Technická univerzita v Košiciach

Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií

Ústav zemských zdrojov

Oddelenie obnoviteľných zdrojov energie

ZBORNÍK MEDZINÁRODNEJ VEDECKEJ KONFERENCIE RESpect 2018

Kolektív autorov

X. ročník
4. – 6. apríl 2018

v rekreačnom zariadení
Poráč Park, Relax & Sport centrum Poráčska dolina

Editor: Ing. Martin Beer, PhD., Ing. Michal Kaľavský
Vydavateľ: Technická univerzita v Košiciach
ISBN: 978-80-553-2975-8

Zborník bol recenzovaný odbornými recenzentmi

Dr. h. c. prof. Ing. Pavol Rybár PhD.
doc. Ing. Tomáš Brestovič, PhD.

Konferencia sa konala pod záštitou

predsedu Košického samosprávneho kraja **Ing. Rastislava Trnku**

a

dekana Fakulty BERG ***prof. Ing. Michala Cehlára, PhD.***

Cieľom konferencie je poskytnúť priestor na diskusiu o obnoviteľných zdrojoch energie z pohľadu ich potenciálu, využiteľnosti, ekonomiky a dopadu na životné prostredie v sekciách:

Biomasa, solárna, veterná, vodná a geotermálna energia
Podpora výskumu v oblasti obnoviteľných zdrojov energie
Transfér technológií a vedomostí
Aktuálne trendy v podnikaní, ekonomike
Energetický manažment
Smart Buildings a OZE

VEDECKÝ VÝBOR KONFERENCIE

prof. Ing. Michal CEHLÁR, PhD., prof. Ing. Adriana CSIKÓSOVÁ, CSc.,
prof. Ing. Jozef JANDAČKA, PhD., doc. Ing. Petr BAČA, PhD.,
doc. Ing. Zdeněk DOSTÁL, PhD., doc. Ing. Dušan KUDELAS, PhD.,
doc. Ing. Štefan KUZEVIČ, PhD., doc. Ing. Radim RYBÁR, PhD.,
doc. Ing. Peter Tauš, PhD., doc. Ing. Jiří VANĚK, PhD., Ing. Pavel Šimon, CSc.

ORGANIZAČNÝ VÝBOR KONFERENCIE

doc. Ing. Peter Tauš, PhD.
Ing. Marcela Taušová, PhD.
Ing. Ján Koščo, PhD.
Ing. Martin Beer, PhD.

CIELE A OBSAHOVÁ NÁPLŇ KONFERENCIE

V poslednom období zaznamenávame nielen zvýšený záujem o obnoviteľné zdroje energie a možnosti znižovania energetických nákladov, ale aj obrovský pokrok v technológiách zabezpečujúcich výrobu energie na báze obnoviteľných zdrojov, či podieľajúcich sa na úspore

energie. Cieľom tejto periodickej konferencie je poskytnutie priestoru na výmenu skúseností a prezentáciu teoretických, vedeckých, technologických a priemyselných výsledkov v oblasti racionálnej výroby, prenosu a spotreby energie kladúc dôraz na obnoviteľné zdroje energie.

ROKOVACÍ JAZYK

slovenský, český, anglický

Kontakt

Prípravný výbor konferencie RESpect
e-mail: peter.taus@tuke.sk
e-mail: marcela.tausova@tuke.sk
e-mail: jan.kosco@tuke.sk
e-mail: martin.beer@tuke.sk
TU Košice, F BERG, ÚPaM
Park Komenského 19, 042 00 Košice, Slovenská Republika
tel: +421 55 602 2385
fax: +421 55 602 5195
web 1: ooze.fberg.tuke.sk
web 2: respectke.sk

PARTNERI KONFERENCIE

OBSAH

Možnosti pozorování vzorků elektrod pomocí AFM mikroskopu.....1
Petr Bača, Jana Zimáková, Sebastian Vaculík

Meranie okrajových podmienok pre numerické riešenie teplotných polí metalhydridového zásobníka.....5
Tomáš Brestovič, Natália Jasminská, Marián Lázár, Romana Dobáková

Zeolit ako nosná substancia pri tepelných adsorpčných čerpadlách.....11
Mária Drevková, Ľubomíra Gabániová

Vplyv vlhkosti palivového dreva listnatých drevín na spotrebu pre vykurovanie rodinného domu.....19
Ladislav Dzurenda

Možnosti využitia tepelných čerpadiel na Slovensku na základe zhodnotenia kvality a kvantity podzemných vôd.....25
Ľubomíra Gabániová

Spaľovanie alternatívnych palív v malých zdrojoch tepla.....33
Michal Holubčík, Jozef Jandačka, Nikola Kantová, Dominika Gumanová

Možnost optimalizaci instalace FV elektrárny pomocí simulace.....37
Kristýna Jandová, Marcel Janda

Chladič metalhydridových zásobníkov na princípe Peltierových článkov.....41
Natália Jasminská, Tomáš Brestovič, Marián Lázár, Romana Dobáková

Využitie heterogénnej štruktúry PCM/MF pre akumuláciu tepelnej energie v oblasti OZE.....50
Michal Kaľavský, Radim Rybár, Martin Beer

Zachytávanie tuhých znečisťujúcich látok šikmými prepážkami v lokálnom zdroji tepla.....62
Nikola Kantová, Michal Holubčík, Jozef Jandačka, Alexander Čaja

Design of the PV system according to the PV panel field.....80
Libor Ladányi, Zdeněk Dostál

Vysokoteplotné tavenie katalyzátora s Cu promótorom.....87
Marián Lázár, Mária Čarnogurská, Romana Dobáková, Peter Kurilla

Akumulátory s vyšší požární bezpečností.....93
Josef Máca, Jiří Libich, Marie Sedlaříková, Jiří Vondrák

Spätné získavanie tepla – čistá energia.....97
Milan Malcho, Stanislav Gavlas, Jan Siažik

Kompetencie obcí v odpadovom hospodárstve..... 105
Eva Mihaliková, Katarína Čulková, Marcela Taušová

Chladenie elektrotechnických prvkov kapilárnou slučkovou tepelnou trubicou..... 111
Patrik Nemec, Milan Malcho

Fotoimpedanční měření solárních článků.....119
Vítězslav Novák, Petr Vanýsek, Tomáš Dvořák

Materials of solar cells and trends of their development..... 124
Mária Pálušová

Priemyselno-právna ochrana inovácií..... 131
Zuzana Samčíková

Energetické využití tepelně rozložené biomasy technologií RTD 500..... 137
Eva Samcová

Model tvorby hydrátov zemného plynu v laboratórnych podmienkach..... 140
Ján Siažik, Milan Malcho, Stanislav Gavlas

How to create synergy between electromobility, grid operators and RES..... 146
Pavel Šimon, Peter Tauš

Vliv výskytu průmyslové zóny v blízkosti fotovoltaického systému..... 155
Jiří Vaněk, Martin Šturm

Thermal safety of lithium ion batteries.....159
Petr Vyroubal, Tomáš Kazda

VYUŽITIE HETEROGÉNNEJ ŠTRUKTÚRY PCM/MF PRE AKUMULÁCIU TEPELNEJ ENERGIE V OBLASTI OZE

Michal Kaľavský[1)], Radim Rybár[1)], Martin Beer[1)]

[1)] Ing. Michal Kaľavský, doc. Ing. Radim Rybár, PhD., Ing. Martin Beer, PhD., Ústav zemských zdrojov, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Technická univerzita v Košiciach
Letná 9, blok A, 2. posch., 042 00 Košice, Slovensko, mail: michal.kalavsky.2@tuke.sk, radim.rybar@tuke.sk, martin.beer@tuke.sk.

Abstrakt: *Príspevok sa zaoberá štúdiom a využitím akumulácie tepelnej energie cestou fázovej premeny s ohľadom na využiteľnosť v oblasti obnoviteľných zdrojov energie. Predložená analýza vlastností a rozdelenia materiálov s fázovou zmenou (PCM z aj. Phase change materials) bola vykonaná na základe štúdií iných autorov. Prehľad súčasného stavu v oblasti spojenia kovových pien a PCM poukazuje na možnosti riešenia nízkej tepelnej vodivosti PCM použitím kovových pien. Autormi navrhnutá koncepcia akumulačného prvku využíva jedinečnú kombináciu octanu sodného a kovovej peny, ktorá do istej miery eliminuje nízku tepelnú vodivosť PCM. Predložené výsledky experimentu sa zameriavajú na časť overenie možnosti dosiahnutia efektu podchladenia v navrhnutej heterogénnej štruktúre. Výsledky poukazujú na opodstatnenosť koncepcie, kde je na základe efektu podchladenia možnosť uložiť tepelnú energiu do heterogénnej štruktúry po dobu určitého času a bez strát na latentnom teple.*

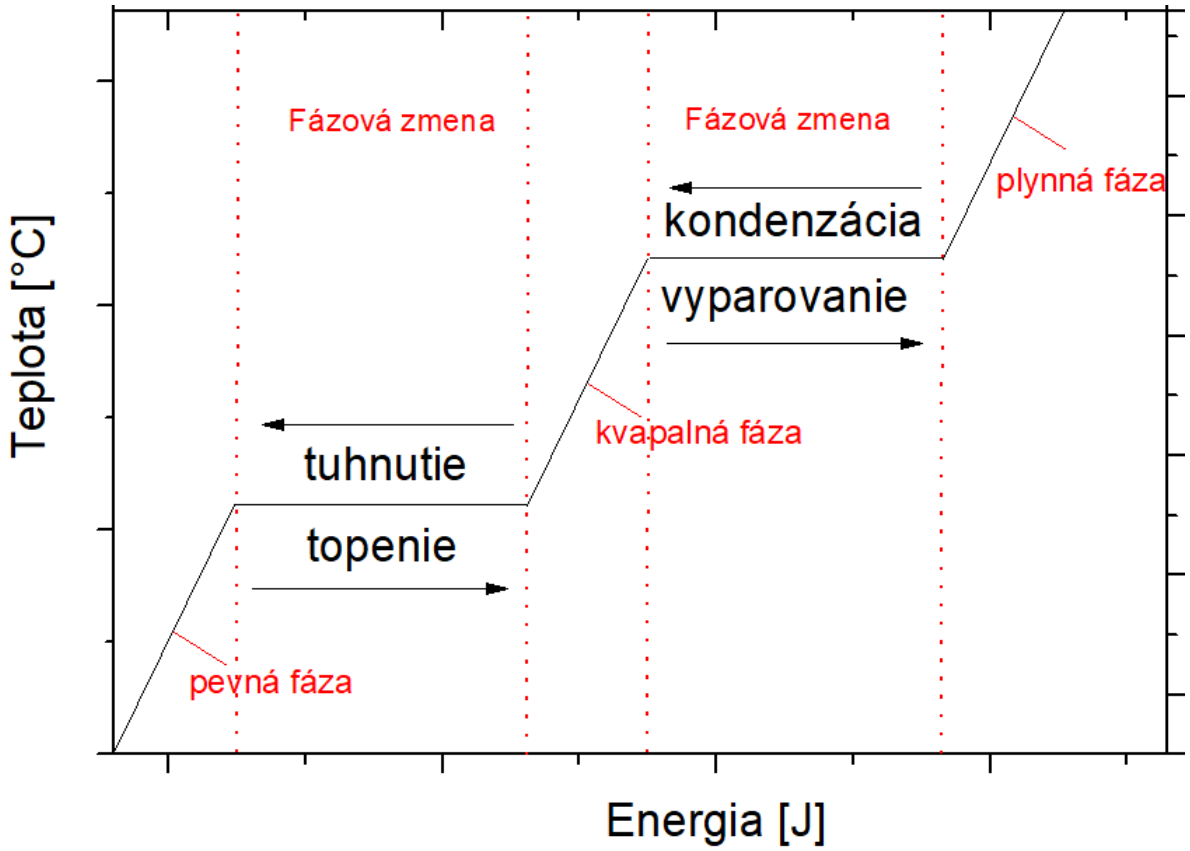
Kľúčové slová: *Materiály s fázovou premenou (PCM), akumulácia tepla, akumulačný prvok, kovová pena (MF), efekt podchladenia*

Abstract: *The paper deals with the study and utilization of thermal energy accumulation by means of phase conversion with regard to usability in the area of renewable energy sources. The presented analysis of properties and distribution of phase change materials (PCM) was performed on the basis of studies by other authors. An overview of the current state of PCM and metal foams connectivity points to the possibilities of solving the low thermal conductivity of PCM using metal foams. The author's proposed concept of the storage element uses a unique combination of sodium acetate and metallic foam, which to some extent eliminates the low thermal conductivity of PCM. The presented results of the experiment are focused on verifying the possibility of achieving the supercooling effect in the proposed heterogeneous structure. The results point to the justification of the concept where, based on the supercooling effect, the thermal energy can be stored in a heterogeneous structure for a certain period of time without loss of latent heat.*

Key words: *Phase Transform, Heat Accumulation, Accumulator, Metal Foam, Supercooling effect*

1 ÚVOD

V dnešnej dobe sa stále viac dostáva do popredia riešenie problematiky prerušovanej, nestabilnej dodávky tepelnej energie v mnohých aplikáciách, ako sú napríklad koncentrovaná solárna energia, energeticky pasívne budovy, alebo využívanie odpadového tepla [1-3]. Ako efektívny prístup k riešeniu tejto problematiky sa ukazuje využitie latentného tepla ako úložiska tepelnej energie LHTES (z anglického latent heat thermal energy storage) s materiálmi s fázovou zmenou PCM (z anglického phase change materials). V porovnaní so skladovaním citeľného tepla, kde sa využíva tepelná kapacita látok v danom rozsahu, akumulované množstvo tepla závisí priamo úmerne na rozdieloch medzi počiatočnou a konečnou teplotou zásobníka, hustota akumulácie sa pohybuje medzi 100 až 300 MJ/m^3. má LTHES kde sa využíva skupenské (latentné) teplo topenia – tuhnutia a tepelnej kapacity látky (citeľné teplo látky v pevnom a kvapalnom skupenstve), hustota akumulácie sa pohybuje medzi 200 až 500 MJ/m^3 niekoľko výhod: vysoká tepelná kapacita, chemická stabilita, vhodná teplota fázovej zmeny a taktiež rozumná cena [4]. PCM sú látky s teplotou tavenia a tuhnutia pri určitých teplotách, sú schopné uchovávať, alebo uvoľňovať veľké množstvo latentného tepla. V porovnaní so skladovaním citlivého tepla, PCM umožňujú skladovanie veľkého množstva tepelnej energie v relatívne malom objeme, čo znižuje náklady na pamäťové médiá akýchkoľvek skladovacích konceptov [5]. Podľa [6] sú popísané zmeny skupenstva média (obr.1) (pevná látka – kvapalina, kvapalina – plyn), ktorá je sprevádzaná uvoľňovaním skupenského tepla, nazývaného latentné teplo (skryté – pri zmene skupenstva nepozorujeme výraznú zmenu teploty látky). Uvádza sa, že zmena skupenstva z kvapaliny na plyn (vyparovanie – vyzrážanie) nie je prakticky vhodná pre akumuláciu energie vzhľadom k veľkým zmenám objemu akumulačnej látky a s tým spojeným veľkým nárastom tlaku. Pre akumuláciu tepelnej energie v bežných aplikáciách je teda využiteľná zmena skupenstva medzi pevnou látkou a kvapalinou (topenie – tuhnutie). Akumulácia skupenského tepla topenia je jedným s najefektívnejších spôsobov ukladania tepelnej energie. Je však známe, že niektoré PCM sú charakterizované nízkou tepelnou vodivosťou čo v istej miere bráni väčšiemu použitiu týchto materiálov v praxi [7].



Obr. 1 Diagram fázovej premeny PCM (autor)

Tento nedostatok rieši MF (z anglického metal foam) je to špecifický progresívny materiál s potenciálom stať sa súčasťou mnohých technologických riešení v rozličných oblastiach uplatnenia. Jej charakteristickou črtou je bunková štruktúra pozostávajúca z prázdnych v priestorov základnom kovovom materiály. Kovové peny s otvorenou bunkovou štruktúrou, kde sú póry vzájomne poprepájane v celom objeme MF tvoria špecifický vonkajší povrch. Pomer špecifického vonkajšieho povrchu na jednotku objemu je najvýznamnejšou vlastnosťou MF v oblasti využitia týchto materiálov v energetike. Vysoká hodnota špecifického povrchu je priamo úmerná schopnosti vedenia tepla z kovovej peny podľa [8-10] tieto vlastnosti zlepšujú pomer prenosu tepla z MF do objemu pracovnej látky. Autori v [8,9,11-13] uvádzajú potenciál tohto materiálu zvýšiť výkon výmeny tepla a možnosť vytvoriť kompaktné výmenníky tepla. V nedávnej minulosti sa začali skúmať kovové peny ako účinný materiál na zvýšenie tepelnej vodivosti v spojení so štruktúrou PCM [14-16].

Pri návrhu koncepcie akumulačného prvku na báze MF/PCM je potrebné poznať základne charakteristiky oboch štruktúr, ktoré majú vplyv na jeho konštrukciu a využitie.

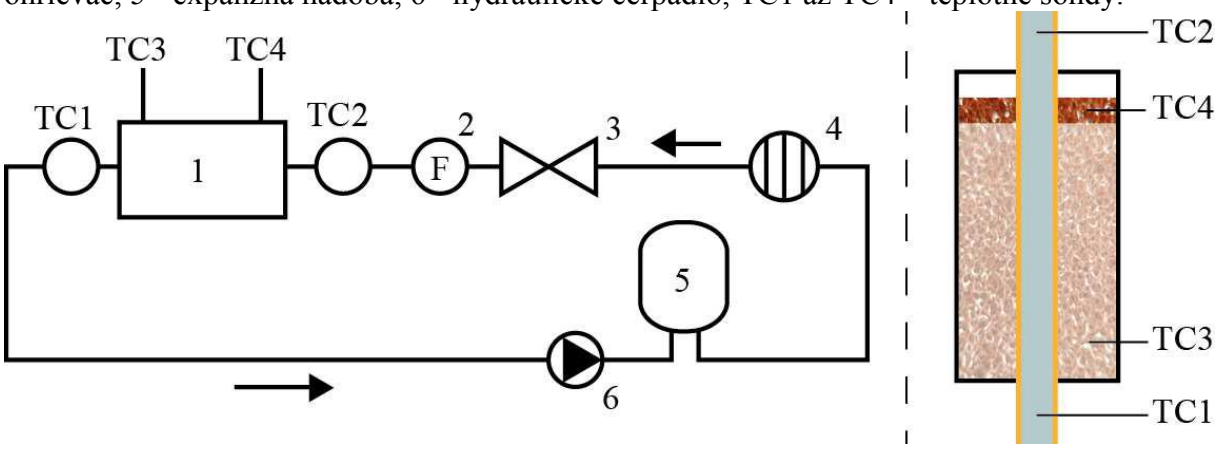
2 METODIKA

Návrh koncepcie akumulačného prvku má byť využiteľný v oblasti obnoviteľných zdrojov energie. Predmetom analýzy boli v súčasnosti publikované štúdie týkajúce sa PCM v kontexte ich zaradenia do oblasti použitia v OZE s dôrazom na teplotu fázovej zmeny v rozmedzí od 40°C do 70°C z dôvodu možnosti použitia týchto PCM v aplikáciách využívajúcich odpadové teplo zo solárnych aplikácii. Pri skúmaní interpretačných zdrojov sa skúmali viaceré relevantné publikácie zaoberajúce sa rozdelením a analýzou PCM materiálov. Na základe spoločných znakov rozdelenia sme určili rozdelenie PCM materiálov a popísali

fyzikálne vlastnosti a možné obmedzenia pre ich využitie v oblasti akumulácie tepelnej energie v oblasti OZE.

Následne bola analýza zameraná na spojenie MF/PCM sú prezentované inými autormi už riešené štruktúry a zlepšovanie tepelno-vodivých vlastností PCM prostredníctvom MF. Celková analýza slúži ako základná báza pre návrh koncepcie akumulačného prvku pre oblasť OZE.

V časti návrh akumulačného prvku s heterogénnou štruktúrou PCM/MF je načrtnutý princíp funkcie a zloženie tejto akumulačného prvku a v tabuľke uvedené hlavné parametre akumulačného prvku s heterogénnou štruktúrou. Parametre prvku sú určené a vypočítane podľa predošlého skúmania [29]. Pre overenie funkčnosti akumulačného prvku bol vykonaný experiment. Prezentovaná časť experimentu bola zameraná na overenie možnosti vyvolania efektu podchladenia v heterogénnej štruktúre akumulačného prvku. Najprv sa akumulačný prvok nabíjal prostredníctvom regulovaného prietoku teplonosnej látky, následne po zmene pevnej fázy octanu sodného na kvapalnú, bol regulovane merateľne ochladzovaný, pri tomto procese sa sledovala teplota TC3 čiže teplota octanu sodného Výsledky sú prezentované teplotnou krivkou octanu sodného pri tomto procese. Prezentovaný experiment sa uskutočnil v Centre obnoviteľných zdrojov energie fakulty BERG na experimentálnom zariadení navrhnutom a vyrobenom autormi. Konštrukcia experimentálneho zariadenia bola založená na analýze vstupných podmienok na vyvolanie a riadenie nestacionárnych procesov z hľadiska zmeny teploty a fázovej zmeny PCM. Experimentálny prístroj umožnil dodávať konštantný tok tepla z média na prenos tepla, ktoré cirkuluje v hydraulickom okruhu, znázorneného na obrázku 2, kde: 1 – akumulačný prvok 2 - prietokomer, 3 - regulácia prietoku, 4 - prietokový ohrievač, 5 - expanzná nádoba, 6 - hydraulické čerpadlo, TC1 až TC4 – teplotné sondy.



Obr. 2 Diagram hydraulického okruhu (vľavo) a akumulačný prvok s vyznačeným umiestnením teplotných sond (vpravo)

Pokiaľ ide o overenie funkčnosti kombinácie štruktúry MF a PCM ako akumulačného prvku, bol ako PCM materiál použitý octan sodný, bolo potrebné merať jeho teplotu ale aj teplotu kovovej peny použitím teplotných sond, ktoré sú označené ako TC3 a TC4. Teplotné sondy označené ako TC1 a TC2 merali teplotu teplonosnej látky (vody) vo vnútri medeného potrubia ako je znázornené na obr. 2. Experimentálny prístroj bol doplnený o meracie prístroje, ktoré pozostávajú z termočlánkov KIMO TTKE-363 (typ K, v rozmedzí od -40 ° C do +400 ° C), systém na zber údajov KIMO AMI 300 s teplotným rozsahom od -100 ° C do +250 ° C s celkovou nepresnosťou ± 0,4%. Krok zaznamenávania údajov bol 10 s. Prietok média prenosu tepla bol monitorovaný pomocou analogického prietokomera s rozsahom 0,3 až 1,5 l / min.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vychádzajúc zo štúdií a klasifikácii autorov [17-19] s ohľadom na spoločné znaky rozdelenia, môžeme rozdeliť PCM na :

- **Organické PCM** :
  - o Parafíny
  - o Neparafínové PCM
- **Anorganické PCM**
  - o Hydratované soli
  - o Metalické kompozity

Organické PCM: Parafíny

Parafínové vosky pozostávajú väčšinou z alkánov s priamym reťazcom CH_3- (CH_2) - CH_3. Kryštalizačný reťazec (CH_3)- uvoľňuje veľké množstvo latentného tepla. Bod tavenia a množstvo latentného tepla vzrastá s dĺžkou reťazca. Parafín je vhodný ako tepelno-akumulačný materiál s využitím latentného tepla pre jeho dostupnosť vo veľkom rozsahu teplôt. Na akumuláciu tepla využiteľnú v oblasti OZE sa môžu využiť predovšetkým technické parafíny v určenom rozsahu fázovej premeny medzi 40 až 70 stupňami. Tieto PCM sa vyznačujú vlastnosťami ako sú:

- Bezpečnosť;
- Spoľahlivosť;
- Predvídateľnosť správania;
- Nekorozívnosť;
- Chemická odolnosť;
- Stabilita pod 500 °C;
- Nízky tlak pár;
- Malé zmeny objemu;
- Nízka tepelná vodivosť;
- Nekompatibilita s plastom;
- Latentné teplo v rozmedzí (170-256 kJ/kg).

Hlavnou obmedzujúcou vlastnosťou použitia parafínov ako akumulačných materiálov je ich nízka tepelná vodivosť, čo však môže byť riešené v štruktúre s penovým kovom MF.

Neparafínové PCM

Neparafínové organické zlúčeniny sú najpočetnejšie zastúpenou skupinou PCM s rôznorodými vlastnosťami. Každý z týchto PCM bude má osobité vlastnosti na rozdiel od parafínov, ktoré majú veľmi podobné vlastnosti. Patria sem estery, mastné kyseliny, alkoholy a glykoly. Tieto materiály sa vyznačujú horľavosťou a nesmú byť vystavené príliš vysokej teplote, plameňu alebo oxidačným činidlám. Nižšie sú uvedené vlastnosti vybraných neparafínových PCM s teplotou tavenia v rozmedzí 40-70°C. Napriek rôznorodým vlastnostiam neparafínových PCM, niektoré vlastnosti sú spoločné:

- Vysoká hodnota latentného tepla;
- Horľavosť;
- Nízka tepelná vodivosť;
- Nízke teploty vzplanutia;
- Rôzna úroveň toxicity;
- Nestabilita pri vysokých teplotách;

- Korozivita;
- Latentné teplo v rozmedzí (86-259 kJ/kg)

Hlavnou obmedzujúcou vlastnosťou použitia neparafínových PCM v štruktúre s penovým kovom je, to že spôsobujú koróziu.

Anorganické PCM: Hydráty solí

Hydráty soli možno považovať za zlúčeniny anorganických solí a vody vytvárajúci typickú kryštalickú štruktúru v pevnej fáze s všeobecným vzorcom $AB._nH_2O$. Zmena z pevnej fázy na kvapalnú pri hydrátoch soli je v skutočnosti dehydratácia a hydratácia soli, hoci tento proces pripomína termodynamické tavenie, alebo tuhnutie. Vlastnosti hydrátov soli sú:

- Vysoká hodnota latentného tepla na jednotku objemu;
- Vyššia tepelná vodivosť (porovnaní s parafínom);
- Malé zmeny objemu pri topení.
- Náchylnosť k podchladzovaniu

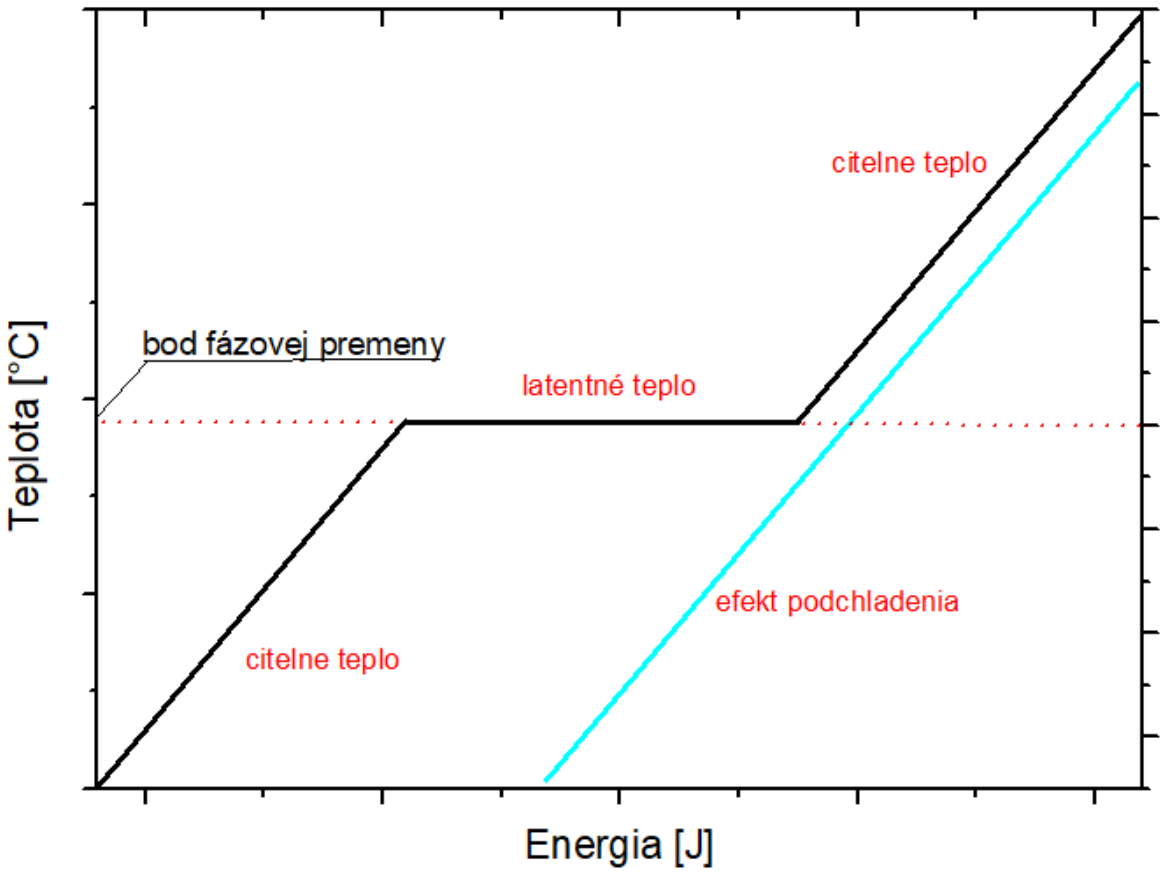
Pri teplote topenia sa kryštály hydrátu rozpadávajú na:

- nižší hydrát a vodu (1)
- anhydrát a vodu (2)

$$AB.nH_2O \rightarrow AB.mH_2O + (n-m)H_2O \quad (1)$$

$$AB.nH_2O \rightarrow AB + nH_2O \quad (2)$$

Jedným z problémov pri väčšine hydrátov soli je nekonzistentná zmena fázy, spôsobená tým, že množstvo uvoľnenej vody kryštalizácie nie je dostatočné na rozpustenie celej pevnej fázy. V dôsledku rozdielov v hustote sa nižší hydrát (anhydrát) usadí v spodnej časti nádoby. Väčšina hydrátov soli má zlé nukleačné schopnosti čo má za následok efekt podchladenia kvapaliny.



Obr. 3 Teplotná krivka PCM pri fázovej premene s efektom podchladenia (autor)

Pod pojmom podchladzovanie sa rozumie podľa [6] znížená schopnosť látky stuhnúť pri znížení teploty pod bod tuhnutia (obr.3). Látka pri ochladení hlboko pod teplotu, pri ktorej má samovoľne začať kryštalizovať, zostáva v kvapalnom skupenstve a teplo, ktoré by vzniklo pri premene skupenstva, tak zostáva nevyužité . Tento jav nie je žiaduci v uskladňovaní skupenského tepla, pretože rozširuje rozsah operačnej teploty v systéme. Najbežnejší spôsob ako sa zbaviť podchladenia je podľa [20] pridanie nukleačného jadra do PCM a vytvoriť tak priestor pre heterogénnu nukleáciu. Táto na prvý pohľad obmedzujúca schopnosť by sa využiť pri návrhu sezónneho akumulátora tepla, zloženého z menších akumulačných buniek, z ktorých by bolo teplo postupne, riadene uvoľňované. Spustenie nukleácie zabezpečí uvoľnenie uloženého tepla, pri takýchto látkach existuje množstvo mechanizmov, ktoré sú schopné vyvolať proces nukleácie. Príkladom je spustenie nukleácie mechanickým, elektrickým vzruchom, alebo spôsobom vloženia kryštálu použitej látky do tekutej podchladenej zmesi. Tým dôjde k nukelácii a uvoľneniu latentného tepla.

Anorganické PCM: Metalické kompozity

Do tejto kategórie patria kovy s nízkou teplotou topenia. Tieto kovy sa nepovažujú vo veľkej miere za technológiu PCM kvôli závažným nevýhodám. Avšak, ak uvažujeme nad objemom, sú tieto PCM pomerne vhodným kandidátom, kvôli vysokej hodnote latentného tepla na jednotku objemu. Majú vysokú tepelnú vodivosť. Použitie metalickych kompozitov pre akumuláciu tepelnej energie predstavuje podľa [21] veľký počet nezvyčajných technických problémov. Latentné teplo metalických kompozitov sa pohybuje v rozmedzí 29-90,9 (kJ/kg)

PCM v spojení s MF

Autori [23,24], ktorí prezentovali použitie kovovej peny v tepelných výmenníkoch, uvádzajú skutočnosť, že kovová pena výrazne zvyšuje koeficient prestupu tepla a účinnosti prenosu tepla v zariadeniach. V [23] autori uvádzajú výsledky výskumu použitia kovovej peny v tepelných výmenníkoch, kde sa prezentuje skutočnosť, že kovová pena výrazne zvyšuje koeficient prestupu tepla a účinnosti prenosu tepla v technických prvkoch s tepelno-výmennou funkciou.

Základným problémom pri využití PCM materiálov na akumuláciu tepelnej energie je ich nízka tepelná vodivosť čo spôsobuje pomerne dlhý čas fázovej zmeny, pri ktorej sa akumuluje latentné teplo. Urýchlenie procesu fázovej zmeny sa môže podľa [25,26]:

- Vložením nepohyblivej kovovej matrice (peny) do PCM, vytvorením štruktúry PCM/MF

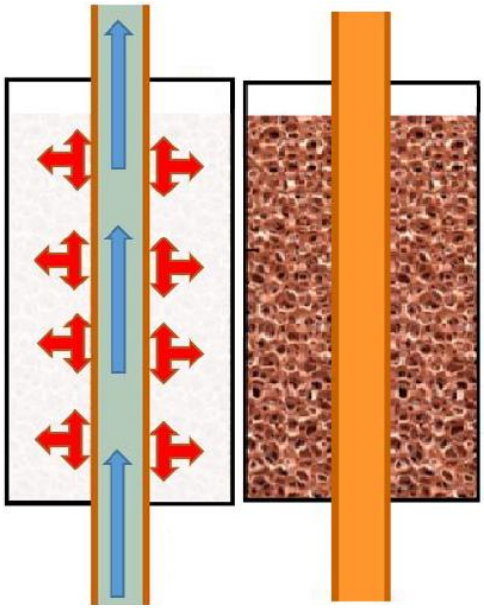
Pridanie kovových pien (kovovej matrice) do PCM predstavuje podľa [27] vhodné riešenie, štrukturálnu ovládateľnosť a dostatočné zvýšenie tepelnej. Problematika zlepšenia distribúcie tepla do PCM bola prezentovaná v [28], kde autori experimentálne testovali zlepšenie prenosu tepla do (PCM materiálu), ktorým bol parafín, pričom využili otvorenú bunkovú štruktúru MF. Pridaním kovovej peny do parafínu vzrástla tepelná vodivosť vytvorenej štruktúry 16 – 18-krát v porovnaní s čistým parafínom.

Návrh koncepcie akumulačného prvku s heterogénnou štruktúrou PCM/MF

Heterogénna štruktúra je základom pre návrh akumulačného prvku. Prvok je navrhnutý tvaru dutého valca. Hlavné parametre prvku sú uvedené v tab.1. Základné časti štruktúry sú PCM a MF. Póry MF vypĺňa PCM. Z analýzy PCM vyplýva, že vhodné PCM materiály pre vytvorenie akumulačného prvku s heterogénnou štruktúru sú parafíny vyznačujúce sa obmedzujúcou vlastnosťou nízkou tepelnou vodivosťou. Ďalšou zaujímavou možnosťou je použiť hydráty solí, ktoré sa vyznačujú náchylnosťou na podchladzovanie. Táto vlastnosť je mnohými autormi označovaná ako nežiadúca [6,17,18,19], ale prináša možnosť uložiť tepelnú energiu v čase a tak vytvoriť systém na uloženie tepelnej energie dlhodobo bez tepelných strát na latentnom teple. Ostatné analyzované PCM nespĺňajú požiadavky na vytvorenie heterogénnej štruktúry s MF. Modré šípky (obr.4) znázorňujú smer prúdenia teplonosnej látky. Červené šípky znázorňujú smery odovzdávania tepla PCM látke prostredníctvom tepelného výmenníka tvoreného MF.

Tab. 1 Hlavné parametre navrhnutého akumulačného prvku (autor)

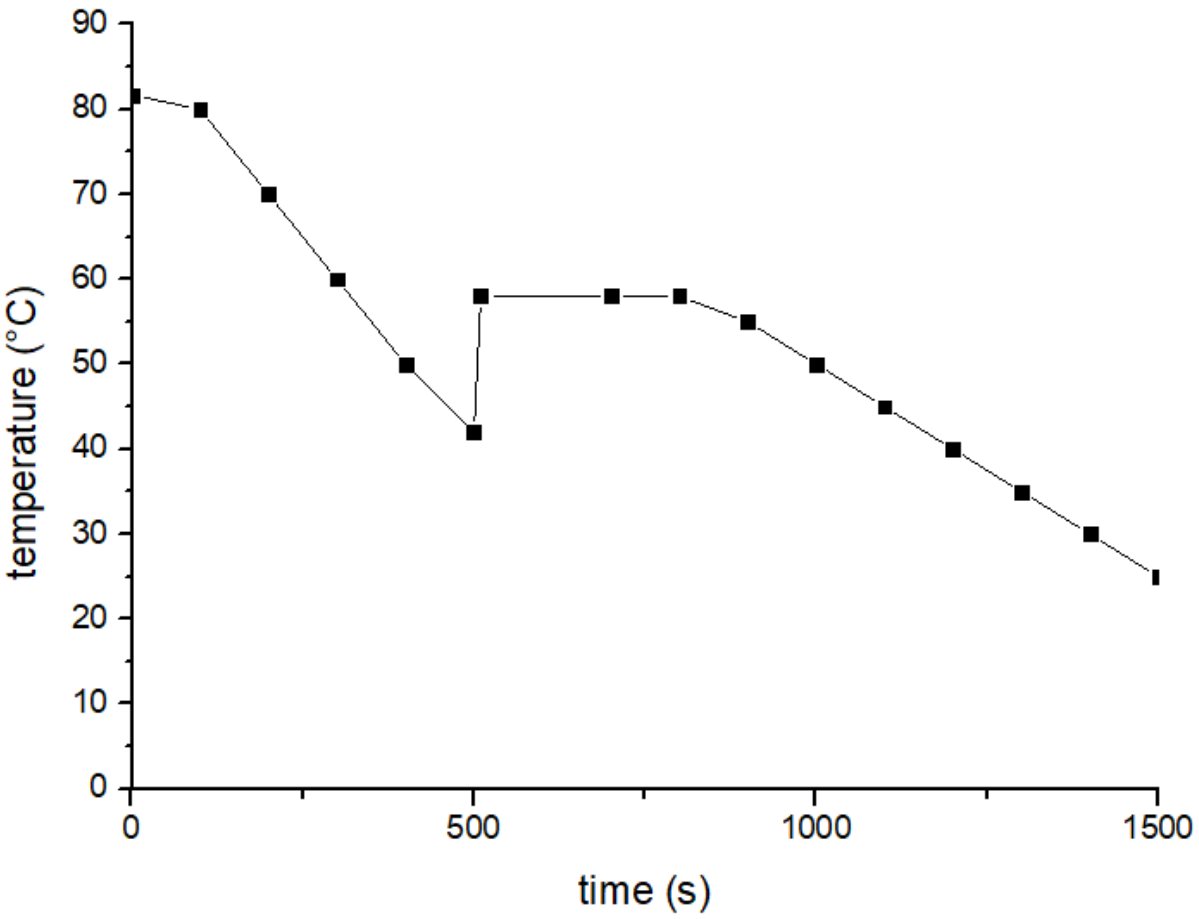
Parameter	Hodnota	Jednotka
Tvar akumulačnej jednotky	Dutý valec	/
Rozmery prvku	50(12)x103	mm
PCM materiál	Parafíny/Hydráty soli	/
Objem PCM	168,776	cm^3



Obr. 4 Prierez heterogénnej štruktúry akumulačného prvku (autor)

Experimentálne overenie

Pri experimente sme skúmali možnosť podchladenia akumulačného prvku. Pri teplote TC3 = 81,7 °C sme pristúpili k spusteniu akumulačného prvku. Podchladenie prebiehalo pri stálom prietoku m = 1,25 l/min. Na obr.5 je zobrazená teplotná krivka octanu sodného zo sondy TC3 pri podchladení. Odovzdanie citeľného tepla začalo pri teplote TC3 = 81,7 °C teplota v TC3 klesla na hodnotu TC3 = 42 °C, čo je o 16 °C nižšia ako je teplota tuhnutia trihydrátu octanu sodného. Na obr. 5 je jasný viditeľný začiatok spustenia nukleácie a vystúpenie teploty TC3 z hodnoty 42 °C na hodnotu 58 °C. Tu je istú dobu táto hodnota ustálená, čo reprezentuje odovzdávanie latentného tepla. Následný priebeh grafu reprezentuje odovzdávanie citeľného tepla.



Obr. 2 Teplotná krivka octanu sodného v procese podchladenia (autor)

4 ZÁVER

Rozdelenie a určenie charakteristík PCM materiálov, tvorí základnú bázu pre vytvorenie koncepcie heterogénnej štruktúry PCM/MF. Z teoretického rozboru MF vyplýva, že penová štruktúra dokáže značne eliminovať charakteristickú nízku tepelnú vodivosť PCM materiálov.

Návrh koncepcie heterogénnej štruktúry môže poslúžiť pri ďalšom experimentálnom skúmaní a vývoji akumulačného prvku s heterogénnou štruktúrou PCM/MF, ale aj pri iných špecifických aplikáciách MF alebo PCM materiálov. Výsledky prezentovaného experimentu ukazujú možnosť dosiahnutia efektu podchladenia v heterogénnej štruktúre kovovej peny a octanu sodného. Hlavným cieľom do budúcna je vývoj akumulačného prvku pre oblasť získavania zemských zdrojov.

Problematike výskumu MF sa FBERG venuje pozornosť už dlhšiu dobu, pričom sa dosiahli viaceré úspechy. Výsledky prispievajú k posunu poznania v oblasti vývoja akumulačného prvku do PCM s využitím priestorovej distribúcie tepla prostredníctvom matrice MF.

Poďakovanie

Poďakovanie 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.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

POUIŽITÁ LITERATÚRA

[1] Gil A, Medrano M, Martorell I, Lázaro A, Dolado P, Zalba B, et al. State of the arton high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1—Concepts, materials and modellization. Renew Sustain Energy Rev 2010;14:31–55.

[2]. Shon J, Kim H, Lee K. Improved heat storage rate for an automobile coolant waste heat recovery system using phase-change material in a fin-tube heat exchanger. Appl Energy 2014;113:680–9.

[3]. Zhou D, Zhao CY, Tian Y. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. Appl Energy 2012;92:593–605.

[4]. YANG, Jialin, lijun ZANG, Chao XU a Xiaoze DU. Experimental study on enhancement of thermal energy storage with phase-change material. Applied Energy. 2016, 2016(169), 164-176

[5]. Gil A, Medrano M, Martorell I, Lázaro A, Dolado P, Zalba B, et al. State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1 – concepts, materials and modellization. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010;14:31–55.

[6]. MATUŠKA, T.: Solární zařízení v příkladech. Praha : GRADA, 2012. 256 s. ISBN: 978-80-247-3525-2

[7]. LIU, Ming, Wasim SAMAN a Frank BRUNO. Review on storage materials and thermal performance enhancement techniques for high temperature phase change thermal storage systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012, 2012(16), 2118-2132. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.020

[8]. W. Lu, C. Zhao, S. Tassou, Thermal analysis on metal-foam filled heat exchangers. Part I:Metal-foam filled pipes, Int. J. Heat Mass Transfer 49 (15) (2006) 2751–2761

[9]. K. Nakaso, H. Mitani, J. Fukai, Convection heat transfer in a shell-and-tube heat exchanger using sheet fins for effective utilization of energy, Int. J. Heat Mass Transfer 82 (2015) 581–587.

[10]. C. Zhao, W. Lu, S. Tassou, Thermal analysis on metal-foam filled heat exchangers. Part II:Tube heat exchangers, Int. J. Heat Mass Transfer 49 (15) (2006) 2762–2770.

[11]. G.J. Davies, S. Zhen, Metallic foams – their production, properties and applications, J. Mater. Sci. 18 (7) (1983) 1899–1911.

[12]. T.J. Lu, H.A. Stone, M.F. Ashby, Heat transfer in open-cell metal foams, Acta Mater 46 (10) (1998) 3619–3635.

[13]. Xiao X, Zhang P, Li M. Preparation and thermal characterization of paraffin/metal foam composite phase change material. Appl Energy 2013;112:1357–66.

[14]. Jiang J, Zhu Y, Ma A, Yang D, Lu F, Chen J, et al. Preparation and performances of bulk porous Al foams impregnated with phase-change-materials for thermal storage. Prog Nat Sci Mater Int 2012;22:440–4.

[15]. Moeini SM, Khodadadi JM. Interface behavior and void formation during infiltration of liquids into porous structures. Int J Multiph Flow 2013;57:49–65.

[16]. Herrmann U, Kearney DW. Survey of thermal energy storage for parabolic trough power plants. Journal of Solar Energy Engineering 2002;124:145–52.

[17]. Zalba B, Marı´n JM, Cabeza LF, et al. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. Appl Thermal Eng 2003;23:251–83.
[18]. Zhou D, Zhao CY, Tian Y. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. Appl Energy 2012; 92:593–605
[19]. Sharma A.,Tyagi V., Chen C.R., Buddhi D., Review on thermal energy storage with phase change materials and applications: Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 318–345
[20]. MEHLING, H., CABEZA, L.,F., 2008. Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications. Berlin : Springer, 2008, ISBN 978-3-540- 68556-2
[21]. Herrick S. A rolling cylinder latent heat storage device for solar heating/ cooling. ASHRAE Tans 1979;85:512–5
[22]. George A. Hand book of thermal design. In: Guyer C, editor. Phase change thermal storage materials. McGraw Hill Book Co.; 1989 [chapter 1]
[23]. BOOMSMA, K. – POULIKAKOS, D. – ZWICK, F.: Metal foams as compact high performance heat exchangers. http://www.ergaerospace.com/, 2003. Dostupné na webovskej stránke (world wide web): http://www.ergaerospace.com/foamproperties/recommendedliterature/tech_hx.pdf
[24]. CHUMPIA, A. – HOOMAN, K.: Performance evaluation of tubular aluminum foam heat exchangers in single row arrays. http://www.sciencedirect.com/, 2015, Dostupné na webovskej stránke (world wide web): http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431115002306
[25]. D. Zhou, C.Y. Zhao, Y. Tian, Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications, Appl. Energy 92 (2012) 593–605.
[26]. V. Kumaresan, P. Chandrasekaran, M. Nanda, A.K. Maini, R. Velraj, Role of PCM based nanofluids for energy efficient cool thermal storage system, Int. J. Refrig. 36 (6) (2013) 1641–1647
[27]. L. Fan, J. Khodadadi, Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermal energy storage: a review, Renew. Sustainable Energy Rev. 15 (1) (2011) 24–46.
[28]. HIMANSHU, P.: Thermal Energy Storage in Copper Foams filled with Paraffin Wax Toronto : Mechanical & Industrial Engineering University of Toronto, 2011. 120 s
[29]. M. KAĽAVSÝ, R. RYBÁR, M. BEER, Analýza geometrických charakteristík kovovej peny pre vývoj akumulačného prvku na báze PCM - 2017. In: ALER 2017. - Liptovský Mikuláš : SES, 2017 S. 60-68. - ISBN 978-80-89456-30-7