INŠTITÚT AURELA STODOLU V LIPTOVSKOM MIKULÁŠI
Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity v Žiline

SLOVENSKÁ ELEKTROTECHNICKÁ SPOLOČNOSŤ
člen ZVÄZU SLOVENSKÝCH VEDECKO TECHNICKÝCH SPOLOČNOSTÍ
pobočka v Liptovskom Mikuláši

13. ročník

Vedecko-odbornej
KONFERENCIE
s medzinárodnou účasťou

A L E R

ALTERNATÍVNE ZDROJE ENERGIE

ALTERNATIVE ENERGY RESOURCES

ALER 2017

Bobrovec 4. – 6. októbra 2017

Bobrovec 4. – 6. October 2017

Príspevky neprešli jazykovou korektúrou. Formálna úprava príspevkov mohla byť zmenená z dôvodu úpravy štýlu zborníka.

Príspevky boli pripomienkované recenzentmi.

ISBN 978-80-89456-30-7

© Slovenská elektrotechnická spoločnosť, pobočka v Liptovskom Mikuláši a Inštitút Aurela Stodolu v Liptovskom Mikuláši, Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, 2015.

www.ses.vus.sk; www.lm.uniza.sk

Zameranie konferencie

Cieľom konferencie je vytvoriť fórum vedcov, odborníkov a pedagógov pre prezentáciu výsledkov v oblasti metód, trendov a technológií alternatívnych zdrojov energie.

Podpora konferencie

Organizácia konferencie ALER 2017 je podporovaná
grantami APVV-15-0152 a VEGA 2/0076/15

Garant

Dekan Elektrotechnickej fakulty prof. Ing. Pavol ŠPÁNIK, PhD. - *ŽU v Žiline, SK*

Programový výbor

prof. Ing. Branislav DOBRUCKÝ, CSc. - *ŽU Žilina, SK*
prof. Ing. Jaroslav ČECHÁK, CSc. – *UNOB Brno, CZ*
prof. RNDr. Pavol ŠAJGALÍK, DrSc. – *SAV Bratislava, SK*
prof. RNDr. Jarmila MÜLLEROVÁ, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
prof. Ing. Jozef JANDAČKA, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
prof. RNDr. Milan MALCHO, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
doc. Ing. Radim RYBÁR, PhD. – *TU Košice, SK*
doc. Ing. Petr BAČA, PhD. – *VUT Brno, CZ*
doc. Ing. Jiří VANĚK, PhD. – *VUT Brno, CZ*
doc. Ing. Zoltán LENČÉŠ, PhD. – *SAV Bratislava, SK*
doc. Ing. Miroslav HNATKO, PhD. – *SAV Bratislava, SK*
doc. Ing. Peter TAUŠ, PhD. – *TU Košice, SK*
doc. Ing. Dušan KUDELAS, PhD. – *TU Košice, SK*
doc. Ing. Zdeněk DOSTÁL, CSc. - *ŽU IAS Liptovský Mikuláš, SK*
doc. Ing. Bohuslav LAKOTA, PhD. – *AOS Liptovský Mikuláš, SK*
doc. RNDr. Stanislav JUREČKA, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš, SK*
Ing. Miroslav ĎULÍK, PhD. – *AOS Liptovský Mikuláš, SK*
Ing. Libor LADÁNYI, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš, SK*
Ing. Ľubomír SCHOLTZ, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš, SK*
Ing. Gabriel CIBIRA, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš, SK*
Ing. Michaela SOLANSKÁ, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš, SK*
Ing. Radovan NOSEK, PhD. - *ŽU, Žilina, SK*
Ing. Martin VANTÚCH, PhD. - *ŽU, Žilina, SK*
Ing. Michal HOLUBČÍK, PhD. - *ŽU, Žilina, SK*
Ing. Mikuláš ŠOSTRONEK, PhD. – *AOS Liptovský Mikuláš, SK*

Organizačný výbor

doc. Ing. Zdeněk DOSTÁL, CSc. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš*
Ing. Libor LADÁNYI, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš*
Ing. Ľubomír SCHOLTZ, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš*
Ing. Gabriel CIBIRA, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš*
Ing. Michaela SOLANSKÁ, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš*
Ing. Emil VIDO - *SES Liptovský Mikuláš*

Rada recenzentov

prof. Ing. Jaroslav ČECHÁK, CSc. – *URC-system s.r.o., CZ*
prof. Ing. Adriana CSIKÓSOVÁ, PhD. – *TU Košice, SK*
prof. RNDr. Jarmila MÜLLEROVÁ, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
prof. Ing. Jozef JANDAČKA, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
prof. RNDr. Milan MALCHO, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
doc. Ing. Zoltán LENČÉŠ, PhD. – *SAV Bratislava, SK*
doc. Ing. Miroslav HNATKO, PhD. – *SAV Bratislava, SK*
doc. Ing. Radim RYBÁR, PhD. – *TU Košice, SK*
doc. Ing. Peter TAUŠ, PhD. – *TU Košice, SK*
doc. Ing. Petr BAČA, PhD. – *VUT Brno, CZ*
doc. Ing. Jiří VANĚK, PhD. – *VUT Brno, CZ*
doc. Ing. Zdeněk DOSTÁL, CSc. - *ŽU Žilina, SK*
doc. Ing. Dušan KUDELAS, PhD. – *TU Košice, SK*
doc. Ing. Bohuslav LAKOTA, CSc. – *AOS Liptovský Mikuláš, SK*
doc. RNDr. Stanislav JUREČKA, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
Ing. Ján KOŠČO, PhD. – *TU Košice, SK*
Ing. Miroslav ĎULÍK, PhD. – *AOS Liptovský Mikuláš, SK*
Ing. Peter BRACINÍK, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
Ing. Pavel ŠIMON, CSc. – *Pavel ŠIMON s.r.o., SK*
Ing. Libor LADÁNYI, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
Ing. Marcela TAUŠOVÁ, PhD. - *TU Košice, SK*
Ing. Jana HORODNÍKOVÁ, PhD. - *TU Košice, SK*
Ing. Mária PÁLUŠOVÁ, PhD. - *ŽU Žilina, SK*
Ing. Ľubomír SCHOLTZ, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš*
Ing. Gabriel CIBIRA, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš*
Ing. Michaela SOLANSKÁ, PhD. - *ŽU, IAS Liptovský Mikuláš*
Ing. Radovan NOSEK, PhD. - *ŽU, Žilina, SK*
Ing. Martin VANTÚCH, PhD. - *ŽU, Žilina, SK*
Ing. Michal HOLUBČÍK, PhD. - *ŽU, Žilina, SK*
Ing. Ján ŽUPA – *GoldenSUN Slovakia, s.r.o. Liptovský Mikuláš, SK*
Ing. Ján TKÁČ, CSc. – *TU Košice, SK*

Príhovor

Vedci a odborníci všetkých krajín, ktorí sa zaoberajú problematikou klímy varujú a bijú na poplach. Vysokohorské ľadovce v Alpách a v iných kútoch sveta ustupujú. Žiaľ to nie je zanedbateľný ústup, merania ukazujú metre a desiatky metrov za rok. Ľadovce v Arktíde a v pobrežných vodách Antarktídy sa lámu a zmenšujú ľadové polia večne zmrznutého ľadu alebo pôdy. V severnom ľadovom oceáne sa otvárajú celoročne splavné koridory, čo počas minulých storočí nebývalo. Zemská klíma sa otepľuje, čo spôsobuje aj ďalšie meteorologické javy, ako sú tornáda, sucha, záplavy a ďalšie extrémy. Na príčine je v hlavnej miere vplyvy činnosti človeka. Produkcia kysličníku uhoľnatého, prípadne metánu, ovplyvňujú všetky vrstvy zemskej atmosféry. Ľudská populácia sa prejavuje v dvoch rovinách. Po prvé pribúda počet ľudí na planéte, teda každá činnosť je zosilňovaná rastúcim počtom ľudí. A po druhé rastie ekonomická nerovnováha medzi bohatými a superbohatými a masou radových a chudobných ľudí. Sila peňazí spôsobuje deformáciu a otáčanie hodnotových rebríčkov, čo je v konečnom dôsledku cesta do záhuby. Okrem hodnotových rebríčkov sa potláča inteligenčná úroveň a schopnosti na úkor moci peňazí, v takomto množstve získaných prevažne nelegálnym alebo pololegálnym spôsobom. A arogancia byrokracie a moci dokoná zvyšok.

Cez všetky komplikácie a názorové prúdy, OZE sú jednoznačne energetické zdroje budúcnosti. Nie je to nič nové. Tieto zdroje sa postupne vyvíjali už veľa storočí, pokiaľ ich nezatienili fosílne zdroje. Dôvody sú jednoznačne spoločenského charakteru. V dnešnej dobe sa OZE dostávajú opäť do popredia, avšak využívajú modernejších technológií. Nežiaduce vplyvy používania fosílnych palív sú už zrejmé každému, žiaľ niektorí skeptici toto nechcú pripustiť, čo môže mať fatálne dopady najmä pre človeka. Klimatická rovnováha je krehká a je stále viac človekom narušovaná, nuž a príroda sa bráni. Sme svedkami hurikánov, povodní, extrémnych teplôt alebo zím, výkyvov počasia v zime aj v lete, čo ešte pred polstoročím nebývalo.

Rozvoj OZE, ako postupná náhrada fosílnych palív, musí byť riešený systémovo. Nakoľko toto na Slovensku zatiaľ nie je, vznikajú rôzne pochybné aktivity na zdražovanie energií konečným odberateľom pod rôznymi zámienkami. Ak tu vznikli prípadné disproporcie, vždy mali základ v spoločenských pomeroch. Z technického hľadiska sú OZE stále perspektívne klasické, ale aj moderné zdroje energií. Zvyšovaní efektívnosti ich prevádzky je možné cestou nepretržitej implementácie moderných technológií.

V roku 2017 sme zorganizovali 13. ročník seriálu konferencií ALER. Odborníci v tejto oblasti pokračujú v práci aj napriek nepriaznivej spoločenskej situácii. Stretnutie vedcov a odborníkov najmä z Českej a Slovenskej republiky, ktorí sa zaoberajú riešením výskumných a technických úloh z tejto oblasti, umožnilo diskutovať o riešených problémoch. Diskusie sú prínosné pri výmene skúseností z výskumu kolegov v tejto oblasti. Spojením síl a skúseností sa vytvárajú reálne možnosti pokročiť vo vývoji a širšom používaní obnoviteľných zdrojov energie nie len v Českej a Slovenskej republike.

Na konferencii je daný priestor aj študentom doktorandského štúdia, aby mohli prezentovať výsledky svojej práce pri štúdiu a pri riešení čiastkových problémov konštrukcie a prevádzky obnoviteľných zdrojov energie.

Organizátori ALER 2017

Zborník konferencie **ALER 2017**

1. Ladislav Dzurenda (TU Zvolen)
   Vplyv vlhkosti bukového dreva na spotrebu pre vykurovanie rodinného domu 9

2. Petr Bača, Jana Zimáková, Sebastian Vaculík (VUT Brno)
   In-situ pozorování povrchu záporné elektrody olověného akumulátoru mikroskopem atomárních sil AFM 15

3. Jiří Vaněk, David Strachala, Josef Hylský, Michal Kadlec (VUT Brno)
   Problematicka perovskytových fotovoltaickách článků 20

4. Marcel Janda (VUT Brno)
   Simulace povětrnostních podmínek v blízkosti fotovoltaických elektráren 28

5. Kristýna Jandová, Marcel Janda (VUT Brno)
   Vliv proudění vzduchu na chlazení fotovoltaických článků 33

6. Ľubomír Scholtz, Libor Ladányi, JarmilaMüllerová (ŽU Žilina)
   Numerical optical characterization of black silicon 37

7. Mária Pálušová (ŽU Žilina)
   Renewable energy sources – benefit or thrat ? 42

8. Dušan Kudelas (TU Košice)
   Modelovanie pohybu prúdenia v potrubných systémoch 51

9. Michal Kaľavský, Radim Rybár, Martin Beer (TU Košice)
   Charakteristika kovovej peny pre vývoj akumulačného prvku na báze PCM 60

10. Natália Jasminská, Tomáš Brestovič , Ľubica Bednárová, Peter Tauš (TU Košice)
    Meranie prevádzkových charakteristík pri absorpcii vodíka do zliatiny $La_{0.85}Ce_{0.15}Ni_5$ 69

11. Ľubomíra Gabániová, Dušan Kudelas (TU Košice)
    Hodnotenie kvantitatívnych a kvalitatívnych ukazovateľov podzemnej vody z pohľadu ich využiteľnosti ako primárneho zdroja energie pre tepelné čerpadlá 76

12. Zdeněk Dostál, Michaela Solanská (ŽU Žilina)
    The proposal of hydrogen production from renewable energy sources to medium-therm storage 88

13. Gabriel Cibira (ŽU Žilina)
A Comparison for PV cells Models 93

14. Pavel Vojtek, Zuzana Zábudlá, Emil Pinčík, Silvia Bačová, Jan Greguš, Peter Zitto, Robert Brunner (SAV Bratislava)
Investigation of the relaxation process of the photoluminescence of porous p-type Si 103

15. Róbert Brunner, Emil Pinčík, Pavel Vojtek, Zuzana Zábudlá (SAV Bratislava)
Využitie Fourierovej transformácie pri spektroskopii vrstevnatých štruktúr 107

16. Martin Kopani; Milan Mikula; Emil Pincik; Hikaru Kobayashi; Masao Takahashi (SAV Bratislava)
Effect of HCN passivation on silicon oxide thin layer 111

17. Peter Vician, Peter Ďurčanský (ŽU Žilina)
Určovanie polohy solárneho kolektora pomocou elektronickej platformy ARDUINO 115

18. Peter Pilát, Radovan Nosek, Marek Patsch (ŽU Žilina)
Overenie vlastností adsorbentu vhodného pre chladiacu techniku 122

19. Matej Palacka, Marek Patsch, Michal Holubčík (ŽU Žilina)
Vplyv spôsobu výroby drevných peliet na ich vlastnosti 128

20. Roman Banovčan, Tomáš Puchor, Marcel Novomestský, Andrej Kapjor (ŽU Žilina)
Metódy chladenia elektrotechnickej skrine tepelnou trubicou 134

21. Marián Lázár, Natália Jasminská, Romana Dobáková (TU Košice)
Analýza vlastnosti vytavenej trosky z vysokoteplotného tavenia odpadov 140

22. Marián Lázár, Tomáš Brestovič, Natália Jasmisnská, Romana Dobáková (TU Košice)
Numerický výpočet ohrevu NISTEJE plazmového reaktora 146

23. Ľubica Bednárová, Natália Jasmisnská, Tomáš Brestovič, Marián Lázár (TU Košice)
Experimentálne meranie a simulácia plnenia metalhydrodového zásobníka vodíkom 154

24. Tomáš Brestovič , Natália Jasminská, Ľubica Bednárová (TU Košice)
Stanovenie uskladňovacej kapacity vodíka v zliatine $Ca_{72}Mg_{28}$ 161

25. Nikola Kantová, Štefan Papučík, Michal Holubčík, Jozef Jandačka (ŽU Žilina)
Tuhé znečisťujúce látky a ich tvorba pri spaľovaní drevnej štiepky a pilín pri menovitom výkone 167

26. Andrej Kapjor, Marcel Novomestský, Roman Banovčan (ŽU Žilina)
Vplyv sklonu dvoch vertikálnych rúrok na prenos tepla prirodzenou konvekciou pri konštantnom tepelnom toku 172

27. Tomáš Puchor, Roman Banovčan, Štefan Papučík, Peter Pilát (ŽU Žilina)
Návrh výparníka slučkového termosifonu 181

28. Pavel Šimon (ŽU Žilina)
Conditions for a wider share of RES in Slovak energy system 187

29. Peter Tauš, Matúš Jeňo, Ľubomíra Gabániová, Peter Harda (TU Košice)
Možnosti aplikácie solárnych systémov na panelové domy na Slovensku 201

Tiráž 210

ANALÝZA GEOMETRICKÝCH CHARAKTERISTÍK KOVOVEJ PENY PRE VÝVOJ AKUMULAČNÉHO PRVKU NA BÁZE PCM

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

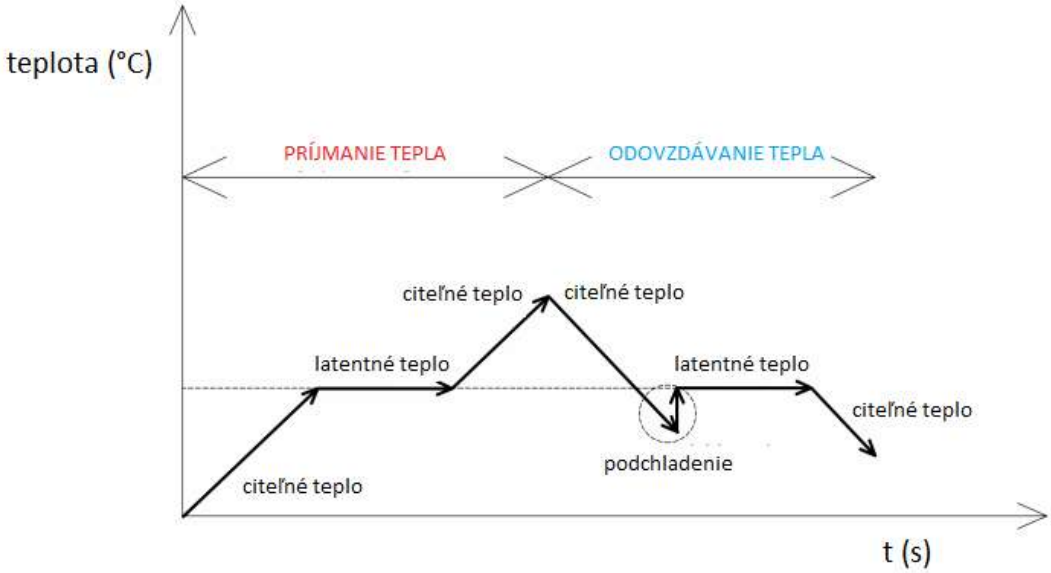
[1] *Ing. Michal Kaľavský, doc. Ing. Radim Rybár, PhD., Ing. Martin Beer, PhD., Ústav zemských zdrojov, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Technická univerzita v Košiciach*
Letná 9, blok A, 2. posch., 042 00 Košice, Slovensko, mail: michal.kalavsky.2@tuke.sk, radim.rybar@tuke.sk,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

Abstrakt: *Príspevok je zameraný na analýzu geometrických charakteristík kovovej peny (MF z aj. metal foam) za účelom vytvorenia funkčného prvku pre akumuláciu tepla s použitím látky s fázovou premenou (PCM). Za účelom merania štruktúry MF boli získané snímky MF pomocou priemyselného počítačového tomografu ZEISS METROTOM 1500 a analyzované pomocou softwarového vybavenia ImageJ. Na základe získaných analyzovaných dát bol určený objem PCM látky vyplňajúcej póry MF a vypočítané množstvo akumulovanej energie do akumulačného prvku. Výsledky analýzy geometrických charakteristík pri daných rozmeroch výmenníka sú uvedené s chybou merania max. 9,81 μm.*

Key words: *metal foam, PCM, heat accumulation, CT*

1 ÚVOD

Podľa fyzikálnych princípov je akumulácia tepla možná viacerými spôsobmi: akumulácia citeľného, latentného, sorpčného alebo chemického tepla [18]. V posledných rokoch sa čoraz viac dostáva do povedomia akumulácia tepla na princípe fázovej zmeny materiálov s fázovou premenou (PCM) ako uvádzajú autori v [19] latentné teplo je jedným z najúčinnejších spôsobov skladovania tepelnej energie. Na obrázku 1 krivka reprezentuje priebeh teploty pri fázovej premene octanu sodného.



Obrázok 1 Priebeh teploty skupenskej premeny octanu sodného

Materiály vhodné na skladovanie tepla by mali dosiahnuť najväčšie hodnoty akumulácie tepelnej energie v minimálnom objeme materiálu. Jednou z hlavných nevýhod akumulácie tepla do PCM je ich nízka tepelná vodivosť, čo pri akumulátoroch tepelnej energie na báze PCM spôsobuje nežiadúci dlhý časový úsek roztavenia a stuhnutia tepelno-akumulačnej látky [19].

Touto problematikou sa zaoberali autori, ktorí prezentovali v [20] zlepšovanie tepelných vodivých vlastností sústavy s parafínom (PCM materiálu) s využitím otvorenej bunkovej štruktúry medenej kovovej peny. Pridaním kovovej peny do parafínu vzrástla jeho tepelná vodivosť sústavy 16-18-krát v porovnaní s čistým parafínom.

V mnohých aplikáciách predovšetkým tepelného charakteru sa využívajú MF s otvorenou bunkovou štruktúrou, vďaka ich hustote špecifického povrchu (790-2740 m^2/m^3) a vysokej pórovitosti (ε>0,9) [1]. Tieto vlastnosti podľa [2,3,4] zlepšujú pomer prenosu tepla z MF do objemu pracovnej látky. Autori v [2,3,5-7] uvádzajú potenciál tohto materiálu zvýšiť výkon výmeny tepla a možnosť vytvoriť kompaktné výmenníky tepla.

Koncepcia akumulačného prvku, ktorá je načrtnutá v tomto príspevku, je kombináciou materiálu PCM - trihydrátu octanu sodného s priestorovou štruktúrou pozostávajúcou z blokov kovovej peny s otvorenou štruktúrou pórov, tak že v tomto heterogénnom priestorovom usporiadaní vytvára výmenník tepla. Táto kombinácia je navrhnutá so zámerom eliminovať charakteristicky nízku tepelnú vodivosť PCM materiálov. Cieľom príspevku je určiť hlavné parametre akumulačného prvku, určenie objemových a akumulačných charakteristických PCM, pre tento účel je nevyhnutné poznať geometrické charakteristiky použitej MF.

V problematike geometrických štruktúr MF, prebiehalo viacero experimentálnych, analytických a numerických štúdií zameraných na hustou pórov a priemery ligamentov a iných parametrov [20-27], sú popísané výmenníky tepla, kde trubice a rúry výmenníka sú vyplnené kovovou penou [22,24]. Autori štúdii [21-27] sa upriamujú na analýzu pevných ligamentov MF.

V poslednej dobe v oblasti analýzy geometrie MF nastal progres, ktorý vedie stále k pokročilejším využitiam v praktických aplikáciách. Jeden z prvých modelov MF s otvorenou bunkovou štruktúrou prezentovali autori Boomsma a Poulikakos [10] uvádzajú že presnosť modelu je veľmi závislá na podrobnosti popisu geometrie kovovej peny. Koponidis a spol. [11] prezentujú numerický 3D model na vytvorenie topológie sa používajú priamu reprodukciu základnej geometrie 3D bunky pomocou CAD-CAE softwarov.

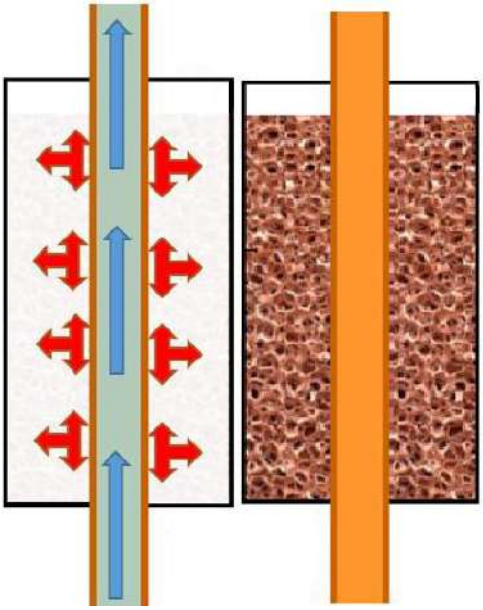
Najbežnejšia a najpraktickejšia metóda pre numerické modelovanie kovových pien je CT skenovanie. Autori [12,13] pomocou CT snímkovania vytvorili model geometrie kovovej peny na testovanie deformácií a simulácie výsledky porovnali s experimentálnymi výsledkami pre validáciu údajov.

Existuje viacero spôsobov na vyšetrovanie MF pomocou CT, v závislosti od metódy je veľmi dôležite určenie správnych parametrov spracovania obrazu napríklad rozlíšenie merania optimálnej prahovej hodnoty [14]. Na základe dostupnej literatúry je náročné určiť ktorá prahová metóda je optimálna na stanovenie geometrických parametrov kovových pien.

V tomto článku je na analýzu MF použitá priemyselná počítačová tomografia, ktorá je jednou z najužitočnejších nedeštruktívnych metód merania rozmerov, hodnotenia vnútorných štruktúr výrobkov a považuje sa za štandard pre zabezpečenie kvality a reverzné inžinierstvo. [15]. V dôsledku zvýšenej zložitosti produktu, miniaturizácie a nových materiálov poskytuje priemyselná počítačová tomografia lepšie a podrobnejšie informácie o vnútorných štruktúrach ako iné metódy [16]. Prahovanie snímaného obrazu je realizované automaticky pomocou iteračnej metódy výberu s použitím programového vybavenia ImageJ.

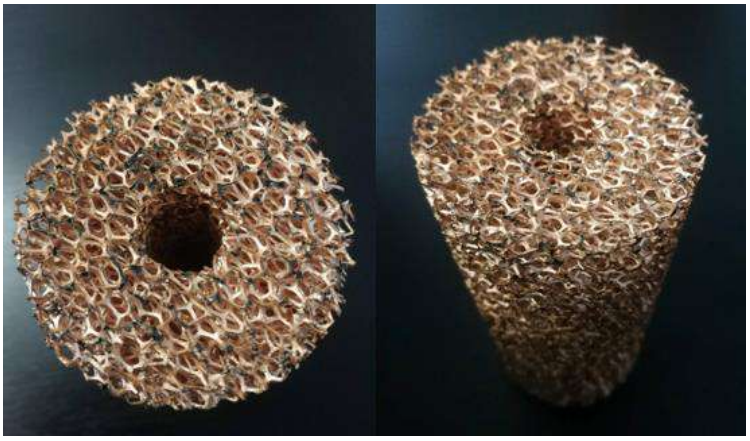
2 METODOLÓGIA

Pre stanovenie hlavných parametrov akumulačného prvku sme potrebovali meraním určiť geometrické charakteristiky výmenníka z MF s otvorenou bunkovou štruktúrou s pórovitosťou 20 PPI (z aj. pore per inch/póry na palec). Výmenník (obr.3) je tvaru dutého valca s rozmermi: vonkajší priemer valca D1=50mm, vnútorným priemer dutého priestoru D2=12mm s výškou 103mm (obr.2). Ak a PCM trihydrát octan sodný ($C_2H_3NaO_2.3H_2O$) s teplotou fázovej zmeny pri 58°C s kapacitou latententného tepla 265 $kJ.kg^{-1}$.



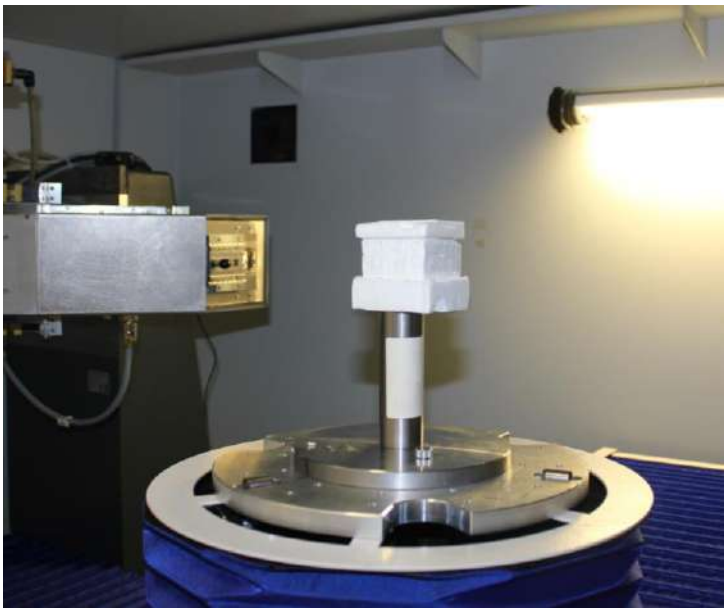
Obrázok 2 Koncept akumulačného prvku (autor)

Výmenník z MF bol podrobený meraniu na prístroji ZEISS METROTOM 1500. Je priemyselný počítačový tomograf pre meranie a kontrolu celých častí alebo ich častí z plastu alebo ľahkých kovov. Tomograf je vybavený detektorom s rozlíšením 1024x1024 pixelov a RTG skúmavkou do 225kV / 225W so špecifikovanou maximálnou chybou MPEE = (9 + L / 50) µm kde L je hodnota voxelu. Softvér METROTOM OS slúži na nastavenie parametrov snímania a rekonštrukcie obrazu [17].

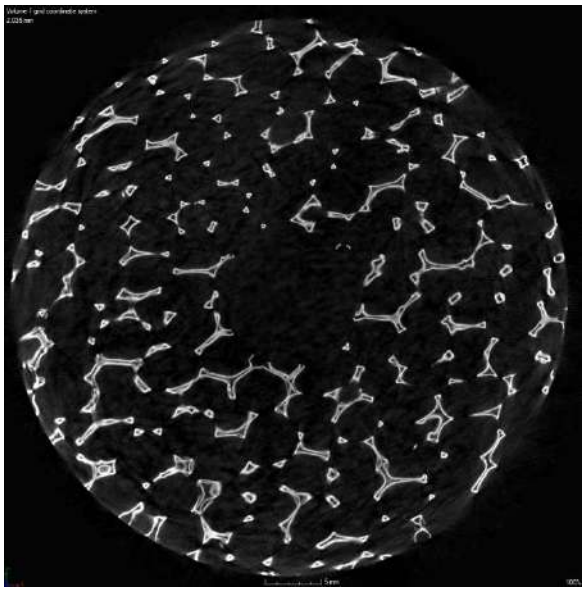


Obrázok 3 Priestorový výmenník tepla (foto autor)

Pred snímaním bola vzorka MF zahriata na 20 ° C ± 2 ° C. Bol vytvorený kompozit z expandovaného polystyrénu (EPS) a vzorky z MF. Polystyrén bol zvolený z dôvodu nízkej hustoty (minimálna absorpcia röntgenových lúčov), tvarovej stability a jednoduchej prípravy.



Obrázok 4 Tomografická komora (foto autor)



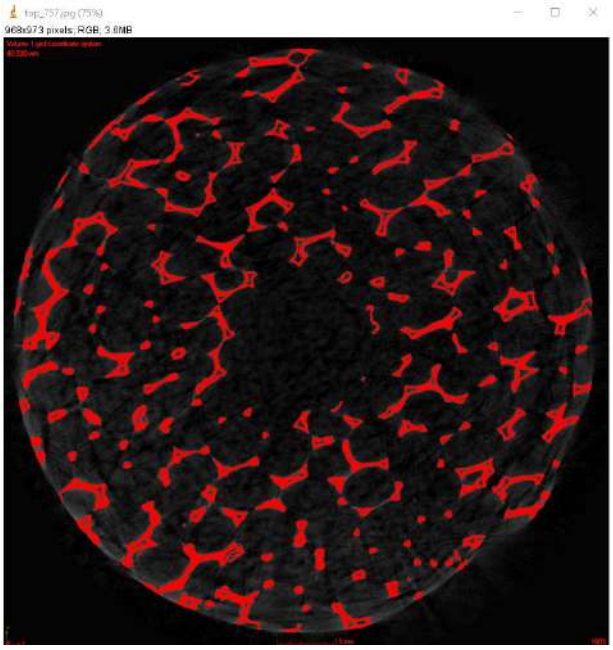
Obrázok 5 CT snímka výmenníka (foto autor)

Pred skenovaním sa vykonala kalibrácia a kvalifikácia subsystémov na overenie funkčnosti zariadenia. Parametre skenovania boli zvolené na základe požiadavky dostatočného kontrastu medzi vzorkou, prípravou a okolím. Vzdialenosť snímania (vzdialenosť detektora) a použitý výkon boli zvolené s ohľadom na veľkosť voxelov a bodov. Filter a jeho hrúbka boli nazývané tak, aby eliminovali artefakty vytvorené počas snímania v maximálnom možnom rozsahu a znížili kvalitu dát. Podrobné parametre skenovania sa nachádzajú v tabuľke 1.

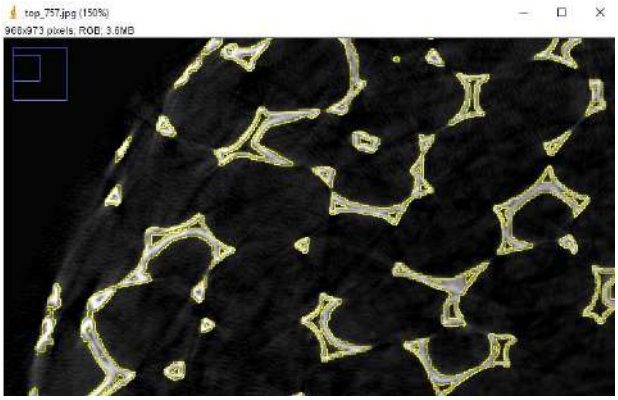
Tabuľka 1 Parametre skenovania

Napätie	140 kV	Čas skenovania	1 hod 12 min
Prúd	270 uA	Hodnota voxelu	40,28 µm
Počet projekcií	1000	FOD ohnisková vzdialenosť	150 mm
Filter	0,5 mm Cu	Rozptylová korekcia žiarenia	vypnutá
Čas odozvy	2000 ms	Medián filter	vypnutý
Priemerovanie obrazu	vypnuté		

Nasnímaných bolo 810 obrazov (obr.5) následne analyzovaných softvérom ImageJ, ktorý rozdeľuje obraz na objekt a pozadie (obr.6) s počiatočným prahom. Následne sa vypočítajú priemery pixelov na, alebo pod hranicou prahu a pixely nad sú pripočítané. Pripočítavajú sa priemery týchto dvoch hodnôt, prah sa zvyšuje a proces sa opakuje, kým prah nie je vyšší ako zložený priemer. Podľa rozmerov výmenníka sme určili obsah jeho podstavy teda obsah kruhu od ktorého sme odpočítali obsah dutej časti. Potom obsah podstavy výmenníka predstavuje 1852,28 mm^2. Pomocou softvéru ImageJ sme určili obsah zastúpenia kovu v celom objeme snímky a obsah zastúpenia kovu s ohraničením dutín. Rozdiel týchto obsahov predstavuje obsah dutých ligamentov. Rozdiel obsahu podstavy výmenníka a obsahu kovu s ohraničením dutín predstavuje obsah prázdnych priestorov ktoré môže zaplniť PCM materiál.



Obrázok 6 Vyznačené časti z MF



Obrázok 7 Duté ligamenty

Objem PCM trihydrátu octanu sodného ($C_2H_3NaO_2.3H_2O$) s teplotou fázovej zmeny pri 58°C s kapacitou latententného tepla 265 $kJ.kg^{-1}$, ktorý vyplňuje póry kovovej peny sme vypočítali na základe analyzovaných geometrických parametrov výmenníka z MF z aritmetického priemeru hodnoty prázdnych priestorov v póroch MF vynásobeného výškou výmenníka z MF (103mm). Hmotnosť PCM materiálu sme vypočítali použitím všeobecne platných vzťahov. Hustota PCM trihydrátu octanu sodného je 1,45 g/cm^3 [28].

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Prezentovaný príspevok sa zameriava na analýzu geometrických parametrov priestorového MF výmenníka tepla pre vývoj akumulačného prvku na báze PCM. V tabuľke 1 je pre veľký objem dát prezentovaná časť analyzovaných hodnôt merania. Aritmetický priemer je vypočítaný pre jednotlivé hodnoty zo všetkých 810 snímok.

Tabuľka 2 Hodnoty merania MF

	S (mm^2)	Sk (mm^2)	Sl (mm^2)	S pcm (mm^2)	% K	% P	% L
1	1852,28	170,13	24,85	1657,30	9,18	89,47	1,34
2	1852,28	177,80	22,3	1652,18	9,6	89,20	1,2
3	1852,28	178,55	23,32	1650,41	9,64	89,1	1,26
4	1852,28	179,37	19,21	1653,71	9,68	89,28	1,04
5	1852,28	178,66	21,26	1652,36	9,65	89,21	1,15
6	1852,28	177,33	20,92	1654,03	9,57	89,3	1,13
...	...	...	...	...	...	...	...
810	1852,28	229,52	24,7	1598,06	12,39	86,28	1,33
priemer	**1852,28**	**190,79**	**22,89**	**1638,60**	**10,3**	**88,46**	**1,24**

S- celkový obsah
SK- obsah kovu
SL- obsah dutých ligamentov
SPcm- obsah prázdnych priestorov

Hodnoty, ktoré sú prezentované v tabuľke 1 sú podľa uvedenej metodiky merané so špecifikovanou maximálnou chybou MPEE=**9,81µm**, poukazujú na štruktúru analyzovanej MF s vyjadrením percentuálneho zastúpenia kovu **K=10,3 %,** percentuálneho zastúpenia prázdneho priestoru, ktorý je možné vyplniť PCM **P=88,46 %** a percentuálneho zastúpenia dutých ligamentov **L=1,24 %.**

Objem PCM ktorý vyplňuje póry MF je **168,776 cm^3** je vypočítaný podľa uvedenej metodiky. Hmotnosť PCM predstavuje **244,725 g**.

Tabuľka 3 Hlavné parametre navrhovaného akumulačného prvku

Parameter	Hodnota	Jednotka
Tvar akumulačnej jednotky	Dutý valec	/
Rozmery výmenníka z MF	Φ50(12)x103	mm
Typ PCM	Trihydrát octanu sodného	/
Objem PCM	168,776	cm^3
Hmotnosť PCM	244,725	g
Latentné teplo PCM	265	kJ.kg^{-1}
Teplota fázovej premeny	58	°C

4 ZÁVER

Určením objemu prázdnych priestorov, dutých ligamentov a zastúpenia kovu v štruktúre , ktorá tvorí základ navrhovaného akumulačného prvku sme splnili stanovené ciele vyplývajúce z riešenej problematiky. Dosiahnutie výsledkov pomerne nekomplikovaným spôsobom riešenia problematiky s použitím softvérového vybavenia ImageJ so špecifikovanou chybou merania maximálne 9,81 µm pri daných rozmeroch výmenníka, poukazuje na vhodný, reprodukovateľný postup riešenia problematiky.

Výsledky analýz a výpočty môžu poslúžiť pri ďalšom vývoji aplikácie PCM a MF v jednom koncepte ale aj pri iných špecifických aplikáciách MF alebo PCM materiálov.

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.

LITERATÚRA

[1] MOON, C. - KIM, D. - BAMOROVAT, G.: Effect of ligament hollowness on heat transfer characteristics of open-cell metal foam, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931015317725

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] S. Kim, J. Paek, B. Kang, Flow and heat transfer correlations for porous fin in a plate-fin heat exchanger, J. Heat Transfer 122 (3) (2000) 572–578.

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

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

[8] Počítačová tomografie pro přesné měření defektoskopii i reverzní inženýrství (Popis technológie) online] [citované 2014-05-05] Dostupné na internete: http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2114-pocitacova-tomografie-pro-presne-mereni-defektoskopii-i-reverzni-inzenyrstvi.html

[9]. M.F. Ashby, A.G. Evans, N.A. Fleck, L.J. Gibson,J.W. Hutchinson and H.N.G. Wadley, Metal Foams: A Design Guide

[10] Boomsma K, Poulikakos D. On the effective thermal conductivity of a threedimensionally structured fluid-saturated metal foam. Int J Heat Mass Transf 2001;44(4):827e36.

[11] Kopanidis A, Theodorakakos A, Gavaises E, Bouris D. 3D numerical simulation of flow and conjugate heat transfer through a pore scale model of high porosity open cell metal foam. Int J Heat Mass Transf 2010;53(11e12): 2539e50.

[12] Vesenjak M, Veyhl C, Fiedler T. Analysis of anisotropy and strain rate sensitivity of open-cell metal foam. Mater Sci Eng a-Structural Mater Prop Microstruct Process 2012;541:105e9.

[13] Wulf R, Mendes MAA, Skibina V, Al-Zoubi A, Trimis D, Ray S, et al. Experimental and numerical determination of effective thermal conductivity of open cell FeCrAl-alloy metal foams. Int J Therm Sci 2014;86:95e103.

[14] Olurin, O., Arnold, M., Körner, C., Singer, R.: The investigation of morphometric parameters of aluminium foams using micro-computed tomography. Mat. Sci. Eng. A-Struct. 328(1–2), 334–343 (2002)

[15] Chen Ping, Pan Jin-Xiao, Liu Bin, Industrial computed tomography image size measurement, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 608, Issue 1, 1 September 2009, Pages 185-190, ISSN 0168-9002, http://doi.org/10.1016/j.nima.2009.06.070.

[16] Randolf Hanke, Theobald Fuchs, Norman Uhlmann, X-ray based methods for non-destructive testing and material characterization, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 591, Issue 1, 11 June 2008, Pages 14-18, ISSN 0168-9002, http://doi.org/10.1016/j.nima.2008.03.016.

[17] http://web.tuke.sk/smetrologia/l8.html

[18] Bajnóczy, G., Gagyi Pálffy, E., Prépostffy, E., Zold, A.: Heat storage by two grade phase change material,
Periodica Polytecinica SerChemEng, Volume 43, p. 137 - 47, 1999.
[19] Mehling, H., Cabeza, L.F.: Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction in to basics and
applications. Berlin: Springer, 2008.
[20] HIMANSHU, P.: Thermal Energy Storage in Copper Foams filled with Paraffin Wax. Toronto : Mechanical & Industrial Engineering University of Toronto, 2011. 120 s.
[21] MOON, C. - KIM, D. - BAMOROVAT, G.: Effect of ligament hollowness on heat transfer characteristics of open-cell metal foam, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931015317725
[22] 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.
[23] 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.
[24] 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.
[25] S. Kim, J. Paek, B. Kang, Flow and heat transfer correlations for porous fin in a plate-fin heat exchanger, J. Heat Transfer 122 (3) (2000) 572–578.
[26] G.J. Davies, S. Zhen, Metallic foams – their production, properties and applications, J. Mater. Sci. 18 (7) (1983) 1899–1911.
[27] T.J. Lu, H.A. Stone, M.F. Ashby, Heat transfer in open-cell metal foams, Acta Mater. 46 (10) (1998) 3619–3635.
[28] Octan sodný trihydrát AnalaR NORMAPUR® ACS, Reag. Ph. Eur. analytical reagent. https://sk.vwr.com/, 2015, * cit. 13.9.2017 +. Dostupné na webovskej stránke (world wide web): https://sk.vwr.com/store/catalog/product.