

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/170

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-1195
Naslov projekta	Mehanokemijska sinteza kompleksnih keramičnih oksidov
Vodja projekta	24272 Tadej Rojac
Tip projekta	Zt Podoktorski projekt - temeljni
Obseg raziskovalnih ur	3.400
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	02.2008 - 01.2010
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Družbeno-ekonomski cilj	13. Splošni napredek znanja - RiR financiran iz drugih virov (ne iz splošnih univerzitetnih fondov - SUF)

2. Sofinancerji¹

1.	Naziv	
	Naslov	
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta²

V zadnjem času smo priča prodoru novih materialov v elektroniko. Uveljavljajo se vse bolj piezoelektriki, na primer kot debele plasti integrirane v mikroelektromehanske sisteme (MEMS). Poleg zahteve po visoko kvalitetnih keramičnih prahovih, se zaradi ekološko oporečnega svinca, ki je prisoten v široko uporabljenem $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT), zahteva vse bolj okolju sprejemljive materiale.

Mehanokemijska sinteza je alternativna sintezna metoda, ki temelji na visokoenergijskih trkih med mlevnimi krogli in delci prahu v mlinu. Gre za metodo mletja v suhih pogojih (brez dodatka tekoče faze kot je običajno pri klasičnem »mokrem« mletju), pri čemer je prenos kinetične energije krogel na delce prahu tako velik, da lahko sproži kemijske reakcije med prašnimi reagenti v mlinu, brez dodatnega segrevanja. Na ta način se izognemo dolgotrajnim postopkom klasične sinteze v trdnem stanju, kjer je običajno potrebno večkratno segrevanje prahov, pri čemer kvaliteta prahu ni nujno zagotovljena. Z mehanokemijsko metodo pripravimo prahove z delci nanometrskih velikosti z visoko sinterabilnostjo, ki jo lahko izkoristimo na primer pri pripravi debelih plasti, kjer so potrebe po nizkih temperaturah sintranja.

Raziskovalni projekt smo zasnovali s ciljem, da bi preučili in raziskali mehanokemijsko sintezo kot alternativno sintezno metodo za pripravo keramičnih oksidov kompleksnih sestav, ki ne vsebujejo svinca. Namena sta bila dva: i) raziskati podrobneje mehanizem mehanokemijskih reakcij, ki so zaradi njihove izredno kompleksne narave slabo poznani in ii) preučiti sinterabilnost in možnost uporabe mehanokemijsko pripravljenih prahov za doseg goste keramike in debelih plasti z izboljšanimi funkcionalnimi (piezoelektričnimi, feroelektričnimi) lastnostmi.

Cilj prvega dela raziskav je bilo pridobivanje novega znanja o mehanizmih mehanokemijskih reakcij v sistemih med karbonatno spojino (Na_2CO_3 , K_2CO_3) in oksidom (Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , ipd.) kot nadgradnja ugotovitvam v sistemu $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$, do katerih smo prišli v času doktorskega študija. V skladu s programom raziskovalnega projekta smo se najprej lotili študija reakcije med K_2CO_3 in Nb_2O_5 . Visokoenergijsko mletje mešanice K_2CO_3 in Nb_2O_5 privede do popolne amorfizacije tako karbonata, v prvem delu mletja, kot oksida, ki pa se amorfizira po daljšem času mletja. Z infrardečo spektroskopijo, s katero smo spremljali spremembo simetrije karbonatnih ionov med mletjem, smo ugotovili, da tudi v tem sistemu, podobno kot v sistemu $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$, nastaja amorfná karbonatna koordinacijska spojina. S kombinacijo rentgenske praškovne analize in termogravimetrične analize smo nadalje ugotovili, da daljše mletje (350 ur) vodi do razpada karbonatne koordinacijske spojine in do kristalizacije KNbO_3 in drugih niobatnih spojin z molskim razmerjem $\text{K/Nb} < 1$. Prišli smo prvič do pomembnih odkritij v zvezi z mehanizmom reakcij: i) v sistemu $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ je karbonatna koordinacijska spojina bistveno stabilnejša pod vplivom visokoenergijskih trkov kot v primeru $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$, ii) v sistemu s kalijem kristalizirajo poleg KNbO_3 (ciljna spojina) tudi druge faze z molskim razmerjem $\text{K/Nb} < 1$. V raziskave smo aktivno vključili tudi sodelavce z Inštituta za molekularno fiziko, Poljska akademija znanosti, v Poznanu, kot strokovnjake za Ramansko spektroskopijo. Ugotovili smo, da med mletjem mešanice K_2CO_3 in Nb_2O_5 nastajajo nove vezi Nb-O, ki so krajše kot tiste, ki jih tipično zasledimo v perovskitni strukturi, na primer v KNbO_3 , in so povezane z nastalo koordinacijsko spojino. S tem smo prvič dokazali vezavo Nb na karbonatni ion. Na to temo smo objavili članek v priznani mednarodni reviji s področja znanosti o materialih in sicer »Journal of the European Ceramic Society«, ki je uvrščena na drugem mestu v kategoriji »Materials science, ceramics« (Vir: Journal Citation Reports, 2008).

Nadalje smo se osredotočili na vprašanje stabilnosti karbonatne koordinacijske spojine in kristalizacije končnega oksida v sistemih $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ in $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$. Na podlagi matematičnih modelov smo izračunali, da je za nastanek NaNbO_3 iz mešanice $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ potrebna precej nižja kumulativna kinetična energija (10 kJ/g) kot za nastanek

kalijevih niobatov iz mešanice $K_2CO_3-Nb_2O_5$ (5200 kJ/g). S poskusom visokoenergijskega mletja že pripravljenih $NaNbO_3$ in $KNbO_3$ smo ugotovili, da $KNbO_3$ deloma razpade po daljšem času mletja (96 ur) na fazo $K_6Nb_{10,88}O_{30}$, medtem ko je pri istih pogojih mletja $NaNbO_3$ stabilen. Rezultati kažejo na to, da $KNbO_3$ ni stabilen pod vplivom visokoenergijskih trkov, kar bi lahko razložilo težave povezano s sintezo tega oksida. Na to temo planiramo v kratkem objavo.

Eno od pomembnih ciljev projekta je bilo poiskati splošen mehanizem oziroma skupne značilnosti mehanokemijskih reakcij med karbonatom in oksidom, za katere v literaturi ni podatkov. V ta namen in v skladu s programom projekta smo študij mehanizmov mehanokemijskih reakcij razširili tudi na druge sisteme in sicer $Na_2CO_3-X_2O_5$ ($X = V, Nb, Ta$). Ugotovili smo, da v vseh treh sistemih med mletjem kristalizirajo zelene ciljne spojine, to so $NaVO_3$, $NaNbO_3$ oziroma $NaTaO_3$. Ravno tako v vseh sistemih nastane karbonatna koordinacijska spojina, kot vmesna faza pri sintezi natrijevih spojin. Kot je bilo planirano smo se študija lotili na kvantitativnem nivoju in sicer določili smo deleže natrijevih spojin ($NaVO_3$, $NaNbO_3$, $NaTaO_3$) v odvisnosti od časa mletja z Rietveldovo analizo rentgenskih spektrov ter delež preostalega karbonata v zmesi po različnih časih mletja s termogravimetrično analizo. Na podlagi rezultatov lahko torej mehanizem teh reakcij opišemo na naslednji način: v prvi fazi reakcije se karbonatnimi ioni koordinirajo na centralni kation (V^{5+} , Nb^{5+} , Ta^{5+}), nato z nadaljnjim mletjem nastala koordinacijska spojina razpade in nazadnje končni oksid kristalizira. Hitrost celotne reakcije določa kislost kovinskega kationa, ki narašča v smeri $V^{5+} > Ta^{5+} > Nb^{5+}$. Torej tem večji je kislinsko-bazni potencial med Na_2CO_3 in oksidom prehodnega elementa (V_2O_5 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5), tem hitreje teče reakcija od nastanka do razpada koordinacijske spojine in kristalizacije končnega produkta. Splošen mehanizem, ki združuje obravnavane reakcije je kislinsko-bazna interakcija med delci, ki poteče pod vplivom visokoenergijskih trkov. Znanstvena objava na to temo je v končni fazi priprave.

V skladu s programom projekta smo študirali mehanizem reakcij tudi v ternarnem sistemu $K_2CO_3-Na_2CO_3-Nb_2O_5$, kjer je bil cilj pripraviti trdno raztopino $(K,Na)NbO_3$ (KNN), kot eno potencialnih nadomestkov piezoelektričnih materialov na osnovi svinca. Ugotovili smo, da je kritična kumulativna kinetična energija potrebna za nastanek KNN neposredno z mletjem bistveno večja kot za nastanek $NaNbO_3$ (za faktor 50). Rezultat je izrednega praktičnega pomena, namreč direktna sinteza KNN med visokoenergijskim mletjem zahteva dolge čase mletja tudi pri relativno visoki energiji in frekvenci trkov. Za pripravo KNN smo se zaradi tega v nadaljnjem poslužili mehanokemijski aktivaciji, kar pomeni, da smo čas visokoenergijskega mletja skrajšali s ciljem pripraviti aktiven prah, ki ga je možno nadalje obdelovati s klasično sintezo v trdnem stanju.

V okviru drugega dela projekta je bila naloga študirati sinterabilnost mehanokemijsko obdelanih prahov in raziskati možnost uporabo le-teh za pripravo debelih plasti z metodo sitotiska. V ta namen smo pripravili trdno raztopino $(K_{0,485}Na_{0,485}Li_{0,03})(Nb_{0,8}Ta_{0,2})O_3$ (KNLNT), ki je ena od najzanimivejših kandidatov kot nadomestilo piezoelektrične keramike na osnovi svinca. Z mehanokemijsko aktivacijo in enkratno kalcinacijo pri $800^\circ C$ smo pripravili homogeno trdno raztopino KNLNT z dobrimi dielektričnimi in piezoelektričnimi lastnostmi. V skladu s planom projekta smo postopek mehanokemijske aktivacije optimizirali na ta način, da smo uspeli obdržati nizko stopnjo kontaminacije med mletjem, tj. na nivoju 100 ppm. Metoda je tehnološko izredno zanimiva, namreč omogoča odpravo številnih stopenj klasične sinteze v trdnem stanju, kot so večkratne

kalcinacije z vmesnimi stopnjami mokrega mletja. Poleg sinteze, je bila ena od nalog v drugem delu raziskovalnega projekta študija morfologije prahov in potek zgoščevanja pri višjih temperaturah. Presevna elektronska mikroskopija je pokazala, da je aktiviran prah amorfne narave, pri čemer so v amorfni fazi prisotni nanodelci Nb_2O_5 in Ta_2O_5 , velikosti okrog 10 nm. Z granulometrično analizo smo določili povprečno velikost delcev kalciniranega prahu KNLNT, ki znaša 500 nm. Potek zgoščevanja mehanokemijsko pripravljene prahu je primerljiv s prahom KNLNT, pripravljenim s klasično sintezo v trdnem stanju, ki pa zahteva bistveno več procesnih korakov. Na temo mehanokemijske sinteze KNLNT smo objavili dva znanstvena članka v priznani mednarodni reviji »Journal of the American Ceramic Society«, ki je na prvem mestu na področju »Materials science, ceramics« (Vir: Journal Citation Reports, 2008). V enem izmed člankov smo podrobneje razložili tudi mehanizem aktivacije in njeno vlogo pri pripravi keramike KNLNT. Zaradi praktične uporabnosti smo postopek patentirali v Sloveniji (naslov patenta: »Postopek priprave keramike na osnovi alkalijskih niobatov in alkalijskih niobatov tantalatov z mehanokemijsko aktivacijo«).

V okviru diplomske naloge Žive Trtnik, ki je bila zasnovana na podlagi raziskovalnega projekta, smo nedavno začeli vzporedno s študijem sinterabilnosti NaNbO_3 , pripravljene z mehanokemijsko metodo. Preliminarni rezultati kažejo na to, da je amorfna faza, ki ostaja v zmesi po mehanokemijski sintezi NaNbO_3 (iz zmesi Na_2CO_3 in Nb_2O_5), ključ do visoke sinterabilnosti tega prahu. Mehanokemijsko sintetiziran prah NaNbO_3 se namreč sintra pri precej nižjih temperaturah od prahu NaNbO_3 , ki smo ga sintetizirali po klasični keramični metodi in ga nato šele naknadno visokoenergijsko pomleli.

Da bi ovrednotili uporabnost metode, smo mehanokemijsko pripravljen prah KNLNT uporabili za pripravo debelih plasti z metodo sitotiska. Plasti, nanešene na korundno podlago, smo žgali pri različnih temperaturah med 950°C in 1100°C . Pri višjih temperaturah (1050°C in 1100°C) smo opazili nastanek sekundarne faze $\text{K}_6\text{Nb}_{10,88}\text{O}_{30}$, katere nastanek je posledica sublimacije hlapnih alkalijskih komponent. Problem smo uspešno rešili z žganjem plasti v zasipu, pri čemer smo uporabili prah iste sestave. Debele plasti so pokazale dobre piezoelektrične lastnosti s piezoelektričnim koeficientom d_{33} , merjenim z Berlincourtovo metodo (direkten piezoelektrični odziv) in optičnim senzorjem (obraten piezoelektrični odziv), okrog 60 pC/N (ali pm/V). Analiza s presevnim elektronskim mikroskopom je pokazala, da so plasti porozne z nizko gostoto. Z meritvami dielektričnih lastnosti v odvisnosti od temperature smo tudi ugotovili, da so plasti občutljive na vlago, namreč dielektrične izgube so izrazito narasle pri ohlajanju plasti pod temperaturo 100°C , najverjetneje zaradi vezave vlage. Da bi povečali gostoto plasti smo prahu KNLNT dodali 1% dodatka z nizko temperaturo tališča (700°C) na osnovi kalijevega natrijevega germanata, ki smo ga v preteklosti uspešno uporabili za zgoščevanje trdne raztopine $(\text{K},\text{Na})\text{NbO}_3$ (Bernard in sodelavci, J. Am. Ceram. Soc. 91, 2008). Plasti so dosegle višjo gostoto s piezoelektričnim koeficientom $d_{33}=73$ pC/N in visoko maksimalno dielektrično konstantno pri Curiejevi temperaturi ($\epsilon_r = 6000$), primerljivo z vrednostmi v keramičnih vzorcih. Analiza na mikroskopu je pokazala, da so plasti razpokane. Nadaljnje delo, ki je v teku, je osredotočeno na rešitev problema razpok, ki se najverjetneje ustvarijo med samim potekom sintranja plasti. V letošnjem letu planiramo publikacijo na to temo. Piezoelektrične lastnosti debelih plasti so že v tej fazi izredno zanimive in predstavljajo potencial za aplikacijo kot okolju prijaznejši piezoelektrični elementi, brez vsebnosti svinca.

V okviru raziskovalnega projekta smo začeli z diplomsko nalogo Jerneja Pavliča s temo »Sinteza in strukturna ter mikrostrukturalna karakterizacija debelih plasti brez svinca na osnovi trdne raztopine (K,Na)NbO₃. KNN smo pripravili iz mehanokemijsko aktivirane mešanice K₂CO₃-Na₂CO₃-Nb₂O₅, pri čemer smo uporabili znanje o mehanokemijski aktivaciji, pridobljeno na podlagi rezultatov projekta. KNN pripravljen z mehanokemijsko aktivacijo kaže visoko sinterabilnost. Analiza s segrevalnimi mikroskopom je pokazala, da je možno prah sintrati pri bistveno nižjih temperaturah (900° C) kot je običajno potrebno za prah pripravljen s klasično sintezo v trdnem stanju (tipično okrog 1100°C). Zaključek in zagovor diplome pričakujemo v juniju letošnjega leta.

Vodjo projekta so v lanskem letu povabili, da napiše poglavje v knjigi z naslovom »High-energy ball milling: Mechanochemical processing of nanopowders«, v kateri so vključeni svetovno priznani raziskovalci s področja mehanokemijske sinteze. Poglavje zajema široko temo in sicer mehanokemijsko sintezo kompleksnih keramičnih oksidov, ki je tudi predmet podoktorskega projekta, in je bilo izredno dobro ocenjeno s strani urednika, prof. dr. Malgorzate Sopicka-Lizer. Knjiga je v fazi objave in jo pričakujemo avgusta letošnjega leta.

Rezultate raziskovalnega projekta je vodja predstavil na pomembni mednarodni konferenci Electroceramics XI v Manchesterju (Anglija) in na mednarodnem srečanju PIEZO 2009, ki je potekalo v Zakopane (Poljska). Vodja projekta je v lanskem letu v okviru internega seminarja na Politehniški šoli v Lausanni (EPFL) v Švici, v laboratoriju za keramiko (vodja: Prof. Dr. Nava Setter), predstavil rezultate projekta, vezane na sintezo trdne raztopine (K,Na,Li)(Nb,Ta)O₃ uporabljajoč mehanokemijsko aktivacijo.

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Raziskovalni projekt je razdeljen v dva sklopa: i) študij mehanizmov mehanokemijskih reakcij, ki so trenutno zaradi njihove izredno kompleksne narave slabo poznani, ii) preučiti sinterabilnost in možnost uporabe mehanokemijsko pripravljenih prahov s ciljem doseči gosto keramiko in debele plasti z izboljšanimi funkcionalnimi (piezoelektričnimi, feroelektričnimi) lastnostmi.

V prvem sklopu raziskav je bil cilj napredovati v razumevanju osnovnih mehanizmov in zakonitosti kompleksnih mehanokemijskih reakcij. Podroben študij reakcij s kvantitativnim pristopom je omogočil posplošitev dobljenih raziskovalnih rezultatov in odkritje mehanizma reakcij v sistemih, kjer nastopa karbonat kot eden izmed reaktantov. Mehanizem je možno opisati na naslednji način. V prvi fazi visokoenergijskega mletja nastane amorfnata karbonatna koordinacijska spojina. Nastanek spojine poteka s koordinacijo karbonatnega iona, kar zahteva amorfizacijo začetnih karbonatov (K₂CO₃ in/ali Na₂CO₃). Amorfizacija je posledica interakcije karbonata z oksidom. Nadaljnja reakcija zahteva razpad karbonatne koordinacijske spojine. V sistemu K₂CO₃-Nb₂O₅ kaže, da je koordinacijska spojina stabilnejša kot v sistemu Na₂CO₃-Nb₂O₅ in razpade po daljšem času mletja in pri visokih energijah trka. Na podlagi študije v sistemih Na₂CO₃-X₂O₅ (X = V, Nb, Ta) smo ugotovili, da je možno mehanizem reakcije opisati s kislinsko-bazno interakcijo med delci karbonata in oksida. Hitrost reakcije v teh sistemih, tj. od nastanka do razpada koordinacijske spojine in kristalizacije končnega produkta, zavisi od kislinsko-baznega potenciala med Na₂CO₃ in oksidom prehodnega elementa (V₂O₅,

Nb_2O_5 , Ta_2O_5). Raziskovalni cilj prvega delovnega sklopa smo v celoti realizirali, pri čemer so rezultati izrednega pomena za znanost in splošno razumevanje mehanokemijskega procesa.

V drugem delu raziskav smo se osredotočili na uporabo mehanokemijsko pripravljenih prahov s ciljem optimizirati proces za pripravo homogenih prahov, ki bi bili zanimivi kandidati za debele plasti. Dokazali smo, da je mehanokemijska aktivacija uporabna predvsem pri sintezi kompleksnih oksidov, kot sta $(\text{K},\text{Na})\text{NbO}_3$ (KNN) in $(\text{K},\text{Na},\text{Li})(\text{Nb},\text{Ta})\text{O}_3$ (KNLNT). Z vpeljavo mehanokemijske aktivacije v proces smo sintetizirali visoko homogena in fina prahova KNN in KNLNT z nizko vsebnostjo kontaminantov, ki izhajajo iz postopka mletja. Debele plasti KNLNT z dodatkom alkalijskih germanatov kažejo dober piezoelektrični odziv, kar predstavlja velik potencial za uporabo tovrstnih prahov pri izdelavi, na primer, piezoelektričnih senzorjev brez vsebnosti svinca. Zastavljene raziskovalne cilje drugega sklopa projekta, kjer je bil poudarek predvsem na uporabnosti mehanokemijske metode, smo realizirali. Nadaljnje delo, ki izhaja iz zaključenega raziskovalnega projekta, bo osredotočeno na optimizacijo postopka priprave debelih plasti na osnovi sestav brez svinca in dosego še boljših funkcionalnih lastnosti. Projekt je tako postavil nove smernice za prihodnje raziskovalno delo.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta⁴

/

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Sinteza Li- in Ta-modificirane trdne raztopine $(\text{K},\text{Na})\text{NbO}_3$ z mehanokemijsko aktivacijo
		ANG	Synthesis of a Li- and Ta-modified $(\text{K},\text{Na})\text{NbO}_3$ solid solution by mechanochemical activation
	Opis	SLO	Znanstveni članek prvič opisuje sintezo kompleksne trdne raztopine $(\text{K},\text{Na},\text{Li})(\text{Nb},\text{Ta})\text{O}_3$ z mehanokemijsko aktivacijo, kot eno od kandidatov za nadomestilo piezoelektrične keramike na osnovi svinca. Metoda omogoča pripravo homogene trdne raztopine z dielektričnimi in piezoelektričnimi lastnostmi primerljivimi z lastnostmi pridobljenimi s klasično metodo v trdnem stanju, ki zahteva bistveno večje število procesnih korakov.
		ANG	The article presents for the first time the synthesis of a $(\text{K},\text{Na},\text{Li})(\text{Nb},\text{Ta})\text{O}_3$ solid solution from a mechanochemically activated powder. The method allows the preparation of a homogeneous solid solution with dielectric and piezoelectric properties comparable to the properties obtained by the conventional solid-state synthesis route, where much larger number of processing steps is required.
	Objavljeno v		ROJAC, Tadej, BENČAN, Andreja, URŠIČ, Hana, MALIČ, Barbara, KOSEC, Marija. Synthesis of a Li- and Ta- modified $(\text{K}, \text{Na})\text{NbO}_3$ solid solution by mechanochemical activation. J. Am. Ceram. Soc., 2008, vol. 91, no. 11, str. 3789-3791.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		22179879
2.	Naslov	SLO	Mehanokemijska reakcija v sistemu $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$
		ANG	Mechanochemical reaction in the $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ system
	Opis	SLO	Znanstveni članek obravnava prvič podrobneje mehanizem mehanokemijske reakcije med K_2CO_3 in Nb_2O_5 . Študij smo zasnovali na podlagi mlevnih eksperimentov, pri katerih smo reakcijo izvajali pod različnimi energijami in frekvencami trkov med krogli in delci trdnih reagentov. Mehanizem

		zaznamuje nastanek amorfnе karbonatne koordinacijske spojine, ki po daljšem času mletju pri visokih energijah trka razpade v KNbO ₃ in druge niobatne faze z molskim razmerjem K/Nb < 1.
	ANG	The paper presents for the first time a detailed mechanism of the mechanochemical reaction between K ₂ CO ₃ and Nb ₂ O ₅ . The study is based on milling experiments designed to drive the studied reaction at different ball-impact energies and ball-impact frequencies. The reaction mechanism is characterized by the formation of an amorphous carbonato complex, which decomposes after prolonged milling at high ball-impact energies, giving rise to the formation of KNbO ₃ and other niobate phases with molar ratio K/Nb < 1.
	Objavljeno v	ROJAC, Tadej, KOSEC, Marija, POŁOMSKA, Maria, HILCZER, Bożena, ŚEGEDIN, Primož, BENČAN, Andreja. Mechanochemical reaction in the K [sub]2CO[sub]3-Nb[sub]2O[sub]5 system. J. Eur. Ceram. Soc.. [Print ed.], 2009, vol. 29, no. 14, str. 2999-3006.
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	22806823
3.	Naslov	SLO Mehanizem in vloga mehanokemijske aktivacije pri sintezi keramike (K,Na,Li)(Nb,Ta)O ₃
		ANG Mechanism and role of mechanochemical activation in the synthesis of (K,Na,Li)(Nb,Ta)O ₃ ceramics
	Opis	SLO Delo opisuje mehanizem in vlogo mehanokemijske aktivacije pri sintezi trdne raztopine (K,Na,Li)(Nb,Ta)O ₃ (KNLNT). Poseben poudarek je na vplivu režima mletja, to sta »strižni« in »udarni« režim, na potek aktivacije. Rezultati so pokazali, da med aktivacijo izhodne mešanice nastane karbonatna koordinacijska spojina, v kateri se karbonatni ioni, prisotni izvorno v začetnih Na ₂ CO ₃ in K ₂ CO ₃ , koordinativno vežejo na centralna kationa Nb in Ta. Pokazali smo, da je nastanek te spojine ključ za doseg visoko homogene keramike KNLNT, kar je s klasično metodo v trdnem stanju izredno težko doseči.
		ANG The work deals with the mechanism of mechanochemical activation and its role in the synthesis of (K,Na,Li)(Nb,Ta)O ₃ (KNLNT) solid solution. Special attention was given to the influence of the milling regime on the course of activation. The results showed that during activation of the initial powder mixture a carbonato complex is formed, in which the carbonate ions are coordinated to Nb and Ta. We showed that the formation of the complex during activation is crucial to obtain highly homogeneous KNLNT ceramics, which is otherwise difficult to be achieved by the conventional synthesis method.
	Objavljeno v	ROJAC, Tadej, BENČAN, Andreja, KOSEC, Marija. Mechanism and role of mechanochemical activation in the synthesis of (K,Na,Li)(Nb,Ta)O ₃ ceramics. J. Am. Ceram. Soc., [in press] 2010, 7 str., doi: 10.1111/j.1551-2916.2010.03643.x.
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	23538727
4.	Naslov	SLO
		ANG
	Opis	SLO
		ANG
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	SLO
		ANG
	Opis	SLO
		ANG
	Objavljeno v	
	Tipologija	

COBISS.SI-ID	
--------------	--

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Postopek priprave keramike na osnovi alkalijskih niobatov in alkalijskih niobatov tantalatov z mehanokemijsko aktivacijo
		ANG	Procedure for the preparation of ceramics based on alkaline niobates and alkaline niobates tantalates by mechanochemical activation
	Opis	SLO	Patent opisuje postopek priprave keramike na osnovi (K,Na)NbO ₃ in (K,Na,Li)(Nb,Ta)O ₃ z mehanokemijsko aktivacijo. Postopek omogoča pripravo keramike z visoko homogenostjo in brez primesi nezaželenih sekundarnih faz, kar je izredno težko doseči s klasično sintezo v trdnem stanju. Metoda omogoča odpravo številnih stopenj klasične sinteze, kot so večkratno segrevanje z vmesnimi stopnjami mokrega mletja, pri čemer ohranimo nizko stopnjo kontaminacije prahov, ki izhaja iz postopka mletja.
		ANG	The patent describes the procedure to prepare ceramics based on (K,Na)NbO ₃ in (K,Na,Li)(Nb,Ta)O ₃ solid solutions by mechanochemical activation. The method allows to obtain ceramics with high homogeneity and without the presence of detrimental secondary phases, which is difficult to achieve by conventional solid-state synthesis route. Using this method one can avoid the numerous processing steps encountered in the conventional synthesis route, such as multiple calcinations with intermediate milling steps, and at the same time maintain a low level of contamination of the powder during milling.
	Šifra	F.33 Patent v Sloveniji	
	Objavljeno v	ROJAC, Tadej, KOSEC, Marija, HOLC, Janez. Postopek priprave keramike na osnovi alkalijskih niobatov tantalatov z mehanokemijsko aktivacijo : patent SI22838. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 29. jan. 2010.	
	Tipologija	2.24 Patent	
	COBISS.SI-ID	22363687	
2.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
	Šifra		
	Objavljeno v		
	Tipologija		
COBISS.SI-ID			
3.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
	Šifra		
	Objavljeno v		
	Tipologija		
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
	Šifra		
Objavljeno v			

	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	SLO
		ANG
	Opis	SLO
		ANG
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

Poleg treh znanstvenih objav v priznanih mednarodnih revijah s področja znanosti materialov in enega v končni fazi priprave ter patenta, smo v okviru raziskovalnega projekta v sodelovanju s Fakulteto za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Ljubljani, začeli dve diplomski nalogi z naslovoma »Študij sinterabilnosti NaNbO₃ pripravljenega z mehanokemijsko metodo« in »Sinteza in karakterizacija debelih plasti na osnovi (K,Na)NbO₃«.

Rezultate raziskovalnega projekta je vodja predstavil na pomembni mednarodni konferenci Electroceramics XI v Manchesterju v Angliji (COBISS.SI-ID 21948967) in na mednarodnem srečanju PIEZO 2009, ki je potekalo v Zakopane na Poljskem (COBISS.SI-ID 22492967). Del rezultatov projekta je vodja predstavil v okviru internega seminarja na Politehniški šoli v Lausanni (EPFL) v Švici, v laboratoriju za keramiko (vodja: Prof. Dr. Nava Setter).

Vodjo projekta je dobil uradno povabilo, da napiše poglavje v knjigi z naslovom »High-energy ball milling: Mechanochemical processing of nanopowders«, v kateri so vključeni svetovno priznani raziskovalci s področja mehanokemijske sinteze. Knjiga je v fazi objave in jo pričakujemo avgusta letošnjega leta.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Mehanokemijska sinteza je v zadnjem času postala obetavna sintezna metoda za pripravo vrsto kompleksnih keramičnih oksidov. Ena od ovir, ki omejuje uporabo te metode, je v prvi vrsti pomanjkljivo poznavanje osnovnih mehanizmov mehanokemijskih reakcij, o čemer pričajo skopi literaturni podatki, predvsem v sistemih, kjer nastopa karbonatna spojina kot ena od reaktantov.

Rezultati raziskav podoktorskega projekta dajejo povsem nove podatke o osnovnih mehanizmi in zakonitosti mehanokemijske sinteze in so zaradi tega izredno pomembni za znanost. Ključ do teh pomembnih znanstvenih spoznanj je bilo skrbno načrtovanje študije reakcij v fazi postavljanja raziskovalnega projekta, ki je poleg uporabe izbranih analiznih metod, temeljil predvsem na kvantitativnem pristopu. Študij je zajemal reakcije v več sistemih, kar je omogočilo posplošenje ugotovljenih rezultatov in s tem originalen prispevek k znanosti.

Primerjava poteka reakcij v sistemih Na₂CO₃-Nb₂O₅ in K₂CO₃-Nb₂O₅ je pokazala skupen mehanizem, ki ga zaznamuje nastanek karbonatne koordinacijske spojine. Stabilnost te spojine je precej večja v sistemu s kalijem. V tem sistemu nastanejo po daljšem času mletja (350 ur) in pri visoki energiji trka (300 mJ), ko koordinacijska spojina delno razpade, poleg ciljne spojine (KNbO₃) še drugi kalijevi niobati z molskim razmerjem K/Nb < 1. Rezultati visokoenergijskega mletja že pripravljenih NaNbO₃ in KNbO₃ so pokazali, da je KNbO₃ nestabilen pod vplivom visokoenergijskih trkov in delno razpade v druge niobatne faze, kar bi lahko razložilo težave povezane z mehanokemijsko sintezo KNbO₃. Odkritje razpada in nestabilnosti KNbO₃ med mletjem je z znanstvenega vidika pomembno, namreč odpira možnost razlage mehanokemijskih reakcij v drugih sistemih, pri katerih je značilno, da zelen produkt ne nastane

neposredno z mletjem.

Rezultati sistematičnega študija reakcij v sistemih $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-X}_2\text{O}_5$ ($X = \text{V}, \text{Nb}, \text{Ta}$) so privedli do povsem novih, znanstveno pomembnih odkritij v zvezi z mehanizmom mehanokemijske reakcije med karbonatom in oksidom, o katerih v literaturi ni podatkov. Prišli smo do splošnega mehanizma, ki združuje obravnavane reakcije, to je kislinsko-bazna interakcija med delci, ki poteče pod vplivom visokoenergijskih trkov. Tem večji je kislinsko-bazni potencial med Na_2CO_3 in oksidom prehodnega elementa ($\text{V}_2\text{O}_5, \text{Nb}_2\text{O}_5, \text{Ta}_2\text{O}_5$), tem hitreje teče reakcija od nastanka do razpada koordinacijske spojine in kristalizacije končnega produkta. Rezultati predstavljajo povsem nov prispevek k znanosti in splošnem razumevanju mehanokemijskih reakcij.

Eno od ključnih znanstvenih vprašanj, s katerim se v literaturi pomankljivo ukvarjajo, je izvor visoke homogenosti prahov pripravljenih z mehanokemijsko aktivacijo. V sklopu projekta smo problem pojasnili s študijem mehanokemijske aktivacije v sistemu $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-Li}_2\text{C}_2\text{O}_4\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-Ta}_2\text{O}_5$, kjer je bil cilj pripraviti keramiko $(\text{K}, \text{Na}, \text{Li})(\text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_3$ (KNLNT). Pokazali smo, da v stopnji aktivacije nastane karbonatna koordinacijska spojina, v kateri se karbonatni ioni koordinirajo na centralna kationa Nb in Ta. Izvor visoke homogenosti aktivirane mešanice je ravno v nastanku te nove amorfne spojine, ki predstavlja ključ za pridobitev visoko homogene keramike. O tem priča nizka homogenost keramike KNLNT, ki smo jo pripravili z aktivacijo mešanice v »strižnem« mlevnem režimu, med katero nismo opazili nastanka koordinacijske spojine.

ANG

Mechanochemical synthesis has recently become a promising synthesis route for the preparation of various complex ceramic oxides. One of the major obstacles that has to be overcome in the future is a poor knowledge of the basic mechanisms of mechanochemical reactions for which limited literature data exist, especially on systems where a carbonate compound is involved.

The results of the research project give an insight into the basic mechanisms and characteristics of mechanochemical synthesis and are consequently extremely important for science. The key factor that led to these scientific cognitions was a careful plan of the research work, which was based on the use of selected analytical methods and quantitative approach. The study included reactions in several systems, which allowed making general observations and through this it represents an original contribution to science.

The comparison of the course of reactions in the $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ and $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ systems revealed a common mechanism, which is characterized by the formation of a carbonate complex. The stability of this complex is much higher in the system with potassium. In this system the crystallization products after prolonged milling time (350 hours) and high ball-impact energy (300 mJ), when the complex partially decomposes, are KNbO_3 together with other niobate phases with molar ratio $\text{K}/\text{Nb} < 1$. The results related to high-energy milling of NaNbO_3 and KNbO_3 showed that KNbO_3 is unstable under high-energy impacts and decomposes partially to other niobate phases, which could explain the difficulties related to the synthesis of this compound. The decomposition of KNbO_3 and its instability upon milling is important from the scientific viewpoint as it offers a possible explanation for mechanochemical reactions in other systems, where final products are difficult or even impossible to be formed directly by milling.

The results of the systematic study of the reactions in $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-X}_2\text{O}_5$ ($X = \text{V}, \text{Nb}, \text{Ta}$) systems led to important and new scientific revelations related to the mechanism of reactions between a carbonate and oxide compound, for which there are no literature data. The reactions are characterized by an acid-base interaction between dissimilar particles that is driven by high-energy impacts. Thus, the higher the acid-base potential between Na_2CO_3 and transition metal oxide ($\text{V}_2\text{O}_5, \text{Nb}_2\text{O}_5, \text{Ta}_2\text{O}_5$), the faster the reaction, from the formation of carbonate complex to its decomposition and final crystallization of products. The results represent a completely new contribution to science and enrich the understanding of basic characteristics of mechanochemical reactions.

One of the key scientific questions, treated insufficiently in the literature, is the origin of the high homogeneity of the mechanochemically activated powders. Within the research project we elucidated this point by studying the mechanochemical activation in the $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-Li}_2\text{C}_2\text{O}_4\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-Ta}_2\text{O}_5$ system, where the goal was to prepare $(\text{K}, \text{Na}, \text{Li})(\text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_3$ (KNLNT) ceramics. We showed that during activation a carbonate complex is formed, in which the carbonate ions are coordinated to Nb and Ta as central cations. The origin of the high homogeneity of the activated powder lies in the formation of this new amorphous compound,

which is crucial to obtain KNLNT ceramics with high homogeneity. As a matter of fact, poorly homogeneous KNLNT ceramics was obtained if the initial powder mixture was activated in the "friction" milling regime, during which we did not observe the formation of the carbonato complex.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

V zadnjem času smo priča hitremu razvoju materialov za elektroniko, med katerimi spadajo tudi piezoelektriki, ki jih najdemo na primer integrirane kot debele plasti v mikroelektromehanskih sistemih (MEMS). Plastne strukture zahtevajo v prvi vrsti kvalitetne prahove. Ena od možnosti poti do nanoprahov je mehanokemijska sinteza, ki temelji na preprostem procesu suhega mletja in je zato kot taka zanimiva za industrijo.

V sklopu raziskovalnega projekta smo proučevali možnost uporabe mehanokemijsko obdelanih prahov v debeloplastni tehnologiji. Rezultati projekta kažejo na to, da je z mehanokemijsko aktivacijo možno pripraviti homogene in fine prahove brez vsebnosti nezaželenih sekundarnih faz in nizko koncentracijo nečistoč, ki izhajajo iz procesa mletja. Prahovi na osnovi alkalijevskih niobatov (tantalatov), pripravljenih v okviru projekta, so zaradi omenjenih lastnosti zanimivi za debeloplastno tehnologijo.

Eden od ciljev projekta je bilo nadomestiti materiale, kot je na primer $Pb(Zr,Ti)O_3$, ki so zaradi visoke vsebnosti svineca ekološko oporečni. V okviru projekta smo uspeli uspešno sintetizirati homogene prahove s sestavami brez svineca. Debele plasti pripravljene iz teh prahov kažejo dober piezoelektrični odziv. Rezultati projekta so uporabni za podjetje »HYB proizvodnja hibridnih vezij, d.o.o.«, ki se ukvarja z razvojem, proizvodnjo in trženjem senzorjev tlaka in hibridnih debeloplastnih elektronskih mikro-vezij. Projekt je pripomogel k razvoju stroke v Sloveniji in s pridobljenim znanjem ustvaril podlago za uvajanje novih, okolju prijaznih materialov v elektroniko, v skladu z evropskimi smernicami.

ANG

Presently, we are partaking in a rapid development of materials for electronics, including piezoelectric materials, which can be found in a form of thick films integrated into micro-electro-mechanical systems (MEMS). Layered structures necessitate in the first place high-quality powders. One of the possibilities to prepare nanopowders is mechanochemical synthesis, which is based on a simple dry milling technique and is potentially applicable to the industrial scale.

In the framework of the research project we evaluated the possibility to utilize the mechanochemically processed powders in thick-film technology. The results of the project show that using mechanochemical synthesis homogeneous and fine powders can be obtained without undesirable secondary phases and with a low amount of impurities, originating from the milling process. The powders based on alkaline niobates (tantalates), which were prepared within the project, are suitable for thick-film technology.

One of the goals of the project was to replace lead-based materials, such as $Pb(Zr,Ti)O_3$, with environmentally friendly materials. During the project we successfully synthesized homogeneous powders of lead-free compositions. Thick films prepared from these powders showed good piezoelectric properties. The results of the project are useful for the company "HYB proizvodnja hibridnih vezij, d.o.o.", which is involved in the research, production and trade of pressure sensors and hybrid thick-film electronic micro-circuits. The project contributed to the development of the scientific recognition of Slovenia. Based on the acquired knowledge, it created a platform for the introduction of new, environmentally friendly materials for electronics, which is in line with European directives.

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 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/varovanju 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	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

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 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="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

--

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

1.	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			
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:

Tadej Rojac	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

16.4.2010

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/170

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.arrs.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.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](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2010 v1.00a
C7-8F-5C-72-0E-41-EA-78-8A-37-0B-60-6C-F3-22-EA-A3-DE-FF-61