

Mladi slovenski znanstveniki in raziskovalci so v svetu in seveda tudi doma vedno bolj uspešni, prodorni in prepoznavni. Delajo na zelo raznolikem področju. Veseli nas, da so številni, ki raziskujejo in ustvarjajo znanost tudi na strojniškem področju. Med temi jih kar nekaj, ki delujejo v okviru Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani. V naši reviji Ventil jih redno spremljamo, objavljamo njihove dosežke, poročamo o njihovih uspehih in opisujemo njihove raziskave.

V tokratnem prispevku opisujemo zadnji dosežek doc. dr. Jaka Tuška in njegove raziskovalne skupine, ki so svoje dosežke že večkrat predstavil v uglednih mednarodnih revijah. Tokrat bomo predstavili njihov zadnji uspeh, ki so ga dosegli z raziskovalno razvojnim delom in dobljene rezultate objavili v prestižni mednarodni reviji Joule, ki je med bolj imenitnimi revijami s tega področja, saj ima faktor vpliva v bazi podatkov SCI (Science Citation Index) kar 46.

Ta objava mladega znanstvenika doc. dr. Jaka Tuška in njegove ekipe je odmevala tudi v slovenski javnosti. O tem so poročali številni mediji. Med drugim je bil na radiu Val202 izbran za ime tedna. Izbor imena tedna je celoletna oddaja, v kateri lahko poslušalci VAL-a 202 vsak teden glasujejo za tri kandidate in kandidatke, ki jih predlaga uredništvo. Uredništvo izbira med različnimi uspešnimi ljudmi. Najpogosteje so to športniki, včasih zdravniki, ljudje, ki se ukvarjajo s humanitarno dejavnostjo in redkeje znanstveniki. S svojim raziskovalnim znanstvenim delom je bil Jaka Tušek na omenjeni radijski postaji v zadnjih letih že dvakrat ime tedna.

Doc. dr. Tušek je ob tej priložnosti za Val 202 povedal: »Gre za večletni razvoj, ki je vključeval številne strokovnjake z različnih področij, saj gre za zelo interdisciplinarno tematiko, ki zajema tako procesno strojništvo, konstruiranje, mehaniko kot znanost o materialih. V naslednjem letu bomo razviti elastokalorični regeneratori implementirali v tako imenovani predindustrijski prototip, ki bo omogočal učinkovito obremenjevanje in razbremenjevanje elastokaloričnih regeneracij ter s tem okolju prijazno hlajenje in ogrevanje«.

Uredništvo revije Ventil doc. dr. Jaku Tušku in njegovi skupini čestita in jim želi še nadaljnje uspehe pri njegovem raziskovalnem in znanstvenem delu.

Uredništvo

TRAJNO-DINAMIČNI ELASTOKALORIČNI REGENERATOR Z REKORDNIMI HLADILNIMI IN GRELNIMI KARAKTERISTIKAMI

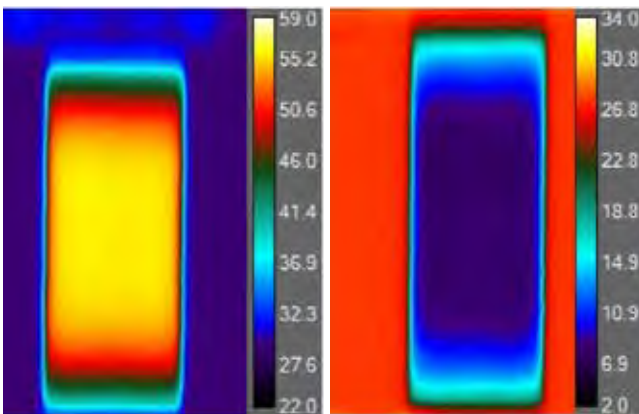
Jaka Tušek

V sklopu ERC projekta SUPERCOOL (Superelastične porozne strukture za učinkovito elastokalorično hlajenje) smo raziskovalci Univerze v Ljubljani, Fakultete za strojništvo predstavili razvoj in delovanje novega koncepta tlačno obremenjenega elastokaloričnega regeneratorskega naprave za uporabo v hladilnih napravah in toplotnih črpalkah prihodnosti. Razvit elastokalorični regeneratori kot prvi na svetu izkazuje trajno dinamično delovanje ter hkrati rekordne hladilne in grelna karakteristike, ki po svojih specifičnih lastnostih presegajo vse do sedaj izdelane kalorije hladilne naprave na svetu. Raziskava je bila 20. septembra 2022 objavljena v prestižni reviji Joule (IF = 46,048).

Doc. dr. Jaka Tušek, univ. dipl. inž.,
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
strojništvo

Članek je prosto dostopen na: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.011> in [https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351\(22\)00412-3](https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(22)00412-3).

Hlajenje, klimatizacija in ogrevanje so bistveni za sodobno družbo. V zadnjem desetletju globalne zahteve po hlajenju ter učinkovitem ogrevanju naraščajo eksponentno [1], a naša standardna parno-kompresijska tehnologija hlajenja in črpanja toplote je stara, relativno neučinkovita in še vedno uporablja okolju škodljiva hladilna sredstva. Zato je v zadnjem desetletju parno-kompresijska tehnologija hlajenja postala eden glavnih povzročiteljev učinka tople grede [2]. To pomeni, da smo se znašli v nekem začaranem krogu, saj čim bolj se hladimo, bolj se bo segrevalo ozračje in večje bodo potrebe po hlajenju. Za pogon klimatskih naprav v ZDA že zdaj porabijo več elektrike, kot je skupna poraba elektrike celotne Afrike. Ocenjuje se, da bo do sredine stoletja število klimatskih naprav po svetu iz današnjih 1,6 milijard narastlo na 5,6 milijard. S takšnim tempom naraščanja potreb po hlajenju bo raba energije za hlajenje leta 2060 preseгла skupno rabo energije za ogrevanje. Do konca stoletja jo bo preseгла za več kot 60 % [1].



Slika 1 : Prikaz elastokaloričnega učinka Ni-Ti cevke, merjenega z IR kamero, kjer se vidi segrevanje materiala med obremenjevanjem (levo) ter ohlajanje med razbremenjevanjem (desno)

Med alternativnimi tehnologijami v zadnjih letih velik potencial izkazuje elastokalorična tehnologija hlajenja in ogrevanja, ki temelji na izkoriščanju elastokaloričnega učinka med cikličnim obremenjevanjem materialov z oblikovnim spominom. Ko primeren material z oblikovnim spominom oziroma tako imenovan elastokalorični material (npr. zlitina Ni-Ti) z zunanjo silo obremenimo, se njena kristalna rešetka transformira iz avstenitne v martenzitno fazo. To je eksotermen proces, pri čemer se iz materiala sprosti latentna toplota, kar pri hitrem obremenjevanju (v bližini adiabatnih razmer) povzroči njegovo segrevanje (Slika 1). Do obratnega endotermnega procesa pride, ko material razbremenimo. Pri tem pride do povratne transformacije iz martenzitne v avstenitno fazo, kar pri hitrem razbremenjevanju privede do ohlajanja materiala (pod začetno temperaturo). Ciklično obremenjevanje / segrevanje ter razbremenjevanje / ohlajanje elastokaloričnega materiala lahko izkoristimo za aktivno hlajenje oziroma ogrevanje (črpanje toplote). Elastokalorični materiali so okolju

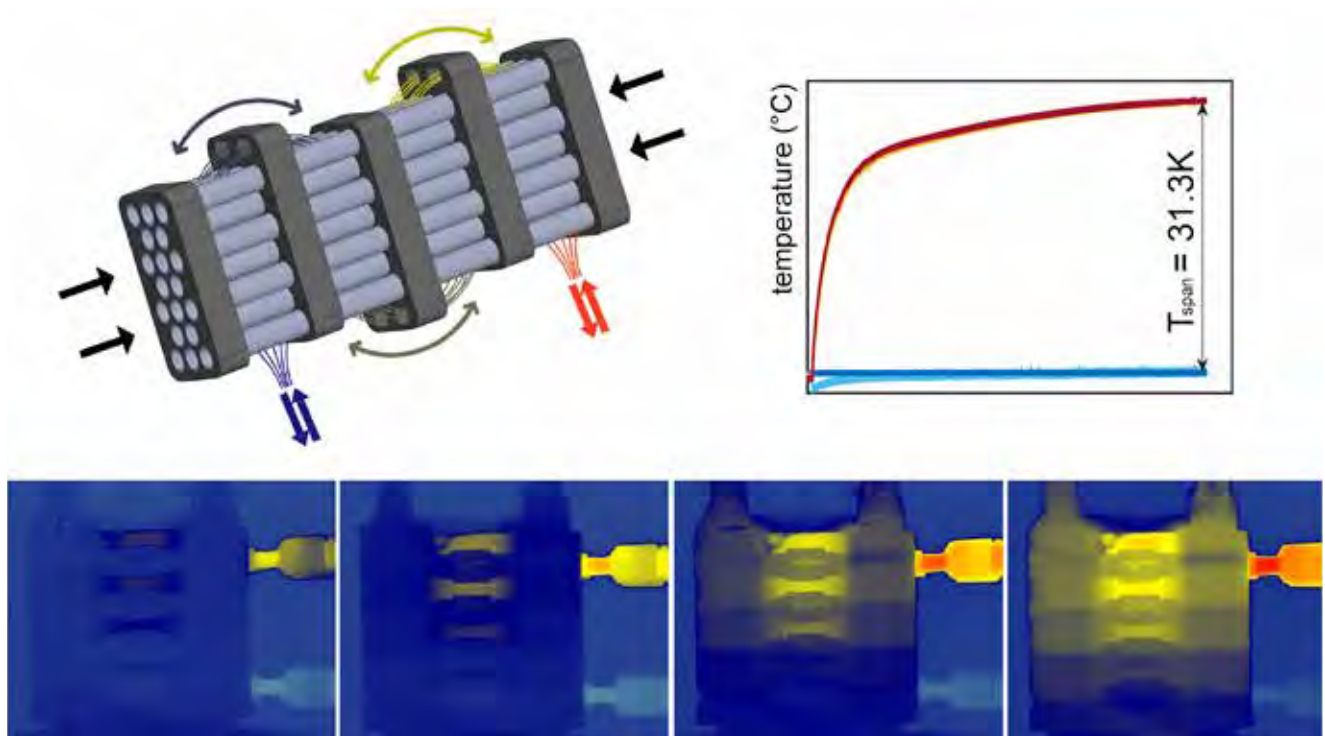
popolnoma neškodljivi, poleg tega pa je elastokalorična tehnologija lahko potencialno bolj učinkovita od parno-kompresijske. Pred nekaj leti je Ameriško ministrstvo za energijo med vsemi poznanimi alternativnimi tehnologijami hlajenja prav elastokalorično tehnologijo izbralo kot tisto, ki ima največji potencial, da v prihodnosti zamenja parno-kompresijsko tehnologijo hlajenja [3].

Ena glavnih omejitev elastokalorične tehnologije, ki trenutno preprečuje komercialno uporabo, je omejena življenjska doba materialov z oblikovnim spominom med cikličnim obremenjevanjem. Ocenjuje se, da mora v 10-letni življenjski dobi elastokalorična naprava opraviti več kot 10 milijonov obremenitev [4]. V osnovi lahko elastokalorični učinek generiramo z nateznim ali tlačnim obremenjevanjem elastokaloričnih materialov [5]. Glavna prednost nateznega obremenjevanja je možnost uporabe tankih struktur (žic ali ploščic), ki omogočajo hiter in učinkovit prenos toplote med elastokaloričnim materialom in medijem za prenos toplote, medtem ko je glavna slabost kratka življenjska doba natezno obremenjenih elastokaloričnih elementov. Znano je, da je lahko doba trajanja tlačno obremenjenih elementov zaradi preprečevanja rasti razpok med samim tlačnim obremenjevanjem bistveno daljša kot pri nateznem obremenjevanju [6]. Problem nastane, ker tankih struktur, ki omogočajo hiter in učinkovit prenos toplote, zaradi uklona ni možno tlačno obremeniti. Tu prihaja do izziva, kako izdelati elastokalorično napravo (regenerator), ki bo zaradi zahteve po trajnodinamičnem delovanju tlačno obremenjena in bo hkrati omogočala hiter in učinkovit prenos toplote, kar je pogoj za doseganje dobrih hladilnih / toplotnih karakteristik.

Kot odgovor na ta izziv smo raziskovalci Univerze v Ljubljani, Fakultete za strojništvo zasnovali in izdelali nov koncept elastokaloričnega regeneratorskega, ki temelji na tankostenskih cevkah zlitine Ni-Ti (Slika 2) [7]. Tankostenske cevke so se namreč izkazale kot



Slika 2 : Slika cevnega elastokaloričnega regeneratorskega



Slika 3 : Shematski prikaz cevnega elastokaloričnega regeneratorskega (zgoraj levo); prikaz razvoja temperaturnega razpona med toplo in hladno stranjo regeneratorskega, ko regeneratorskega deluje kot toplotna črpalka (zgoraj desno); prikaz delovanja elastokaloričnega regeneratorskega, posnetega s IR kamero od začetnih do stacionarnih pogojev (spodaj).

najboljši kompromis med strukturno stabilnostjo ob tlačnem obremenjevanju ter prenosom toplote [8, 9]. Razviti tlačno obremenjeni elastokalorični regeneratorskega lahko deluje kot hladilnik ali kot toplotna črpalka in izkazuje trajno dinamično delovanje (preko 300.000 obremenitvenih ciklov brez poškodbe ali poslabšanja delovanja). Regeneratorskega je dosegel 31,3 K temperaturnega razpona (Slika 3) ter preko 60 W hladilne / toplotne moči, kar glede na to, da uporablja zgolj 13,7 g elastokaloričnega materiala, predstavlja 4400 W na kg elastokaloričnega materiala. Glede na skupne specifične hladilne in toplotne karakteristike (na enoto mase uporabljenega materiala) razviti elastokalorični regeneratorskega presega vse do sedaj izdelane kalorične naprave na svetu, kar odpira vrata nadaljnjemu razvoju elastokalorične tehnologije za številne aplikacije, kot so klimatske naprave, toplotne črpalke in večji hladilni sistemi.

Literatura

- [1] Isaac, M., van Vuuren, D. P. (2009). Modeling global residential sector energy demand for heating and airconditioning in the context of climate change. *Energy Policy* 37, 507-521.
- [2] Coulomb, D., Dupont, J.-L., Marlet, V. (2017). The Impact of the Refrigeration Sector on Climate Change, 35th Informatory Note on Refrigeration Technologies.
- [3] Goetzler, W., Zogg, R., Young, J., Johnson, C. (2014). Energy savings potential and RD& D opportunities for Non-vapor-compression HVAC technologies. US Dep. Energy 3673.
- [4] Cui, J., Wu, Y., Muehlbauer, J., Hwang, Y., Radermacher, R., Fackler, S., Wuttig, M., Takeuchi, I. (2012). Demonstration of high efficiency elastocaloric cooling with large D Tusing NiTi wires. *Appl. Phys. Lett.* 101, 73904.
- [5] Kabirifar, P., Žerovnik, A., Ahčin, Ž., Porenta, L., Brojan, M., Tušek, J. (2019). Elastocaloric cooling: state-of-the-art and future challenges in designing regenerative elastocaloric devices. *J. Mech. Eng.* 65, 615-630.
- [6] Hou, H., Cui, J., Qian, S., Catalini, D., Hwang, Y., Radermacher, R., Takeuchi, I. (2018). Overcoming fatigue through compression for advanced elastocaloric cooling. *MRS Bull* 43, 285-290.
- [7] Ahčin, Ž., Dall'Olio, S., Žerovnik, A., Žvar Baškovič, U., Porenta, L., Kabirifar, P., Cerar, J., Zupan, S., Brojan, M., Klemenc, J., Tušek, J. (2022). High-performance cooling and heat pumping based on fatigue-resistant elastocaloric effect in compression. *Joule* 6, 1-20.
- [8] Porenta, L., Kabirifar, P., Žerovnik, A., Čebren, M., Žužek, B., Dolenc, M., Brojan, M., Tušek, J. (2020). Thin-walled Ni-Ti tubes under compression: ideal candidates for efficient and fatigue-resistant elastocaloric cooling. *Appl. Mater. Today* 20, 100712.
- [9] Ahčin, Ž., Liang, J., Engelbrecht, K., Tušek, J. (2021). Thermo-hydraulic evaluation of oscillating-flowshell-and-tube-like regenerators for (elasto)caloric cooling. *Appl. Therm. Eng.* 190, 116842.