

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/71



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1.Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-2146
Naslov projekta	RAZVOJ MAGNETNEGA HLADILNIKA
Vodja projekta	6415 Alojz Poredoš
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	9302
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	1720 SMM proizvodni sistemi d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.13 Procesno strojništvo 2.13.05 Kriogenika
Družbeno-ekonomski cilj	05. Energija

2.Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	2.05
- Veda	2 Tehniške in tehnološke vede
- Področje	2.05 Materiali

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3.Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

Magnetno hlajenje je bilo do leta 1997 rezervirano zgolj za zelo nizke temperature. Z odkritjem in razvojem magnetnih materialov z magnetokaloričnim učinkom v področju običajnih temperatur hlajenja in ustreznih permanentnih magnetov, ta tehnologija hlajenja postaja močno konkurenčna, zaradi bistveno višje energetske učinkovitosti in znatno

nižjega vpliva na okolje od obstoječih sistemov. Na Fakulteti za strojništvo smo v letih 2006/2007 razvili in izdelali prvi prototip magnetnega hladilnika, ki je bil v tistem času eden od 12 delujočih tovrstnih prototipov v svetu. Ustanovili smo konzorcij za razvoj magnetnega hladilnika do uporabniškega nivoja. Za realizacijo cilja projekta, je bilo potrebno opraviti razvoj in optimizacijo vseh elementov magnetnega hladilnika.

V Laboratoriju za hlajenje in daljinsko energetiko (LAHDE) na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani potekajo raziskave procesov magnetnega hlajenja, testiranje učinkovitosti delovanja izdelanih prototipov in raziskave komponent magnetnega hladilnika za dvig učinkovitosti, predvsem aktivnega magnetnega regeneratorskega (AMR). Eksperimentalno je bil kalibriran in preverjen matematično-numerični model prenosa toplote in tlačnih izgub v porozni strukturi v magnetnem polju. Z modeliranjem magnetnega polja so bile raziskane tudi optimalne oblike, količine in pozicije permanentnih magnetov.

Tehnološki center za modeliranje elementov in konstrukcij (CEMEK) na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani izvaja razvojno konstrukcijske rešitve mehanskih sklopov magnetnega hladilnika. Razvoj je potekal v dveh fazah. Najprej je bilo potrebno razviti eksperimentalni magnetni hladilnik, na katerem smo raziskovali in optimirali hladilni učinek posameznih oblik AMR-jev. V drugi fazi je potekalo optimiranje konstrukcijske rešitve hladilnika, primerne za industrializacijo. V ta namen je bilo potrebno razviti posebne rešitve tudi za nekatere sicer standardne elemente ali podsklope, ki so bili uporabljeni v prvi fazi razvoja.

Podjetje SMM d.o.o. je na osnovi rezultatov preliminarne in aplikativne raziskave magnetokaloričnih materialov ter izdelanih prvih prototipov izvedlo tehnično tehnološka izhodišča ter potrebne investicije za začetek pilotske proizvodnje magnetokaloričnih hladilnih sklopov.

Podjetje Horjak – Precise d.o.o. se je ukvarjalo z zahtevnimi mehanskimi obdelavami ključnih konstrukcijskih elementov magnetnega hladilnika ter analiziralo možnosti za poenostavljeno predvideno serijsko proizvodnjo komercialnih izvedb magnetnega hladilnika.

ANG

Until 1997 the magnetic refrigeration technology was used for extremely low temperatures (under -120°C). With the discovery and development of magnetic materials that exhibit the magnetocaloric effect at room temperature and suitable permanent magnets, this technology promises to be very competitive with classic vapour-compression refrigeration systems. The reason for this is in the much higher energy efficiency and smaller environmental impact. At the Faculty of Mechanical Engineering the first prototype of a magnetic refrigerator was developed in 2006/2007. It was one of the 12 working prototypes worldwide at that time. Similarly, as in other countries, a consortium for practical applications of magnetic refrigeration was founded in Slovenia. The goal of the project was the development of a magnetic refrigerator suitable for use in a variety of applications. Optimization of all the magnetic refrigerator elements was necessary for the successful realization of the project.

Research of magnetic refrigeration processes, cooling efficiency testing of developed prototypes and research of the components necessary to increase the cooling efficiency has been performed in the Laboratory for refrigeration and district energy (LAHDE) at the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana. For this purpose an active magnetic regenerator (AMR) was developed and optimized (experimentally and numerically). An experimental validation and calibration of the mathematical and numerical model for heat transfer and pressure drop in the porous structure exposed to the magnetic field were performed. Through the modeling of the magnetic field the quantity and position of permanent magnets were determined.

The Technology Centre for Element and Structure Modelling (CEMEK) at the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana was designing the mechanical elements of the magnetic refrigerator. Development were divided into two phases. First, based on the experience from the previously built prototype, an experimental magnetic refrigerator

were developed. The second phase included the selection and optimization of the refrigerator design suitable for the industrialization. New solutions were developed for some standard elements and modules used during the first development phase (experimental prototype).

On the basis of preliminary results (possibilities of market applications, operation of first prototypes,...) company SMM d.o.o. developed a technical and technological steps needed to start a test production of components for magnetic refrigerator.

Company Horjak – Precise d.o.o. was involved in pretension mechanical treatment of the basics constructional parts of magnetic refrigerator and analyzed possibilities for simplified expected serial production of the commercial execution of the magnetic refrigerator.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

Primarni cilj raziskovalnega programa je bil razvoj pred-industrijskega prototipa rotirajočega magnetnega hladilnika. V splošnem lahko opravljen razvoj razdelimo na dva segmenta, ki sta tekom projekta potekala sočasno, in sicer razvoj aktivnega magnetnega regeneratorja (AMR) kot osrednjega dela magnetnega hladilnika ter razvoj celotnega sistema magnetnega hladilnika za čim učinkovitejše izkoriščanje hladilnih karakteristik AMR-ja.

Prvi del je zajemal poglobljene analize in razvoj aktivnega magnetnega regeneratorja (AMR). To je porozna struktura iz magnetokaloričnega materiala in v magnetnem hladilniku opravlja dve funkciji, in sicer ima vlogo hladiva ter hkrati regeneratorja toplote, s čimer omogoča povečanje temperaturnega razpona magnetne hladilne naprave. Potrebno je namreč vedeti, da imajo do sedaj poznani magnetokalorični materiali premajhen magnetokalorični efekt za direktno aplikacijo v magnetnem hladilniku. Za povečanje temperaturnega razpona je v magnetni hladilnik potrebno vključiti regeneratorsko toploto in prav AMR se je v preteklosti izkazal za najučinkovitejši način izkoriščanja magnetokaloričnega efekta. Hladilni proces AMR-ja temelji na štirih fazah: magnetenje – tok fluida (odvod toplote) – razmagnetenje – protitočni tok fluida (absorbiranje toplote). V želji po določitvi optimalnega AMR-ja za aplikacijo v magnetni hladilni napravi so bile opravljene obsežne teoretične (numerične) in eksperimentalne analize njegovega delovanja. V prvi vrsti smo opravili analizo termo-hidravličnih lastnosti različnih oblik pasivnega regeneratorja primernih za aplikacijo v AMR-ju. Želimo namreč AMR, ki bo omogočal čim boljši prenos toplote ob čim manjšem tlačnem padcu. Naša želja je torej, da delovni fluid, ki se preko AMR-ja pretaka protitočno, čim hitreje in čim bolj učinkovito absorbira celotno energijo s strani magnetokaloričnega materiala generirano pri magnetokaloričnem efektu ter ima ob tem čim manj tlačnih izgub. V ta namen je bila postavljena posebna eksperimentalna proga ter razvit matematično-numerični model, ki omogočata analiziranje ter vrednotenje termo-hidravličnih lastnosti regeneratorske toplote. Analiziranih je bilo šest različnih oblik regeneratorske toplote, in sicer v obliki nasutih kroglic, ravnih ploščic ter različnih kombinacij ravnih in nagubanih ploščic. Prišli smo do sledečih ugotovitev. Kot je bilo pričakovano, regeneratorska toplota iz nasutih kroglic omogoča boljši prenos toplote (večja toplotna prestopnost), a ima hkrati večji tlačni padec glede na ostale analizirane regeneratorske toplote. Po drugi strani pa imajo regeneratorske toplote iz ravnih in nagubanih ploščic manjši tlačni padec, a hkrati manjšo toplotno prestopnost. Upoštevajoč obe termo-hidravlični lastnosti so se za bistveno boljše izkazali regeneratorske toplote iz ravnih in nagubanih ploščic.

V drugem delu razvoja AMR-ja je bil razvit dinamični matematično-numerični model za analiziranje in optimiranje njegovega delovanja in pripadajočih hladilnih karakteristik (temperaturni razpon, hladilna moč in COP). Glede na predhodno razviti model pasivnega regeneratorske toplote, model AMR-ja zajema še magnetokalorični efekt ter pripadajoče odvisnosti toplotnih lastnosti od magnetnega polja. Z razvitim numeričnim modelom je

bila opravljena obsežna analiza vpliva obratovalnih pogojev AMR-ja (masni pretok delovnega fluida, obratovalna frekvenca, temperaturni razpon pri katerem deluje,...), vpliva geometrije AMR-ja oziroma oblike uporabljenega magnetokaloričnega materiala, vpliva magnetnega polja, delovnega fluida in izvedenega termodinamičnega procesa. Pri tem smo kot magnetokalorični material uporabili gadolinij (Gd), ki se je v preteklosti uveljavil kot referenčni magnetokalorični material magnetnega hlajenja pri temperaturi okolice. Izkazalo se je, da imajo obratovalni pogoji, predvsem masni pretok in obratovalna frekvenca izjemen vpliv na hladilne karakteristike AMR-ja.

Vsaka obratovalna frekvenca ter vsak AMR ima določen optimalen masni pretok. V kolikor je količina prečrpanega fluida oziroma masni pretok premajhen, delovni fluid ne more absorbirati celotne energije generirane pri magnetokaloričnem efektu. V kolikor pa je masni pretok prevelik, pa se bo v hladni rezervoar začel stekati tudi fluid iz tople strani AMR-ja (glede na vzpostavljen temperaturni razpon v njem), kar bo zniževalo hladilni učinek. Nadalje se je izkazalo, da s stališča hladilne moči želimo delovanje AMR-ja pri čim večji obratovalni frekvenci (število termodinamičnih procesov na enoto časa), medtem ko se je s stališča COP-je za optimalno izkazala čim nižja obratovalna frekvenca. To je močno povezano s termo-hidravličnimi lastnostmi analizirane geometrije AMR-ja, saj učinkovitejša kot je oblika uporabljenega magnetokaloričnega materiala v AMR-ju, višja bo optimalna obratovalna frekvenca, tako s stališča hladilne moči kot COP-ja.

Pri analizi geometrije AMR-ja smo se osredotočili na trenutno dosegljive oblike gadolinija. Tako smo analizirali AMR v obliki nasutih kroglic ter ravnih ploščic. Zaradi velikega tlačnega padca AMR-ja iz nasutih kroglic se je izkazalo, da naj bo takšen AMR relativno kratek (okoli 20 mm) ter nasut s pripadajočim optimalnim premerom kroglic, ki za dolžino 20 mm znašajo okoli 0.1 mm. Po drugi strani zaradi relativno majhnih tlačnih izgub dolžina AMR-ja iz ravnih ploščic nima bistvenega vpliva na njegovo delovanje, a želimo, da naj bodo ploščice čim tanjše ter v AMR postavljene z optimalnim razmikom med njimi, ki znaša okoli 0.05 mm. Ob primerjavi obeh analiziranih geometrij AMR-ja smo prišli do zaključka, da nasute kroglice ustvarjajo večjo hladilno moč, medtem ko AMR iz ravnih ploščic omogočajo večje vrednosti COP, kar je bilo pričakovano glede na rezultate termo-hidravlične analize regeneratorjev.

Kot prvi na svetu smo analizirali delovanje AMR-ja tudi pod vplivom različnih režimov delovanja oziroma različnih termodinamičnih procesov. Vse predhodne analize AMR-ja so temeljile na Braytonovem procesu (adiabatna magnetizacija – tok fluida – adiabatsna demagnetizacija – protitočen tok fluida). Prišli smo do pomembne ugotovitve, da lahko z uporabo Ericssonovega krožnega procesa (izotermna magnetizacija – tok fluida – izotermna demagnetizacija – protitočni tok fluida) učinkovitost (COP) AMR-ja izboljšamo tudi do 30 %, a ob tem znižujemo hladilno moč. Pri tem se je za optimalni krožni proces izkazal hibridni Brayton-Ericssonov proces, saj je glede na Braytonov proces do 20 % bolj učinkovit in generira primerljivo hladilno moč.

Zadnji del prvega segmenta raziskovalnega projekta je zajemal razvoj in izdelavo eksperimentalne proge namenjene testiranju AMR-jev ter vrednotenju in kalibraciji razvitega numeričnega modela. Eksperimentalna proga temelji na strukturi za ustvarjanje magnetnega polja na osnovi permanentnih magnetov Nd-Fe-B, ki z recipročnim gibanjem omogoča magnetenje in razmagnetenje AMR-ja. V sklopu analize smo testirali devet različnih AMR-jev, in sicer šest z gadolinijem kot magnetokaloričnim materialom ter tri na osnovi zlitine La-Fe-Co-Si, ki ima primerljiv magnetokalorični efekt kot gadolinij, a je njena pričakovana tržna cena nižja. Analizo AMR-jev z gadolinijem smo zasnovali na štirih osnovnih oblikah Gd in sicer: ravne ploščice, kroglice, prah in valjčki. V sklopu urejenih struktur smo analizirali tri različne AMR-je iz ravnih ploščic. Dva z razporeditvijo ploščic vzporedno z magnetnim poljem in eden, ki ima ploščice postavljene pravokotno nanj. V vseh treh primerih so Gd ploščice debele 0.25 mm, medtem ko je bil razmik med njimi v enem AMR-ju 0.1 mm v dveh pa 0.25 mm. Kot najboljši med vsemi testiranimi AMR-ji se je izkazal AMR z razmikom 0.1 mm s katerim smo dosegli okoli 25 K temperaturnega razpona. To je v svetovnem merilu največji do sedaj izmerjeni

temperaturni razpon ploščnih AMR-jev (ki so vezani na večji COP) za primer magnetnega polja generiranega s permanentnimi magneti. Pri tem so bili ploščni AMR-ji narejeni z inovativno metodo z uporabo laserskega varjenja, kar je tudi predmet že vložene patentne prijave. AMR-ji na osnovi La-zlitin so sicer ustvarili nekoliko nižji temperaturni razpon od primerljivih gadolinijevih AMR-jev, a predvsem zaradi nižje cene takšnih materialov trenutno predstavljajo enega najresnejših kandidatov za uporabo v komercialnih magnetnih hladilnikih.

Drugi segment raziskovalnega projekta pa je zajemal razvoj celotnega sistema magnetnega hladilnika, ki bi čim učinkoviteje izkoriščal hladilne karakteristike generirane s strani AMR-ja, razvitega in optimiranega v prvem segmentu projekta. Pri tem je bil osnovni cilj razvoj pred-industrijskega prototipa rotirajočega magnetnega hladilnika. Prototip je zasnovan v obliki rotirajočega diska v katerem je zloženih 32 AMR-jev, ki se vrtijo skozi štirih območja z visokim magnetnim poljem (0,85 T) in štiri območja z zelo nizkim magnetnim poljem ($<0,1$ T). Magnetno polje ustvarjajo štiri enostavne (in cenovno ugodne) strukture iz permanentnih magnetov Nd-Fe-B in mehko magnetnega jekla, ki so bile predhodno razvite in optimirane z uporabo numeričnih orodji (FEMM, Ansys Multiphysics).

Za doseganje zgoraj navedenega funkcionalnega principa delovanja je bil razvit osrednji del magnetnega hladilnika, ki je sestavljen iz ohišja in rotorja z ustreznim vleženjem in pogonom, ki sta v tej fazi izbrana iz nabora standardnih rešitev tako, da bi bila čim bolj prilagodljiva, enostavna za montaže in demontaže ter cenovno ugodna. Ta dva podsklopa je mogoče nadgraditi in izboljšati do končne industrijske izvedbe. Enako velja za izbor materialov, kjer je potreba po majhni toplotni prevodnosti in upornosti magnetnemu pretoku vodila do ustreznih polimernih materialov. Izbran koncept odpravlja problem zunanje lekaže, ker so vsi priključki na sistem obtoka hladilnega fluida izvedeni na statorju. Razvodnik oz. razdelilnik fluida, ki skrbi, da se pri vrtenju rotorja fluid pretaka skozi ustrezne AMR-je in v pravo smer, je izveden v notranjosti, kar dejansko povzroča samo notranjo lekažo. Pozitivno je, da ni izgub fluida, negativno, da je izredno težko spremljati dogajanje in kontrolirati primeren nivo lekaže, ki poslabšuje učinek naprave. Delovanje razdelilnika temelji na kontrolirani majhni reži fluida, ki preprečuje dotik trdnih delov in s tem zmanjšuje trenje ter toplotne dobitke, ki so v osrčju magnetnega hladilnika izredno škodljivi in nezaželeni. Zagotavljanje primerne geometrije in velikosti reže se je izkazalo za velik problem (vsaj pri trenutno razpoložljivih sredstvih in s tem povezanih uporabljenih materialih in tehnologijah) in zahteva nadaljnje raziskave in razvoj tega dela naprave.

Za potrebe prvotnih meritev ter analiz delovanja smo prototip napolnili z AMR-ji v obliki Gd valjčkov. Začetni rezultati so nakazali nezadostno delovanje prvotno zasnovanega razdelilnika toka fluida, ki v takšni obliki ni omogočal ustrezne pretočnosti oziroma protitočnega delovanja AMR-jev. Zaradi relativno velikega tlačnega padca toka fluida preko AMR-ja, je praktično ves delovni fluid znotraj sistema naredil neke vrste »by-pass« in takoj po vstopu našel najkrajšo hidravlično pot na izstop.

V naslednjem koraku je bil razdelilnik fluida korigiran tako, da so bili po notranjem in zunanjem obodu rotorja (na vstopu in izstopu v/iz AMR-jev) paroma nameščeni drsni obroči iz nerjavnega jekla. Med drsnimi obroči in rotorjem ter statorjem so bili zaradi ujemanja toleranc nameščeni še deformabilni teflonski obroči. Nova rešitev predstavlja precejšnjo izboljšavo, saj se sedaj večina delovnega fluida preko AMR-jev preteka pravilno. To je posledično pomenilo tudi opazen temperaturni odziv AMR-jev oziroma magnetnega hladilnika. Izmerjen temperaturni razpon je bil primerljiv rezultatom, ki smo jih Gd valjčki izmerili na eksperimentalni progi.

Razvit prototip magnetnega hladilnika je torej pripravljen, da se v njega vstavi boljše AMR-je (npr. AMR iz ploščic z razmikom 0,1 mm), s katerim glede na meritve opravljene na eksperimentalni progi lahko pričakujemo temperaturni razpon okoli 30 K in hladilno moč okoli 500 W.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Ocenjujemo, da je delo na raziskovalnem projektu potekalo v skladu z zastavljenimi raziskovalnimi cilji. V prvem segmentu projekta, ki je bil namenjen razvoju AMR-ja smo uspešno realizirali sledeče zastavljene cilje:

- Teoretično (numerično) in eksperimentalno ovrednotenje termo-hidravličnih lastnosti različnih oblik pasivnih regeneratorjev toplote primernih za aplikacijo v AMR-ju.
- Razvoj matematično-numeričnega modela za dinamično simuliranje delovanja AMR-ja.
- Parametrična analiza in optimiranje različnih lastnosti AMR-ja (z razvitim numeričnim modelom), kot so obratovalni pogoji (masni pretok in obratovalna frekvenca), geometrija AMR-ja oziroma oblika uporabljenega magnetokaloričnega materiala, aplicirano magnetno polje, delovni fluida in izveden termodinamični proces.
- Razvoj in izdelava eksperimentalne proge namenjene za testiranje različnih oblik AMR-jev pri različnih obratovalnih pogojih ter validaciji razvitega numeričnega modela.
- Analiza devetih različnih AMR-jev z različnimi magnetokaloričnimi materiali (Gd ter La-Fe-Co-Si) različnih oblik (ravne ploščice, kroglice, prah, valjčki).

V prvem segmentu projekta smo torej definirali optimalni AMR (glede na trenutno dosegljive magnetokalorične materiale) ter optimalne pripadajoče obratovalne pogoje, pri katerih naj bi obratoval tudi razvit prototip rotirajočega magnetnega hladilnika. Razvoj slednjega je bil predmet drugega segmenta projekta, pri katerem smo uspešno realizirali sledeče zastavljene cilje:

- Razvoj, optimiranje in analiza strukture za ustvarjanje magnetnega polja.
- Razvoj ohišja in rotorja magnetnega hladilnika z ustreznim vležanjem in pogonom.
- Razvoj in testiranje razdelilnika toka fluida.
- Nadgradnja oziroma izboljšanje razdelilnika toka fluida z uporabo drsnih obročev.
- Testiranje in potrditev ustreznega delovanja magnetnega hladilnika (glede na rezultate predhodno razvite eksperimentalne proge).

6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

Bistvenih sprememb programa ni bilo.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	12647707	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Obsežna eksperimentalna analiza gadolinijevih aktivnih magnetnih regeneratorjev
		ANG	A comprehensive experimental analysis of gadolinium active magnetic regenerators
			Glavni namen raziskave je bila eksperimentalna primerjava šestih različnih aktivnih magnetnih regeneratorjev (AMR) narejenih iz gadolinija. Analiza je bila izvedena za tri vrste AMR-jev sestavljenih iz vzporednih ploščic (z različnimi poroznostmi in različno orientiranost ploščic glede na magnetno polje) in tri vrste AMR-jev v obliki nasutih struktur (v obliki kroglic, v obliki valjčkov in kot prah). Ker je delovanje AMR močno odvisno od obratovalnih pogojev, so bili eksperimenti izvedeni pri različnih masnih pretokih in frekvencah. Na podlagi tega je bilo mogoče določiti optimalne pogoje

Opis	SLO	delovanja izbranega AMR-ja. Kot kriterij primerjave med AMR-ji je bila uporabljena temperaturna razlika, hladilna moč in eksperimentalno napovedan COP. Eksperimentalna analiza je bila izvedena na novem prototipu magnetnega hladilnika zasnovanemu kot eksperimentalna naprava. Njegovo delovanje temelji na permanentni magnetni strukturi, ki se linearno giblje preko statičnega AMR-ja. Magnetna struktura ustvarja magnetno polje okoli 1.15 T. Rezultati kažejo, da ima geometrija AMR-ja (oblika magnetokaloričnega materiala) ključen vpliv na delovanje magnetne hladilne naprave. V celoti gledano (glede na temperaturni razpon, hladilno moč in COP) izkazuje najboljšo karakteristiko delovanja AMR sestavljen iz vzporednih ploščic z najmanjšo poroznostjo (25%), ter orientacijo ploščic vzporedno z magnetnim poljem. S tem AMR-jem je bilo moč generirati temperaturni razpon preko 20 K, kar v do sedaj objavljenih znanstvenih publikacijah, pri dani spremembi magnetnega polja 1.15 T, predstavlja največji izmerjeni temperaturni razpon za AMR iz vzporednih ploščic. Na podlagi primerjave eksperimentalno napovedanega COP-ja med AMR-jem iz vzporednih ploščic in AMR-jem kot nasuto strukturo, lahko ugotovimo, da AMR iz vzporednih ploščic dosega višje učinkovitosti delovanja.	
	ANG	The main goal of this study was an experimental comparison of six different active magnetic regenerators (AMRs) with gadolinium as the magnetocaloric material. The analysis was carried out for three different parallel-plate AMRs (with different porosities and different orientations of the plates in the magnetic field) and three different packed-bed AMRs (filled with spheres, powders and cylinders). Since the operation of an AMR is strongly affected by the operating conditions, the experiments were performed at different mass-flow rates and at different operating frequencies. These were required in order to define the optimum corresponding operating conditions for the analyzed AMRs. As comparative criteria the maximum temperature span, the cooling capacity and the experimentally predicted COP were taken into consideration. The experimental analysis was performed on a new prototype of magnetic refrigerator designed as an experimental device. Its operation is based on the linear movement of a permanent-magnet assembly over a static AMR. The magnet assembly provides a measured magnetic field of about 1.15 T. The results reveal that the geometry of the AMR (the form of the magnetocaloric material) has a crucial impact on the performance of the magnetic refrigerator. The best overall cooling characteristics (temperature span, cooling capacity and COP) were obtained for the parallel-plate AMR with the smallest porosity (25%) and the orientation of the plates parallel to the magnetic field. This particular AMR generated a temperature span of 20 K, which is also the largest, so-far measured and published temperature span with a parallel-plate AMR for a given magnetic field change generated by permanent magnets. With respect to the comparison of the experimentally predicted COP values, the parallel-plate AMRs show higher efficiencies than the packed-bed AMRs.	
	Objavljeno v	Elsevier Science; Applied Thermal Engineering; 2013; Vol. 53, iss. 1; str. 57-66; Impact Factor: 2.064; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.056; A': 1; Avtorji / Authors: Tušek Jaka, Kitanovski Andrej, Zupan Samo, Prebil Ivan, Poredoš Alojz	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
	COBISS ID	11935003	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Dinamično delovanje aktivnega magnetnega regenerotorja	
	ANG	Dynamic operation of an active magnetic regenerator (AMR)	
		Razvit je bil nov, hiter in fleksibilni, časovnoodvisni, enodimenzijski numerični model za analize delovanja aktivnega magnetnega regenerotorja (AMR). Model je zasnovan na sistemu enačb (za magnetokalorični material in delovni fluid), ki so bile reševane simultano	

	Opis	SLO	z uporabo programa MATLAB. Model lahko uporabimo za analizo širokega nabora obratovalnih pogojev (masni tok, frekvenca obratovanja, sprememba magnetnega polja), različnih geometrij AMR, različnih magnetokaloričnih materialov in delovnih fluidov. Članek predstavlja optimizacijo AMR geometrije, kjer se AMR sestoji iz nasutih kroglic gadolinija (Gd). Izvedena je bila optimizacija masnega toka in obratovalne frekvence AMR za pet različnih premerov kroglic.	
		ANG	A new, fast and flexible, time-dependent, one-dimensional numerical model was developed in order to study in detail the operation of an active magnetic regenerator (AMR). The model is based on a coupled system of equations (for the magnetocaloric material and the heat-transfer fluid) that have been solved simultaneously with the software package MATLAB. The model can be employed to analyze a wide range of different operating conditions (mass-flow rate, operating frequency, magnetic field change), different AMR geometries, different magnetocaloric materials and heat-transfer fluids, layered and single-bed AMRs, etc. This paper also presents an optimization of the AMR geometry, where the AMR consists of a packed-bed of grains (spheres) of gadolinium (Gd). The optimization of the mass-flow rate and the operating frequency of the AMR were performed by studying five different diameters of Gd spheres.	
	Objavljeno v		Elsevier Science; International journal of refrigeration; 2011; Vol. 34, iss. 6; str. 1507-1517; Impact Factor: 1.817; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.056; A': 1; Avtorji / Authors: Tušek Jaka, Kitanovski Andrej, Prebil Ivan, Poredoš Alojz	
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID		11191067	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Razvoj rotirajočega magnetnega hladilnika	
		ANG	Development of a rotary magnetic refrigerator	
	Opis	SLO	Skupina raziskovalcev je razvila in izdelala prototip rotirajočega magnetnega hladilnika. Osnovno delovanje predstavljenega magnetnega hladilnika temelji na vrtilnem gibanju aktivnih magnetnih regeneratorjev (AMR) z magnetokaloričnim materialom in na stacionarnem magnetnem polju, ki ga ustvarjajo permanentni magneti NdFeB. V prispevku sta predstavljena razvoj in analiza strukture za ustvarjanje magnetnega polja ter osnovni princip delovanja izdelanega prvega prototipa magnetnega hladilnika. V drugem delu pa je podrobneje opisan razvoj nekaterih ključnih elementov celotnega sistema magnetnega hladilnika.	
		ANG	A team of researchers have developed and built a prototype of a rotary magnetic refrigerator (MR). The principle of the operation of the presented magnetic refrigerator is based on the rotary movement of active magnetic regenerators (AMRs) with a magnetocaloric material and on the magnetic field generated by permanent magnets NdFeB. The first part of the paper presents the development and analysis of the structure for generating the magnetic field and the basic operational principle of the magnetic refrigerator concerned, and the second part gives a description of the development process for certain key elements of the complete magnetic refrigeration system.	
	Objavljeno v		Elsevier Science; International journal of refrigeration; 2010; Vol. 33, iss. 2; str. 294-300; Impact Factor: 1.439; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.909; A': 1; Avtorji / Authors: Tušek Jaka, Zupan Samo, Šarlah Alen, Prebil Ivan, Poredoš Alojz	
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID		12192283	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Primerjava termo-hidravličnih lastnosti toplotnih regeneratorjev, primernih za aktivne magnetne regeneratorje	

		ANG	Comparison of thermo-hydraulic properties of heat regenerators applicable to active magnetic refrigerators
	Opis	SLO	Prispevek obravnava pasivne toplotne regeneratorje, ki primerni za uporabo v aktivnih magnetnih regeneratorjih ter njihovo analizo iz vidika termo-hidravličnih karakteristik ter magnetnih lastnosti. Med seboj so primerjani in evalvirani s pomočjo eksperimentalnih rezultatov (z uporabo metode enkratnega vpiha) in brezdimenzijskega matematičnega modela. Regeneratorji so med seboj primerjani glede na prenos toplote, tlačni padec in njihovo toplotno učinkovitost. Izdelan numerični program je bil v nadaljevanju nadgrajen z magnetnimi lastnostmi in termodinamičnimi zakonitostmi delovanja AMR, pri čemer so bile magnetne lastnosti določene na osnovi aproksimacije molekularnega polja. Dobljeni numerični program je bil dodatno eksperimentalno in analitično preverjen.
		ANG	This paper describes passive heat regenerators appropriate for active magnetic refrigerators (AMR) and evaluates them from the point of view of thermo-hydraulic characteristics and magnetic properties. A dimensionless numerical model for the determination of the heat transfer coefficient is used together with experimental data for the evaluation of six different regenerator geometries using heat transfer, pressure drop and thermal efficiency as evaluation criteria. An existing numerical model was upgraded with magnetic properties and employed in the computer programme for an active magnetic regenerator in which the magnetic properties are obtained using molecular field approximation. The model was tested for thermodynamic consistency and verified using available experimental data.
	Objavljeno v		Zveza strojnih inženirjev in tehnikov Slovenije [et al.] = Association of Mechanical Engineers and Technicians of Slovenia [et al.]; Strojniški vestnik; 2012; Vol. 58, no. 1; str. 16-22, SI 5; Impact Factor: 0.398; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.056; Avtorji / Authors: Šarlah Alen, Tušek Jaka, Poredoš Alojz
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	11767323	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Pregled numeričnih modelov aktivnega magnetnega regeneratorja za uporabo pri temperaturi okolice
		ANG	Review on numerical modeling of active magnetic regenerators for room temperature applications
	Opis	SLO	Aktivni magnetni regenerator (AMR) predstavlja alternativni hladilni cikel s potencialno višjo energetske učinkovitostjo glede na konvencionalne hladilne tehnike. Popis delovanja AMR-ja zahteva kompleksno obravnavo prenosa toplote, dinamike tekočin in magnetnega polja, za kar je potrebno natančno modeliranje. Članek pregleduje obstoječe numerične modele AMR-jev pri sobni temperaturi. Podrobno so predstavljene vodilne enačbe, vpeljava magnetokaloričnega efekta (MCE), toka tekočine, profil magnetnega polja, toplotna prevodnost itd., ter njihov vpliv na delovanje AMR-ja. Učinki usmerjanja pretoka, histereze, toplotnih izgub, ter vpliv demagnetizacijskega polja so obravnavani in izkaže se, da je popis teh pojavov zelo pomemben za boljše razumevanje delovanja AMR-ja.
		ANG	The active magnetic regenerator (AMR) is an alternative refrigeration cycle with a potential gain of energy efficiency compared to conventional refrigeration techniques. The AMR poses a complex problem of heat transfer, fluid dynamics and magnetic field, which requires detailed and robust modeling. This paper reviews the existing numerical modeling of room temperature AMR to date. The governing equations, implementation of the magnetocaloric effect (MCE), fluid flow and magnetic field profiles, thermal conduction etc. are discussed in detail as is their impact on the AMR cycle. Flow channeling effects, hysteresis, thermal losses and demagnetizing fields are discussed and it is concluded that more detailed

		modeling of these phenomena is required to obtain a better understanding of the AMR cycle.
Objavljeno v		Elsevier Science; International journal of refrigeration; 2011; Vol. 34, iss. 3; str. 603-616; Impact Factor: 1.817; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.056; A': 1; Avtorji / Authors: Nielsen Kaspar K., Tušek Jaka, Engelbrecht Kurt, Schopfer S., Kitanovski Andrej, Bahl Christian Robert Haffenden, Smith Anders, Pryds Nini, Poredoš Alojz
Tipologija	1.02	Pregledni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	12596507	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Postopek izdelave aktivnega magnetnega regeneratorskega
		ANG	The manufacturing process of the active magnetic regenerator
	Opis	SLO	Predloženi izum se nanaša na postopek izdelave aktivnega magnetnega regeneratorskega iz magnetokaloričnega materiala z uporabo laserskega varjenja. Pri tem se najprej izdelava vsaj en distančnik na plošči iz magnetokaloričnega materiala, nakar se niz plošč iz magnetokaloričnega materiala, zasnovanih z vsaj enim distančnikom, postavi druga na drugo, s čimer se ustvari sklad. Omenjeni sklad iz niza plošč iz magnetokaloričnega materiala, zasnovanih z vsaj enim distančnikom, se zatem medsebojno poveže v omenjeni regenerator.
		ANG	The present invention relates to the manufacturing process of the active magnetic regenerator of magnetocaloric materials using laser-welding technology. At first at least one spacer is produced on the magnetocaloric plate, after which a series of plates of magnetocaloric material, designed with at least one spacer, is put on each other in order to create a fund. The fund of a series of plates of magnetocaloric material, designed with at least one spacer, is then connected into said regenerator.
	Šifra	F.33	Patent v Sloveniji
	Objavljeno v		Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino; 2012; 8 f., 2 f. pril.; Avtorji / Authors: Tušek Jaka, Pompe Klemen, Kitanovski Andrej, Tušek Janez, Poredoš Alojz
	Tipologija	2.23	Patentna prijava
2.	COBISS ID	12462363	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Novi termodinamični krožni procesi za potrebe magnetnega hlajenja
		ANG	New thermodynamic cycles for magnetic refrigeration
	Opis	SLO	Večina obstoječih prototipnih magnetnih hladilnih naprav temelji na delovanju posebnega Braytonovega aktivnega magnetnega regenerativnega krožnega procesa. Obstajajo tudi drugi potencialni procesi, ki bi lahko vplivali ne le na učinkovitost delovanja, vendar tudi na ceno, kompaktnost ali kompleksnost magnetnih hladilnih naprav. V članku so predstavljeni rezultati numerične analize, na podlagi katere je narejena primerjava termodinamičnih procesov pri različnih obratovalnih pogojih. Na kratko so obravnavani in primerjani tudi različni viri magnetnega polja. Podane so smernice za nadaljnje delo na področju magnetnih termodinamičnih krožnih procesov.
			Most of the existing prototype devices in magnetic refrigeration are based on the active magnetic regenerative cycle (AMR), which operates as a Brayton, regenerative magnetic refrigeration cycle. However, there exist several other potential cycles, that may not influence only the efficiency,

		ANG	but also the cost, compactness, or simplicity of magnetocaloric devices. The article presents results of the numerical analyses, and compares characteristics of different thermodynamic cycles, under different operating conditions. Discussion on the possibility of the introduction of new potential thermodynamic cycles is given in the article. This is supported by the brief information and comparison of corresponding magnetic field sources. Important guidelines for the future work on new magnetic thermodynamic cycles are given in the paper.
	Šifra		B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v		International Institute of Refrigeration; 5th International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Grenoble, France, September 17-20, 2012; 2012; Str. 365-372; Avtorji / Authors: Kitanovski Andrej, Tušek Jaka, Poredoš Alojz
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
3.	COBISS ID	12032539	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Magnetno hlajenje na Univerzi v Ljubljani
		ANG	Magnetic refrigeration at the University of Ljubljana
	Opis	SLO	Predavanje opisuje pregled razvoja tehnologije magnetnega hlajenja na Fakulteti za strojništvo (Univerza v Ljubljani) v zadnjih šestih letih (2006–2012). Kot uvod v obravnavano tematiko so najprej predstavljene osnove magnetnega hlajenja in pregled stanja na obravnavanem področju. Drugi del predavanja opisuje razvoj rotirajočega prototipa magnetnega hladilnika, razvitega na Fakulteti za strojništvo. Opisani so osnovni principi delovanja, analiza strukture za ustvarjanje magnetnega polja ter nekatere konstrukcijske težave, ki otežujejo učinkovito delovanje. V tretjem delu predavanja je opisana razvita in izdelana eksperimentalna proga za testiranje aktivnih magnetnih regenerators (AMR) kot osnovnega elementa magnetnega hladilnika. Ugotovljen je bil izjemen vpliv geometrije AMR-ja na delovanje magnetnega hladilnika. Nadalje je predstavljena inovativna metoda za izdelavo AMR-ja, ki temelji na tehnologiji laserskega varjenja. V zaključnem delu je predstavljeno nadaljnje delo na tem področju, ki med drugim zajema alternativno rešitev za hitrejši prenos toplote v AMR-ju z uporabo toplotnih diod.
		ANG	The lecture describes an overview of the development of the magnetic refrigeration technology at the Faculty of Mechanical Engineering (University of Ljubljana) in the last six years (2006-2012). The short review and the basics of the magnetic refrigeration technology are described in the introduction of the lecture. The second part of the lecture presents the development of the prototype of the rotary magnetic refrigerator developed at the Faculty of Mechanical Engineering. The basic operational principle and the analysis of the magnet assembly of the prototype are shown, and furthermore, some constructional problems which enable efficient operation are described as well. In the third part of the paper the developed and built experimental device for the analysis of the active magnetic regenerator (AMR), as the key element of the magnetic refrigerator, is presented. It has been shown that the geometry of the AMR has a crucial impact on the operation of the magnetic refrigerator. The innovative technology for the construction of the AMR based on the laser welding is presented and described as well. The final part of the lecture presents the future work in the field of magnetic refrigeration, which includes the alternative solution for a faster heat transfer in the AMR by using thermal diodes.
	Šifra		B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v		2011; Avtorji / Authors: Kitanovski Andrej
	Tipologija		3.14 Predavanje na tuji univerzi
4.	COBISS ID	11049499	Vir: COBISS.SI

	Naslov		SLO	Tretja mednarodna konferenca o magnetnem hlajenju pri temperaturi okolice, Des Moines, Iowa, ZDA, 11.-15. maj, 2009
			ANG	3rd International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Des Moines, Iowa, USA, May 11-15, 2009
	Opis		SLO	Na osnovi mednarodnega sodelovanja in dosežkov na področju magnetnega hlajenja nam Mednarodni institut za hlajenje (IIRIIF) zaupal so-organizacijo Tretje Mednarodne konference o Magnetnem hlajenju pri temperaturi okolice (Thermag III), ki je potekala med 11. in 15. majem, 2009 na IOWA State University v Des Moines, USA. V sklopu tega sta bila prof. Poredoš in i.prof. Kitanovski so-urednika zbornika konference .
			ANG	On the basis of international cooperation and achievements in the field of magnetic refrigeration International Institute of Refrigeration (IIRIIF) has entrusted us to the co-organize the Third International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature (Thermag III), held between 11 and 15 May, 2009 at IOWA State University in Des Moines, USA. In the Thermag III Conference prof. Poredoš and assist. prof. Kitanovski was also the co-editor of the proceedings.
	Šifra		C.01 Uredništvo tujega/mednarodnega zbornika/knjige	
	Objavljeno v		Institut International du Froid; 2009; XVII, 508 str.; Avtorji / Authors: Egolf Peter W., Poredoš Alojz, Kitanovski Andrej	
Tipologija		2.31 Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci		
5.	COBISS ID		12461851	Vir: COBISS.SI
	Naslov		SLO	Eksperimentalna naprava aktivnih magnetnih regeneratorjev (AMR)
			ANG	Active magnetic regenerator (AMR) experimental test device
	Opis		SLO	Nova eksperimentalna naprava za testiranje AMR-jev je bila zasnovana, izdelana in uspešno testirana. Temelji na linearnem gibanju strukture iz permanentnih magnetov preko statičnega AMR-ja. Dva predelana bata sta uporabljena za zagotavljanje protitočnega delovanja. Magnetna struktura zagotavlja magnetno polje 1,15 T (izmerjena vrednost). Testi so bili izvedeni za različne regeneratorje pri različnih obratovalnih pogojih (masni pretok in obratovalna frekvenca), v želji po doseganju največjega temperaturnega razpona (brez hladilne moči) ter hladilne moči pri različnih temperaturnih razponih. V prispevku so prikazani rezultati AMR-ja iz gadolinijevih (Gd) ploščic debeline 0,25 mm ter razmikom med njimi prav tako 0,25 mm. Pri tem je bil največji izmerjen temperaturni razpon 16 K in 7 W hladilne moči pri 1 K temperaturnega razpona. Drugi del prispevka zajema primerjavo eksperimentalnih in numeričnih rezultatov (na osnovi predhodno razvitega numeričnega modela).
			ANG	A new AMR experimental device has been designed, built and successfully tested. Its operation is based on the linear movement of the permanent magnet assembly over the static AMR. Two pistons serve for the counter fluid flow operation. The magnet assembly provides a magnetic field of 1.15 T (measured). Experiments have been performed for different kinds of regenerators at different operation conditions (mass flow rate and operation frequency) in order to obtain maximum temperature span (at zero load conditions) and cooling capacity at different temperature spans. In this paper, the results are presented for the AMR consisted of gadolinium (Gd) plates and voids with thickness of 0.25 mm. Maximum temperature span of 16 K was measured and 7 W of the cooling capacity was measured at 1 K of the temperature span. The second part of the paper regards the comparison between experimental and numerical results (of the previously developed numerical model).
	Šifra		B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	

Objavljeno v	International Institute of Refrigeration; 5th International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Grenoble, France, September 17-20, 2012; 2012; Str. 429-436; Avtorji / Authors: Tušek Jaka, Kitanovski Andrej, Flisar Uroš, Zupan Samo, Prebil Ivan, Poredoš Alojz
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Na osnovi naših preteklih dosežkov na področju magnetnega hlajenja (tudi oziroma predvsem na osnovi dela opravljenega na raziskovalnem projektu), ki jih je mednarodna skupnost prepoznala kot zelo pomembne, smo bili v preteklem in tekočem letu deležni dveh posebnih priznanj:

- S strani založniške hiše John Wiley & Sons Ltd so nas povabili k so-avtorstvu pri knjigi Magnetic Cooling: From Fundamentals to High Efficiency Refrigeration (edited by Prof. Dr Karl Sandeman and Prof. Dr Oliver Gutfleisch), kjer so nam v pripravo zaupali enega ključnih poglavij z naslovom Thermodynamics of the magnetic cooling cycle. To je prva knjiga namenjena aplikativni uporabi magnetnega hlajenja na svetu.
- Mednarodna znanstvena revija International Journal of Refrigeration pripravlja izdajo posebne številke namenjene razvoju magnetnega hlajenja, na osnovi prispevkov objavljenih na mednarodni konferenci (International Institute of Refrigeration; 5th International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Grenoble, France, September 17-20, 2012). Za objavo so bili izbrani kar štirje naši prispevki, kar je največ med vsemi inštitucijami, ki so aktivne na področju magnetnega hlajenja.

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Raziskave in rezultati projekta so prispevali k razumevanju termodinamičnih procesov magnetnih hladilnikov in nakazali možnosti njihove uporabe v različnih tržnih segmentih hlajenja. Bistven napredek je bil narejen predvsem pri razumevanju delovanja AMR-ja kot ključnega elementa magnetnega hladilnika. Med drugim smo v sklopu projekta kot prvi na svetu dokazali, da je Ericssonov krožni proces AMR-ja bistveno bolj učinkovit do sedaj uporabljenega Braytonovega procesa. Poleg tega smo z inovativno tehnologijo z uporabo laserskega varjenja razvili postopek izdelave ploščnih AMR-jev, ki so ustvarili največji do sedaj izmerjen temperaturni razpon v svetovnem merilu (za magnetno polje generirano s permanentnimi magneti). Stroka s področja hlajenja je pridobila znanje za razvoj elementov magnetnih hladilnikov, ki so energetsko konkurenčni klasičnim hladilnim sistemom. Rezultati raziskav so vsekakor obogatili slovensko in svetovno zakladnico znanja predvsem na področju termodinamike, hidrodinamike, prenosa toplote, tehnologije materialov, obdelovalnih tehnologij in mehatronike. Rezultat projekta je med drugim tudi 8 znanstvenih člankov, ki so objavljeni (ali pa so še v fazi presojanja) v uglednih mednarodnih znanstvenih revijah ter ena patentna aplikacija.

ANG

Research and results of the project have contributed to the understanding of the thermodynamic processes of magnetic refrigerators and indicated the possibility of its applications in different segments of the refrigeration markets. Significant progress has been made especially in the understanding of the operation of the AMR as a key component of the magnetic refrigerator. As the first in the world we proved that Ericsson thermodynamic process of the AMR is much more effective as so far widely used Brayton process. In addition, by an innovative technology with the usage of the laser welding technology we developed the manufacturing process for making a parallel-plate AMR, which generated the largest so far measured temperature span in the world (for the given magnetic field change generated by the permanent magnets). However, we have gained the knowledge to develop the elements of magnetic refrigerators that are energy competitive with the conventional cooling system. Research results have certainly enriched the Slovenian and the world knowledge especially in

the field of thermodynamics, hydrodynamics, heat transfer, materials technology, manufacturing technologies and mechatronics.

The result of the project includes also eight scientific papers that have been published (or are still in the reviewing phase) in the prestigious international scientific journals and one patent application.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Nujen pogoj za trajnostni družbeno-ekonomski in kulturni razvoj Slovenije je znanje. Energija (v zadnjem času predvsem za hlajenje) in materiali so vedno predstavljali njuno podlago za tehnološki razvoj in napredek. Tudi danes predvsem učinkovita raba energije in sodobni materiali z izboljšanimi ali novimi lastnostmi podpirajo nadaljnji razvoj številnih tradicionalnih panog in izdelkov, obenem pa odpirajo nova področja tehnološkega razvoja in tehnologije, ki bistveno vplivajo na kvaliteto življenja. S stališča Slovenije je tako izredno pomembno ustvarjati lastna znanja, ki podpirajo konkurenčnost panog in industrijskih subjektov, ki se skušajo ali so že sedaj uveljavljena na svetovnem trgu in s tem prispevati k ohranjanju obstoječih delovnih mest in odpiranju novih. Raziskovalni projekt predstavlja kontinuiteto osnovnih in aplikativnih raziskav, katerih rezultati, znanje, bodo, tako kot v preteklosti, tudi v bodoče nudili potrebno podporo domačim proizvajalcem na področju novih tehnologij in produktov.

Razvoj magnetnega hladilnika ter pripadajočih tehnologij je tisto, tudi v svetu priznано znanje, ki za Slovenijo predstavlja enkratni razvojni, tehnološki in organizacijski izziv. Najboljši možni celotni izkoristek porabe energije pri delovanju magnetnega hladilnika bo omogočil trženje z večjo dodano vrednostjo na osnovi domačega znanja, ki vključuje vse dane prednosti Slovenije na mednarodnem globalnem trgu hladilne tehnike.

Močno gospodarstvo je najboljši promotor države. S tega stališča bo tehnologija magnetnega hlajenja pomembno prispevala k višji razpoznavnosti tako slovenske znanosti kot gospodarstva. Hkrati pa bo odprla nove možnosti za gospodarstvo in izobraževalne institucije.

Za magnetno hlajenje lahko rečemo, da je med redkimi strateškimi razvojnimi priložnostmi Slovenije za uporabo lastnega vrhunškega znanja. Kot maloštevilni narod se v Sloveniji ne moremo pohvaliti z zelo široko paleto vrhunskih tehnologij. Zaradi tega je naš nacionalni interes in verjetno edina razvojna alternativa izraba domačega znanja v funkciji razvoja naše, slovenske industrije. Industrijskim partnerjem v projektu se tako z nadaljnjim razvojem tehnologije magnetnega hlajenja na široko odpirajo vrata na preko 100 milijard dolarjev vreden trg hladilne tehnike (domači in industrijski hladilniki, klimatske naprave, toplotne črpalke).

ANG

A necessary condition for the sustainable socio-economic and cultural development of Slovenia is knowledge. Energy (also cooling) and materials have always represented a key foundation for technological development and advancement. The efficient use of energy and new materials with improved properties supports the further development of various conventional technologies and products, while at the same time they are paving the way to new technologies, which have a significant impact on the quality of life. From the standpoint of Slovenia, it is very important to produce its own knowledge, which can help Slovenian industry to become a recognisable rival in the world market. The proposed research project is in line with the basic and applicative research work that is already in progress and results, knowledge and expertise of which will offer domestic manufacturers a much needed support in the field of new technologies and products.

The development of a magnetic refrigerator and the associated technologies is a recognizable knowledge – also in the eyes of the world – that represents an R&D and organizational challenge. The higher operational efficiency of magnetic refrigerators will allow Slovenia to manufacture a product with a higher added value, based on domestic knowledge.

A strong economy is the best promotion for any country, and the technology of magnetic refrigeration will importantly contribute to a better recognition of Slovenian science and its economy. At the same time it will open new opportunities for Slovenian economic and educational institutes.

Magnetic refrigeration represents a rare strategically development opportunity of Slovenia, using only domestic top-notch knowledge. As a nation of only two million people we cannot say

that we have expertise of a vast number of top technologies that exist in the world today. This is why our national interest is utilization of domestic knowledge in a domestic economy. Industrial partner in the project have a great opportunity that with a further developments enter over 100 billion dollar refrigeration market (domestic and industrial refrigerators, air conditioners, heat pumps).

11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	

	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih

F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☒	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☒	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☒	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☒	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☐	☒	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☐	☒	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☒	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☒	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☒	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☐	☐	☒	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☐	☒	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☐	☒	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☐	☐	☐	☒	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	☐	☐	☐	☒	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☐	☐	☒	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☐	☒	

G.03.04.	Drugo:		☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj						
G.04.01.	Dvig kvalitete življenja		☐	☐	☐	☒	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja		☐	☒	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave		☐	☒	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti		☐	☒	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe		☐	☒	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:		☐	☐	☐	☐	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete						
			☒	☐	☐	☐	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj						
			☐	☐	☐	☒	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture						
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura		☒	☐	☐	☐	
G.07.02.	Prometna infrastruktura		☐	☒	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura		☐	☐	☐	☒	
G.07.04.	Drugo:		☐	☐	☐	☐	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva						
			☐	☐	☐	☒	
G.09.	Drugo:						
			☐	☐	☐	☐	

Komentar

--

13. Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer		
1.	Naziv	Horjak - Precise d.o.o. Domžale	
	Naslov	Preserska c. 8, Zg. Jarše, 1235 Radomlje, Slovenija	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	87.942,20	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	18	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	Razvoj in izdelava prototipa	F.08
	2.	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	F.01
	3.	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	F.10
	4.	Tehnološki razvoj	F.04
	5.	Gospodarski razvoj (drugo)	E.03
	Komentar	Izdelava sestavnih delov Magnetnega hladilnika iz novih materialov, z razvojem ustrezne napredne CNC tehnologije obdelave le-teh. Ker so zahteve natančnosti sestavnih delov na visokem nivoju, so bili razviti tudi	

		ustrezni postopki dimenzijskih in oblikovnih meritev na CNC koordinatnem merilnem stroju.
	Ocena	Razvoj in izpeljava projekta Magnetnega hladilnika pomeni za podjetje pridobitev novih znanj in tehnologij, kar posledično vodi do še boljše konkurenčnosti tudi v drugih poslovnih okoljih na področju strojnih obdelav. Istočasno pomeni izpeljava projekta tudi tržno priložnost pri prodaji izdelka ali tehnologije na tuje trge ter ustvarjanje visoke dodane vrednosti.
2.	Naziv	SMM proizvodnji sistemi d.o.o.
	Naslov	Jaskova ulica 18, 2000 Maribor
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	87.942,20 EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	18 %
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra
	1.	Pridobivamo nova znanstvena spoznanja na področju magnetnega hlajenja.
	2.	Širimo obseg bodočih dejavnosti in iščemo nove priložnosti za trženje svojih storitev in proizvodov.
	3.	Sodelujemo pri razvoju in izdelavi prototipa tehnološko novega izdelka.
	4.	Dvigujemo raven razvojnega znanja za razvoj novih izdelkov in storitev.
	5.	Dvigujemo svojo tehnološko raven (novi materiali,nove tehnologije).
	Komentar	Raziskave magnetnega hlajenja in razvoj hladilnih naprav, ki temeljijo na novih fizikalnih fenomenih, se so obetavna alternativa obstoječim rešitvam hladilnih naprav. Še posebej, ker bo uspešen razvoj prinesel tudi precejšnje energetske prihranke in s tem prispevek k zmanjšanju emisij. Sodelovanje na projektu za podjetje SMM pomeni tudi dvig ravni znanja podjetja na različnih področjih in s tem pri pravo na nove bodoče izzive na trgu.
	Ocena	Glede na velike globalne potrebe po hlajenju na vseh področjih človekovega dela in bivanja smatramo razvoj novih hladilnih tehnologij tudi kot veliko potencialno tržno priložnost za naše podjetje, tako pri ponujanju storitev pri razvoju, kot tudi izdelavi hladilnih naprav in prav tako pri razvoju in trženju bodoče tehnološke opreme za izdelavo novih hladilnih naprav najmanj na trgu EU,lahko tudi globalno.

14.Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

Razvili smo metodo za izdelavo aktivnih magnetnih regeneratorev (AMR), kot ključnih elementov magnetnega hladilnika. Metoda temelji na inovativni tehnologiji laserskega varjenja, ki omogoča izdelavo trajne in na delovni fluid ter na magnetne sile neobčutljivo strukturo. S to metodo je mogoče izdelati AMR s poljubno majhnimi in popolnoma enakomernimi distančniki, ki zagotavljajo kanale za tok delovne tekočine. S takšno metodo smo izdelali AMR, ki je v magnetnem hladilniku ustvaril preko 24 K temperaturnega razpona, kar je med vsemi do sedaj izdelanimi AMR-ji v svetovnem merilu največji temperaturni razpon (na enoto apliciranega magnetnega polja). S tem smo naredili pomemben korak v smeri proti industrializaciji tehnologije magnetnega hlajenja.

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

/

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
strojništvo

Alojz Poredoš

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	12.3.2013
-----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/71

¹ Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁵ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru,

da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁹ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

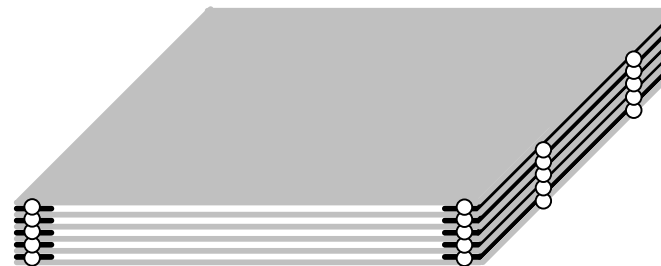
¹² Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00

8B-54-B8-B6-28-7E-A1-77-5E-09-5F-D7-AC-EF-19-BD-19-8D-D5-3D

Shema postopka izdelave
lasersko varjenega
aktivnega magnetnega
regeneratorja (AMR)



Fotografija AMR-ja, ki je med vsemi
do sedaj testiranimi rešitvami
ploščnih regeneratorjev ustvaril v
svetovnem največji temperaturni
razpon (na enoto apliciranega
magnetnega polja).



Primer vzpostavljenega
temperaturnega razpona med
toplo in hladno stranjo AMR-ja
na zgornji sliki. Največji
izmerjen temperaturni razpon
tega AMR-ja znaša 24 K.

