

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/65

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-9151	
Naslov projekta	Sinteza magnetnih nanodelcev za mikrovalovne absorberje in magnetne tekočine	
Vodja projekta	10372	Darko Makovec
Tip projekta	L	Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4.245	
Cenovni razred	D	
Trajanje projekta	01.2007 - 12.2009	
Nosilna raziskovalna organizacija	106	Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	794 2431	Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo NANOTESLA INSTITUT - Razvojni center nanotehnologij na področju magnetnih materialov in kompozitov
Družbeno-ekonomski cilj	06.	Industrijska proizvodnja in tehnologija

2. Sofinancerji¹

1.	Naziv	NANOTESLA INSTITUT - Razvojni center nanotehnologij na področju magnetnih materialov in kompozitov
	Naslov	Stegne 29, 1521 Ljubljana, Slovenia
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta²

Cilj projekta je bil priprava novih materialov – magnetnih tekočin in polimernih nanokompozitov, ki vsebujejo nanodelce trdo magnetnega Ba heksaferita, $BaFe_{12}O_{19}$. Pri pripravi omenjenih materialov, je potrebno nanodelce dispergirati v tekočini. Če so delci magnetni, se v tekočini močno aglomerirajo zaradi magnetnih sil. Stabilne suspenzije magnetnih delcev lahko pripravimo

le, če so delci tako majhni, da izkazujejo superparamagnetnost. Pri superparamagnetnih nanodelcih se magnetni moment zaradi termične energije spontano relaksira. Taki nanodelci ne kažejo remanentne magnetizacije, med njimi ni magnetnih interakcij in jih lahko dispergiramo v tekočini, seveda če preprečimo njihovo aglomeracijo zaradi Van der Waalsovih interakcij. Do sedaj so se v obliki superparamagnetnih nanodelcev uporabljali izključno magnetni feriti s spinelno strukturo. Zaradi posebnih lastnosti pa bi bili za vrsto aplikacij zelo zanimivi tudi nanodelci heksaferita. Ba heksaferit se odlikuje z veliko magnetno anizotropijo. Razen tradicionalnih uporab v trdih magnetih in magnetnem zapisovanju, je tudi osnovni material za uporabo pri visokih frekvencah milimetrskega območja.

Problem pa je bil pri sintezi nanodelcev heksaferita, ki bi izkazovali superparamagnetne lastnosti in bi bilo možno pripraviti njihove stabilne suspenzije. Za razliko od spinelnih feritov, ki jih lahko sintetiziramo že pri nizkih temperaturah, so potrebne za tvorbo heksaferitov relativno visoke temperature, tipično okoli 700 °C.

Klasične metode sinteze heksaferita vključujejo kalcinacijo pri relativno visoki temperaturi, kjer se tvorijo relativno veliki delci. Izjema je hidrotermalni postopek sinteze, ki vključuje obdelavo vodne suspenzije ustreznih prekurzorjev (običajno hidroksidov železa in barija) pri relativno nizki temperaturi (tipično okoli 200 °C) in povečanem tlaku (običajno ravnotežnem tlaku vodne pare). Postopek je relativno enostaven in je primeren tudi za masovno proizvodnjo. V prvi stopnji oborimo raztopino Ba in Fe ionov (običajno nitratov) z močno bazo, kot je NaOH. Nastalo suspenzijo hidroksidov nato hidrotermalno obdelamo v zaprtem avtoklavu.

V okviru projekta smo hidrotermalni postopek modificirali tako, da smo kot prvi v svetu pripravili superparamagnetne nanodelce $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Ključno za pripravo ultrafinih nanodelcev heksaferita je bilo (i) znižanje temperature nastanka heksaferita med hidrotermalno sintezo, ter (ii) preprečitev sekundarne rekristalizacije (Ostwaldove pogrobitve) nastalih nanodelcev.

(i) Znižanje temperature nastanka nanodelcev nam je omogočilo poznavanje kemijskih reakcij, ki potekajo med sintezo heksaferita z obarjanjem iz vodnih raztopin. Pri tem je posebno pomembna kemija kompleksov železovih hidroksidov. Železov hidroksid $\text{Fe}(\text{OH})_3$ je namreč amfoteren in v alkalnih pogojih prisoten v obliki tetrahidrokso feratnih ionov, $(\text{Fe}(\text{OH})_4^-)$. Pri povešani koncentraciji hidroksilnih ionov v raztopini tvorijo feratni ioni komplekse, katerih velikost raste s koncentracijo hidroksilnih ionov. Nastanek kompleksa, ki veže veliko število Fe atomov (optimalno 12) olajša reakcijo z barijevimi ioni v raztopini in s tem zniža temperaturo nastanka Ba heksaferita. Principe, ki privedejo do znižanja temperature nastanka Ba heksaferita med hidrotermalno obdelavo smo objavili v najvplivnejši reviji s področja keramičnih materialov *Journal of the American Ceramic Society (Drofenik in sodelavci, Hydrothermal synthesis of Ba-hexaferrite nanoparticles, J. Amer. Ceram. Soc., 90, 7, 2057-61 (2007))* in dodatno v reviji *Materials Science Forum (Drofenik in sodelavci, Barium hexaferrite prepared by hydrothermal synthesis, Mater. sci. forum, 2007, vol. 555, str. 183-187)*.

S sistematičnim študijem vpliva razmerja med kationi in hidroksilnimi ioni nam je uspelo temperaturo nastanka heksaferita znižati pod 100 °C, torej za sintezo nanodelcev heksaferita ne potrebujemo hidrotermalne obdelave, ampak lahko uporabimo preprosto soobarjanje iz vodnih raztopin. Kot prvi v svetu smo uspeli sintetizirati heksaferit s soobarjanjem iz raztopin in to objavili v reviji *Journal of the American Ceramic Society (Drofenik in sodelavci, The concept of a low-temperature synthesis for superparamagnetic BaFe₁₂O₁₉ particles, J. Amer. Ceram. Soc. [in press] 2010, 6 str., doi: [10.1111/j.1551-2916.2010.03620.x](https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2010.03620.x) (2010))*.

(ii) Postopek sinteze heksaferita mora potekati v razredčenih vodnih suspenzijah prekurzorjev – Ba in Fe hidroksidov. Optimizirana, nizka koncentracija prekurzorjev omogoči, da se proces obarjanja zaključi kmalu po nukleaciji delcev produkta ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), saj za primarno rast nukleusov zmanjka reaktantov. Kljub popolni konverziji reaktantov, pa lahko nastali nanodelci rastejo s procesom sekundarne rekristalizacije. Sekundarna rekristalizacija ali Ostwaldova pogobitev je proces, pri katerem manjše število, običajno večjih delcev hitro zraste na račun ostalih, manjših delcev. Ostwaldovi pogrobitvi nastalih nanodelcev se lahko izognemo v zelo ozkem območju eksperimentalnih pogojev sinteze (temperature/časa), vendar pa majhnega števila večjih delcev, zraslih s procesom Ostwaldove pogrobitve ne moremo izključiti. Ostwaldova pogobitev je praktično zanemarljiva samo pri temperaturah zelo blizu temperaturi nastanka

heksaferita, ta pa je odvisna od prebitka hidroksilnih ionov v sistemu. Na primer, pri $\text{OH}^-/\text{NO}_3^- = 8$ smo dobili ultrafine nanodelce z enakomerno velikostjo le pri 150 °C, že pri 160 °C pa so se v velikem številu pojavili veliki ploščati kristali, ki so posledica Ostwaldove pogrobitve. Da bi razširili območje, v katerem lahko dobimo superparamagnetne nanodelce, je potrebno popolnoma blokirati proces Ostwaldove pogrobitve. To nam je uspelo z dodatkom ustreznega surfaktanta – oleinske kisline v reakcijsko zmes pred hidrotermalno obdelavo. Oleinska kislina se absorbira na nanodelce in prepreči njihovo rast. Na primer, pri $\text{OH}^-/\text{NO}_3^- = 8$ lahko dobimo ultrafine nanodelce v temperaturnem območju med 150 in 250 °C. Nad 250 °C oleinska kislina na površini nanodelcev ne more več blokirati Ostwaldove pogrobitve, ki pa je zaradi visoke temperature zelo hitra in privede do nastanka enakomernih ploščatih delcev, širine okoli 120 nm in debeline 8 nm. Postopek uravnavanja velikosti nanodelcev Ba heksaferita z dodatkom oleinske kisline med hidrotermalno sintezo je bil objavljen v reviji *Nanotechnology* (*Princ in sodelavci, Hydrothermal synthesis of ultrafine barium hexaferrite nanoparticles and the preparation of their stable suspensions. Nanotechnology, 20, 31, 315605-1-315605-9 (2009)*).

Nanodelcem Ba heksaferita smo podrobneje ovrednotili magnetne in strukturne lastnosti. Ultrafini nanodelci imajo obliko ploščic, širine okoli 10 nm in debeline okoli 3 nm. Analiza z visoko ločljivostnim presevnim mikroskopom je pokazala, da so velike površine ploščatega delca vzporedne z bazalnimi ravninami njegove heksagonalne strukture. Posebno zanimivo je, da je debelina delca samo nekaj večja od velikosti osnovne celice strukture heksaferita v dani c-smeri. Nanodelci izkazujejo superparamagnetne lastnosti in visoko efektivno magnetno anizotropijo. Vendar pa so njihove magnetizacije zelo nizke in ne presegajo 2 emu/g. Grobozrnat Ba heksaterit izkazuje magnetizacije preko 70 emu/g. Analizo nanostrukture nanodelcev in njihovih magnetnih lastnosti smo poslali v objavo v revijo *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* (*Drofenik in sodelavci, The Hydrothermal Synthesis of Super-Paramagnetic Barium Hexaferrite Particles, J. Mag. Mag. Mat., poslano v objavo*).

Za uporabo bi bili zanimivi tudi večji nanodelci enakomerne velikosti, ki jih dobimo s procesom Ostwaldove pogrobitve pri sintezi z dodatkom oleinske kisline. Ploščati nanodelci širine okoli 120 nm in debeline okoli 8 nm so izkazovali relativno visoke magnetizacije preko 40 emu/g in koercitivnosti okoli 2.7 kOe. Koercitivnosti so relativno nizke za enodomenske delce dane velikosti, najverjetneje zaradi njihove previsoke oblikovne anizotropije. Takih nanodelcev zaradi njihovih izrazitih trdomagnetnih lastnosti seveda ne moremo dispergirati v tekočini.

Šibke magnetizacije ultrafinih nanodelcev smo povezali z njihovo nepopolno strukturo, ki je predvsem posledica njihove zelo majhne debeline v primerjavi z velikostjo osnovne celice njihove kompleksne strukture. Kako se struktura prilagodi majhni dimenziji nanodelcev, je zelo zanimiv in tehnološko pomemben problem. Strukturo smo detajlno raziskali s pomočjo visoko ločljivostne elektronske mikroskopije (HREM) v povezavi z energijsko disperzijo rentgenskih žarkov (EDS), rentgenske difraktometrije (XRD), Moesbauerjeve spektroskopije in rentgenske absorpcijske spektroskopije (EXAFS). Pri vseh uporabljenih metodah se je izkazalo, da je potrebno vzporedno z razvojem samega novega materiala, kot so ultrafini nanodelci Ba heksaferita, potrebno razvijati tudi metode karakterizacije. Rezultati karakterizacije z omenjenimi metodami so bili večinoma na samem robu zmogljivosti dostopnih metod in so prispevali k njihovem nadaljnjem razvoju. Posebno smo bili pozorni na vpliv temperature hidrotermalne obdelave ali naknadnega segrevanja na strukturo nanodelcev. Rezultate smo poslali v objavo v *Journal of Applied. Physics*.

Eden od ciljev projekta je bila priprava magnetnih tekočin, to je stabilnih suspenzij nanodelcev Ba heksaferita. Nanodelci sintetizirani v prisotnosti oleinske kisline so zaradi površinskega sloja oleinske kisline močno hidrofobni. Možno jih je dispergirati v nepolarnih tekočinah in tako pripraviti magnetne tekočine z visoko vsebnostjo magnetne faze. Raziskali smo tudi možnost vezave surfaktanta oleinske kisline na površino že sintetiziranih nanodelcev in njihovega dispergiranja v tekočini. Rezultate so bili vključeni v članek objavljen v *Nanotechnology*. Nanodelce hidrofobizirane z oleinsko kislino lahko dispergiramo le v nepolarnih tekočinah. Za različne, posebno biomedicinske uporabe bi potrebovali tudi disperzije nanodelcev v polarnih tekočinah, posebno v vodi. Nanodelcem prevlečenim z oleinsko kislino lahko oleinsko kislino izmenjamo z citronsko kislino z reakcijo izmenjave ligandov. Proces poteka pri povišani temperaturi v organskem polarnem topilu ob močnem prebitku citronske kisline. Vezava citronske

kislina na površine nanodelcev povzroči njihovo hidrofilnost, hkrati pa zagotovi močan, negativen površinski naboj na nanodelcih, ki omogoča koloidno stabilnost njihove suspenzije – vodne magnetne tekočine.

Pripravljene magnetne tekočine so zaradi nizkih magnetizacij nanodelcev manj uporabne. Izkazalo pa se je, da so zelo primerne kot prekursorji pri sintezi novih magnetnih materialov, predvsem v primerih, kjer je potrebno za pripravo materiala uporabiti stabilno suspenzijo nanodelcev. Pripravljene suspenzije ultrafinih nanodelcev Ba heksaferita smo na primer uspešno uporabili za nanašanje plasti z elektroforezo. V tem primeru je ključnega pomena, da lahko pripravimo suspenzijo nanodelcev, magnetne lastnosti nanesene plasti pa se izboljšajo med naknadno termično obdelavo. Suspenzije nanodelcev so prav tako nujne pri procesiranju zelenih kosov pred njihovim sintranjem, pri sintezi nanokompozitov, itd.

Pripravili smo tudi nanokompozite, ki vsebujejo visoko vsebnost nanodelcev v polimerni matrici polimetil metakrilata. Pri tem smo uporabili originalen postopek razvit v naši raziskovalni skupini (MAKOVEC, Darko, GYERGYEK, Sašo, HUSKIĆ, Miroslav, DROFENIK, Mihael. *Postopek priprave magnetnih nanokompozitov z visoko vsebnostjo nanodelcev dispergiranih v polimerni matrici* : patent SI22539. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 31.12.2008). Postopek temelji na suspenzijski polimerizaciji metil metakrilata v njegovi mešanici z stabilno suspenzijo nanodelcev prevlečenih z oleinsko kislino v dekanu. Rastoča zrna nastalega polimera zajamejo nanodelce v suspenziji in se izločijo iz tekočine. Na ta način lahko dobimo velike vsebnosti nanodelcev v polimerni matrici. Nanodelci ostanejo zaradi sloja oleinske kisline dispergirani, zato nastali nanokompozit ohrani superparamagnetne lastnosti nanodelcev. Zaradi nizke magnetizacije nanodelcev, kompozit nanodelcev Ba heksaferita v polimeru ni izkazoval uporabnih lastnosti kot absorber elektromagnetnega valovanja visokih frekvenc.

Nizka magnetizacija predstavlja velik problem pri uporabi ultrafinih nanodelcev Ba heksaferita. Raziskave strukture nanodelcev so nakazale, da so slabe magnetne lastnosti posledica majhne debeline ploščatih nanodelcev. Velik del projekta smo posvetili temu, da bi nanodelcem kontrolirano povečali velikost, predvsem njihovo debelino. Pri sami hidrotermalni obdelavi se je izkazalo, da lahko dobimo le ultrafine nanodelce, ki zrastejo s procesom primarne rasti in imajo slabe magnetne lastnosti, ali pa poteče Ostwaldova pogrobitvev in dobimo ploščate delce večje od 100 nm, ki že izkazujejo lastnosti grobozrnatega materiala. Hidrotermalna sinteza nam torej ni omogočila, da bi kontrolirano povečali velikost ultrafinim nanodelcem in s tem bistveno izboljšali njihove magnetne lastnosti.

Da bi kontrolirano povečali njihovo velikost, smo nanodelce Ba heksaferita naknadno segrevali. Če nanodelce segrevamo pod temperaturo okoli 600 °C, se jim velikost bistveno ne spremeni. Nasičena magnetizacija se jim sicer zviša za več kot 100 %, ampak vseeno ostane prenizka za njihovo uporabo. Pri temperaturah višjih od 600 °C pa nanodelci hitro zrastejo in dobijo lastnosti tipične za običajen grobozrnat Ba heksaferit. Rasti v tem primeru ne moremo kontrolirati. Dodaten problem je aglomeracija oziroma delno sintranje nanodelcev pri visokih temperaturah. Temu smo se poskusili izogniti z dispergiranjem nanodelcev v organski matrici ogljikovodikov in segrevanjem v atmosferi brez kisika. Segrevanje je privedlo do karbolize organske faze. Nastali ogljik je preprečil sintranje nanodelcev med segrevanjem, vendar pa so nanodelci vseeno zrasli prehitro, da bi proces lahko kontrolirali.

Na koncu projekta nam je uspelo kontrolirano povečati velikost nanodelcev z njihovim segrevanjem v talini NaCl. Suspenzijo nanodelcev v raztopini NaCl posušimo in segrevamo nad temperaturo tališča NaCl. Rast nanodelcev je počasna in omogoča kontrolirano pogrobitvev. Po ohlavitvi ostanejo nanodelci v matrici NaCl, ki ga lahko raztopimo v vodi. Nanodelcem so se magnetne lastnosti skokovito izboljšale. Na primer, nanodelcem se je med segrevanjem v talini NaCl 24 ur pri 850 °C velikost povečala približno za 2-krat, magnetizacija pa se jim je povečala za okoli 20-krat (na preko 50 emu/g). Prav tako se je nanodelcem povečala koercitivnost iz superparamagnetnega stanja (koercitivnost enaka nič) na visoko vrednost okoli 4.2 kOe. Seveda, pa nanodelci že pri majhnem povečanju velikosti izgubijo superparamagnetne lastnosti.

Rezultati analize strukture in magnetnih lastnosti nanodelcev različnih velikosti so nakazali, da lahko dobimo superparamagnetne nanodelce, ki imajo slabe magnetne lastnosti, ali pa nanodelce z relativno dobrimi magnetnimi lastnostmi, ki pa niso superparamagnetni. Kombinacija superparamagnetizma in visoke magnetizacije je pri ultrafinih ploščatih nanodelcih Ba heksaferita

zelo verjetno izključujoča. Razlog je v sami naravi superparamagnetizma, ki zahteva zelo majhno velikost delcev, pri kateri pa zaradi velike osnovne celice Ba heksaferita ne moremo pričakovati dobrih magnetnih lastnosti.

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Ocenjujem, da so bili zastavljeni cilji projekta doseženi. Razvili smo obširno znanje o hidrotermalni sintezi nanodelcev Ba heksaferita. To nam je omogočilo, da smo kot prvi v svetu sintetizirali superparamagnetne nanodelce Ba heksaferita. Prav tako smo kot prvi uspeli sintetizirati nanodelce Ba heksaferita s preprosto metodo obarjanja iz vodnih raztopin. Sintetizirane nanodelce smo podrobno magnetno in strukturno karakterizirali. Uspeli smo pripraviti relativno koncentrirane suspenzije superparamagnetnih nanodelcev barijevega heksaferita (magnetne tekočine) v nepolarnih tekočinah in vodi. Pripravili smo tudi nanokompozite, ki vsebujejo visoko vsebnost nanodelcev dispergiranih v polimerni matrici polimetil metakrilata.

Žal pa se je izkazalo, da so lastnosti pripravljenih magnetnih tekočin in nanokompozitov relativno slabe in ne omogočajo njihove direktne uporabe. Razlog je v slabi magnetizaciji superparamagnetnih nanodelcev Ba heksaferita. Razlog za šibko magnetizacijo je v sami naravi superparamagnetizma, ki zahteva zelo majhno velikost delcev, pri kateri pa zaradi velike osnovne celice Ba heksaferita ne dosežemo dobrih magnetnih lastnosti. Stabilne suspenzije superparamagnetnih nanodelcev pa so se izkazale za zelo uporabne kot prekurzorji za sintezo številnih materialov, pri katerih lahko z naknadno termično obdelavo dosežemo izboljšanje lastnosti (na primer pri keramičnih nanosih iz suspenzije). Po drugi strani smo razvili metodo, s katero je možno drastično izboljšati magnetne lastnosti ultrafinih nanodelcev Ba heksaferita. S segrevanjem nanodelcev v talini NaCl lahko kontrolirano povečamo njihovo velikost, drastično izboljšamo njihove magnetne lastnosti, seveda pa nanodelci izgubijo superparamagnetne lastnosti.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta⁴

Projekt je tekel po programu.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	SLO Hidrotermalna sinteza nanodelcev barijevega heksaferita ANG Hydrothermal synthesis of barium-hexaferrite nanoparticles
	Opis	SLO V članku so pojasnjeni mehanizmi, ki omogočajo kontrolo velikosti delcev med hidrotermalno sintezo barijevega heksaferita. Velikost delcev je v največji meri določena z temperaturo in koncentracijo reagentov. Pri veliki koncentraciji hidroksilnih ionov se tvorijo železovi kompleksi, ki bistveno znižajo temperaturo nastanka produkta. Poznavanje kemije, ki privede do kristalizacije barijevega heksaferita je omogočilo pripravo delcev kontrolirane velikosti v nano območju. ANG The article explains the mechanisms that enable control of the nanoparticle size during the hydrothermal synthesis of barium hexaferrite. The particle size crucially depends on the temperature and the concentration of the reactants. High concentrations of hydroxyl ions result in the formation of iron-rich complexes, which significantly decrease the formation temperature of the product. The developed knowledge related to the chemistry involved in the crystallization of barium hexaferrite enabled the synthesis of nanoparticles of controlled size.
	Objavljeno v	DROFENIK, Mihael, KRISTL, Matjaž, ŽNIDARŠIČ, Andrej, HANŽEL, Darko, LISJAK, Darja, KRISTL, Matjaž. Hydrothermal synthesis of Ba-hexaferrite nanoparticles. J. Am. Ceram. Soc., 2007, vol. 90, no. 7, str. 2057-2061.
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	20843303

2.	Naslov	SLO	Sinteza nanodelcev barijevega heksaferita s soobarjanjem iz vodnih raztopin
		ANG	Synthesis of barium-hexaferrite nanoparticles using co-precipitation from aqueous solutions
	Opis	SLO	Barijev heksaferit potrebuje v splošnem za nastanek visoke temperature, tipično okoli 700 oC. Z uporabo hidrotermalne sinteze lahko heksaferit sintetiziramo pri bistveno nižjih temperaturah. Poznavanje procesov, ki kontrolirajo kristalizacijo heksaferita, nam je omogočilo znižanje temperature sinteze to te mere, da smo lahko, kot prvi v svetu sintetizirali superparamagnetne nanodelce heksaferita. V nadaljevanju smo uspeli temperaturo nastanka heksaferita znižati pod 100 oC, torej za sintezo ne potrebujemo hidrotermalnega reaktorja, ampak lahko nanodelce sintetiziramo s spreprostim soobarjanjem.
		ANG	The formation of Ba hexaferrite generally requires high temperatures, typically around 700 oC. However, using the hydrothermal method, the hexaferrite can be synthesized at much lower temperatures. Knowledge related to the crystallization of the hexaferrite enabled us to decrease its synthesis temperature and be the first in the world to synthesize ultrafine superparamagnetic nanoparticles. Moreover, the synthesis temperature was decreased below 100 oC, meaning that even simple co-precipitation can be used instead of the hydrothermal method.
	Objavljeno v		DROFENIK, Mihael, BAN, Irena, FERK, Gregor, MAKOVEC, Darko, ŽNIDARŠIČ, Andrej, JAGLIČIČ, Zvonko, LISJAK, Darja. The concept of a low-temperature synthesis for superparamagnetic BaFe[sub](12)O[sub](19) particles. J. Am. Ceram. Soc., [in press] 2010, 6 str., doi: 10.1111/j.1551-2916.2010.03620.x.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		23430183	
3.	Naslov	SLO	Uravnavanje velikosti nanodelcev barijevega heksaferita med hidrotermalno sintezo z dodatkom oleinske kisline in priprava magnetnih tekočin
		ANG	Control of the particle size during the hydrothermal synthesis of hexaferrite using the addition of oleic acid, and the preparation of ferrofluids
	Opis	SLO	Eden pomembnih problemov pri hidrotermalni sintezi nanodelcev je pojav sekundarne rekristalacije. Ta povzroči, da posamezni nanodelci po nastanku hitro zrastejo na račun ostalih nanodelcev. Proces onemogoča kontrolo velikosti nanodelcev. V članku smo objavili postopek, kjer z dodatkom surfaktanta oleinske kisline popolnoma preprečimo sekundarno rekristalizacijo. Nanodelci hidrotermalno sintetizirani v prisotnosti oleinske kisline so hidrofobni in jih lahko dispergiramo v nepolarnih tekočinah in tako pripravimo magnetne tekočine.
		ANG	Secondary re-crystallization is one of the most important processes in hydrothermal synthesis. In this process individual nanoparticles rapidly grow at the expense of the other particles. The process makes the control of the particle size very difficult or even impossible. In the article, the new synthesis procedure was published. The procedure is based on the complete blocking of the secondary re-crystallization using the addition of oleic acid. The nanoparticles synthesized in the presence of oleic acid were hydrophobic and can be dispersed in nonpolar carrier liquids to prepare ferrofluids.
	Objavljeno v		PRIMC, Darinka, MAKOVEC, Darko, LISJAK, Darja, DROFENIK, Mihael. Hydrothermal synthesis of ultrafine barium hexaferrite nanoparticles and the preparation of their stable suspensions. Nanotechnology (Bristol), 2009, vol. 20, no. 31, str. 315605-1-315605-9.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		22768167	
4.	Naslov	SLO	Hidrotermalna sinteza Ba heksaferita
		ANG	Hydrothermal synthesis of Ba hexaferrite
	Opis	SLO	V članku je predstavljena zveza med sintetskimi pogoji in lastnostmi nanodelcev Ba heksaferita, sintetiziranega s hidrotermalno metodo.
		ANG	In the article, the relations between the experimental conditions applied during the hydrothermal synthesis and the properties of the synthesized Ba-hexaferrite nanoparticles were presented.
		DROFENIK, Mihael, KRISTL, Matjaž, ŽNIDARŠIČ, Andrej, LISJAK, Darja.	

	Objavljeno v	Barium hexaferrite prepared by hydrothermal synthesis. Mater. sci. forum, 2007, vol. 555, str. 183-187.
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	20748839
5.	Naslov	SLO Priprava magnetnih tekočin na osnovi superparamagnetnih nanodelcev Ba heksaferita
		ANG Preparation of ferrofluids based on superparamagnetic nanoparticles of barium hexaferrite
	Opis	SLO Predstavljen je bil originalni postopek za pripravo magnetnih tekočin z dispergiranjem hidrofobiziranih superparamagnetnih nanodelcev BaFe ₁₂ O ₁₉ v nepolarnih nosilnih tekočinah. Tako so bile prvič v svetovnem merilu pripravljene magnetne tekočine na osnovi barijevega heksaferita. Postopek temelji na uporabi surfaktanta oleinske kisline že med samo hidrotermalno sintezo nanodelcev.
		ANG Our procedure for the preparation of ferrofluids with the dispersion of superparamagnetic, barium-hexaferrite nanoparticles in nonpolar liquids was presented. These ferrofluids were prepared for the first time. The procedure is based on the addition of the surfactant oleic acid to the reaction mixture during the hydrothermal synthesis of the nanoparticles. The addition of the surfactant has two roles: first, it prevents secondary re-crystallization of the nanoparticles during the synthesis; and second, the surfactant absorbed at the nanoparticles' surfaces prevents their agglomeration.
	Objavljeno v	PRIMC, Darinka, MAKOVEC, Darko, LISJAK, Darja, DROFENIK, Mihael. Priprava magnetnih tekočin iz superparamagnetnih delcev barijevega heksaferita. V: GLAVIČ, Peter (ur.), BRODNJAK-VONČINA, Darinka (ur.). Slovenski kemijski dnevi 2008, Maribor, 25. in 26. september 2008 : [zbornik referatov]. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2008, 9 str.
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID	22216743	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat	
1.	Naslov	SLO Predstavitev hidrotermalne sinteze nanodelcev barijevega heksaferita.
		ANG Synthesis and structural properties of magnetic nanoparticles
	Opis	SLO V vabljenem predavanju je bila predstavljena hidrotermalna sinteza superparamagnetnih nanodelcev BaFe ₁₂ O ₁₉ , ter njihove specifične strukturne in magnetne lastnosti.
		ANG The hydrothermal synthesis and the properties of superparamagnetic BaFe ₁₂ O ₁₉ nanoparticles were presented at an invited lecture. Special attention was given to the structural and magnetic properties of the nanoparticles.
	Šifra	B.04 Vabljeno predavanje
	Objavljeno v	MAKOVEC, Darko, KODRE, Alojz, ARČON, Iztok, DROFENIK, Mihael. Synthesis and structural properties of magnetic nanoparticles : [invited talk]. V: ICAM-2008, International Conference on Advanced Materials, February 18-21, 2008, Kottayam, Kerala, India. Proceedings. [S. l.]: School of Chemical Sciences, Mahatma Gandhi University, 2008, str. 49.
Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci	
COBISS.SI-ID	21630247	
2.	Naslov	SLO Predstavitev strukture in magnetnih lastnosti nanodelcev barijevega heksaferita.
		ANG Structure and magnetic properties of barium hexaferrite nanoparticles
	Opis	SLO V predavanju je bile predstavljene specifične strukturne lastnosti, ki jih izkazujejo superparamagnetni nanodelci BaFe ₁₂ O ₁₉ sintetizirani v okviru projekta.
		ANG The specific structural properties of superparamagnetic BaFe ₁₂ O ₁₉ nanoparticles synthesized in the framework of the project were presented in

		the invited lecture.
Šifra		B.04 Vabljen predavanje
Objavljeno v		Darko Makovec, Saso Gyergyek, Alojz Kodre, Iztok Arčon, and Miha Drofenik, "Structural properties of magnetic nanoparticles", vabljen predavanje, SLONANO 2007, Ljubljana, 10.10. - 12. 10. 2007.
Tipologija		1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
COBISS.SI-ID		21161767
3.	Naslov	Predstavitev osnovnih principov, ki omogočajo sintezo ultrafinih nanodelcev barijevega heksaferita
		ANG The synthesis of superparamagnetic barium hexaferrite particles
Opis	SLO	V predavanju so bili predstavljeni osnovni principi, ki omogočajo hidrottermalno sintezo zelo majhnih nanodelcev BaFe ₁₂ O ₁₉ . Zmanjšanje velikosti nanodelcev v superparamagnetno področje je bilo možno z bistvenim znižanjem temperature njihovega nastanka. Osnova znižanja temperature nastanka heksaferita med hidrottermalno obdelavo hidroksidov je poznavanje nastanka [Fe(OH) ₄] ⁿⁿ⁻ kompleksov. Z zvišanjem koncentracije hidroksida v sistemu smo uspeli znižati temperaturo nastanka Ba heksaferita za več kot 50 oC in s tem omogočili sintezo nanodelcev velikosti pod 10 nm.
	ANG	The basic principles enabling the hydrothermal synthesis of ultra-fine barium-hexaferrite nanoparticles were presented. The decrease in the size of the synthesised nanoparticles into the superparamagnetic range was only possible by decreasing the temperature of their formation. The knowledge related to the formation of the [Fe(OH) ₄] ⁿⁿ⁻ complexes with a very large excess of (OH) ⁻ ions enabled a reduction of the nanoparticles' formation temperature by more than 50 oC, thus enabling the synthesis of nanoparticles with sizes below 10 nm.
Šifra		B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v		DROFENIK, Mihael, BAN, Irena, MAKOVEC, Darko, ŽNIDARŠIČ, Andrej, JAGLIČIČ, Zvonko, LISJAK, Darja. The synthesis of superparamagnetic barium hexaferrite particles. V: The 10th International Conference on Ferrites, ICF 10, October 10-13,2008, Chengdu, China. [Digest]. [S. l.: s. n.], 2008, str. 3170-3172.
Tipologija		1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
COBISS.SI-ID		22148903
4.	Naslov	Predstavitev hidrottermalne sinteze nanodelcev barijevega heksaferita
		ANG Hydrothermal synthesis of barium hexaferrite nanoparticles
Opis	SLO	Predstavljena je bila hidrottermalna metoda za sintezo superparamagnetnih nanodelcev BaFe ₁₂ O ₁₉ . Opisan je bil vpliv, ki ga imajo različni parametri sintetskega postopka na velikost nanodelcev, njihovo strukturo in magnetne lastnosti. Sinteza superparamagnetnih nanodelcev heksaferita je pomembna tako tehnološko, za razvoj novih nanostrukturiranih materialov, kot tudi s stališča bazičnih raziskav, saj odpira možnosti raziskav vpliva končne dimenzije na strukturo in magnetne lastnosti heksaferita.
	ANG	The hydrothermal method used for the synthesis of superparamagnetic BaFe ₁₂ O ₁₉ nanoparticles was presented. The influence of different parameters of the synthesis procedure on the morphology, structural and magnetic properties of the nanoparticles was described. The synthesis of the superparamagnetic hexaferrite nanoparticles is important, both technologically for the development of new materials, and for basic research. It will enable basic research related to the influence of a size effect on the structure and magnetic properties of the hexaferrite.
Šifra		B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v		Irena Ban, Darko Makovec, Andrej Žnidaršič, Darja Lisjak, Miha Drofenik, Sinteza superparamagnetnih nanodelcev barijevega heksaferita, European Materials Research Society E-MRS 2007Fall Meeting, Warsaw, Poland, 17th - 21st September, 2007. Book of abstracts. [Warsaw]: Conference Engine pielaszek research, cop. 2007, str. 307.
Tipologija		1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
COBISS.SI-ID		11676438

5.	Naslov	SLO	Predstavitvev hidrotermalne sinteze nanodelcev barijevega heksaferita in njihovih lastnosti
		ANG	Hydrothermal synthesis of barium hexaferrite nanoparticles and their functional properties
Opis	SLO	V predavanju je bila strokovni javnosti predstavljena hidrotermalna metoda sinteze superparamagnetnih nanodelcev barijevega heksaferita in njihove osnovne magnetne in strukturne lastnosti.	
	ANG	In the lecture, the hydrothermal method for the synthesis of superparamagnetic barium hexaferrite nanoparticles and their structural and magnetic properties were presented.	
Šifra		F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)
Objavljeno v		FERK, Gregor, BAN, Irena, DROFENIK, Mihael. Hidrotermalna sinteza barijevega ferita. V: GLAVIČ, Peter (ur.), BRODNJAK-VONČINA, Darinka (ur.). Slovenski kemijski dnevi 2008, Maribor, 25. in 26. september 2008 : [zbornik referatov]. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2008, 7 str.	
Tipologija		1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		12609302	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

--

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

V okviru projekta smo uspeli kot prvi v svetu sintetizirati ultrafine, superparamagnetne nanodelce barijevega heksaferita in pripraviti njihove stabilne suspenzije – magnetne tekočine. Pri tem smo razvili obširno znanje o procesih, ki so ključni za kontrolo velikosti delcev med hidrotermalno sintezo. Ključno za pripravo ultrafinih nanodelcev je bilo raziskati mehanizme, ki omogočajo znižanje temperature tvorbe heksaferita. Znanje nam je omogočilo, da smo kot prvi v svetu sintetizirali barijev heksaferit s preprostim soobarjanjem iz vodnih raztopin. Drug mehanizem, ki pomembno vpliva na rast nanodelcev med hidrotermalno sintezo je sekundarna rekristalizacija nanodelcev. V okviru projekta smo razvili metodo, s katero lahko popolnoma blokiramo sekundarno rekristalizacijo med hidrotermalno sintezo. Metoda, ki temelji na absorpciji oleinske kisline na nastale nanodelce, je splošna in jo je možno uporabiti tudi pri hidrotermalni sintezi drugih materialov.

Sinteza ultrafinih nanodelcev heksaferita je omogočila študij prilagoditve strukture materiala majhni velikosti nanodelcev, ter vpliva velikosti na njihove magnetne lastnosti (učinek končne dimenzije). Oboje je temeljno za razvoj nanoznanosti. Ko se velikost nanodelcev zmanjša v področje dimenzij nekaj osnovnih celic njihove kristalne strukture, se jim spremeni struktura, kar posledično dodatno vpliva na njihove lastnosti. Vpliv končne dimenzije na strukturo nanodelcev je bil intenzivno raziskan na primeru feritov s preprosto kubično spinelno strukturo. Za znanost bi bil zelo zanimiv tudi vpliv končne dimenzije na kompleksno, plastovito strukturo heksaferitov. Ploščati nanodelci heksaferita, ki smo jih sintetizirali v okviru projekta imajo debelino, ki je samo nekoliko večja od osnovne celice njihove strukture in so zelo zanimivi za raziskave vpliva končne dimenzije. V okviru projekta smo pojasnili nekatere osnovne učinke končne dimenzije nanodelcev na njihove strukturne in magnetne lastnosti, pričakujemo pa, da bo možnost sinteze primernih nanodelcev sprožila nadaljnje raziskave.

V okviru projekta smo razvili novo znanje o karakterizaciji nanomaterialov. Pri raziskavah strukturnih lastnosti nanodelcev smo uporabili sofisticirane metode, predvsem visoko ločljivostno elektronsko mikroskopijo, rentgensko difrakometrijo in Moesbauerjevo spektroskopijo. Metode so pri preiskavi tako majhnih nanodelcev na samem robu svojih zmogljivosti, ker je zahtevalo razvoj novega znanja o sami karakterizaciji.

Poseben poudarek projekta je bil na razvoju znanja o pripravi stabilnih suspenzij nanodelcev barijevega heksaferita v različnih nosilnih tekočinah, t. i. magnetnih tekočin. Same magnetne tekočine imajo zelo široko uporabnost v tehniki in v zadnjem času predvsem v medicini, pomembne pa so tudi kot prekurzorji za sintezo nanokompozitnih magnetnih materialov. Predvidevamo, da se bo pomembnost novih magnetnih tekočin temelječih na nanodelcih

heksaferita pokazala predvsem pri pripravi vrste novih nanostrukturiranih materialov. Priprava stabilnih suspenzij je ključna za sintezo vrste materialov, kot so na primer kompoziti, ki imajo v matrici polimera ali stekla (SiO₂) homogeno razporejene magnetne nanodelce. V okviru projekta smo pripravili nanokompozit, ki vsebuje visoko vsebnost nanodelcev dispergiranih v polimerni matrici metil metakrilata. Prav tako so stabilne suspenzije nujne pri nanašanju plasti materiala na različne podlage, na primer z elektroforezo. V okviru projekta smo razvili originalen postopek za pripravo magnetnih tekočin s hidrotermalno sintezo magnetnih nanodelcev v prisotnosti surfaktanta oleinske kisline. Metoda je splošna in primerna za pripravo magnetnih tekočin tudi ob uporabi nanodelcev drugih materialov. Metodo smo na primer že uspešno uporabili za pripravo magnetnih tekočin temelječih na kobaltovem feritu.

ANG

In the project, ultrafine, superparamagnetic nanoparticles of barium hexaferrite were hydrothermally synthesized together with their stable suspensions, i.e., ferrofluids, for the first time. A broad knowledge related to the processes responsible for the control of the particle size during the hydrothermal synthesis has been developed. Research of the mechanisms that enable the decrease of the hexaferrite formation temperature prove to be of crucial importance. The developed knowledge enabled us to be the first in the world to synthesize hexaferrite using simple co-precipitation. Secondary re-crystallization also has an important influence on the particle growth during synthesis. In this project the method was developed, which enables complete blocking of the secondary re-crystallization. The method based on the adsorption of oleic acid onto the synthesized nanoparticles is general and can also be applied in the hydrothermal synthesis of other materials.

The synthesis of the ultrafine hexaferrite nanoparticles enabled a study of the adaptation of the material's crystal structure and the magnetic properties to their very small size (size effect). Both effects are of fundamental importance for the development of nanoscience. As the nanoparticles' size decrease to reach the dimensions of a few cell parameters of their crystal structure, their structure changes significantly, which also influences the properties. This effect has been intensively studied in the case of ferrites with a simple, cubic-spinel structure. For the basic science, also the research on the influence of the size effect on the complex, layered structure of hexaferrite would be of great interest. The thickness of the disc-like nanoparticles synthesized in the framework of this project barely exceeds one cell parameter of their structure and makes them very interesting for a study of the size effect. In the framework of the project, some of the basic influences of their properties have been explained. However, we believe that the possibility of synthesizing appropriate nanoparticles will trigger further research.

The project contributed to the development of new knowledge regarding the characterization of nanomaterials. In the research on the structural properties of the nanoparticles some sophisticated methods were used, including high-resolution electron microscopy, X-ray diffractometry, and Mossbauer spectroscopy. In the characterisation of the ultrafine nanoparticles, these methods are at the cutting edge. The characterization therefore required the development of new knowledge .

Special attention was given to the development of the knowledge related to the preparation of stable suspensions of the barium hexaferrite nanoparticles in different carrier liquids, i.e., ferrofluids. Ferrofluids have numerous applications in technology and, recently, especially in medicine. In addition, ferrofluids are important as precursors for the syntheses of different magnetic nanocomposite materials. It is expected that our new ferrofluids will be particularly important in the preparation of a number of new nanostructured materials, for example, nanocomposite materials containing nanoparticles dispersed in solid matrixes of a polymer or silica. In this project, the nanocomposite containing a large content of nanoparticles in a methyl methacrylate matrix was prepared. Stable suspensions are also needed for the deposition of nanoparticle layers onto different substrates, for example, with electrophoresis.

In the framework of the project the original method for the preparation of the ferrofluids using the hydrothermal method was developed. The method is based on the synthesis of nanoparticles in the presence of oleic acid as a surfactant. The method is general and appropriate for the preparation of ferrofluids of different materials. For example, the method was already successfully applied in the preparation of ferrofluids based on cobalt-ferrite nanoparticles.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Sinteza superparamagnetnih nanodelcev barijevega heksaferita in njihovih stabilnih suspenzij, t.i. magnetnih tekočin predstavlja temelj za nadaljnji razvoj nove vrste materialov. Gre predvsem za nanokompozitne materiale, pri katerih bodo magnetni nanodelci dispergirani v različnih trdnih matricah ali pa nanešeni v obliki plasti na različne substrate. Taki materiali

lahko predstavljajo nove produkte z veliko stopnjo dodane vrednosti za slovensko industrijo. Vsi sintezni postopki uporabljeni pri sintezi nanodelcev in magnetnih tekočin omogočajo hiter prenos v masovno proizvodnjo. Ena od možnih uporab plasti barijevega heksaferita, katerih razvoj omogoča sinteza suspenzij barijevega heksaferita, je v absorberjih za zaščito ljudi in naprav pred elektromagnetnim sevanjem visokih frekvenc. Znanje razvito v okviru projekta je tako, razen za razvoj novih produktov, pomembno tudi z vidika zaščite pred elektromagnetnim sevanjem.

ANG

The synthesis of superparamagnetic, barium-hexaferrite nanoparticles and their stable suspensions, so-called ferrofluids, represents a possible foundation for the development of different new materials, especially nanocomposite materials containing magnetic nanoparticles dispersed in different solid matrixes or deposited onto different substrates. New materials can represent new products with a lot of added value for Slovenian industry. All the procedures developed for the syntheses of nanoparticles and ferrofluids enable a rapid transfer to mass production. One of the possible applications of hexaferrite-containing polymer nanocomposites is in absorbers for the protection of humans and devices against electromagnetic radiation at high frequencies. Thus, the knowledge developed in the framework of this project will not only contribute to the development of new products in Slovenia, but will also be of general importance for the protection against electromagnetic radiation.

10. Samo za aplikativne projekte!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri aplikativnem 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 checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="Delno"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="Delno"/>
F.06	Razvoj novega izdelka
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" 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 checked="" 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 checked="" 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 checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" 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 checked="" 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 checked="" 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 checked="" 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 checked="" 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 checked="" 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 checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" 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 checked="" 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 checked="" 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 checked="" 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 checked="" 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 checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" 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 checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

11. Samo za aplikativne projekte!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visoko-šolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" 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 checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<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 checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo: <input type="text"/>	<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 checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" 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	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input checked="" 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	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

--

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki¹¹

1.	Sofinancer	NANOTESLA INSTITUT - Razvojni center nanotehnologij na področju magn		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		52.452,00	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		25,00	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja			Šifra
		1.	DROFENIK, Mihael, KRISTL, Matjaž, ŽNIDARŠIČ, Andrej, HANŽEL, Darko, LISJAK, Darja, KRISTL. Hydrothermal synthesis of Ba-hexaferrite nanoparticles. J. Am. Ceram. Soc., 2007, vol. 90, no. 7, str	A.01
		2.	ŽNIDARŠIČ, Andrej, JAGLIČIĆ, Zvonko, LISJAK, Darja. The concept of a lowtemperature synthesis for superparamagnetic BaFe[sub](12)O[sub](19)	A.01
		3.	DROFENIK, Mihael, BAN, Irena, FERK, Gregor, MAKOVEC, Darko, ŽNIDARŠIČ, Andrej, JAGLIČIĆ, Zvonko, LISJAK. The concept of a lowtemperature synthesis for superparamagnetic BaFe[sub](12)O[sub]	B.03
		4.		
		5.		
	Komentar		Doseženi rezultati v okviru projekta podajajo osnovno znanje o sintezi Ba heksaferita z hidrotermalno sintezo, metodo obarjanja Ba heksaferita iz vodnih raztopin ter osnovno znanje o sintezah nanokompozitov z visoko vsebnostjo nano delcev Ba heksaferita v polimerni matrici.	
		Rezultati trenutno zaradi nizke magnetizacije supermagnetnih nanodelcev Ba		

	Ocena	heksaferita še nimajo vidika komercializacije, so pa osnova za nadaljnje raziskve v smeri optimiranja postopkov sinteze in izboljšanja osnovnih magnetnih lastnosti ter prilagoditve osnovnih parametrov različnim aplikacijam na področju absorpcije nezaželenega EM valovanja ter varovanju okolja.	
2.	Sofinancer		
	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		
3.	Sofinancer		
	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		

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, za objavo 6., 7. in 8. točke na spletni strani <http://sicris.izum.si/> 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:

Darko Makovec	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

15.4.2010

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/65

¹ Samo za aplikativne projekte. [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja ter rezultate in učinke raziskovalnega projekta. Največ 18.000 znakov vključno s presledki (približno tri strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Samo v primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite največ pet najpomembnejših znanstvenih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov v slovenskem in angleškem jeziku (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki) v slovenskem in angleškem jeziku, navedite, kje je objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote. Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>.

PRIMER (v slovenskem jeziku):

Naslov: Regulacija delovanja beta-2 integrinskih receptorjev s katepsinom X;

Opis: Cisteinske proteaze imajo pomembno vlogo pri nastanku in napredovanju raka. Zadnje študije kažejo njihovo povezanost s procesi celičnega signaliziranja in imunskega odziva. V tem znanstvenem članku smo prvi dokazali... (največ 600 znakov vključno s presledki)

Objavljeno v: OBERMAJER, N., PREMZL, A., ZAVAŠNIK-BERGANT, T., TURK, B., KOS, J.. Carboxypeptidase cathepsin X mediates $\beta 2$ - integrin dependent adhesion of differentiated U-937 cells. Exp. Cell Res., 2006, 312, 2515-2527, JCR IF (2005): 4.148

Tipologija: 1.01 - Izvirni znanstveni članek

COBISS.SI-ID: 1920113 [Nazaj](#)

⁶ Navedite največ pet najpomembnejših družbeno-ekonomsko relevantnih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki), izberite ustrezen rezultat, ki je v Šifrantu raziskovalnih rezultatov in učinkov (Glej: <http://www.rrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/sif-razisk-rezult.asp>), navedite, kje je rezultat objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>. [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ 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](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

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

¹¹ Rubrike izpolnite/prepišite skladno z obrazcem "Izjava sofinancerja" (<http://www.rrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>), ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2010 v1.00a

C3-D4-9D-63-48-86-4B-1C-82-90-3F-85-2C-65-71-2E-84-31-32-6E