VLIV PROVOZNÍCH PODMÍNEK NA CHARAKTERISTIKY Li-ION AKUMULÁTORŮ.....	59
P. Křivík, S. Vaculík, P. Bača a J. Kazelle: UŽITÍ EIS PRO STANOVENÍ SOC OLOVENÉHO AKUMULÁTORU .....	63
J. Libich, M. Sedlaříková, J. Vondrák, J. Máca, O. Čech a P. Čudek: SODNO-IONTOVÉ AKUMULÁTORY .....	67
J. Máca, J. Libich, T. Kazda, M. Sedlaříková a J. Vondrák: ELECTROLYTES FOR LOW FLAMMABLE ACCUMULATORS.....	71
T. Machů a Z. Hradílek: SROVNÁNÍ ALTERNATIVNÍCH ZDROJŮ PRO VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU .....	75
V. Novák, P. Vanýsek a T. Dvořák: PROBLEMATIKA FOTOIMPEDANČNÍCH MĚŘENÍ SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ .....	79

**Organizační výbor konference:**

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.  
Ing. Ladislav Chladil, Ph.D.  
Ing. Sebastian Vaculík  
prof. RNDr. Petr Vanýsek, CSc.  
Ing. Jiří Wagner  
Ing. Jana Zimáková

**Programový výbor konference:**

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.  
doc. Ing. Zdeněk Dostál, CSc.  
Ing. Ladislav Chladil, Ph.D.  
prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.  
doc. Ing. Dušan Kudelaš, Ph.D.  
doc. Ing. Vítězslav Novák, Ph.D.  
doc. Ing. Peter Tauš, Ph.D.  
doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.  
prof. RNDr. Petr Vanýsek, CSc.

**Výbor recenzentů:**

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.  
doc. Ing. Zdeněk Dostál, CSc.  
prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.  
doc. Ing. Dušan Kudelaš, Ph.D.  
doc. Ing. Vítězslav Novák, Ph.D.  
doc. Ing. Peter Tauš, Ph.D.  
doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.  
prof. RNDr. Petr Vanýsek, CSc.

**ISBN 978-80-02-02786-7**

Druh:	Neperiodická účelová publikace
Název:	39. Nekonvenční zdroje elektrické energie
Internet:	<a href="http://www.nzee.cz">http://www.nzee.cz</a>
Místo konání:	Hustopeče
Vydavatel:	Česká elektrotechnická společnost
Zodpovědný redaktor:	Ing. Ladislav Chladil, Ph.D. doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
ISBN:	978-80-02-02786-7
Stran:	153
Výtisků:	70
Formát:	A4 (vazba brožovaná)
Tisk a sazba:	Tribun EU s.r.o.
Měsíc a rok vydání:	květen 2018
Vydání:	první

*vydáno s CD-ROM jako součást knižní publikace*

# **39. NEKONVENČNÍ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE**

Tato publikace obsahuje zkrácená znění původních sdělení a některých referátů přednesených na mezinárodní konferenci 39. Nekonvenční zdroje elektrické energie uspořádané v Hustopečích ve dnech 9. – 11. května 2018 Českou elektrotechnickou společností (UOS pro chemické zdroje elektrické energie) a Fakultou elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně.

Matrice pro tisk byly pořizovány přímo z originálů dodaných autory. Z tohoto důvodu vydavatel neodpovídá za jazykovou ani věcnou správnost uveřejněných textů.

ČESKÁ ELEKTROTECHNICKÁ SPOLEČNOST PRAHA

PAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

# 39. NEKONVENČNÍ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE

HUSTOPEČE 2018



[www.nzee.cz](http://www.nzee.cz)