

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/30

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-0186
Naslov projekta	Energijsko varčni keramični senzorji tlaka z digitalnim izhodom
Vodja projekta	4378 Marina Santo Zarnik
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4.170
Cenovni razred	D
Trajanje projekta	02.2008 - 01.2011
Nosilna raziskovalna organizacija	1704 HIPOT-RR raziskave in razvoj tehnologij in sistemov, d.o.o.
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106 Institut "Jožef Stefan" 1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Družbeno-ekonomski cilj	

1.1. Družbeno-ekonomski cilj¹

Šifra	06.
Naziv	Industrijska proizvodnja in tehnologija

2. Sofinancerji²

1.	Naziv	HYB Proizvodnja hibridnih vezij d.o.o.
	Naslov	Levičnikova cesta 34, 8310 Šentjernej
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta³

Cilj projekta je bil pridobivanje novih znanj in izkušenj za razvoj tehnologije za izdelavo tridimenzionalnih (3D) keramičnih struktur senzorjev tlaka ter razvoj senzorjev z nizko porabo, ki bi bili primerni za vgradnjo v brezžične senzorske sisteme. Raziskava vključuje tudi razvoj ustrezne elektronike za pretvorbo senzorskega signala v digitalno obliko. Po začetni primerjalni študiji različnih izvedb keramičnih senzorjev (zasnovanih na različnih senzorskih principih) smo raziskavo usmerili v obravnavo kapacitivnih senzorjev tlaka, ki so že v osnovi energijsko najbolj varčni. Poudarek je bil na razvoju tehnologije procesiranja 3D keramičnih struktur z uporabo komercialno dostopnih keramičnih materialov z nizko temperaturo žganja (Low Temperature Cofired Ceramic, LTCC). Pomembno vlogo pri oblikovanju in optimizaciji dizajna samega senzorskega elementa so poleg eksperimentalnega študija imele tudi numerične analize. Aktivnosti na razvoju elektronike za pretvorbo in obdelavo senzorskega signala so potekale vzporedno s tehnološkim razvojem in optimizacijo dizajna kapacitivnega senzorskega elementa kar je omogočilo usklajeno izboljševanje karakteristik v več iteracijah.

V skladu z zastavljenimi cilji in usposobljenostjo sodelujočih raziskovalnih skupin ter interesom sofinancerja (tudi parterja na projektu), so zgoraj omenjene aktivnosti potekale v petih vsebinskih delovnih sklopih:

DS1 - Tehnologija in materiali za izdelavo senzorskega elementa (IJS in HIPOT-RR)

DS2 - Definicija tehničnih zahtev in oblikovanje aplikacije (HIPOT-RR in HYB)

DS3 - Načrtovanje, konstrukcija in izdelava senzorskih elementov (HIPOT-RR)

DS4 - Elektronika za pretvorbo senzorskega signala (LMSE)

DS5 - Demonstracijski prototipi in testiranje (HIPOT-RR in HYB)

Ker so rezultati posameznih delovnih sklopov v končni fazi medsebojno prepleteni in težko ločljivi jih v tem poročilu podajamo kot celoto. Strukturirano so predstavljeni le dosežki s področja tehnologije in materialov, ki vključujejo razvoj in optimizacijo postopka 3D oblikovanja LTCC senzorskega elementa in rezultati razvoja elektronike za pretvorbo in obdelavo senzorskega signala.

Osnovna konstrukcija kapacitivnega senzorskega elementa je keramični nosilec (tipične debeline 0,6-0,8 mm in lateralne zunanje dimenzije 12 mm x 18 mm) v katerem so s postopki 3D oblikovanja v fiksni nosilni podlagi izdelani kanali za dovod/odvod medija (zraka) in votlina zaprta s tanko upogljivo membrano. V notranjosti votline so na membrani in nosilni podlagi s postopki debeloplastne tehnologije izdelane elektrode kondenzatorja z zračno režo. Višina votline in upogib s tlakom obremenjene membrane določata zračno režo kondenzatorja in s tem ničelno kapacitivnost in občutljivost senzorja na tlak. Možnost sočasnega žganja debeloplastnih elektrod v taki zaprti keramični strukturi je ena od pomembnih prednosti tehnologije in keramičnih materialov z nizko temperaturo žganja, ki je ravno v primeru kapacitivne senzorske strukture še posebej atraktivna.

Tehnološka osnova za izdelavo ustrezne keramične strukture so bili konvencionalni postopki LTCC tj. laminacija ustrezno razrezanih listov zelene (nežgane) keramike, tiskanje pasivnih električnih komponent in povezav ter sočasno žganje (tipičen LTCC temperaturni profil z maksimalno temperaturo med 850°C in 900°C). Ker z uporabo konvencionalne tehnologije ni bilo možno izdelati ustreznih struktur, ki bi omogočile doseganje projektnih ciljev smo sistematično študirali različne tehnološke možnosti od samega oblikovanja in priprave do procesiranja LTCC.

Opimalni tehnološki parametri za izdelavo 3D keramičnih struktur so odvisni tudi od samega LTCC materiala. Zato smo za razvoj tehnologije in izdelavo testnih senzorskih struktur izbrali material 951 proizvajalca DuPont, s katerim smo že od prej imeli največ izkušenj pri procesiranju in uporabi skupaj z drugimi komercialnimi debeloplastnimi materiali. Z optimizacijo tehnoloških parametrov za laminacijo 100 µm, 150 µm in 200 µm debelih listov zelene keramike LTCC in s prilagoditvijo temperaturnega profila žganja za izbrani material smo postopke optimizirali tako, da je bilo možno izdelati sprejemljive strukture z votlinami premera 7-10 mm in višino 60-80 µm. Za izdelavo tanjših zračnih rež (< 50 µm), ki omogočajo doseganje večje občutljivosti senzorja, pa je bila potrebna ustrezna nadgradnja konvencionalnih tehnoloških postopkov. Z razvojem tehnologije

izdelave votlin s pomočjo začasnih ali žrtvovanih plasti (za katere so uporabljane npr. debeloplastne ogljikove paste) so bili doseženi spodbudni rezultati, vendar pa so nadaljnje izboljšave postopka presegale planirane aktivnosti in so zaradi aktualnosti in tudi kompleksnosti problema obravnavane kot predmet raziskav na vzporednih projektih.

Pri optimizaciji tehnoloških postopkov 3D oblikovanja LTCC struktur za kapacitivne senzorje smo sistematično spreminjali tudi geometrijo senzorskega kondenzatorja ter na ta način iskali ustrezno tehnološko rešitev, ki omogoča izdelavo keramične strukture s čim bolj tanko in ravno membrano in čim tanjšo zračno režo primerno za aktualna tlačna področja. S tem v zvezo so obravnavane različne dimenzije osnovne strukture (premer votline in debelina membrane), primerne za uporabo predvsem v nižjih tlačnih področjih (do 1 bar). Najbolj problematične so vsekakor strukture s tanko membrano (100 μm) večjega premera ($> 8 \text{ mm}$), saj je delo s tankimi plastmi nežgane keramike zelo zahtevno. Še posebne zahteve glede oblikovanja samega kapacitivnega senzorskega elementa pa so postavljene s strani elektronike za pretvorbo in procesiranje senzorskega signala. Ta ima največkrat omejeno področje kapacitivnosti na nekaj pF in je potrebno doseči čim manjše stresane kapacitivnosti v sami keramični strukturi.

Končni rezultat/dosežek kompletnega razvoja nove tehnologije 3D oblikovanja za izdelavo kapacitivnih senzorjev tlaka je obvladovanje postopka izdelave keramičnih senzorskih struktur z membranami debeline 150 μm in premera do 10 mm in zračno režo med debeloplastnima elektrodama 50 μm . Razviti tehnološki postopek nam je omogočil izdelavo več serij različnih poskusnih senzorjev, ki so bili uporabljeni za eksperimentalni študij in doseganje zastavljenih projektnih ciljev.

Vzporedno z razvojem tehnologije ter izdelavo in karakterizacijo poskusnih senzorskih elementov so potekale aktivnosti na razvoju elektronike za pretvorbo senzorskega signala izhoda v digitalni izhod. Elektronika je zasnovana na uporabi integriranega kapacitivno-digitalnega pretvornika AD7746 visoke ločljivosti (do 2 aF), omejitvijo področja spremenljive kapacitivnosti na $\pm 4 \text{ pF}$ in skupne kapacitivnosti (common mode capacitance) do 17 pF, kar ne presega maksimalnih pričakovanih sprememb kapacitivnosti v obravnavanih tlačnih področjih senzorja. Izbrano integrirano vezje AD7746 ni posebej deklarirano za zelo nizko porabo (ob napajanju 2,7 V do 5,25 V je tipična poraba 0,7mA), vendar smo ocenili, da je še sprejemljivo za ciljno aplikacijo. Med izvajanjem projekta smo za karakterizacijo in preizkušanje izdelanih kapacitivnih senzorskih elementov poleg standardne elektronske opreme (Keithley, in impedančnega analizatorja Solartron, SI 1260) uporabljali tudi razvojni sistem Analog Devices AD7746EV. Ta nam je omogočil, da smo se ob velikem številu poskusnih senzorskih elementov, ki so bili rezultat razvoja tehnologije, izognili preveliki porabi komponent AD7746. Za končno evaluacijo doseženih senzorskih karakteristik, pa so izbrani vzorci bili opremljeni z elektronsko komponento na samem telesu senzorja. Tak kompleten senzor (senzorski modul) nadzoruje osebni računalnik preko USB vrat, na katera je priključen vmesnik za pretvorbo sporočil, poslanih preko USB na I2C protokol. Poleg osnovne komunikacije je v sklopu projekta razvita in optimizirana tudi ustrezna programska oprema, ki omogoča izbiro oz. nastavitev ustreznega območja, zajemanje podatkov za izračun temperaturne kompenzacije senzorskega elementa ter ustrezen zapis merilnih rezultatov. Za temperaturno kompenzacijo in linearizacijo odziva kapacitivnih senzorjev tlaka je razvita metoda, zasnovana na podobnih principih kot so algoritmi uporabljeni za kompenzacijo piezouporovnih senzorjev. S tem v zvezi smo analizirali več možnosti kompenzacije z različnimi pristopi k opisu senzorske karakteristike (kot sta ulomljena polinomska aproksimacija in Chisholmova aproksimacija). Za izbrane prototipe senzorja (načrtovanega za tlačno področje 0-1 bar) je bila uspešno izračunana digitalna temperaturna kompenzacija z največjim odstopanjem $\pm 0,5\%$ področja.

Ob uporabi elektronike, ki ima omejeno področje kapacitivnosti je potrebno znotraj same keramične strukture doseči tudi čim manjše stresane kapacitivnosti proti masi, kar predstavlja še dodatne zahteve za dizajn senzorja. Optimizacija dizajna keramične strukture je pomembna stična točka med tehnološkim delovnim sklopom in razvojem elektronike. Hkrati z razvojem in optimizacijo tehnoloških postopkov za oblikovanje 3D

LTCC strukture so bile aktivnosti usmerjene v izboljšanje dizajna s katerim bi zmanjšali motnje iz okolice in izboljšali stabilnost ter povečali občutljivost in resolucijo senzorja. Pri dizajnu je potrebno upoštevati kapacitivnost celotne keramične strukture, ki ni odvisna samo od upogiba s tlakom obremenjene membrane ampak tudi od drugih parametrov, kot so geometrija, dimenzije in dielektričnih lastnostmi keramike, izvedba elektrod kondenzatorja in povezave z izhodno elektroniko, vpliv okoliškega medija itd. Pomembno vlogo pri analizi teh vplivov so imele numerične simulacije. Z uporabo programskih orodij Ansys/Multiphysics in FlexPDE smo zgradili ustrezne modele in opravili analize, ki so pokazale trende in možnosti za optimizacijo. (Na nalogah povezanih z numeričnim modeliranjem smo veliko sodelovali z romunskimi partnerji v sklopu uspešnega bilateralnega sodelovanja BI-RO/08-09-009. Rezultati tega sodelovanja so predstavljeni v petih znanstvenih objavah: COBISS.SI-ID: 22942759, 22628135, 22941735, 22889767, 22808871, ki niso omenjene med pomembnimi dosežki, pa vendarle so veliko pripomogle k uspešni realizaciji projektnih ciljev.) V več iteracijah (numeričnih in eksperimentalnih) nam je uspelo z ustrezno obliko in pozicijo elektrod in dodanim ozemljenim obročem (»guard ring« elektrodo) izboljšati stabilnost in resolucijo senzorskega elementa. Z ustreznim razmerjem premera elektrod in membrane smo uspeli doseči karakteristike z maksimalnim izmerjenim rms šumom manjšim od 100 aF (pri meritvah senzorja v odprtem prostoru). Ob takem šumu je ločljivost senzorja za tlačno področje od 0 do 1 bar boljša od 0,5 mbar.

Tipične karakteristike prototipnih senzorjev načrtovanih za tlačno področje 750 mbar, ki so bili izdelani v eni zadnjih optimiziranih serij so naslednje: tlačna občutljivost je 1,7 fF/mbar, temperaturna odvisnost ničelne kapacitivnosti je 9 fF/°C in temperaturna odvisnost občutljivosti je manjša od 2 aF/mbar/°C. Z digitalno kompenzacijo je doseženo maksimalno odstopanje < 0,4% FSO na kalibracijskem temperaturnem področju 10 °C do 75 °C. (Kompenzacijo je možno izvesti tudi v širšem temperaturnem področju, vendar smo se na tako ozko področje omejili samo iz razloga, da se izognemo potencialnim negativnim vplivom vlage pri temperaturah okoli 0°C in uporabi elektronskih in pnevmatskih priključkov, ki bi morali vzdržati višje temperature od 80°C). Ob vsem tem je ločljivost senzorja boljša od 0,5 mbar, kar je zelo obetaven dosežek. Maksimalna poraba senzorja ne presega 5 mW (pri napajanju 5 V), medtem ko je pri enakem napajanju v času, ko pretvornik ni aktiven, tipična poraba senzorja 2 mW. Nadaljnja izboljšava energijske učinkovitosti glede same porabe senzorja je usmerjena predvsem v optimizacijo ali uporabo druge elektronike in uporabo pametnih algoritmov. Vsekakor pa tudi že doseženi rezultati predstavljajo solidno osnovo za nadaljnji razvoj kapacitivnih keramičnih senzorjev za potrebe industrijskega partnerja.

Neodvisno od same porabe senzorja kot električne komponente, pa je pomemben doprinos keramičnih senzorjev izdelanih z uporabo LTCC v energijski varčnosti s stališča tehnologije izdelave in proizvodnje. Predvsem gre za zmanjšanje porabe energije in materiala pri izdelavi senzorja, saj je celoten senzor izdelan v samem keramičnem nosilcu in ta je sočasno žgan skupaj z električnimi povezavami pri relativno nizkih temperaturah v primerjavi s temperaturami na katerih se normalno procesirajo keramične strukture.

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Cilj projekta je bil pridobivanje novih znanj in razvoj novih tehnologij za izdelavo keramičnih senzorjev tlaka z nizko porabo. Raziskavo smo usmerili predvsem na obravnavo kapacitivnih senzorjev tlaka, ki so že v osnovi energijsko varčni in v razvoj ustrezne elektronike za konverzijo in obdelavo senzorskega signala.

Aktivnosti so bile usmerjene v razvoj tehnološkega procesa za oblikovanje tridimenzionalne keramične strukture kapacitivnega senzorskega elementa z uporabo tehnologije in keramičnih materialov z nizko temperaturo žganja (LTCC). Na taki strukturi je poleg senzorskega dela (strukture s tanko membrano, ki zapira votlino z zračno režo med elektrodama spremenljivega kondenzatorja in kanali za dovod zraka) na fiksnem

delu keramične podlage izvedena tudi elektronika za pretvorbo kapacitivnega odziva senzorja v digitalni izhod.

Uporaba žrtvovanih plasti za izdelavo votline (ki je predmet raziskav na vzporednih projektih) še ni primerna za serijsko procesiranje struktur in prenos v proizvodnjo. Zato so v sklopu projekta bili vzporedno razviti postopki za izdelavo votline brez začasne plasti, ki so omogočili nemoten potek drugih raziskovalnih aktivnosti in uspešno realizacijo projektnih ciljev. Zadnji dosežki so zreli za prenos tehnologije v uporabo, vendar so, zaradi ustrezno večje zračne reže med elektrodami senzorskega kondenzatorja, primerni le za senzorje, za katere ni zahtevana zelo visoka tlačna občutljivost.

Možnost integracije elektronskega dela za pretvorbo senzorskega signala direktno na keramični nosilec s kapacitivno senzorsko strukturo se je izkazala za zelo primerno pri zmanjšanju vpliva stresanih kapacitivnosti. Uporaba integriranega kapacitivno digitalnega pretvornika AD7746 je omogočila doseganje relativno nizkega šuma izhodnega signala (< 100 aF) in resolucijo senzorja 0,5 mbar za tlačno področje 0-1bar. Poraba energije je ocenjena za sprejemljivo za ciljno aplikacijo. Maksimalna poraba senzorja (pri napajanju 5 V) ne presega 5 mW, medtem ko je v času, ko ni konverzije, tipično 2 mW. Nadaljnja izboljšava energijske učinkovitosti senzorja je možna predvsem z optimizacijo ali uporabo druge elektronike in uporabo pametnih algoritmov. Prednost (in delno tudi upravičenost) uporabe izbranega kapacitivno-digitalnega pretvornika je v možnosti izvedbe temperaturne kompenzacije in linearizacije senzorske karakteristike, ki je bila uspešno izvedena in preizkušena na izbranih prototipih.

Eksperimentalne in numerične analize so pokazale možnosti za nadaljnje zmanjšanje vpliva okolice in izboljšanje občutljivosti in stabilnosti in podale solidno osnovo in smernice za nadaljnje razvojne projekte na tem področju.

Doseženi rezultati so potrdili utemeljenost raziskovalne hipoteze in odprli še vrsto novih raziskovalno-razvojnih izzivov za bodoče raziskave na področju kapacitivnih keramičnih senzorjev tlaka. Ocenjujemo, da je realizacija zastavljenih raziskovalnih ciljev na solidni ravni in je v celoti v skladu s planiranim programom projekta.

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

Po začetni uskladitvi s 50% manjšim obsegom financiranja ni bilo sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta ne bistvenega zmanjšanja sestave projektne skupine.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Temperaturna odvisnost karakteristik kapacitivnega senzorja tlaka izdelanega v LTCC tehnologiji
		ANG	Temperature behaviour of capacitive pressure sensor fabricated with LTCC technology
	Opis	SLO	Predstavljeni so rezultati eksperimentalne študije kapacitivnih keramičnih senzorjev tlaka izdelanih v LTCC tehnologiji. Poudarek je na analizi temperaturne odvisnosti karakteristik senzorja, ki so odvisne od geometrije in materialnih lastnosti LTCC strukture ter izvedbe električnih in mehanskih priključkov. Študija je pokazala, da na temperaturno odvisnost ničelne kapacitivnosti lahko nezanemarljivo vplivajo tudi zaostale mehanske napetosti v membrani in ukrivljenost membrane, ki so posledica tehnološkega postopka izdelave.
		ANG	The temperature behaviour of the capacitive pressure sensor made using LTCC technology was investigated. It was shown that the main influence on the sensor's temperature characteristics are from the sensor's structure geometry and the temperature coefficient of the elastic properties of the LTCC, while the coefficients of temperature expansion and the temperature coefficient of the Poisson's ratio have only a minor effect. However, there are

			also important influences of the manufacturing-process-induced residual stresses and the curvature of the diaphragm.
	Objavljeno v		BELAVIČ, Darko, SANTO-ZARNIK, Marina, HROVAT, Marko, MAČEK, Srečo, KOSEC, Marija. Temperature behaviour of capacitive pressure sensor fabricated with LTCC technology = Temperaturne lastnosti kapacitivnega senzorja tlaka narejenega v LTCC tehnologiji. Inf. MIDEEM, september 2008, vol. 38, no. 3, str. 191-196.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		7568212
2.	Naslov	SLO	Dizajn kapacitivnega keramičnega senzorja tlaka izdelanega v LTCC strukturi
		ANG	Design of a capacitive LTCC-based pressure sensor
	Opis	SLO	Analizirani so ključni parametri, ki jih je potrebno upoštevati pri dizajnu strukture kapacitivnega keramičnega senzorja tlaka izdelanega z uporabo LTCC materialov in tehnologije. Posebna pozornost je namenjena razlagi izmerjenih senzorskih karakteristik (linearnost, temperaturna odvisnost in vpliv merilnega in referenčnega medija).
		ANG	A capacitive pressure sensor was realized by using low-temperature co-fired ceramic materials and technology and then characterized. The design of the sensing element in the 3D LTCC structure with the cavity was considered with the aim to improve the sensor's characteristics. Special points of attention were the linearity, the temperature behaviour, the pressure media and the behaviour of the reference pressure medium.
	Objavljeno v		BELAVIČ, Darko, SANTO-ZARNIK, Marina, MARGHESCU, Cristina, IONESCU, Ciprian, SVASTA, Paul, HROVAT, Marko, MAČEK, Srečo, LIPUŠČEK, Igor, KOCJAN, Sandi. Design of a capacitive LTCC-based pressure sensor : [plenary lecture]. V: SIITME 2009, 15th International Symposium for Design and Technology of Electronics Packages 17-20 September 2009, Gyula, Hungary. Conference proceedings. Piscataway: IEEE, 2009, str. 31-36.
	Tipologija		1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanja)
	COBISS.SI-ID		22942247
3.	Naslov	SLO	Digitalna temperaturna kompenzacija kapacitivnih senzorjev tlaka
		ANG	Digital temperature compensation of capacitive pressure sensors
	Opis	SLO	Predstavljena je nova metoda za temperaturno kompenzacijo kapacitivnih senzorjev tlaka, ki je zasnovana na podobnih principih kot algoritmi za kompenzacijo piezouporovnih senzorjev. Analizirane so možnosti temperaturne kompenzacije in linearizacije odziva senzorja z različnimi pristopi k opisu karakteristik kot sta ulomljena polinomska aproksimacija in Chisholmovi aproksimanti.
		ANG	A novel digital temperature compensation method originally developed for piezoresistive pressure sensors for capacitive sensors was implemented for the compensation of the capacitive sensors' parameters, such as the sensor nonlinearity and the temperature sensitivity. Different approaches to digital descriptions of the sensor characteristics are investigated and reported, such as two-dimensional rational polynomial description and the Chisholm approximants.
	Objavljeno v		MOŽEK, Matej, VRTAČNIK, Danilo, RESNIK, Drago, PEČAR, Borut, AMON, Slavko. Digital temperature compensation of capacitive pressure sensors = Digitalna temperaturna kompenzacija kapacitivnih senzorjev tlaka. Inf. MIDEEM, mar. 2010, letn. 40, št. 1, str. 38-44, ilustr.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		7814740
4.	Naslov	SLO	Kapacitivni keramični (LTCC) senzor tlaka z digitalnim izhodom
		ANG	An LTCC-based capacitive pressure sensor with a digital output
	Opis	SLO	Študirali smo kapacitivni keramični senzor tlaka izdelan v LTCC strukturi s stališča uporabe v brezžičnem senzorskem sistemu. Kapacitivni senzorski princip je primeren, ker je že v osnovi energijsko varčen. Pretvorba senzorskega signala je izvedena z uporabo kapacitivno-digitalnega pretvornika AD7746. Tipične karakteristike izdelanih prototipov so: tlačna občutljivost 1.7 fF/mbar, temperaturna odvisnost ničelne kapacitivnosti 9 fF/°C in temperaturna odvisnost < 2 aF/mbar/°C. Z digitalno kompenzacijo

			temperатурne odvisnosti smo dosegli napako < 0,4% FS na kalibracijskem področju 10-75 °C.
		ANG	A capacitive pressure sensor, fabricated using LTCC materials and technology, was considered for applications in which a low power consumption is required. Readout electronics based on a capacitance-to-digital conversion were realised by using an AD7746. The typical characteristics obtained were as follows: a sensitivity of 1.7 fF/mbar, a temperature dependence of 9 fF/°C and a temp. dependence of the sensitivity of < 2 aF/mbar/°C. With the digital temperature compensation (two-dimensional rational polynomial approximation), a less than 0.4% FS error was achieved for the range 10-75 °C
	Objavljeno v		SANTO-ZARNIK, Marina, MOŽEK, Matej, MAČEK, Srečo, BELAVIČ, Darko. An LTCC-based capacitive pressure sensor with a digital output = Kapacitivni senzor tlaka z digitalnim izhodom izdelan v LTCC tehnologiji. Inf. MIDEM, 2010, vol. 40, no. 1, str. 74-81.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		23802151
5.	Naslov	SLO	Debeloplastni senzorji tlaka z nizko porabo - Primerjalna študija
		ANG	Low energy consumption thick-film pressure sensor - A comparative study
	Opis	SLO	Debeloplastni keramični senzorji tlaka, ki delujejo na različnih fizikalnih principih (kapacitivni, piezoelektrični resonančni in piezouporovni) so obravnavani s stališča potencialne uporabe v energijsko varčnih senzorskih sistemih. Eksperimentalni prototipi vseh treh tipov senzorjev so bili izdelani v 3D LTCC strukturah z okroglo membrano na kateri so ustrezni debeloplastni funkcijski elementi. Diskutirane so odločitve pri načrtovanju senzorjev z vidika nizke porabe energije in primerjane so karakteristike posameznih tipov senzorjev.
		ANG	Three different types of ceramic pressure sensors (capacitive sensor, piezoelectric resonant sensor and piezoresistive sensor) were analysed for possible use in low-energy-consumption applications. The design issues for the low energy consumption of the pressure sensors made in a 3D LTCC structure with a circular edge-clamped diaphragm and the appropriate thick-film sensing elements were discussed and the sensors' characteristics were compared.
	Objavljeno v		BELAVIČ Darko et al., Low energy consumption thick-film pressure sensors. V: EMPC2009, The 17th European Microelectronics and Packaging Conference & Exhibition, June 15th - 18th, 2009, Rimini, Italy. Proceedings. [S. l.]: IMAPS, 2009, 6 str.
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID		22809127

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO	Razvoj tehnologije za izdelavo kapacitivnega senzorskega elementa v LTCC in evalvacija uporabe senzorja tlaka za energetske varčne aplikacije
		ANG	Processing of LTCC-based capacitive sensor structure and evaluation of the capacitive sensor for low energy consumption applications
	Opis	SLO	Rezultati raziskave na področju 3D oblikovanja LTCC struktur in razvoja tehnologije za izdelavo keramične kapsule kapacitivnega senzorja tlaka s tanko membrano in natančno definirano zračno režo so pokazali, da je doseganje lepo izvedene zračne reže kritična predvsem za strukture z večjimi membranami in debelino pod 150 um. V splošnem uporaba začasnih plasti še vedno ne omogoča dovolj dobre definicije (tudi raziskave na vzporednih projektih), so pa bili doseženi tudi zelo dobri rezultati. Določeni in ovrednoteni so postopki izdelave votline brez začasne plasti.
		ANG	The results of the research and development of the technology for producing 3D LTCC structures with channels and buried cavities (air gaps) for the capacitive sensor were presented. The technological approaches with the sacrificial layers and without were considered. Particularly critical are the structures with the larger membranes with a thickness below 150 um. The

			test structures without sacrificial layers were manufactured and characterised.
	Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
	Objavljeno v		BELAVIČ, Darko, SANTO-ZARNIK, Marina, MAČEK, Srečo, JERLAH, Mitja, HROVAT, Marko, PAVLIN, Srečo. Capacitive pressure sensors realized with LTCC technology. V: ISSE 2008, 31st International Spring Seminar on Electronics Technology, 7-11 May, 2008, Budapest, Hungary. Reliability and life-time prediction, Proceedings. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008, str. 271-274. in v delovnih poročilih npr: [COBISS.SI-ID 22536743]
	Tipologija	1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	21728551	
2.	Naslov	SLO	Karakterizacija LTCC kapacitivnega senzorja tlaka z digitalnim izhodom za uporabo v nižjem tlačnem področju
		ANG	LTCC-based capacitive pressure sensor (CPS) with digital output for low pressure ranges
	Opis	SLO	Kapacitivne keramične senzorje tlaka izdelane v LTCC strukturi brez uporabe začasnih plasti (dosežek opisan pod točko 1) smo karakterizirali v tlačnem področju 0-300 mbar. Izdelali smo več serij poskusnih senzorjev: z in brez elektronike za pretvorbo senzorskega signala (zasnovani na uporabi kapacitivno-digitalnega pretvornika AD 7746), na katerih so bili narejeni preliminarni testi. Karakterizacija senzorskih elementov brez izhodne elektronike je opravljena z uporabo razvojnega kita AD 7746 EV.
		ANG	An LTCC-based CPS realised by using the technology without the sacrificial layers were considered for applications in the pressure range 0-300 mbar . The prototypes with and without the readout electronics based on a capacitance-to-digital conversion were realised with AD7746. Special attention was paid to the evaluation of the capacitive ceramic structure behaviours and the temperature compensation and linearization of the sensor's characteristics were carried out.
	Šifra	F.08	Razvoj in izdelava prototipa
	Objavljeno v		SANTO-ZARNIK, Marina, BELAVIČ, Darko, MAČEK, Srečo. Case study of a miniature LTCC-based capacitive pressure sensor for applications in the low pressure range. V Int. Conf. on Microelectronics, Devices and Materials and the Workshop on Advanced Plasma Technologies, 17. - Sept.19. 2008, Fiesa, Slovenia. str. 153-158. in bolj detajlno v poročilih (COBISS.SI-ID: 22406951, 23548199)
	Tipologija	1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	22022183	
	Naslov	SLO	Študij možnosti uporabe keramičnih senzorjev tlaka za energetske varčne aplikacije
		ANG	Investigation of ceramic pressure sensors for low power applications
	Opis	SLO	Opisan je razvoj tehnološkega postopka za izdelavo kapsule s tanko membrano in ozko zračno režo v LTCC strukturi, ki je ključnega pomena za kapacitivne senzorske elemente. Analiziran je vpliv tehnoloških in geometrijskih parametrov na karakteristike senzorja ter podane smernice načrtovanja. Poleg kapacitivnih senzorjev, ki so najbolj primerni s stališča nizke porabe so analizirane možnosti za izvedbo piezouporovnih senzorjev, ki z uporabo sodobne integrirane elektronike omogočajo zelo nizko porabo (< 0,05 mW).
		ANG	Some results of the development of the technological procedure for producing 3D LTCC structures with buried air gaps under the thin diaphragm, which are essential for capacitive sensor, were presented. The influence of the technological parameters and the structure geometry on the sensors characteristics were analysed. The feasibility of the piezoresistive pressure sensors with the low-power consumption (< 0.05 mW) was also considered.
3.	Šifra	F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Objavljeno v		BELAVIČ, Darko, SANTO-ZARNIK, Marina, HROVAT, Marko, PAVLIN, Marko, HOLC, Janez, KOCJAN, Sandi, MOŽEK, Matej, JERLAH, Mitja, MAČEK, Srečo. Thick-film pressure sensors designed for low energy consumption application. Proceedings. Int. Conf. on Microelectronics, Devices and

		Materials and the Workshop on Advanced Plasma Technologies, September 17. - September 19. 2008, Fiesa, Slovenia. str. 147-152. in več delovnih poročil narave.
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	22021927
4.	Naslov	SLO Stabilnost keramičnega kapacitivnega senzorja tlaka z digitalnim izhodom v izvedbi z AD7746
		ANG Stability of a ceramic pressure sensor with digital output realised with AD7746
	Opis	SLO Stabilnost odziva membranskega kapacitivnega keramičnega senzorja zračnega tlaka je odvisna od stabilnosti samega senzorskega elementa in natančnosti ter stabilnosti elektronike za pretvorbo in procesiranje senzorskega signala. Testiranja prototipov so pokazala, da je stabilnost ničelnega odziva senzorja v mejah natančnosti konverzije z AD7746.
		ANG The stability of the capacitive ceramic sensor for measuring air pressure depends on the stability of the capacitive sensing structure and the accuracy of the electronics for signal processing. The tests performed on the prototype sensors showed the stability of the zero-pressure output within the accuracy region of the AD7746 capacitance-to-digital converter.
	Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa
	Objavljeno v	SANTO-ZARNIK, Marina, BELAVIČ, Darko, MAČEK, Srečo. Investigation of a thick-film capacitive pressure sensor in a three-dimensional LTCC structure. 33rd International IMAPS-IEEE CPMT Poland Conference, 21-24 September 2009, Psczyna Poland. Proceedings. [S. l.]: IMAPS, 2009, str. 371-374.
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	23130919
5.	Naslov	SLO Optimizacija dizajna kapacitivnega keramičnega senzorja tlaka (KKST)
		ANG Design optimisation of a capacitive ceramic pressure sensor (CCPS)
	Opis	SLO Pri optimizaciji dizajna KKST je potrebno upoštevati, da je kapacitivnost senzorja odvisna od številnih parametrov kot so geometrija, dimenzije in dielektrične lastnosti keramike, izvedbe elektrod in povezave z izhodno elektroniko, vpliv okoliškega medija itd. Pomembno vlogo pri analizi teh vplivov imajo numerične simulacije. V več iteracijah (numeričnih in eksperimentalnih) smo samo z ustreznim dizajnom elektrod izboljšali stabilnost in resolucijo senzorja.
		ANG It is important for the design of a CCPS that the ceramic structure with an air-gap between the sensing capacitor electrodes is not an "ideal" capacitor. The geometry and the dielectric properties of the ceramic body as well as the surrounding atmosphere normally influence the capacitance of the sensor, not only the medium between the electrodes of the sensing capacitor and their geometries. In order to analyse the effects of the geometry/material parameters numerical models were used. In several iterations the design was optimised and the stability and resolution of the sensor were improved.
	Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa
	Objavljeno v	SANTO-ZARNIK, Marina, BELAVIČ, Darko, MAČEK, Srečo. Some design considerations of a capacitive ceramic pressure sensor. 10th Electron Technology Conference ELTE 2010 and 34th International Microelectronics and Packaging, IMAPS-CPMT Poland Conference, Wrocław, 22-25 September, 2010. Book of abstracts. Wrocław: University of Technology, Faculty of Microsystem Electronics and Photonics, 2010, str. 236. in v seriji delovnih poročil
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
	COBISS.SI-ID	24233511

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

1. Rezultati projekta so pomembni za razvojno-investicijski program »KeraMEMS«, sofinancerja HYB. Program temelji na novih materialih in tehnologijah in je usmerjen v povečanje konkurenčnosti družbe na obstoječem proizvodnem programu in odpiranju novih tržnih

možnosti. Objektni cilj je prenos znanja in nove LTCC tehnologije v proizvodnjo, ter izdelava pilotnih serij različnih tipov senzorjev. Uspešnost realizacije je odvisna od povezave z raziskovalnimi institucijami, zato je družba zaupala vodenje programa članom projektne skupine (PS).

2. Člani PS so na povabilo evropskega združenja IMAPS pripravili sklop predavanj (tutorial) z naslovom »Ceramic pressure sensors - from materials to devices«, katera so predstavili na inštitutu Fraunhofer v Minhnu, aprila 2008. (Gradivo: COBISS.SI-ID 21892391, 21891879)

2. Dosežki PS na področju keramičnih senzorjev tlaka so prispevali tudi k dobri oceni novega Razvojnega centra v Sloveniji, IN.MEDICAL (v 2011 izbranega za sofinanciranega s strani MG in ESRR). Center v enem od programov predvideva razvoj novih senzorjev, ki temeljijo na rezultatih projekta.

4. Rezultati PS na področju keramičnih mikro-sistemov so bili osnova pri snovanju enega od projektov v okviru nacionalnega Centra odličnosti NAMASTE, Napredni nekovinski materiali s tehnologijami prihodnosti, ki je bil v letu 2009 izbran za financiranje, kot ena od najbolje ocenjenih prijav na razpisu MVZT.

5. Uspešno sodelovanje PS v sklopu bilateralnega projekta BI-RO/08-09-009 (pet znanstvenih objav). Največji pomen dosežka je v tem, da predstavlja osnovo za pripravo novega evropskega projekta WiSeTech v okviru MNT ERA-NET.

6. Izvirni znanstveni članek sprejet v objavo v Microelectronics International: M. S. Zarnik, D. Belavič, S. Maček, »Design study for a capacitive ceramic pressure sensor«. V članku je predstavljen študij vpliva dizajna na karakteristike kapacitivnega senzorja in problematika vpliva vlažnosti atmosfere.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

9.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Raziskave na projektu so bile usmerjene k odkrivanju novih spoznanj o funkcijskih lastnostih keramičnih materialov z nizko temperaturo žganja (LTCC) in razvoju novih tehnoloških postopkov za oblikovanje tridimenzionalnih membranskih senzorskih struktur. Tu gre za nekonvencionalno uporabo relativno nove tehnologije in materialov, ki ob izkoriščanju komercialnih LTCC in debeloplastnih materialov in nekaterih doma razvitih materialov (skupaj z rezultati raziskav na vzporednih projektih) odpirajo velike možnosti za izdelavo različnih funkcijskih keramičnih struktur. Uporaba nove obetajoče tehnologije za izdelavo membranskih keramičnih senzorjev tlaka je trenutno zelo zanimiva za industrijske partnerje in proizvajalce na področju senzorjev. Uspešna realizacija projektih ciljev tako vsekakor predstavlja močno spodbudo za pospešene raziskave in razvoj znanosti na tem področju.

Drugi pomemben prispevek projekta je tudi v tem, da povezuje raziskave novih tehnoloških zmožnosti z študijem kapacitivnega senzorskega principa, ki je že v osnovi bolj varčen in tako analizira vpliv tehnoloških rešitev na doseganje zelenih senzorskih karakteristik ob nizki porabi energije. Integracija senzorske funkcije z ustrezno sodobno elektroniko za procesiranje senzorskega signala (integriran kapacitivno digitalni pretvornik) pa omogoča tudi nadaljnjo optimizacijo in energijsko varčno delovanje sistema, kar je v skladu z razvojnimi trendi raziskovalnega področja.

Doseženi rezultati so potrdili utemeljenost raziskovalne hipoteze in obenem odprli vrsto novih raziskovalno-razvojnih problemov za bodoče raziskave na področju energijsko varčnih senzorjev. Tako vsi dosežki projekta pozitivno vplivajo ne samo na bodoče raziskave na področju LTCC materialov in tehnologije ampak predstavljajo tudi pomembno povezavo s komplementarnimi znanji s področja sensorike in sodobne elektronike. S tem so dosežki raziskave pomembni za razvoj aplikativnega raziskovanja na področju keramičnih mikro-elektromehanskih sistemov, medtem ko multidisciplinarnost raziskave prispeva k povezovanju različnih področij tehnike.

ANG

The investigation has contributed to a better understanding of the functional characteristics of low-temperature cofired ceramic materials (LTCC) and the development of a new technological procedure for processing three-dimensional sensor structures with thin diaphragms. The research of nonconventional applications of the relatively new ceramic technology together with commercial and also some new thick-film materials aimed at manufacturing 3D ceramic sensor

structures which are promising for a variety of new applications. The incentive results also stimulate the further development and progress in the field of material science. Furthermore, selection of the capacitive-sensing principle together with the successful realisation of the appropriate ceramic structure enables control over the critical parameters when developing and manufacturing these low-energy-consuming sensors. An additional development of the electronics for capacitance-to-digital conversion and signal conditioning with the primary aspect set to low-power consumption enables a further implementation of the investigated capacitive sensors in modern wireless sensor systems. The results of the laboratory-scale prototypes testing were in good agreement with our expectations and the confirmed regularity of the research hypothesis and in the same time they have pointed up several new research problems for future investigation in the field of low power consumption sensors. All these achievements represent important contributions to the research field of the materials and technology for the ceramic micro-electro-mechanical structures as well as the field of low-energy-consuming electronics. However, this interdisciplinary investigation helps to link together different technological domains.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Znanje pridobljeno na projektu in razviti novi tehnološki postopki za 3D oblikovanje LTCC struktur predstavljajo solidno osnovo za izdelavo kapacitivnih senzorskih struktur in prenos tehnologije v proizvodnjo. Integracija keramične strukture z elektroniko za kapacitivno-digitalno pretvorbo senzorskega signala, ki je nameščena v neposredni bližini senzorskega elementa, odpira nove možnosti za razvoj tržno zanimivih senzorskih izdelkov. Doseženi rezultati so omogočili uporabniku (sofinancerju HYB d.o.o.) začetek novega razvojnega in investicijskega projekta za razvoj nove generacije lastnih keramičnih senzorjev in s tem bistveno prispevali k potencialni razširitvi asortimana izdelkov na svetovnem trgu. Energijska varčnost takega izdelka prispeva ne samo k njegovi konkurenčnosti na svetovnem trgu ampak tudi k pospešenem prehodu v nizkoogljeno družbo. S tem lahko rezultati posredno pripomorejo k boljšem regionalnem razvoju manj razvitih področij v Republiki Sloveniji. Dosežki na projektu pozitivno vplivajo na reputacijo slovenskih raziskovalnih institucij. Odpirajo nove možnosti za sodelovanja raziskovalne skupine in industrijskega partnerja v domačem in evropskem prostoru ter s tem nadaljnje poglobljanje znanja in afirmacijo slovenskih raziskovalnih dosežkov. Člani raziskovalne skupine so navezali nove in obnovili nekatere stare stike z raziskovalnimi institucijami v tujini in v sodelovanju z njimi pričeli z novimi raziskovalnimi projekti na sorodni tematiki (Eureka projekt E!4570 IPCTECH in bilateralni sodelovanji s poljskimi in romunskimi kolegi). Nenazadnje so rezultati projekta in dosežki skupine na tem področju so v veliki meri pripomogli tudi k uspešni prijavi enega od šestih projektov Centra odličnosti NAMASTE, Napredni nekovinski materiali s tehnologijami prihodnosti, ki je že v prvem letu požel zavidljive rezultate v povezovanju slovenski znanstvenih institucij in industrije iz cele Slovenije.

ANG

The most important result of the investigation so far is the new knowledge on the unconventional use of LTCC materials and technology and the development of a technological procedure for manufacturing an appropriate capacitive sensing element for a miniature ceramic pressure sensing element. These results will enable the industrial partner HYB d.o.o. to develop a new generation of ceramic pressure sensors for the market. Furthermore, the achievements of this applied-research project have already contributed to the reputation of the research groups involved, and helped them to make connections with other research partners in Slovenia and abroad. Currently, the research group is involved in several formal and informal research projects and collaborations on the related investigations (E!4570 IPCTECH Eureka project and the bilateral research collaborations with the Romanian and Polish partners). Furthermore, the results of the project have greatly contributed to the success in acquiring funding from the Ministry of Science and Technology for the Center of Excellence NAMASTE, Advanced Materials and Technologies for the Future for the period between 2009 and 2013.

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	☒ DA ☐ NE

	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ 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	☒	☐	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☒	☐	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☒	

G.02.02.	Širitev obstoječih trgov					
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje					
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije					
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti					
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost					
G.02.07.	Večji delež izvoza					
G.02.08.	Povečanje dobička					
G.02.09.	Nova delovna mesta					
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih					
G.02.11.	Nov investicijski zagon					
G.02.12.	Drugo:					
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti					
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti					
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij					
G.03.04.	Drugo:					
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja					
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja					
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave					
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti					
G.04.05.	Razvoj civilne družbe					
G.04.06.	Drugo:					
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura					
G.07.02.	Prometna infrastruktura					
G.07.03.	Energetska infrastruktura					
G.07.04.	Drugo:					
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo: 					

Komentar

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki [12](#)

1.	Sofinancer HYB Proizvodnja hibridnih vezij d.o.o.		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		54.460,00
			EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		25,00
			%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	Vodenje raziskav v sklopu razvojnega/investicijskega programa "KeraMEMS"	D.08
	2.	Razširjanje znanja in prenos raziskovalnih izsledkov v razvoj novih izdelkov	F.03
	3.	Razvoj in uvajanje novega tehnološkega procesa za oblikovanje 3D struktur membranskih keramičnih senzorjev tlaka	F.05
	4.	Razširjanje znanja in prenos raziskovalnih izsledkov v razvoj novih izdelkov	F.09
Komentar	5.	Razviti prototipi so osnova za evaluacijo novih produktov na svetovnem trgu. Energijska varčnost takega izdelka prispeva k konkurenčnosti in pospešenem prehodu v nizkoogljično družbo.	F.08
	Raziskave na področju elektronskih komponent in tehnologij so bile usmerjene v študij konstrukcij, materialov in elektronike za realizacijo keramičnega kapacitivnega senzorja tlaka, kot izrazitega senzorja z majhno energetske porabo. Ti in ostali rezultati projekta L2-0186 so uporabni v razvojnem programu družbe HYB s kratkim naslovom KeraMEMS in so skladni tudi s strateško usmeritvijo družbe HYB, t. j., da v okviru pospešenega prehoda v nizkoogljično družbo poišče tudi svojo poslovno priložnost. Razvojni program KeraMEMS temelji na novih materialih in tehnologijah ter je usmerjen v povečanje konkurenčnosti družbe na obstoječem proizvodnem programu družbe (senzorji tlaka) in odpiranju novih tržnih možnosti na področju keramičnih mikrosistemov. Objektivi cilji programa je prenos nove LTCC tehnologije in znanja v proizvodnjo, ter izdelava pilotne serije. Uspešnost programa KeraMEMS je 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 "Energijsko varčni keramični senzorji tlaka z digitalnim izhodom" (Šifra ARRS: L2-0186) v skladu z načrtovanimi raziskovalnimi aktivnostmi družbe HYB. Doseženi rezultati raziskovalnega projekta so izpolnili pričakovanja družbe in jih vključujemo v razvojne programe družbe.		
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.			
3.	Komentar			
	Ocena			
	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:

Marina Santo Zarnik	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

21.4.2011

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/30

¹ Zaradi spremembe klasifikacije družbeno ekonomskih ciljev je potrebno v poročilu opredeliti družbeno ekonomski cilj po novi klasifikaciji. [Nazaj](#)

² Samo za aplikativne projekte. [Nazaj](#)

³ 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](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11).

[Nazaj](#)

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

⁶ 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., PREMŽL, 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](#)

⁷ 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](#)

⁸ 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](#)

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

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

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

¹² Rubrike izpolnite/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/2011-1 v1.01

71-26-9E-57-88-1D-68-0C-37-F5-92-33-C2-22-6F-35-2E-37-31-45