

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/16



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	L2-4062	
<b>Naslov projekta</b>	Materiali in tehnologije za izdelavo kemijskih mikrosistemov	
<b>Vodja projekta</b>	19038 Andreja Benčan Golob	
<b>Tip projekta</b>	L Aplikativni projekt	
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	7560	
<b>Cenovni razred</b>		
<b>Trajanje projekta</b>	07.2011 - 06.2014	
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	106 Institut "Jožef Stefan"	
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	103	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
	1704	HIPOT-RR raziskave in razvoj tehnologij in sistemov, d.o.o.
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2	TEHNIKA
	2.04	Materiali
	2.04.01	Anorganski nekovinski materiali
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	13.02	Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	2	Tehniške in tehnološke vede
	2.05	Materiali

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

#### 2. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>1</sup>

SLO

Kemijski mikrosistemi so eno izmed pomembnih področij mikrosistemov. Kemijski mikrosistemi se vedno pogosteje uporabljajo za izvajanje kemijskih reakcij ali za kemijsko analizo. Zaradi miniaturnosti imajo v primerjavi z večjimi sistemi ugodno

toplotno-masno razmerje, majhen volumen, veliko razmerje površina-volumen, praviloma krajši zadrževalni čas in manjšo porabo energije. Kemijski mikrosistemi so lahko narejeni iz različnih materialov in z različnimi tehnologijami. Materiali, ki se uporabljajo za izdelavo mikrosistemov so na eni strani izpostavljeni reaktantom oziroma produktom reakcije, po drugi strani pa je važno da so materiali, ki tvorijo sistem med seboj kompatibilni med izdelavo mikrosistema. Keramični materiali so predvsem zaradi termične, mehanske in kemijske stabilnosti zelo primerni za izdelavo kemijskih mikrosistemov. Vendar je področje novo in zahteva poglobljeno raziskovalno delo.

V raziskovalnem projektu smo proučevali osnovne in funkcionalne materiale ter študirali in razvijali tehnološke procese za izdelavo posameznih elementov in celotnega kemijskega mikrosistema. Izkazalo se je, da je keramika z nizko temperaturo žganja (low-temperature cofired ceramics – LTCC) v kombinaciji z debeloplastnimi materiali primerna za izdelavo takih struktur. V teh strukturah so lahko integrirani kanali, votline, membrane, elektrode, različni katalizatorji, grelci, kakor tudi senzorske in aktuatorske komponente ter eventualno tudi aktivne in pasivne elektronske komponente. Raziskovalne dosežke na področju materialov in tehnologij smo demonstrirali tako, da smo konceptualno razvili, konstruirali in izdelali nekaj tipičnih predstavnikov (demonstratorjev) keramičnih mikrosistemov in jih ovrednotili.

ANG

Chemical microsystems are fast growing segments of microsystems. Chemical microsystems are mainly used for carrying out chemical analysis and for facilitating chemical reactions. In comparison to larger systems, chemical microsystems offer favorable heat-weight ratios, small volumes, large surface-volume ratios, generally short residence times and lower power consumption. Chemical microsystems can be made from a variety of different materials with distinctly different technologies at the core of their design. Materials used to manufacture chemical microsystems are exposed to reactants or products of the reaction and it is important that these materials are compatible during the fabrication of the microsystem. For this reason, ceramic materials are highly desirable for the manufacturing and design of chemical microsystems, due to their generally high thermal, mechanical and chemical stability. However, the use of such ceramic materials in these systems is relatively new and thus further intensive research is required in order to bring chemical microsystems based on ceramic materials to fruition.

In this research project we studied different basic and functional materials in order to develop the technological processes for the fabrication of individual components and the entire chemical microsystem. We demonstrated that the LTCC ceramic (a Low-Temperature Cofired Ceramic) as basic material in combination with different thick-film materials is suitable for the manufacturing of three-dimensional ceramic structures. In these structures, channels, cavities, membranes, electrodes, different catalysts, heaters, sensor and actuator can be integrated, as well as active and passive electronic components. Through the successful conceptualization, construction, production and evaluation of several chemical microsystems as demonstrators, this project shows a significant advancement in the development of chemical microsystems through its application of a consolidated approach to materials and technology integration.

### 3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>2</sup>

**DS1: Materiali za mikrosisteme**

Za izdelavo kemijskih mikro sistemov smo izbrali keramiko z nizko temperaturo žganja (LTCC - Low Temperature Co-fired Ceramic), ki se sintra pri temperaturah od 800°C do 900°C in je mehansko, termično in kemijsko stabilna. To je osnovni material, ki omogoča izdelavo praznin, kot so kanali in votline ter integracijo različnih funkcionalnih materialov, ki so potrebne za izdelavo kemijskih mikrosistemov. Ker je to nekonvencionalna uporaba tega materiala in so potrebne posebne lastnosti (predvsem izdelava tridimenzionalnih struktur in kompatibilnost z različnimi funkcionalnimi materiali) smo študirali različne komercialne materiale. Podrobneje smo študirali sledeče LTCC materiale: DuPont 951, Ferro L8 in A4 in Heraeus CT702. Proti koncu pa tudi družino SK LTCC folij, ki jih razvija podjetje KEKO Oprema – eden izmed sofinancerjev raziskovalnega projekta.

Preučevali smo vpliv temperature žganja na elastični modul, mehansko trdnost in lomno žilavost materiala. Nominalna temperatura žganja je 875°C. Povečanje elastičnega modula vzorcev žganih med 800°C in 850°C iz 100 GPa na 122 GPa lahko koreliramo z zmanjšanjem poroznosti. Dodatno rahlo zmanjšanje elastičnih modulov pri vzorcih žganih do 1000°C pa lahko povežemo z spreminjanjem fazne sestave v LTCC. Karakteristična dvoosna upogibna trdnost LTCC plasti žganih pri 800°C in 850°C je bila 140 MPa in 224 MPa, višja vrednost trdnosti je bila zmerjena pri vzorcih žganih med 875°C do 1000°C, ki je bila med 283 MPa in 335 MPa. Nižja vrednost upogibne trdnosti vzorcev žganih pod 850°C lahko koreliramo z visoko poroznostjo prisotni v tem materialu. Fazna sestava, navadno podana kot razmerje med anortitom in steklom ima zanemarljiv prispevek na trdnost materiala. Lomna žilavost gostih vzorcev (žganih med 875°C in 1000°C) je bila  $1,60 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ , med tem ko ima je lomna žilavost poroznega vzorca žganega pri 800°C  $1,30 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ .

Del raziskav na področju funkcionalnih materialov je bil usmerjen v proučevanje temperaturno odvisnih debeloplastnih uporovnih materialov za izdelavo uporov z visoko pozitivno ali negativno odvisnostjo upornosti na LTCC podlagi. Z omenjenimi materiali je možno realizirati senzorje temperature, ki imajo intimni stik z LTCC strukturo in s tem spremljati kemijske procese v keramičnem kemijskem mikrosistemu. Komercialni debeloplastni materiali so namenjeni za izdelavo temperaturno odvisnih uporov na inertni (nereaktivni) korundni keramiki. LTCC podlaga, ki vsebuje veliko stekla, pa pomembno spremeni karakteristike debeloplastnih temperaturno odvisnih uporov. Zato je zelo pomembno razumeti mehanizme teh sprememb in jih poskušati odpraviti ali vsaj obvladovati. V kemijskih mikrosistemi je v nekaterih primerih potrebno lokalno (točkovno) merjenje oz. zaznavanje temperature, v nekaterih primerih pa na širšem območju v keramični strukturi ali na površini strukture. Za prvi primer smo proučevali temperaturno odvisne debeloplastne upore z višjo plastno upornostjo ( $1 \div 10 \text{ kohm/kv}$ ), za drugi primer pa debeloplastne upore z nizko plastno upornostjo (od nekaj mohm/kv. do nekaj ohm/kv). Debeloplastni uporovni materiali z nizko plastno upornostjo so primerni tudi za izdelavo električnih grelcev za gretje strukture do temperature 300°C. Za doseganje višjih temperatur pa so primernejši prevodni debeloplastni materiali na osnovi paladij-srebra, platine ali zlata. Ti materiali morajo imeti stekleno fazo prirejeno LTCC materialu. V nekaterih primerih pa se jih uporablja brez steklene faze. Ti isti prevodni materiali so največkrat uporabljeni tudi za elektrode različnim funkcionalnim materialom. Platino pa smo uporabili tudi kot katalizator za pospeševanje kemijske reakcije.

Študirali smo funkcionalne materiale brez vsebnosti svinca. To so največkrat novi debeloplastni materiali, ki so okolju prijaznejši. Svinec v debeloplastnih materialih je del steklene faze materiala in tako pri običajnih pogojih nenevaren okolju. Zaradi tega so ti materiali dovoljeni za uporabo. Testirali smo piezouporovne materiale (Du Pont CF041, Ferro FX-87-B in Heraeus R-2141) in prevodne materiale na osnovi srebra. Izkazalo se je, da imajo debeloplastni upori brez svinca zelo nizek faktor gauge (okoli 3) in praviloma slabšo dolgoročno stabilnost. Nekateri tudi niso kompatibilni z LTCC materialom. Zaradi naštetega smo zaključili, da debeloplastni upori brez svinca niso primerni za senzorje mehanskih veličin. Po drugi strani pa se je izkazalo, da je debeloplastni prevodni material na osnovi srebra in brez vsebnosti svinca cenejši in kvalitetnejši od do sedaj uporabljenih materialov. Upori, ki so bili kontaktirani s tem prevodnim materialom so izkazovali nižji

tokovni šum in večjo stabilnost. Oba parametra sta zelo pomembna pri senzorjih mehanskih veličin.

## **DS2: Tehnologije za izdelavo mikrosistemov**

Delo na tem delovnem sklopu je bilo usmerjeno v študij kompatibilnosti osnovnih in funkcionalnih materialov in tehnoloških postopkov za izdelavo posameznih elementov in celega mikrosistema. V ta namen smo konstruirali in izdelali različne testne keramične struktur z integriranimi funkcionalnimi elementi (katalizatorji, elektrode, grelci, senzori in aktuatorji). Nekatere lastnosti smo lahko uskladili ali izboljšali z modifikacijo materiala in/ali z modificiranimi tehnološkimi postopki v vseh tehnoloških fazah od laserskega razreza, preko laminacije, sitotiska in temperaturnega profila žganja (čas in temperatura) do separacije (razreza).

Proučevali smo način stika katalizatorja z reaktantom v kemijskih reaktorjih. Za učinkovito delovanje mora imeti reaktant s katalizatorjem stik na čim večji površini in dovolj dolgo časa. Hkrati pa mora biti katalizator stabilen in dobro pritrjen na podlago. Tehnologija nanosa pa mora biti primerna za uporabo v keramičnih mikrosistemih. Razvili in primerjali smo dva načina integracije katalizatorja v kemijske mikrosisteme. Prvi način je nanos katalizatorja v kanale. Kanali morajo biti dovolj dolgi, da pridobimo na stični površini in stičnem času. Pri tem pa moramo upoštevati zahteve po pretočnosti sistema. Drugi način je nanos katalizatorja na majhne keramične kroglice. Sam nanos katalizatorja na kroglice je narejen izven reaktorja. Kroglice prevlečene s katalizatorjem se naknadno vgradijo (vsujejo) v keramično strukturo kemijskega reaktorja. Ta način se je izkazal za boljšega (večja stična površina in večji pretok pri enakem stičnem času in volumnu) vendar je zahteval posebne konstrukcijske rešitve (votlina z velikim volumnom, vhodne in izhodne rešetke, posebno servisno odprtino, itd.).

Testirali smo različne konfiguracije piezoelektričnega aktuatorja ter primerjali funkcionalni odziv izdelanih aktuatorjev. Izdelan je bil prototip piezoelektrične aktuatorja na membrani LTCC premera 10 mm. Študirali smo možne konfiguracije senzora tlaka izdelanega v tehnologij LTCC. Usklajevali smo tehnologijo LTCC s tehnologijo oz. tehnologijami izdelave debeloplastnih funkcionalnih komponent (senzori temperature, senzori tlaka, aktuatorji). Nekateri materiali in tehnologije so se izkazali za skladne in omogočajo nanos materiala in potem skupno sintranje, drugi materiali in tehnologije pa tega (še) ne omogočajo in jih je potrebno ločeno sintrati ali celo uporabiti t.i. hibridno tehnologijo izdelave.

V nekaterih primerih se je izkazalo, da je potrebno v keramično (LTCC) strukturo integrirati tudi funkcionalne elemente v diskretni (bulk) obliki. Taki elementi so kvarčno steklo, porozna korundna keramika in piezoelektrična keramika. Za integracijo teh elementov smo razvili postopek nanosa in žganja debeloplastnih materialov, ki to integracijo omogočajo. Kot najbolj primerna materiala sta se izkazala komercialno debeloplastno zaščitno steklo žgano na višji temperaturi in debeloplastna pasta kompozita keramike in stekla. Ta kompozit mora biti enak ali čim bolj podoben sestavi osnovnega LTCC materiala.

Izdelali smo različne tridimenzionalnih keramičnih strukture. Pri tem je bilo ključno merilo skladnost materialov z LTCC podlago ter njihove nespremenjene ali malo spremenjene karakteristike. LTCC materiali in tehnologija mora bila primerna za izdelavo velikih praznin (do 18 cm<sup>3</sup>), dolgih kanalov (3m), difuzorjev, rešetak, mešalnikov različnih tipov, itd.

## **DS3: Načrtovanje, konstrukcija in demonstracija mikrosistemov**

Rezultate iz delovnih sklopov DS1 in DS2 smo preverjali na različnih demonstratorjih, na katerih smo preverjali funkcionalnost materialov in izdelkov, medsebojno kompatibilnost materialov in skladnost z osnovnimi tehnologijami (LTCC in debeloplastna tehnologijo). Izbrali smo tri tipe demonstratorjev, ki omogočajo omenjeno preverjanje.

- Prvi tip demonstratorjev je senzor tlaka za tlačno področje 0-50 oz. 0-100 mbar.

Izdelek demonstrira ravno in tanko keramično membrano, plitko praznino pod membrano, pizouporovne materiale na membrani in ustrezne senzorske karakteristike (tlačna občutljivost, temperaturna odvisnost in dolgoročna stabilnost). Senzor tlaka je konstruiran tako, da je uporaben za t.i. »wet-wet« aplikacijo za v agresivnih kemijskih okoljih. Senzor tlaka ima vgrajen tudi senzor temperature z upornost okoli 5 kOhm in linearno pozitivno temperaturno odvisnost upornosti ( $TKR=2800 \times 10^6/K$ ).

- Drugi tip demonstratorjev je keramična struktura z veliko votlino in različnimi mikrofluidnimi gradniki. Izdelek demonstrira veliko votlino, funkcionalne fluidne gradnike pravilnih oblik in vgrajenih električnih grelcev ter senzorjev temperature in tlaka.
- Tretji tip demonstratorjev je keramična struktura z dolgimi kanali in vgrajenimi dielektričnimi materiali in elektrodami.

Zasnovali, načrtali in izdelali smo demonstrator kemijskega mikro reaktorja v plinskem stanju. Kot primer takega reaktorja smo izdelali demonstrator mikro ozonator. Mikro ozonator je namenjen izdelavi manjših količin ozona, to je nekaj ml ozona na minuto, kot na primer za izvedbo mikro reakcij ozoniranja v organskih spojin, dezinfekcij manjših količin vode ali zraka. Ozon nastane iz kisika pod vplivom visoke napetosti pri razelektritvi na LTCC dielektriku. Ozonator smo načrtali tako, da je izkoristek pretvorbe kisika v ozon čim večji. Ker je ozon zelo reaktiven plin, smo morali za izdelavo ozonatorja zelo skrbno izbrati materiale s katerimi pride v stik ozon. Naslednji problem je visoka električna napetost, ki je potrebna za tvorbo kisika v ozona. Izvedli smo posebno konstrukcijo, da ni prihajalo do nezaželenih kratkih stikov na površini in notranjosti LTCC strukture. Kot je nam znano iz dostopne literature je to prvi primer mikro ozonatorja realiziran v LTCC tehnologij.

Kot naslednji demonstrator smo izdelali dielektrični grelnik tekočin v LTCC strukturi. Načrtali in izdelali smo LTCC strukturo v kateri je možno s pomočjo izmenične električne napetosti visoke frekvence segrevati dielektrične tekočine, kot na primer vodo, alkohole in druge polarne tekočine do vrelišča. Kot je nam znano je to prvi primer uporabe LTCC tehnologije za dielektrično gretje tekočin. Zato smo to rešitev zaščitili kot intelektualno lastnino s patentom SI24008-A z naslovom Večplastna keramična struktura za nekontaktno dielektrično gretje tekočin.

Interes za raziskovalne rezultate se je pojavi tudi v širšem raziskovalnem okolju. Znanje, ki smo ga pridobili v raziskovalnem projektu, nam je omogočilo, da smo v sodelovanju z Odsekom za sisteme in vodenje, Inštitut »Jožef Stefan«, Ljubljana in Kemijskim Inštitutom, Ljubljana razvili procesor tekočega goriva, katerega jedro sta bila dva keramična kemijska reaktorja (reformer in PrOx) izdelana v tehnologiji LTCC.

#### 4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>3</sup>

Izvajanje projekta je potekalo po zastavljenem vsebinskem in časovnem planu. Delo na projektu so izvajale vse tri raziskovalne organizacije. Z rezultati raziskav pa so bili redno seznanjeni sofinancerji projekta podjetja KEKON d.o.o., HYB d.o.o. v letih 2011 in 2012 ter KEKO Oprema d.o.o. v letih 2013 in 2014. Vsi trije sofinancerji tudi že uporabljajo raziskovalne dosežke pri razvoju svojih izdelkov.

Raziskovalno delo je bilo organizirano v tri delovne sklope. V prvem smo proučevali materiale, v drugem pa tehnologijo. Prva dva delovna sklopa so potekala istočasno, saj je bilo potrebno uskladiti kompatibilnost osnovnih materialov (LTCC), funkcionalnih materialov (senzorji, aktuatorji, grelci, katalizatorji) in pomožnih materialov na eni strani in tehnološkimi postopki za izdelavo posameznih elementov in celotnega sistema na drugi strani. V tretjem delovnem sklopu pa smo demonstrirali raziskovalne dosežke prvih dveh delovnih sklopov. V ta namen smo konceptualno razvili, konstruirali in izdelali nekaj tipičnih predstavnikov (demonstratorjev) keramičnih mikrosistemov. Prvi predstavnik je bil keramični senzor tlaka za delovanje v agresivnem kemijskem okolju. Drugi demonstrator je bil kemijski reaktor, kjer kemijske reakcije potekajo v kanalih in tretji demonstrator je bil kemijski reaktor, kjer kemijske reakcije potekajo v relativno veliki

votlini, ki jo lahko napolnimo z različnimi katalizatorji. Ocenjujemo, da smo tako prišli do tretje stopnje tehnološke pripravljenosti (TRL).

V okviru mednarodnega sodelovanja s Tehnično univerzo v Brnu (Češka) smo delali na obsežni študiji dolgoročne stabilnosti karakteristik keramičnih senzorjev tlaka za t.i. »wet-wet« aplikacije tudi za kemijsko agresivno okolje. Študija je bila končana decembra 2013 in je izkazala visoko kvaliteto keramičnih senzorjev tlaka – tudi v primerjavi s komercialnimi silicijevimi senzorji tlaka. Skupaj z Univerzo iz Novega Sada, Tehnično univerzo iz Dunaja in Inštitutom za elektronske tehnologije iz Krakova smo delali na integraciji različnih pasivnih elektronskih komponent na ali v LTCC strukturo.

#### 5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>4</sup>

Med izvajanjem projekta v letu 2014 ni bilo bistvenih sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta in tudi ne bistvenih sprememb sestave projektne skupine.

Že v letu 2013 je vodenje raziskovalnega projekta prevzela dr. Andreja Benčan Golob zaradi upokojitve dotedanje vodje dr. Janeza Holca. Drugih bistvenih sprememb sestave projektne skupine ni bilo.

V začetku leta 2013 je prišlo tudi do zamenjave enega izmed dveh sofinancerjev. Sprememba financerja je vplivala na raziskovalno delo v toliko, da je razširila interes za proučevanje materialov in tehnologij za izdelavo kemijskih mikrosistemov tudi na sam osnovni material – keramika z nizko temperaturo žganja (Low Temperature Cofired Ceramics – LTCC).

#### 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>5</sup>

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	26548263	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Vpliv fazne sestave na mehanske lastnosti materiala LTCC
		<i>ANG</i>	The effect of phase composition on the mechanical properties of LTCC material
	Opis	<i>SLO</i>	V tem delu smo študirali vpliv temperature in časa žganja na fazno sestavo, mikrostrukturo, dvoosno upogibno trdnost, termični razteznostni koeficient poznane keramike z nizko temperaturo žganja. V obravnavanem materialu, ki je kompozit svinčevega borosilikatnega stekla in delcev aluminijevega oksida, se pri 700 °C delci Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> začno raztapljati v steklo z nizko viskoznostjo. Raztapljanje poteka do približno 800 °C, ko se približno 10 wt % aluminijevega oksida raztopi v steklo in tvori okoli delcev Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> z aluminijem bogato fazo. To področje je primernejše za kristalizacijo anortite, ki nukleira na delcih Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Kristalizacija anortita začne pri 875 °C in masni delež anortita se povečuje dokler ne doseže vrednosti okoli 22% pri višjih temperaturah ali daljših časih. Na dvoosno upogibno trdnost najbolj vpliva poroznost. Različna količina anortita zelo malo vpliva na dvoosno upogibno trdnost. Spreminjanje termični razteznostnega koeficienta je koreliran z masnim deležem anortita, ki kristalizira na račun stekla v LTCC.

			<p>glass phase forming the aluminaenriched area. This area is suitable for the crystallization of anorthite, which nucleates on the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. The crystallization starts at 875°C and the mass fraction of anorthite increases with increasing temperature until it reaches a plateau value of around 22 wt% at higher temperatures or longer firing times. The major effect on the biaxial flexural strength of LTCC is that of porosity. The effect of the amount of anorthite on the LTCC biaxial flexural strength is minor. The TCE is correlated with the anorthite mass fraction, which crystallizes at the expense of a decreasing amount of glass phase in the LTCC.</p>
	Objavljeno v	<p>American Ceramic Society; International journal of applied ceramic technology; 2013; Vol. 10, issue 3; str. 449-457; Impact Factor: 1.215; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.892; A': 1; WoS: PK; Avtorji / Authors: Makarovič Kostja, Benčan Andreja, Hrovat Marko, Holc Janez, Malič Barbara, Kosec Marija, Bermejo Raúl, Kraleva Irina</p>	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	25443367	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv pogojev procesiranja na lastnosti materiala LTCC
		ANG	The effect of processing conditions on the properties of LTCC material
	Opis	SLO	<p>V tem delu smo obravnavali vpliv temperature in časa žganja na fazno sestavo, mikrostrukturo, dvoosno upogibno trdnost in termični razteznostni koeficient keramike z nizko temperature žganja (LTCC). Pri temperature okoli 700 °C se Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> začne raztapljati v steklasto fazo in se raztoplja do približno 800 °C, ko se v steklo raztopi približno 10 ut.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kjer v steklu tvori z Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bogato področje. To področje je primerno za kristalizacijo anortita, ki se nukleira na zrnih Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Kristalizacija se začne pri 875°C in masni delež anortita narašča z naraščajočo temperaturo vse dokler ne doseže vrednosti 22 % pri daljših časih ali višjih temperaturah. Dvoosna upogibna trdnost keramike LTCC narašča z naraščajočo temperature od 135 MPa (pri 800 °C) do okoli 300 MPa (pri 900 °C) Glavni vpliv na dvoosno upogibno trdnost ima poroznost. Prisotnost anortita pa na dvoosno upogibno trdnost le malo vpliva. Termični razteznostni koeficient se zmanjšuje iz <math>5.6 \times 10^{-6}</math> na <math>5.0 \times 10^{-6}</math> K<sup>-1</sup> z naraščajočo temperaturo in časom žganja. Zmanjševanje je s povečevanjem količine anortita, ki kristalizira iz stekla, in posledičnega zmanjšanja količine steklaste faze v keramiki LTCC.</p>
		ANG	<p>In this work the effect of firing temperature and firing time on the phase composition, microstructure, biaxial flexural strength and temperature coefficient of expansion (TCE) of LTCC material is presented. At temperatures around 700 °C the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> starts to dissolve in low viscous glass phase and it takes place up to 800 °C when 10 w.% of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic filler is dissolved in the glass phase forming the alumina enrich area. This area is suitable for crystallization of anorthite which nucleates on the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. The crystallization starts at 875 °C and the mass fraction of anorthite is increasing with increasing temperature until it reaches the plateau value of around 22 w.% at higher temperatures or longer firing times. The biaxial flexural strength of LTCC increases with increasing firing temperature from 135 MPa (at 800 °C) to around 300 MPa (at 900 °C). The major effect on the biaxial flexural strength of LTCC has porosity. The effect of the amount of the anorthite on the LTCC biaxial flexural strength is minor. The TCE of the LTCC decreases from <math>5.6 \times 10^{-6}</math> to <math>5.0 \times 10^{-6}</math> K<sup>-1</sup> with increasing firing temperatures or times and it is correlated with the anorthite mass fraction which crystalize at the expense of a decreasing amount of glass phase in the LTCC.</p>
		<p>American Ceramic Society; Journal of the American Ceramic Society; 2012; Vol. 95, issue 2; str. 760-767; Impact Factor: 2.107; Srednja vrednost</p>	



	Objavljeno v	revije / Medium Category Impact Factor: 0.768; A'': 1; A': 1; WoS: PK; Avtorji / Authors: Makarovič Kostja, Meden Anton, Hrovat Marko, Holc Janez, Benčan Andreja, Dakskobler Aleš, Kosec Marija	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	25943847	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Kompatibilnost debeloplastnih piezouporov z materiali LTCC
		ANG	Compatibility of thick-film piezo-resistors with different LTCC materials
	Opis	SLO	V članku predstavljamo raziskovalne rezultate debeloplastnih uporov na različnih LTCC podlagah. Študirali smo kompatibilnost uporabnih in LTCC materialov ter vpliv na piezouporovne lastnosti debeloplastnih uporov.
		ANG	In this article the investigation thick-film resistors fired on different LTCC substrates were presented. Special attention was paid on the compatibility of thick-film materials and LTCC materials, and piezoresistance property of the resistors.
	Objavljeno v	Nova Science Publishers; Thick films; 2012; Str. 283-299; A': 1; Avtorji / Authors: Hrovat Marko, Belavič Darko, Santo-Zarnik Marina, Pavlin Marko, Holc Janez, Cilenšek Jena	
	Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji	
4.	COBISS ID	26799911	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Študij dolgoročne stabilnosti piezouporovnega LTCC senzorja tlaka z meritvijo nizkofrekvenčnega šuma
		ANG	Estimation of the long-term stability of piezoresistive LTCC pressure sensors by means of low-frequency noise measurements
	Opis	SLO	V članku opisujemo rezultate raziskovanj dolgoročne stabilnosti piezouporovnih LTCC senzorjev tlaka. Analizirali smo korelacijo rezultatov meritev nizkofrekvenčnega šuma in spremembe senzorskih karakteristik po pospešenim staranjem senzorjev. Ugotovili smo, da ta korelacija obstaja in nam omogoča, da z meritvijo šuma napovemo dolgoročno stabilnost senzorjev tlaka z relativno visoko stopnjo zaupanja.
		ANG	In this article we present the results of an investigation of the long-term stability of piezoresistive LTCC-based pressure sensors with the main emphasis on the effects of accelerated ageing. Noise spectroscopy was considered as a possible method for predicting the stability of the sensors' characteristics.
	Objavljeno v	Elsevier Sequoia; Sensors and actuators. A, Physical; 2013; Vol. 199; str. 334-343; Impact Factor: 1.943; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.432; A': 1; WoS: IQ, OA; Avtorji / Authors: Santo-Zarnik Marina, Sedlakova Vlasta, Belavič Darko, Sikula Josef, Majzner Jiri, Sedlak Petr	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	27805479	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Pregled keramičnih mikrosistemov na osnovi LTCC
		ANG	An overview of LTCC based ceramic microsystems
		V vabljenem predavanju smo predstavili tehnologijo, načrtovanje in	



Opis	SLO	izdelavo različnih keramičnih mikrosistemov od enostavnih keramičnih senzorjev do zahtevnih kemičnih reaktorjev. Vsi opisani mikrosistemi so bili izdelani z izvirno in nekonvencionalno uporabo tehnologije LTCC in debeloplastnih materialov.	
	ANG	In the invited paper we present the development of different ceramic microsystems from simple pressure sensors on one side to complex chemical reactors on the other side. All those ceramic microsystems are based on the nonconventional application of LTCC technology and thick-film materials.	
Šifra	B.04 Vabljen predavanje		
Objavljeno v	Vysoké učení Technické v Brně; Proceedings; 2014; Str. XVI-XXI; Avtorji / Authors: Belavič Darko, Hrovat Marko, Santo-Zarnik Marina, Makarovič Kostja, Benčan Andreja, Holc Janez, Dolanc Gregor, Fajdiga Primož, Hočevar Stanko, Pohar Andrej, Kovač Franci, Hodnik Marjan, Konda Anton, Jordan Boris, Sedlakova Vlasta, Sikula Josef, Malič Barbara		
Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)		
2.	COBISS ID	269059584	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Vpliv procesnih pogojev fazno sestavo, strukturo in lastnosti keramike LTCC	
	ANG	The effect of processing conditions on the phase composition, structure and properties of low temperature co-fired ceramics	
Opis	SLO	Mladi raziskovalec je v letu 2013, na Odseku za elektronsko keramiko ter na Podiplomski šoli Instituta Jožef Stefan doktoriral z disertacijo "Vpliv pogojev priprave na fazno sestavo, strukturo in lastnosti keramike z nizko temperaturo žganja". Po zagovoru doktorskega dela se je zaposlil v družbi KEKO Oprema, kjer je nadaljeval svoje raziskovalno delo in ga s sodelavci tudi implementiral v izdelek.	
	ANG	Under the supervision of researchers from Department of Electronic Ceramics, dr. Makarovic performed a PhD in 2013 on "the influence of preparation conditions on the phase composition, structure and properties of ceramics with low temperature firing" at the Graduate School of Jozef Stefan Institute. After the defence he has been employed by the company KEKO Equipment, where he continued his research and assisted his colleagues implement a new product.	
Šifra	F.17 Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso		
Objavljeno v	[K. Makarovič]; 2013; XVI, 111 str.; Avtorji / Authors: Makarovič Kostja		
Tipologija	2.08 Doktorska disertacija		
3.	COBISS ID	25741607	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Večplastna keramična struktura za nekontaktno dielektrično gretje tekočin	
	ANG	Multilayer ceramic structure for noncontact dielectric heating of fluids	
Opis	SLO	Patent SI24008-A z naslovom Večplastna keramična struktura za nekontaktno dielektrično gretje tekočin zaščiti intelektualno lastnino tehnično rešitev dielektričnega gretja tekočin v tridimenzionalnih keramičnih strukturah s pomočjo izmenične električne napetosti visoke frekvence.	
	ANG	Patent SI24008-A with the title Multilayer ceramic structure for noncontact dielectric heating of fluids protect the intellectual property of technical solution for dielectric heating of fluids in three-dimensional ceramic (LTCC) structures by using an high frequency voltage excitation.	
Šifra	F.06 Razvoj novega izdelka		

	Objavljeno v	Urad RS za intelektualno lastnino; 2013; Avtorji / Authors: Makarovič Kostja, Holc Janez, Belavič Darko, Hrovat Marko, Kosec Marija	
	Tipologija	2.24 Patent	
4.	COBISS ID	26848039	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Debeloplastni piezoresistorji kontaktirani s prevodnim materialom na osnovi srebra
		ANG	Investigations of thic K-film piezoresistors terminated with silver-based thick-film conductors
	Opis	SLO	V referatu smo predstavili rezultate raziskav debeloplastnih uporovnih materialov za izdelavo piezoresistivnih senzorjev tlaka. Debeloplastni upori so električno kontaktirani in povezani s prevodnim materialom na osnovi srebra. V prispevku smo prikazali karakteristike teh materialov na LTCC podlagah in primerjalno na korundni keramiki.
		ANG	In the paper the investigation of two thickfilm resistor materials for application in piezoresistive pressure sensor were presented. Resistors are terminated with lowcost silver based thick film conductive materials. The characteristic of thickfilm resistors on LTCC and alumina substrates were evaluated.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	Vysoké učení Technické v Brně; Proceedings; 2013; Str. 218-223; Avtorji / Authors: Belavič Darko, Hrovat Marko, Makarovič Kostja, Sedlakova Vlasta, Sikula Josef, Santo-Zarnik Marina	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>2</sup>

Sodelovali smo pri organizaciji in vodenju delavnice z naslovom Mikrofluidika, ki je bila 22. maja 2012 v Ljubljani v organizaciji Centra odličnosti NAMASTE [COBISS.SI-ID 35997445]

Sodelovali smo pri organizaciji in vodenju delavnice z naslovom Workshop on Ceramic Microsystems, ki je bila v okviru 48. mednarodne konference o mikroelektroniki, elektronskih sestavnih delih in materialih MIDEM 2012 [COBISS.SI-ID 263043328] od 19. do 21. septembra 2012 na Otočcu. Na spremljajoči delavnici so bili predstavljeni dosežki na področju materialov, tehnologije in njihove uporabe v elektromehanskih, kemijskih in drugih keramičnih mikrosistemih. Na delavnici so bili udeleženci iz devetih evropskih držav in ZDA.

Rezultati aplikativnega raziskovalnega projekta so se že uporabljali v nekaterih drugih primerih (projektih) z višjo (4. in 5.) stopnjo tehnološke pripravljenosti (TRL – Technology Readiness Levels). O nekateri smo poročali v naslednjih delih:

- Tehnologije za izdelavo LTCC struktur za kemijske mikrosisteme [COBISS.SI-ID 26789159], [COBISS.SIID 27550503],
- Načrtovanje in izdelava LTCC struktur za keramični procesor tekočih goriv [COBISS.SIID 27550247], [COBISS.SI-ID 26788391]
- KeraMEMS Raziskovalni program na področju materialov, tehnologij in konstrukcij za izdelavo keramičnih mikrosistemov [COBISS.SIID 27549991], [COBISS.SI-ID 26788903]

V enega izmed demonstratorjev smo vgradili izvirno nekontaktno dielektrično gretje tekočin. To rešitev ščitimo kot intelektualno lastnino s patentom SI24008-A z naslovom Večplastna keramična struktura za nekontaktno dielektrično gretje tekočin. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 30. avg. 2013. [COBISS.SI-ID 25741607]

## 9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>8</sup>

### 9.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>9</sup>

SLO

V okviru projekta smo raziskovali materiale in razvijali postopke za izdelavo kemijskih

mikrosistemov narejenih iz keramike z nizko temperaturo žganja (low-temperature cofired ceramics – LTCC). Tu gre za nekonvencionalno uporabo relativno nove tehnologije in materialov, ki ob izkoriščanju komercialnih LTCC in debeloplastnih materialov in nekaterih »doma« razvitih materialov odpirajo velike možnosti za izdelavo različnih tridimenzionalnih keramičnih struktur za različne kemijske reaktorje. Materiali, ki se uporabljajo za izdelavo mikrosistemov so na eni strani izpostavljeni reaktantom oziroma produktom reakcije, po drugi strani pa je važno da so materiali, ki tvorijo sistem in procesi za izdelavo tega sistema med seboj kompatibilni.

Raziskovalni rezultati projekta na področju materialov in tehnologij so tudi osnova za nabor teoretičnih in eksperimentalnih podlag za razumevanje, konstruiranje in izdelavo kemičnih in tudi drugih (elektromehanskih, fluidnih, ...) keramičnih mikrosistemov. To nas postavlja, na področju materialov in tehnologij za keramične mikrosisteme, med vodilne laboratorije v Evropi (Nemčija, Švica, Poljska, Avstrija) in svetu (ZDA; Brazilija).

Projekt je okreplil tudi povezavo med raziskovalno sfero (raziskovalni inštitut, univerza in zasebna raziskovalna organizacija) in industrijo (tri mala oziroma srednje velika podjetja) na področju keramičnih materialov in tehnologij za elektroniko ter za kemijske sisteme. Večina doseženih rezultatov je novih in s tem originalnih prispevkov k stroki in znanosti.

ANG

Within the framework of the project we focused on two main areas of study: the comprehensive characterization of materials, and the development of synthesis processes compatible manufacturing of chemical microsystems made from LTCC ceramics (Low-Temperature Cofired Ceramics - LTCC). This work represents a relatively unconventional use of new technologies and materials, where we able to create unique opportunities for the manufacture of three dimensional ceramic structures for various chemical reactors, by employing the use of commercially available LTCC ceramics and thick-film materials. The materials used to manufacture chemical microsystems are exposed to chemical reactants or products of the reaction and it is critical that these materials are compatible during the production of the microsystems.

The research results of this project in the field of materials and technology, are the basis for both a theoretical and experimental understanding of the design and construction of chemical and other (electro-mechanical, fluid, ...) ceramic microsystems. The multifaceted, holistic approach adopted during this study and the comprehensive information obtain on all areas ranging from theory to concept to prototype, are of a world class standard, placing our institution among the leading laboratories for ceramic microsystems in Europe (Germany, Switzerland, Poland, Austria) and across the globe (USA, Brazil). The project has also been pivotal in strengthening links between researchers (Institute, University and private organization) and industry (three separate enterprises), in the field of ceramic materials and technologies for the electronics and chemical systems. The project revealed a number of new and novel findings which signify a substantial original contribution to understanding in the field of materials as well as marking significant achievements in the development of new technologies.

## 9.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>10</sup>

SLO

Raziskovalno delo na projektu je prispevalo k novim znanjem raziskovalcev iz vseh treh razlikovalnih skupin (Odsek za elektronsko keramiko na Institutu Jožef Stefan, HIPOT-RR in Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo) ter možnost razvoja novih izdelkov v družbah HYB, KEKON in KEKO Oprema, ki so sofinancirale raziskovalni projekt. Razvoj novih izdelkov na osnovi raziskovalnih rezultatov bo povečalo konkurenčnost družb na svetovnem trgu. Hkrati bo omogočil razvoj novih inovativnih izdelkov z višjo dodano vrednostjo. Družba HYB ponuja trgu keramični senzor tlaka za t.i. »wet-wet« aplikacijo. Senzor je narejen na osnovi LTCC tehnologije. Družba KEKON ima izboljšane keramične podlage za večplastne keramične elektronske komponente. Družba KEKO Oprema je razvila steklo-keramični kompozit (keramika z nizko temperaturo žganja (Low Temperature Cofired Ceramics – LTCC), ki je prilagojen za izdelavo 3D keramičnih struktur za MEMS in druge keramične mikrosisteme.

Sodelujoča raziskovalna organizacija HIPOT-RR ter vsi trije sofinancerji in uporabniki raziskovalnih rezultatov so mala oziroma srednje velika podjetja v slovenski lasti. Vsi so locirani v Jugovzhodni regiji. Na ta način projekt spodbuja tudi enakomernejši regionalni razvoj

republike Slovenije. Ravno tako raziskovalni rezultati in njihova implementacija v industrijskem okolju predstavlja pozitiven vzgled sodelovanja med znanstveno-raziskovalno in podjetniško sfero. Taki pozitivni vzgledi so pomembni za spodbujanje tovrstnega sodelovanja v Sloveniji. Mladi raziskovalec na Odseku za elektronsko keramiko je v letu 2013 doktoriral z disertacijo "Vpliv pogojev priprave na fazno sestavo, strukturo in lastnosti keramike z nizko temperaturo žganja" na Podiplomski šoli Instituta Jožef Stefan. Takoj po zagovoru se je zaposlil v družbi KEKO Oprema, kjer je nadaljeval svoje raziskovalno delo in ga s sodelavci implementiral v izdelek.

Člani raziskovalne skupine so navezali nove in obnovili nekatere stare stike z raziskovalnimi institucijami v tujini in v sodelovanju z njimi pripravili nekaj novih raziskovalnih projektov. Reference pridobljene na raziskovalnem projektu so prispevale k uspešnem kandidiranju za projekte iz sklopa ESA PECS, M-ERA-NET, EURIPIDES in bilateralni projekt s Češko Republiko. Širjenje (diseminacija) raziskovalnih rezultatov dviga ugled Slovenskih raziskovalnih institucij v Evropskem raziskovalnem okolju.

ANG

The work conducted during the duration of this project has had a positive impact intellectually and economically both in Research and industry. The intellectual property and knowledge gained is shared across three major institutions by the collective involvement of the following research organisations: The electronic Ceramics Department at the Institute Jozef Stefan, HIPOT RR, and the Faculty of Chemistry and Chemical Technology. The economic benefits of the project are clearly visible by the resulting development of new commercial products and new manufacturing equipment in the companies HYB, KEKON and KEKO Equipment who were partnered collaborators under the research project. However, the full economic potential of the materials and technologies developed as a part of the project has not yet been reached and will likely only be seen after some time has elapsed and allowed for further product development and for the new technologies to consolidate a stable place in the commercial market.

The key developments made within each commercial company involved in the research project can be highlighted as follows:

- The company HYB have developed a ceramic pressure sensor for "wet-wet" applications, a product which directly relies on the innovative use of LTCC technology developed exclusively as part of the research project.
- The company KEKON has improved their ceramic substrates for multilayer ceramic electronic components, a development which results from the improved understanding of materials and processing which was gained as a result of their partnership in the project.
- The company KEKO Equipment has developed a glass-ceramic composite (Low Temperature Ceramics Cofired - LTCC), adapted for the production of 3D ceramic structures for MEMS and other microsystems ceramic. A development they were able to achieve due to their involvement with the research project.

The participating research organization HIPOT-RR and all three of the partnering funders and users of the research results (HYB, KEKON and KEKO), are small or medium-sized enterprises owned and operated in Slovenia, all located in the Southeast region. In this way, the project promotes both regional development and economic stability of the Republic of Slovenia. The implementation of research findings in an industrial environment is not only a strikingly positive example of cooperation between scientific and industrial spheres but, is an achievement which demonstrates the high effectiveness and efficiency with which Slovenian research institutions are capable of working. Projects with such success are important for promoting further research and industry cooperation within Slovenia, but are also instrumental for forging an international reputation for Slovenian research organisations, which is vital for growing influence both within Europe and abroad.

Under the supervision of researchers from Department of Electronic Ceramics, dr. Makarovic performed a PhD in 2013 on "the influence of preparation conditions on the phase composition, structure and properties of ceramics with low temperature firing" at the Graduate School of Jozef Stefan Institute. After the defence he has been employed by the company KEKO Equipment, where he continued his research and assisted his colleagues implement a new product.

Members of the research team have both made new and renewed some old collaborations with research institutions abroad. Such connections are critical for building international research networks which allow for multinational funded projects to be conceived, planned and conducted

with great benefit to Slovenia and all parties involved. Finally, references gained for work carried out during the research project has proved vital in the successful competing for project grants from the set of ESA PECS, M-ERA-NET, Euripides and bilateral project with the Czech Republic.

#### 10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj	
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>
	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"/> ▼
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>
	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"/> ▼
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="Uporabljen bo v naslednjih 3 letih"/> ▼
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="Delno"/> ▼
<b>F.05</b>	<b>Spособnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value=""/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value=""/> ▼
<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="Delno"/> ▼
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen bo v naslednjih 3 letih"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="Uporabljen bo v naslednjih 3 letih"/> ▼
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/> ▼
	<input type="text" value=""/>

	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.14</b>	<b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.15</b>	<b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.16</b>	<b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.17</b>	<b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti

<b>F.18</b>	<b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
<b>F.19</b>	<b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.20</b>	<b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.21</b>	<b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.22</b>	<b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.23</b>	<b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.24</b>	<b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.25</b>	<b>Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.26</b>	<b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljaljskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.27</b>	<b>Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine</b>	



	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.28</b>	<b>Priprava/organizacija razstave</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.29</b>	<b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.30</b>	<b>Strokovna ocena stanja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.31</b>	<b>Razvoj standardov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.32</b>	<b>Mednarodni patent</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.33</b>	<b>Patent v Sloveniji</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
<b>F.34</b>	<b>Svetovalna dejavnost</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.35</b>	<b>Drugo</b>	
	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 in podoktorske projekte iz gospodarstva!**  
**Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
<b>G.01</b>	<b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input 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"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" 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 type="radio"/>	<input checked="" 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 type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" 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 checked="" type="radio"/>	<input 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 type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" 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 checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>					
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="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>					
		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>					
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>					
	Informacijsko-komunikacijska					

G.07.01.	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"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.09.</b>	<b>Drugo:</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

**Komentar**

--

**12.Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>11</sup>**

	Sofinancer			
1.	Naziv	HYB d.o.o.		
	Naslov	Levičnikova cesta 34, 8310 Šentjernej		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	39.840,32	EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	10	%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
	1.	Referati na mednarodnih konferencah [npr.: COBISS 26140455, 26149671, 26117159] o raziskavah na področju keramičnih senzorjev tlaka, prispevajo k dvigu renomeja družbe HYB na področju senzorike.	B.03	
	2.	Raziskovalni rezultati omogočajo boljšo dolgoročno stabilnost senzorjev tlaka.	F.07	
	3.	Raziskovalni rezultati so omogočili razvoj in izdelavo prototipa LTCC senzorja tlaka, ki integrira v svoji strukturi tudi debeloplastni senzor temperature.	F.08	
	4.			
	5.			
Komentar	<p>Raziskave na področju keramičnih materialov za izdelavo kemijskih mikrosistemov so bile usmerjene v proučevanje materialov in tehnologije keramike z nizko temperaturo žganja (Low Temperature Cofered Ceramic – LTCC) za izdelavo takih sistemov in v študij funkcionalnih materialov za realizacijo dodatnih funkcij v takih sistemih.</p> <p>Družba HYB je bila sofinancer projekta do konca leta 2012. Takrat je bila zaključena obsežna študija na področju analize in izboljšanja šuma keramičnih senzorjev tlaka ter korelacija med šumom in dolgoročno stabilnostjo senzorjev tlaka. Raziskovalni rezultat, ki se ga že uporablja pri razvojnih projektih družbe, je integracija senzorja temperature v keramično strukturo senzorjev tlaka. Senzorje temperature je možno realizirati z debeloplastnimi upori, ki imajo negativno ali pozitivno temperaturno odvisnost. Taki senzorji temperature so del keramične strukture senzorja tlaka in imajo zato intimen stik s senzorjem temperature. Za LTCC senzorje tlaka so pomembne tudi raziskave piezoresistivnih lastnosti debeloplastnih uporov na različnih LTCC podlagah. Ti in ostali rezultati projekta L2-4062 so se implementirali v razvojnem programu družbe HYB s kratkim naslovom KeraMEMS. Ta razvojni program temelji na novih materialih in tehnologijah ter je</p>			

		usmerjen v povečanje konkurenčnosti družbe na obstoječem proizvodnem programu družbe (senzorji tlaka) in odpiranju novih tržnih možnosti na področju keramičnih mikrosistemov. Objektne cilje programa je prenos nove LTCC tehnologije in znanja v proizvodnjo, ter izdelava pilotne serije. Uspešnost programa KeraMEMS je bila močno odvisna tudi od povezave z raziskovalnimi organizacijami, kar nam aplikativni raziskovalni projekt omogoča.		
	Ocena	Potrjujemo, da so rezultati raziskovalnih aktivnosti v sklopu aplikativnega raziskovalnega projekta "Materiali in tehnologije za izdelavo kemijskih mikrosistemov" (Šifra ARRS: L2-4062) v skladu z načrtovanimi razvojnim programom družbe HYB. Doseženi rezultati raziskovalnega projekta so izpolnili pričakovanja družbe.		
2.	Naziv	KEKO Oprema d.o.o.		
	Naslov	Grajski trg 15, 8360 Žužemberk		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	38.898,90	EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	10	%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
		1.	Izdelava keramičnih folij iz funkcionalnih materialov z nizko temperaturo žganja.	F.06
		2.	Kompatibilnost keramične strukture sestavljene iz osnovnih (LTCC) in funkcionalnih materialov.	F.08
		3.	Demonstracija tehnologije za izdelavo LTCC struktur za kemijske mikrosistem.	F.09
		4.		
		5.		
	Komentar	Raziskave na področju keramičnih materialov za izdelavo kemijskih mikrosistemov so bile usmerjene v proučevanje materialov in tehnologije keramike z nizko temperaturo žganja imenovane LTCC (Low Temperature Cofered Ceramic) in v študij funkcionalnih materialov za realizacijo dodatnih funkcij v takih sistemih. Družba KEKO Oprema se je vključila v projekt kot sofinancer v začetku leta 2013. Za družbo so še posebej aktualni raziskovalni rezultat pri proučevanju osnovnih materialov (LTCC) in različnih funkcionalnih materialov (piezouporovni, kompozit stekla in TiO <sub>2</sub> ) in tehnologij za njihovo integracijo. Omenjeni rezultati raziskovalnega projekta L2-4062 so neposredno uporabni za razvoj in izdelavo demonstracijskih izdelkov za prikaz zmožnosti materialov, tehnologije in proizvodne opreme. Posredni rezultat aplikativnega raziskovalnega projekta L2-4062 pa je povezanost družbe KEKO Oprema z raziskovalnimi institucijami.		
	Ocena	Potrjujemo, da so rezultati raziskovalnih aktivnosti v sklopu aplikativnega raziskovalnega projekta "Materiali in tehnologije za izdelavo kemijskih mikrosistemov" (Šifra ARRS: L2-4062) v skladu z načrtovanimi raziskovalnimi aktivnostmi družbe KEKO Oprema. Doseženi raziskovalni rezultati so izpolnili pričakovanja družbe in so del razvojnega programa družbe.		
3.	Naziv	KEKON d.o.o.		
	Naslov	Grajski trg 15, 8360 Žužemberk		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	19.386,86	EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	5	%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	

	1.	Material za izdelavo samostoječih tankih inertnih keramičnih ploščic za uporabo v debeloplastni tehnologiji kot podlaga za funkcionalne debeloplastne materiale, ki so procesno kemijsko občutljivi.	F.01
	2.	Optimiziranje keramičnih ploščic za uporabo v debeloplastni tehnologiji kot podlaga za debeloplastne piezouporovne materiale.	F.07
	3.		
	4.		
	5.		
Komentar		Raziskave na področju keramičnih materialov za izdelavo kemijskih mikrosistemov so bile usmerjene v proučevanje materialov in tehnologije keramike z nizko temperaturo žganja imenovane LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) in v študij funkcionalnih materialov za realizacijo dodatnih funkcij v takih sistemih. Za družbo KEKON so še posebej aktualni raziskovalni rezultat pri proučevanju funkcionalnih in pomožnih materialov. Omenjeni rezultati raziskovalnega projekta L2-4062 so neposredno uporabni za razvoj in izdelavo tankih inertnih keramičnih podlag za procesno občutljive funkcionalne materiale. Druga neposredna uporaba je bila pri optimizaciji keramičnih podlag za debeloplastne piezouporovne materiale.	
Ocena		Potrjujemo, da so rezultati raziskovalnih aktivnosti v sklopu aplikativnega raziskovalnega projekta "Materiali in tehnologije za izdelavo kemijskih mikrosistemov" (Šifra ARRS: L2-4062) v skladu z razvojnim in proizvodnim programom družbe KEKON. Rezultati raziskovalnega projekta so izpolnili pričakovanja družbe.	

### 13. Izjemni dosežek v letu 2014<sup>12</sup>

#### 13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Za pomemben znanstveni dosežek v letu 2014 štejemo raziskovalne rezultate opisane v članku z naslovom "3D LTCC structure for a large-volume cavity-type chemical microreactor". Članek je bil v mesecu februarju 2015 sprejet v objavo v revijo *Microelectronics International*. V članku opisujemo izvirno konstrukcijo kemijskega reaktorja izdelanega s tridimenzionalno (3D) LTCC tehnologijo. V središču strukture je relativno velika reakcijska komora (volumen 4,2 cm<sup>3</sup>) v katero je možno vsuti keramične (ZrO<sub>2</sub>) kroglice, ki so prevlečene s katalizatorjem. V komori poteka kemijska reakcija pod kontroliranim pretokom in temperaturo. V primerjavi z drugimi tipi reaktorjev ima tak reaktor izjemno povečano stično površino med reagentom in katalizatorjem. Skozi servisno odprtino je omogočeno dodajati ali zamenjati keramične kroglice z različnimi katalizatorji. Zato je tak tip reaktorja možno uporabiti za različne kemijske reakcije.

#### 13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Raziskovalni dosežki na področju keramike z nizko temperaturo žganja (Low Temperature Cofired Ceramics – LTCC) in integriranih funkcionalnih materialov so omogočili razvoj in izdelavo večplastnih keramičnih struktur za kemijske reaktorje. V letu 2014 smo na osnovi novega KEKO SK-47 materiala LTCC razvili mikro-ozonator s srebrovimi elektrodami in 1 m dolgim kanalom. Ozonator dimenzij 63,6 x 41,8 x 1,3 mm je pri napetosti 7 kV in pretoku kisika 5 ml/min proizvedel 6.5 % ozona, kar je primerljivo s produkcijo ozona večjih, komercialno, dostopnih generatorjev ozona.

## C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

### Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
raziskovalne organizacije:*

in

*vodja raziskovalnega projekta:*

Institut "Jožef Stefan"

Andreja Benčan Golob

### ŽIG

Kraj in datum: 

Ljubljana	13.3.2015
-----------	-----------

### Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/16

<sup>1</sup> Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>3</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

<sup>4</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>5</sup> Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

<sup>6</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

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

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

<sup>7</sup> Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>8</sup> 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](#)

<sup>9</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

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

<sup>12</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a  
FC-7A-A8-9B-E8-7D-71-4A-F2-DE-3B-44-33-42-4D-71-17-10-C9-2E



## **Priloga 1**

## TEHNIKA

Področje: 2.04 – Materiali

### Dosežek: **Tridimenzionalne keramične strukture za kemijske reaktorje (L2-4062)**

Vir: K. Makarovič (1,2,3), F. Kovač (4), J. Holc (2,3), D. Belavič (2,3,5), M. Hrovat (2,3), A. Benčan (2,3) in B. Malič (3), Chemical reactor for ozone generation based on low temperature co-fired ceramics, Electroceramics XIV, 2014, Bucharest, Romania [COBISS.SI - ID 27788327]

(1) Keko-Equipment LTD, Grajski trg 15, Žužemberk

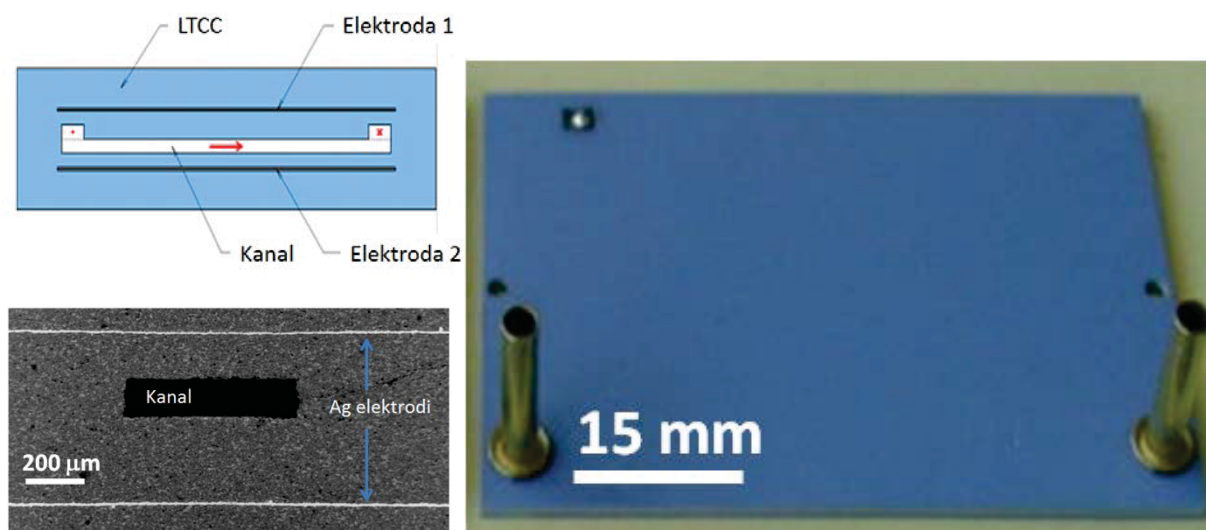
(2) CoE NAMASTE, Jamova ulica 39, Ljubljana

(3) Jožef Stefan Institute, Jamova ulica 39, Ljubljana

(4) Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Večna pot 113, Ljubljana

(5) HIPOT-RR, Šentpeter 18, Otočec

Raziskovalni dosežki na področju keramike z nizko temperaturo žganja (Low Temperature Cofired Ceramics – LTCC) in integriranih funkcionalnih materialov so omogočili razvoj in izdelavo večplastnih keramičnih struktur za kemijske reaktorje. V letu 2014 smo na osnovi novega KEKO SK-47 LTCC materiala razvili mikro-ozonator s srebrovimi elektrodami in 1 m dolgim kanalom. Ozonator dimenzij 63,6 x 41,8 x 1,3 mm je pri napetosti 7 kV in pretoku kisika 5 ml/min proizvedel 6.5 % ozona, kar je primerljivo s produkcijo ozona večjih, komercialno, dostopnih generatorjev ozona.



**Slika 1:** Shematski presek in presek ozonatorja posnet z vrstičnim elektronskim mikroskopom (levo), slika mikro-ozonatorja na osnovi LTCC (desno).

## **Priloga 2**

## TEHNIKA

Področje: 2.04 – Materiali

### Dosežek: **Tridimenzionalna LTCC struktura za kemijski reaktor z veliko reakcijsko komoro (L2-4062)**

Vir: D. Belavič (1), M. Hrovat (2), K. Makarovič (2), G. Dolanc (3), A. Pohar (4), Hočevar (4), A. Benčan (2), B. Malič (2). *Microelectronics international*

(1) *HIPOT-RR, Šentpeter 18, 8222 Otočec*

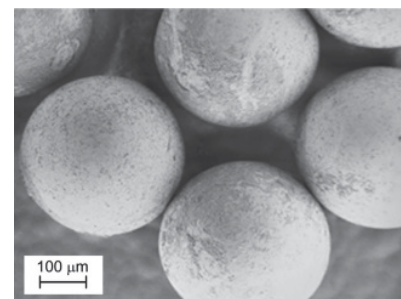
(2) *Odsek za elektronsko keramiko, Institut „Jožef Stefan“; Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

(3) *Odsek za sisteme in vodenje, Institut „Jožef Stefan“; Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana*

(4) *Kemijski Inštitut, Hajdrihova cesta 19, 1000 Ljubljana*

Za pomemben znanstveni dosežek v letu 2014 štejemo raziskovalne rezultate opisane v članku z naslovom "3D LTCC structure for a large-volume cavity-type chemical microreactor". Članek je sprejet v objavo v reviji *Microelectronics International*. V članku opisujemo izvirno konstrukcijo kemijskega reaktorja izdelanega s tridimenzionalno (3D) LTCC tehnologijo. V središču 3D strukture je relativno velika reakcijska komora (volumen 4,2 cm<sup>3</sup>) v katero je možno vsuti keramične (ZrO<sub>2</sub>) kroglice, ki so prevlečene s katalizatorjem. V komori poteka kemijska reakcija pod kontroliranim pretokom in temperaturo.

V primerjavi z drugimi tipi reaktorjev ima tak reaktor izjemno povečano stično površino med reagentom in katalizatorjem. Skozi servisno odprtino pa je omogočeno dodajati ali zamenjati keramične kroglice z različnimi katalizatorji. Zato je tak tip reaktorja možno uporabiti za različne kemijske reakcije.



**Slika 1:** SEM fotografija ZrO<sub>2</sub> kroglic prevlečenih s katalizatorjem Pt/CeO<sub>2</sub>.



**Slika 2:** Presek reakcijske komore



**Slika 3:** Zaprta LTCC struktura z reakcijsko komoro, kanali in fluidnimi priključki.

## **Priloga 3**

## TEHNIKA

Področje: 2.04 – Materiali

### Dosežek: **Tridimenzionalne keramične strukture za kemijske reaktorje (L2-4062)**

Vir: K. Makarovič (1,2,3), F. Kovač (4), J. Holc (2,3), D. Belavič (2,3,5), M. Hrovat (2,3), A. Benčan (2,3) in B. Malič (3), Chemical reactor for ozone generation based on low temperature co-fired ceramics, Electroceramics XIV, 2014, Bucharest, Romania [COBISS.SI - ID 27788327]

(1) Keko-Equipment LTD, Grajski trg 15, Žužemberk

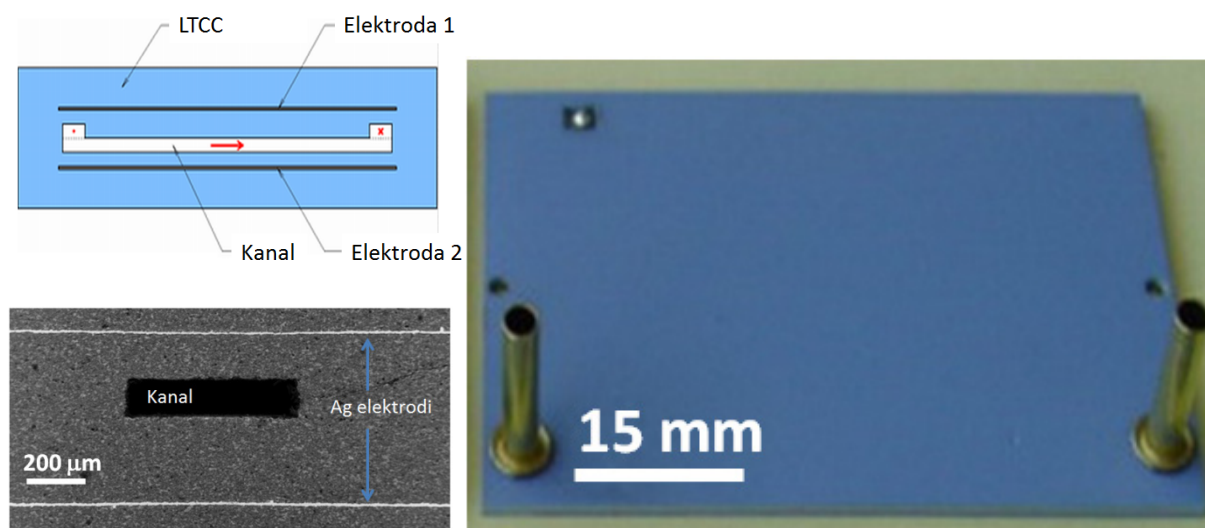
(2) CoE NAMASTE, Jamova ulica 39, Ljubljana

(3) Jožef Stefan Institute, Jamova ulica 39, Ljubljana

(4) Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Večna pot 113, Ljubljana

(5) HIPOT-RR, Šentpeter 18, Otočec

Raziskovalni dosežki na področju keramike z nizko temperaturo žganja (Low Temperature Cofired Ceramics – LTCC) in integriranih funkcionalnih materialov so omogočili razvoj in izdelavo večplastnih keramičnih struktur za kemijske reaktorje. V letu 2014 smo na osnovi novega KEKO SK-47 LTCC materiala razvili mikro-ozonator s srebrovimi elektrodami in 1 m dolgim kanalom. Ozonator dimenzij 63,6 x 41,8 x 1,3 mm je pri napetosti 7 kV in pretoku kisika 5 ml/min proizvedel 6.5 % ozona, kar je primerljivo s produkcijo ozona večjih, komercialno, dostopnih generatorjev ozona.



**Slika 1:** Shematski presek in presek ozonatorja posnet z vrstičnim elektronskim mikroskopom (levo), slika mikro-ozonatorja na osnovi LTCC (desno).

## **Priloga 4**



## TEHNIKA

Področje: 2.04 – Materiali

### Dosežek: **Tridimenzionalna LTCC struktura za kemijski reaktor z veliko reakcijsko komoro (L2-4062)**

Vir: D. Belavič (1), M. Hrovat (2), K. Makarovič (2), G. Dolanc (3), A. Pohar (4), Hočevar (4), A. Benčan (2), B. Malič (2). Microelectronics international

(1)HIPOT-RR, Šentpeter 18, 8222 Otočec

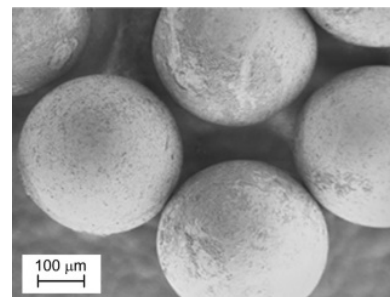
(2)Odsek za elektronsko keramiko, Institut „Jožef Stefan“; Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

(3)Odsek za sisteme in vodenje, Institut „Jožef Stefan“; Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

(4)Kemijski Inštitut, Hajdrihova cesta 19, 1000 Ljubljana

Za pomemben znanstveni dosežek v letu 2014 štejemo raziskovalne rezultate opisane v članku z naslovom "3D LTCC structure for a large-volume cavity-type chemical microreactor". Članek je sprejet v objavo v reviji Microelectronics International. V članku opisujemo izvirno konstrukcijo kemijskega reaktorja izdelanega s tridimenzionalno (3D) LTCC tehnologijo. V središču 3D strukture je relativno velika reakcijska komora (volumen 4,2 cm<sup>3</sup>) v katero je možno vsuti keramične (ZrO<sub>2</sub>) kroglice, ki so prevlečene s katalizatorjem. V komori poteka kemijska reakcija pod kontroliranim pretokom in temperaturo.

V primerjavi z drugimi tipi reaktorjev ima tak reaktor izjemno povečano stično površino med reagentom in katalizatorjem. Skozi servisno odprtino pa je omogočeno dodajati ali zamenjati keramične kroglice z različnimi katalizatorji. Zato je tak tip reaktorja možno uporabiti za različne kemijske reakcije.



**Slika 1:** SEM fotografija ZrO<sub>2</sub> kroglic prevlečenih s katalizatorjem Pt/CeO<sub>2</sub>.



**Slika 2:** Presek reakcijske komore



**Slika 3:** Zaprta LTCC struktura z reakcijsko komoro, kanali in fluidnimi priključki.