

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0202****Vývoj zariadenia pre efektívnu kompresiu a uskladnenie vodíka pomocou nových metalhydridových zliatin**Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Tomáš Brestovič, PhD.**Príjemca **Technická univerzita v Košiciach**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Slovenská akadémia vied, Ústav materiálového výskumu SAV Košice

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

1. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián - ČARNOGURSKÁ, Mária: Tandemový vodíkový kompresor s metalhydridovou zliatinou a tepelným čerpadlom zverejnená patentová prihláška SK 84-2015 A3/ - Banská Bystrica : ÚPV SR - 2017. 7 s.
2. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián - SAKSL, Karel - ČARNOGURSKÁ, Mária: Metalhydridový zásobník s teplotným manažmentom využívajúcim princíp Peltierovho javu na medziuskladnenie vodíka zverejnená patentová prihláška 118-2017/ - Banská Bystrica : ÚPV SR - 2019. - 8 s.
3. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián - ČARNOGURSKÁ, Mária: Tandemový vodíkový kompresor s metalhydridovou zliatinou a tepelným čerpadlom úžitkový vzor 8388/ - Banská Bystrica : ÚPV SR - 2018. - 7 s.
4. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián - SAKSL, Karel - ČARNOGURSKÁ, Mária: Metalhydridový zásobník s teplotným manažmentom využívajúcim princíp Peltierovho javu na medziuskladnenie vodíka úžitkový vzor 8320/ - Banská Bystrica : ÚPV SR - 2018. - 7 s.

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

Monografie:

1. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián: Metal hydride tank cooling at hydrogen absorption into the La<sub>0,85</sub>Ce<sub>0,15</sub>Ni<sub>5</sub> alloy. Belgicko : EuroScientia - 2017. 138 p. ISBN 978-90-822990-8-3.
  2. JASMINSKÁ, Natália - BRESTOVIČ, Tomáš: Chladenie metalhydridových zásobníkov pomocou Peltierových článkov. Košice : Technická univerzita v Košiciach - 2018. - 160 s. ISBN 978-80-553-3206-2.
- Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch:

1. SAKSL, Karel - ĎURIŠIN, Juraj - BALGA, Dušan - MILKOVIČ, Ondrej - BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - ĎURIŠIN, Martin - GIRMAN, Vladimír - BALKO, J. - KATUNA, Y. - ŠULÍKOVÁ, Michaela - ŠŮLOVÁ, Katarína - FEJERČÁK, M. - BOLDI, J. - BERTRAM, F.: Devitrification and hydrogen storage capacity of the eutectic Ca<sub>72</sub>Mg<sub>28</sub> metallic glass. In: Journal of Alloys and Compounds. Vol. 725 (2017), p. 916-922. ISSN 0925-8388.
  2. BRESTOVIČ, Tomáš - ČARNOGURSKÁ, Mária - PŘÍHODA, Miroslav - LUKÁČ, Peter - LÁZÁR, Marián - JASMINSKÁ, Natália - DOBÁKOVÁ, Romana: Diagnostics of hydrogen-containing mixture compression by a two-stage piston compressor with cooling demand prediction. In: Applied Sciences. Vol. 8, no. 4 (2018), p. 1-15. - ISSN 2076-3417.
  3. BRESTOVIČ, Tomáš - PUŠKÁR, Michal - JASMINSKÁ, Natália at all: Operating parameters at hydrogen leak from a metal hydride container applied in automotive industry and pressure effects of an explosion on the environment. In: Journal of Molecular Liquids Vol. 290, 2019, p. 1 - 8. ISSN 0167-7322.
- Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrované v databázach WOS a SCOPUS
1. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián - BEDNÁROVÁ, Ľubica: Measurement of Temperature Fields in Methal Hydride Storage Container. In: Manufacturing Technology. Vol. 15, no. 5 (2015), p. 772-777. ISSN 1213-2489.
  2. JASMINSKÁ, Natália - BRESTOVIČ, Tomáš - LÁZÁR, Marián - SAKSL, Karel - ŠŮLOVÁ, Katarína - ČARNOGURSKÁ, Mária - BEDNÁROVÁ, Ľubica: Determining the material and physical properties of alloy La<sub>0.85</sub>Ce<sub>0.15</sub>Ni<sub>5</sub> used in hydrogen storage / - 2017. In: Strength of Materials. Vol. 49, no. 4 (2017), p. 514-520. - ISSN 0039-2316.
  3. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián - SAKSL, Karel - BEDNÁROVÁ, Ľubica - ŠULÍKOVÁ, Michaela - ČARNOGURSKÁ, Mária: Measurement of hydrogen storage capacity in Ca<sub>72</sub>Mg<sub>28</sub> alloy / - 2017. In: Advances in Science and Technology Research Journal. Vol. 11, no. 4 (2017), p. 103-110. - ISSN 2299-8624.
- Vedecké práce v zahraničných časopisoch
1. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - ČARNOGURSKÁ, Mária - LÁZÁR, Marián - BEDNÁROVÁ, Ľubica: Optimization of the Dehydration Process in the Manufacture of NT Series Compressors. In: International Journal of Engineering Research and Science. Vol. 2, no. 11 (2016), p. 108-117. ISSN 2395-6992.
  2. JASMINSKÁ, Natália - BRESTOVIČ, Tomáš - NAGY, Richard - DOBÁKOVÁ, Romana - BEDNÁROVÁ, Ľubica - LÁZÁR, Marián: Energy accumulation by means of hydrogen technologies. In: International Research Journal of Advanced Engineering and Science. Vol. 2, no. 4 (2017), p. 1-5. ISSN 2455-9024.
  3. JASMINSKÁ, Natália - BRESTOVIČ, Tomáš - BEDNÁROVÁ, Ľubica - LÁZÁR, Marián - DOBÁKOVÁ, Romana: Design of a hydrogen compressor powered by accumulated heat and generated in metal hydrides. In: International Journal of Engineering Research and Science. Vol. 3, no. 9 (2017), p. 35-39. - ISSN 2395-6992.
- Vedecké práce v domácich časopisoch
1. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián - BEDNÁROVÁ, Ľubica: Measurement of operational characteristics of hydrogen stored in metal hydride container using a cooler based on Peltier element. In: Scientific Letters. Roč. 5, č. 5 (2017), s. 45-49. ISSN 1338-9432.
  2. BRESTOVIČ, Tomáš - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián: Heap pump application at hydrogen compression while using metal hydride materials / - 2018. In: Acta Mechanica Slovaca, 22, č. 2 (2018), s. 24-29. ISSN 1335-2393.
  3. BRESTOVIČ, Tomáš - BEDNÁROVÁ, Ľubica - JASMINSKÁ, Natália - LÁZÁR, Marián - DOBÁKOVÁ, Romana: Hydrogen Compressor Utilizing of Metal Hydride. In: Acta Technologia, 2015 Roč. 5, č. 2 (2019), s. 37-41. ISSN 2453-675X

### Uplatnenie výsledkov projektu

Predložený projekt vytvára kompaktné riešené dielo v oblasti vodíkových systémov, ktoré sa v súčasnom období čoraz viac dostávajú do popredia predovšetkým v automobilom

priemysle. Skladovanie vodíka je veľmi dôležitou zložkou systému vodíkového hospodárstva. Pri súčasnom rozvoji automobilového priemyslu a širšej aplikácii vodíka ako paliva v doprave, je kľúčovou podmienkou zvýšenie efektívnosti pri uskladňovaní a kompresii tohto plynu, čo súvisí aj s vytváraním nových zliatin pre uskladnenie vodíka. Vývoj zariadenia pre efektívnu vodíkovú kompresiu má potenciál pre inovačné potreby spoločenskej a hospodárskej praxe pre oblasť rozvoja a uplatnenia vodíkových technológií v automobilovom priemysle a doprave, predovšetkým v kontexte slovenskej a európskej inovačnej stratégie.

Výsledky riešenia projektu prispeli k upevneniu trvalej udržateľnosti (využívanie obnoviteľných zdrojov energie, znižovanie produkcie emisií v energetickom priemysle, minimalizovanie dopadov na životné prostredie) a významne zvýšila úroveň poznatkov v oblasti vodíkových technológií, ktorých využitie v mobilných aplikáciách je na Slovensku na veľmi nízkej úrovni.

Dôkazom spoločenského uznania verejnosti je aj konštrukčné vyhotovenie prototypu vodíkového kompresora poháňaného teplom akumulovaným a generovaným v hydridoch kovov v procese uskladnenia vodíka.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Uvedené ciele projektu boli splnené v zmysle predkladaných návrhov vďaka kvalitnému personálnemu zastúpeniu, vhodne zvolených metód a metodík, prípravou vhodných adsorpčných a absorpčných materiálov a špičkovej svetovej technologickej vybavenosti riešiteľského pracoviska. Boli vyhotovené metalhydridové zliatiny na báze Ti, Cr, Ni, Mn, La, Mg, Ca, Zr, Cu pre absorpčné uskladnenie vodíka. Zliatiny pre výskum uskladňovacej kapacity vodíka boli vyrábané jednak s kryštalickou štruktúrou vo forme ingotovou v oblúkovej peci a jednak s amorfnou štruktúrou metódou melt spinning. Významnou časťou projektu bolo definovanie analytických a numerických postupov, na základe ktorých sa skonštruoval funkčný prototyp vodíkového kompresora poháňaný teplom akumulovaným a generovaným v hydridoch kovov v procese uskladnenia vodíka. Z výsledkov získaných z experimentálnych meraní, ako aj simulácii v programe ANSYS\_CFX bol vyvinutý softvérový nástroj, pomocou ktorého je možné navrhovať rôzne typy zásobníkov a optimalizovať ich parametre.

Najdôležitejším výsledkom riešenia projektu je konštrukčné vyhotovenie kompresora poháňaného teplom akumulovaným a generovaným v hydridoch kovov v procese uskladnenia vodíka. Na dosiahnutie efektívnej kompresie vodíka bol nevyhnutný výskum uskladňovacích kapacít vybraných metalhydridových zliatin s rešpektovaním tlakov pri vopred definovaných prevádzkových teplotách. Pri kompresoroch využívajúcich metalhydridové zliatiny je podstatný mechanizmus transportu a manažmentu tepla. Výhodou predloženého návrhu riešenia je kontinuálne a bezpečné stláčanie prietokových objemov vodíka. Vysoká bezpečnosť vyplýva predovšetkým zo zamedzenia styku pohyblivých častí systému s komprimovaným vodíkom. V prípade aplikácie navrhnutého zariadenia v oblasti automobilového priemyslu je pridanou hodnotou vodíkového kompresora predovšetkým nižšia spotreba energie, jednoduchšie a kompaktné prevedenie, nenáročná inštalácia, nižšia predpokladaná obstarávacia cena, výrazne nižšie servisné náklady pri dosiahnutí dlhšej životnosti.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

The stated project objectives were fulfilled in the sense of the submitted proposals thanks to high-quality staff representation, suitably selected methods and methodologies, preparation of suitable adsorption and absorption materials and world-class technological equipment of the research center. Metallic hydride alloys based on Ti, Cr, Ni, Mn, La, Mg, Ca, Zr, Cu were made for absorbent hydrogen storage. Alloys for hydrogen storage capacity research were produced with an ingot-like crystalline structure in an arc furnace and with an amorphous melt spinning method. An important part of the project was the definition of analytical and numerical procedures on the basis of which a functional prototype of a hydrogen compressor powered by heat accumulated and generated in metal hydrides in the hydrogen storage process was constructed. From the results obtained from the experimental measurements as well as the simulation in the ANSYS\_CFX program, a software tool was

developed to design various types of containers and optimize their parameters. The most important result of the project was the construction of a compressor driven by heat accumulated and generated in metalhydrides, which is the result of hydrogen storage process. In order to achieve a effective hydrogen compression, it was necessary to investigate the storage capacities of selected metalhydride alloys with respect to pressures at predefined operating temperatures. For metal hydride alloy compressors, the mechanism of transport and heat management is essential. The advantage of the proposed solution is the continuous and safe compression of the flow volumes of hydrogen. High security due mainly to the avoidance of contact with moving parts of the compressed hydrogen. In the case of application of the proposed equipment in the automotive industry's the advantages of the hydrogen compressor are a lower energy consumption, simpler and more compact design, lower estimated cost and a longer service life.