

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/199



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-2026
Naslov projekta	Shranjevanje vodika v cirkonijevih kovinskih steklih
Vodja projekta	3939 Janez Dolinšek
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4173
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	1 NARAVOSLOVJE 1.02 Fizika 1.02.01 Fizika kondenzirane materije
Družbeno-ekonomski cilj	13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	1.03
- Veda	1 Naravoslovne vede
- Področje	1.03 Fizika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

Kovinska stekla na osnovi cirkonija kažejo odlične lastnosti za skladiščenje vodika. V okviru projekta smo odkrili in raziskali naslednje spojine za skladiščenje vodika: Zr-Cu-Al-Pd, Zr-Cu-Al-Ni, 51CrV4, T-Al-Mn-Fe, Ti-Zr-Ni in CsH5(PO4)2. Zlitine smo pripravili v kristalnem, steklastem (amorfem) in kvazikristalnem stanju. Velika kapaciteta za skladiščenje vodika je posledica atomske strukture teh zlitin. V okviru projekta smo raziskali njihove

fizikalne in mehanske lastnosti. Merili smo električno upornost, magnetne lastnosti, termoelektrično napetost, toplotno prevodnost, vse kot funkcijo koncentracije kemijskih elementov v zlitini, temperature in napoljenosti z vodikom, difuzijski koeficient vodika ter mehanske lastnosti kot so raztezek materiala v odvisnosti od napoljenosti z vodikom in temperature ter utrujenost materiala pri cikličnem polnjenju-praznjenju. Cilj projekta je bil razvoj in sinteza kovinskega materiala z optimalnimi lastnostmi za shranjevanje vodika, kot so velika kapaciteta, nizek pritisk za polnjenje in nizka temperatura za črpanje vodika iz takega materiala. Cilji projekta so bili uspešno doseženi in so dokumentirani v obliki znanstvenih člankov v mednarodnih revijah.

ANG

Zirconium-based bulk metallic glasses show superior hydrogen storage properties. Within the project activities we have developed and investigated the following hydrogen-absorbing compounds: Zr-Cu-Al-Pd, Zr-Cu-Al-Ni, 51CrV4, T-Al-Mn-Fe, Ti-Zr-Ni and CsH5(PO4)2. High hydrogen-storage capacity originates from the atomic structure of these compounds. Searching for the best chemical composition, we have determined physical properties (the electrical resistivity, magnetic properties, thermoelectric power and thermal conductivity) as a function of the temperature and the degree of hydrogen content. NMR spectroscopy was used to determine the self-diffusion coefficient of hydrogen in the alloys, whereas mechanical testing methods were used to determine mechanical properties of the materials (the expansion of the material upon hydrogen loading and temperature, material fatigue under cyclic hydrogen loading-unloading conditions). Our goal was to develop a novel Zr-based material with optimum hydrogen-storage performance such as the high storage capacity, low loading pressure and low unloading temperature, combined with high cycling durability. The goals of the project were successfully achieved and the results are documented in a series of publications in international scientific journals.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

Kovinska stekla na osnovi cirkonija kažejo odlične lastnosti za skladiščenje vodika. V okviru projekta smo študirali zlitine Zr-Cu-Al-Pd in Zr-Cu-Al-Ni, ki jih lahko pripravimo v steklastem (amorfem) in kvazikristalnem stanju. Velika kapaciteta za skladiščenje vodika je posledica atomske strukture teh zlitin – v mreži obstaja množica tetraedrično koordiniranih intersticijskih praznin, kot posledica ikozaedrične koordinacije atomov z bližnjimi sosedi (to velja tudi za steklasto stanje, kjer še vedno obstaja lokalno urejena atomska koordinacija na skali najbližjih sosedov). Kemijski elementi, ki sestavljajo te zlitine, imajo nizko vezavno energijo za vodik, zato se vodikovi atomi gibljejo po snovi skoraj prosto. Zlitine tudi zlahka polnimo z vodikom že pri nizkem pritisku ter praznimo že pri relativno nizki temperaturi okrog 200 C.

V okviru projekta smo z metodo NMR raziskali dinamiko gibanja vodika v kovinskih steklih Zr-Cu-Al-Pd in Zr-Cu-Al-Ni. Merili smo tudi njihove fizikalne lastnosti (električno upornost, magnetne lastnosti, termoelektrično napetost, toplotno prevodnost) kot funkcijo koncentracije kemijskih elementov v zlitini, temperature in napoljenosti z vodikom, difuzijski koeficient vodika ter mehanske lastnosti kot so raztezek materiala v odvisnosti od napoljenosti z vodikom in temperature ter utrujenost materiala pri cikličnem polnjenju-praznjenju.

Za pripravo vzorcev smo uporabili metodo brizganja taline na vrteče hladno bakrovo kolo (metoda "melt spinning"), kjer smo določili pri kateri kotni hitrosti vrtečega se kolesa se ustvari kovinsko steklasto stanje in pri kateri ikozaedrično kvazikristalno stanje. Za obe strukturi in za različne koncentracije zlitin smo potem študirali zgoraj naštetih fizikalne parametre. Kvaternarne zlitine Zr-Cu-Al-Pd smo gojili z metodo Bridgmana, ki omogoča pripravo makroskopskih količin (velikosti kubičnega centimetra) materiala. Pri tej zlitini je pomembno vprašanje vpliv paladija na fizikalne lastnosti materiala, saj paladij deluje kot katalizator za absorpcijo in desorpcijo vodika ter tudi na gibljivost vodika v zlitini. Enake poskuse smo ponovili tudi na zlitini Zr-Cu-Al-Ni, kjer je bil paladij zamenjan z nikljem.

Študirali smo tudi dinamiko gibanja vodika v amorfni zlitini 51CrV4 ter kvazikristalni spojini T-Al-Mn-Fe. Merili smo njihove fizikalne lastnosti (električno upornost, magnetne lastnosti, termoelektrično napetost, toplotno prevodnost) kot funkcijo koncentracije kemijskih elementov v zlitini, temperature in napoljenosti z vodikom, difuzijski koeficient vodika ter mehanske lastnosti kot so raztezek materiala v odvisnosti od napoljenosti z vodikom in temperature ter utrujenost materiala pri cikličnem polnjenju-praznjenju. Ternarno spojino T-Al-Mn-Fe smo gojili z metodo Bridgmana, ki omogoča pripravo makroskopskih količin (velikosti kubičnega centimetra) materiala. Pri tej spojini je pomembno vprašanje vpliv zamenjave mangana z železom na fizikalne lastnosti materiala, saj železo močneje kemijsko veže vodik ter s tem vpliva na gibljivost vodika v spojini. Enake poskuse smo ponovili tudi na zlitini 51CrV4.

V okviru raziskav kovinskih materialov za shranjevanje vodika smo preučevali tudi sistem Ti-Zr-Ni, pri katerem se je pokazalo, da razmerje elementov v določenem območju močno vpliva na sposobnost snovi za absorpcijo vodika. Čeprav te snovi običajno absorbirajo okrog 1.5 masnega % vodika, smo našli območje, pri katerem se ne absorbira praktično nič. Opazili smo, da na površini teh vzorcev nastane veliko debelejša oksidna plast kot na vzorcih zunaj območja. S pomočjo jedrske magnetne resonance vodika smo ugotovili, da je gostota elektronskih stanj v vzorcih znotraj in zunaj območja primerljiva, zato elektronska struktura ni odgovorna za drugačno tvorbo oksidne plasti.

Preučevali smo tudi dinamiko vodika v cezijevelem pentavodik difosfatu, $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2$. Cilj raziskave je bil ugotoviti, zakaj ta sistem pri višjih temperaturah ne preide v superprotonsko fazo, ki se običajno pojavi pri sorodnih sistemih. Analiza spinsko-mrežnega relaksacijskega časa je razkrila aktivacijske energije za posamezne dinamične procese v kristalu (skoki med vodikovimi vezmi ter skoki vodikovih atomov ob pomoči rotacij PO_4 tetraedrov). Zaradi specifične strukture kristal ob segrevanju razpade, še preden se pojavi superprotonska faza.

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

Stopnja realizacije zastavljenih ciljev projekta je 100 %. Razvili smo več novih kovinskih materialov za shranjevanje vodika, okarakterizirali njihove fizikalne in mehanske lastnosti ter določili dinamiko vodika v njih.

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

Sprememb programa raziskav in projektne skupine ni bilo.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek		
1.	COBISS ID	23815463 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Fizikalne lastnosti Zr ₅₀ Cu ₄₀ - xAl ₁₀ Pd _x kovinskih stekel
	ANG	Physical properties of Zr ₍₅₀₎ Cu _(40 - x) Al ₍₁₀₎ Pd _x bulk glassy alloys
Opis	SLO	V delu je opisano skladiščenje vodika in fizikalne lastnosti vodika v kovinski steklasti fazi zlitine Zr-Cu-Al-Pd.
	ANG	We describe hydrogen storage and hydrogen physical properties in the bulk metallic glass phase of the Zr-Cu-Al-Pd alloy.
Objavljeno v	Elsevier Sequoia; Journal of alloys and compounds; 2010; Vol. 504, no. 1; str. 16-21; Impact Factor: 2.134; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.709; A': 1; Avtorji / Authors: Wencka Magdalena, Jagodič Marko, Gradišek Anton, Kocjan Andraž, Jagličič Zvonko, McGuinness Paul J., Apih Tomaž, Yokoyama Y., Dolinšek Janez	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	23941159 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Anizotropne fizikalne lastnosti kompleksne intermetalne Taylorjeve faze T-Al _{72.5} Mn _{21.5} Fe _{6.0}
	ANG	Anisotropic physical properties of the Taylor-phase T-Al _(72.5) Mn _(21.5) Fe _(6.0) complex intermetallic
Opis	SLO	V delu so opisane fizikalne lastnosti in skladiščenje vodika v kompleksni intermetalni Taylorjevi fazi T-Al _{72.5} Mn _{21.5} Fe _{6.0}
	ANG	We describe physical properties and hydrogen storage in the Taylor-phase

		T-Al72.5Mn21.5Fe6.0 complex intermetallic compound.
	Objavljeno v	The American Institute of Physics; Physical review; 2010; Vol. 81, no. 18; str. 184204-1-184204-11; Impact Factor: 3.772; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.169; A': 1; Avtorji / Authors: Heggen Marc, Feuerbacher Michael, Ivkov Jovica, Popčević Petar, Batistić Ivo, Smontara Ana, Jagodič Marko, Jagličič Zvonko, Janovec J., Wencka Magdalena, Dolinšek Janez
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	24363559 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Selektivna hidrogenizacija zlitin Ti-Zr-Ni ANG Selective hydrogenation of Ti-Zr-Ni alloys
	Opis	SLO V okviru študije kovinskih materialov za shranjevanje vodika smo preučevali sistem Ti-Zr-Ni, pri katerem se je pokazalo, da razmerje elementov v določenem območju močno vpliva na sposobnost snovi za absorpcijo vodika. Čeprav te snovi običajno absorbirajo okrog 1.5 masnega % vodika, smo naleteli na območje, pri katerem se ne absorbira praktično nič. Opazili smo, da na površini teh vzorcev nastane veliko debelejša oksidna plast kot na vzorcih zunaj območja. S pomočjo jedrske magnetne resonance vodika smo ugotovili, da je gostota elektronskih stanj v vzorcih znotraj in zunaj območja primerljiva, zato elektronska struktura ni odgovorna za drugačno tvorbo oksidne plasti. ANG As a part of investigations of hydrogen storage materials, we have studied the Ti-Zr-Ni system, where it was discovered, that the atomic ratios influence the hydrogen absorption properties. Although these systems typically absorb around 1.5 mass % of hydrogen, we found a so-called »zero zone« area in the phase diagram, where the absorption is essentially zero. An analysis revealed that the surface oxide layer in the samples from the zero zone is significantly thicker in comparison to the samples outside the zone. By means of nuclear magnetic resonance, we have demonstrated that the electron density of state does not differ between both types of samples, therefore differences in the electronic structure cannot account for the different oxide layer formation.
	Objavljeno v	Pergamon Press.; International journal of hydrogen energy; 2011; Vol. 36, issue 4; str. 3056-3061; Impact Factor: 4.054; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.428; A': 1; Avtorji / Authors: Kocjan Andraž, Kovačič Simon, Gradišek Anton, Kovač Janez, McGuinness Paul J., Apih Tomaž, Dolinšek Janez, Kobe Spomenka
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	24443687 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Dinamika vodika v CsH ₅ (PO ₄) ₂ študirana z jedrsko magnetno resonanco ANG The hydrogen dynamics of CsH ₅ (PO ₄) ₂ studied by means of nuclear magnetic resonance
	Opis	SLO Preučevali smo dinamiko vodika v cezijevem pentavodik difosfatu, CsH ₅ (PO ₄) ₂ . Cilj raziskave je bil ugotoviti, zakaj ta sistem pri višjih temperaturah ne preide v superprotonsko fazo, ki se običajno pojavi pri sorodnih sistemih. Analiza spinsko-mrežnega relaksacijskega časa je razkrila aktivacijske energije za posamezne dinamične procese v kristalu (skoki med vodikovimi vezmi ter skoki vodikovih atomov ob pomoči rotacij PO ₄ tetraedrov). Zaradi specifične strukture kristal ob segrevanju razpade, še preden se pojavi superprotonska faza. We have studied hydrogen dynamics in cesium pentahydrogen diphosphate, CsH ₅ (PO ₄) ₂ . Our goal was to find out, why this particular system does not enter the superprotonic phase upon heating, in contrary to many related compounds that exhibit such phase. The analysis of spin-

	ANG	lattice relaxation time revealed activation energies for different dynamic processes in the crystal (hydrogen hopping between hydrogen bonds and hydrogen hopping, assisted by PO4 tetrahedra rotations). Because of peculiar structure, the crystal melts upon heating even before the superprotonic phase appears.
Objavljeno v		IOP Publishing; Journal of physics; 2011; Vol. 23, no. 8; str. 085901-1-085901-7; Impact Factor: 2.546; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.579; A': 1; Avtorji / Authors: Gradišek Anton, Dimnik B., Vrtnik Stanislav, Wencka Magdalena, Zdanowska Fraczek M., Lavrova G. V., Dolinšek Janez
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	23827751 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Dinamika vodika v ikozaedričnih in amorfnih cirkonijevih zlitinah - merjenje difuzijske konstante z magnetno resonanco
		ANG Hydrogen dynamics in icosahedral and amorphous Zr-based alloys by diffusion and fast field cycling nuclear magnetic relaxation method
	Opis	SLO Študirali smo dinamiko vodika v ikozaedričnih in amorfnih cirkonijevih zlitinah preko merjenja difuzijske konstante vodika in magnetne resonance s hitrim cikliranjem magnetnega polja.
		ANG We have investigated hydrogen dynamics in icosahedral and amorphous Zr-based alloys by diffusion of hydrogen and fast field cycling nuclear magnetic relaxation method.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	Chemistry Department, Lomonosov Moscow State University; Book of abstracts; 2010; Zv. 1; str. 64; Avtorji / Authors: Apih Tomaž, Gradišek Anton, Dolinšek Janez
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
2.	COBISS ID	23679271 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Difuzija vodika v cirkonijevih kovinskih steklih
		ANG Hydrogen diffusion in Zr-based bulk metallic glasses
	Opis	SLO V delu je opisano skladiščenje vodika in fizikalne lastnosti vodika v kovinski steklasti fazi zlitine Zr-Cu-Al-Pd.
		ANG We describe hydrogen storage and hydrogen physical properties in the bulk metallic glass phase of the Zr-Cu-Al-Pd alloy.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v	2010; Avtorji / Authors: Wencka Magdalena, Jagodič Marko, Gradišek Anton, McGuinness Paul J., Apih Tomaž, Vrtnik Stanislav, Jeglič Peter, Yokoyama Y., Dolinšek Janez
	Tipologija	3.15 Prispevek na konferenci brez natisa
3.	COBISS ID	24911143 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO NMR študija dinamike vodika v kompleksnih kovinskih sistemih
		ANG NMR studies of hydrogen dynamics in complex metallic systems
	Opis	SLO V delu je dila predstavljena dinamika vodika v kompleksnih kovinskih materialih za shranjevanje vodika.

		ANG	Hydrogen dynamics in complex metallic systems was presented.
	Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	2011; Avtorji / Authors: Gradišek Anton, Apih Tomaž, Kocjan Andraž, Dolinšek Janez	
	Tipologija	3.15	Prispevek na konferenci brez natisa
4.	COBISS ID	24274983	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Anizotropne lastnosti kompleksnih kovinskih spojin
		ANG	Anisotropic physical properties of complex metallic alloys
	Opis	SLO	V delu so opisane fizikalne lastnosti in skladiščenje vodika v kompleksnih kovinskih spojinah.
		ANG	Physical properties and hydrogen storage in complex metallic alloys is reviewed.
	Šifra	C.01	Uredništvo tujega/mednarodnega zbornika/knjige
	Objavljeno v	Wiley-VCH; Complex metallic alloys; 2011; Str. 117-153; Avtorji / Authors: Dolinšek Janez, Smontara Ana	
	Tipologija	1.16	Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
5.	COBISS ID	22998311	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Difuzija vodika v kovinskem steklu Zr-Cu-Al-Pd
		ANG	Hydrogen diffusion in bulk metallic glasses Zr-Cu-Al-Pd
	Opis	SLO	V delu opisujemo temperaturno odvisnost difuzijske konstante vodika v kovinskem steklu Zr-Cu-Al-Pd, izmerjeno z NMR spektroskopijo.
		ANG	We describe temperature-dependent diffusion coefficient of hydrogen in a bulk metallic glass Zr-Cu-Al-Pd as determined by NMR spectroscopy.
	Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	s. n.]; Program and abstracts; 2009; Str. P21; Avtorji / Authors: Gradišek Anton, Apih Tomaž, Vrtnik Stanislav, Dolinšek Janez	
	Tipologija	1.12	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Vsi rezultati so klasificirani po metodologiji COBISS. Drugih rezultatov ni bilo.

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Sinteza novih kovinskih spojin na osnovi cirkonija z optimalnimi lastnostmi za shranjevanje vodika (velika kapaciteta, nizek pritisk za polnjenje in nizka temperatura za črpanje vodika iz takega materiala, možnosti cikličnega polnjenja-praznjenja) ima velik pomen za razvoj znanosti materialov na področju vodikove ekonomije, ožje pa na področju shranjevanja vodika za potrebe gorivnih celic.

ANG

Development and synthesis of new metallic compounds with improved properties for hydrogen storage (high storage capacity, low loading pressure and low desorption temperature, high absorption-desorption cycling ability) is of high relevance for the development of the scientific field "hydrogen economy" with respect to the hydrogen-storage materials for the fuel-cell technology.

10.2.Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Zaradi uvajanja vodikove ekonomije v vsakodnevno življenje tako v Sloveniji kot v svetu je razvoj novih materialov za skladiščenje vodika v povezavi z gorivnimi celici velikega pomena za slovensko družbo. Novi materiali, razviti v okviru projekta, predstavljajo visokotehnološko bazo za nadaljnjo uporabo v visoki tehnologiji.

ANG

Due to the high demand for an improved fuel-cell powering technology in Slovenia and worldwide, heading toward the ecologically clean hydrogen economy, the newly developed hydrogen-storage materials with improved properties are expected to have high scientific and socio-economic impact on Slovenian science and society.

**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	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

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	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
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	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

--

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer		
1.	Naziv		
	Naslov		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	
	1.		

	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
	Komentar		
	Ocena		

14. Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

Anizotropne fizikalne lastnosti kompleksne intermetalne Taylorjeve faze T-Al72.5Mn21.5Fe6.0

The American Institute of Physics; Physical review; 2010; Vol. 81, no. 18; str. 184204-1-184204-11; Impact Factor: 3.772; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.169; A': 1; Avtorji / Authors: Heggen Marc, Feuerbacher Michael, Ivkov Jovica, Popčević Petar, Batistić Ivo, Smontara Ana, Jagodič Marko, Jagličič Zvonko, Janovec J., Wencka Magdalena, Dolinšek Janez, COBISS no. 23941159

V delu so opisane fizikalne lastnosti in skladiščenje vodika v kompleksni intermetalni Taylorjevi fazi T-Al72.5Mn21.5Fe6.0

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:

Institut "Jožef Stefan"

Janez Dolinšek

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	11.3.2013
-----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/199

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](#)

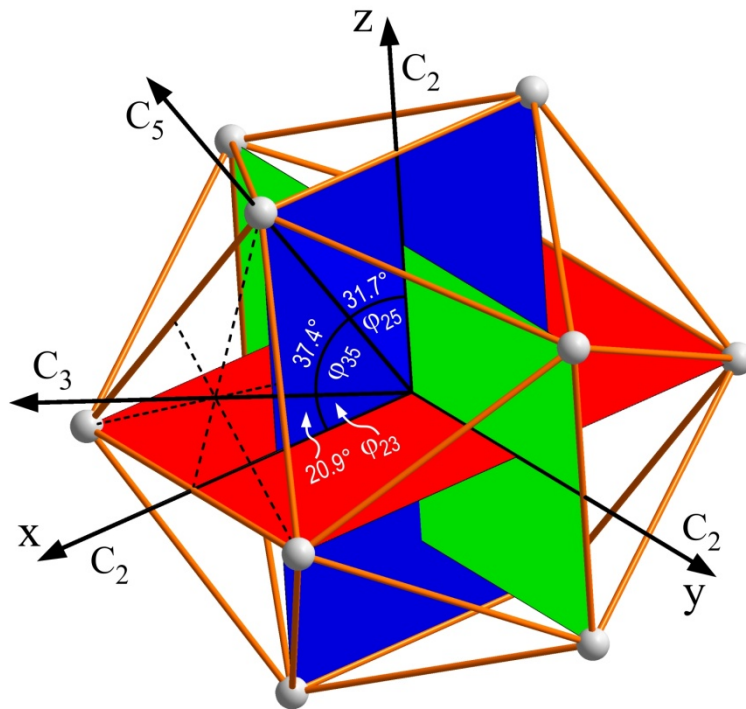
¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, 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
65-34-1F-F1-86-C5-47-70-36-99-1C-83-5B-1E-C0-62-BA-D5-2D-7B

VEDA

Področje: 1.03 Naravoslovne vede, fizika

Dosežek 1: Znanstveni članek, Vir: Cobiss ID: 23941159



V delu so opisane struktura, fizikalne lastnosti in skladiščenje vodika v kompleksni intermetalni Taylorjevi fazi T-Al_{72.5}Mn_{21.5}Fe_{6.0}, ki na lokalni skali atomskih skupkov kaže strukturni red podoben ikozaedričnim kvazikristalom.