

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/44



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J2-4191
Naslov projekta	Polimerni nano-kompoziti za visoko obremenjene sodobne mehanske komponente z izboljšanimi tribološkimi lastnostmi, izdelani z novitnim postopkom do skoraj-končne oblike
Vodja projekta	14556 Mitjan Kalin
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	7523
Cenovni razred	
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.11 Konstruiranje 2.11.03 Specialna razvojna znanja
Družbeno-ekonomski cilj	13.02 Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.11 Druge tehniške in tehnološke vede

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Projekt se je osredotočal na raziskavo formiranja in učinkovitosti triboloških površinskih mejnih filmov v kontaktih na novo razvitega polimernega nanokompozita na osnovi PEEK-a, prilagojenega za

delovanje v okolju brez dodatnega mazanja, s pomočjo samomazalnih MoS₂ in WS₂ nanodelcev. Razvoj polimernega kompozita z načrtovanjem triboloških mejnih plasti je bil ciljno usmerjen k uporabi v visokotehnoloških produktih, kjer se zahteva majhna teža mehanskih komponent, a hkrati odlične mehanske in tribološke lastnosti. Inovativna uporaba postopka elektroforetske depozicije (EPD) za izdelavo polimernih nanokompozitov omogoča izdelavo končnih komponent kompleksnih 3D oblik v enovitem postopku, brez dodatne mehanske obdelave, pri kvaliteti, kakršne v dosedanjih postopkih izdelave polimernih nanokompozitov ni možno doseči, kar je izjemna sinergijska prednost tega postopka. Istočasno EPD postopek predstavlja izdelavo iz tekoče faze, kar je v primeru izdelavo nanokompozitov izjemnega morda celo odločujočega pomena za hitrejši razvoj nanotehnologij v proizvodnji v svetovnem merilu.

Polimerni nanokompoziti so bili izdelani na osnovi polimera poli-eter-eter-eton, ki predstavlja enega izmed visoko-zmogljivih in temperaturno obstojnih inženirskih polimerov, ki se dandanes uporabljajo za najbolj zahtevne aplikacije. Kot nanodelce smo uporabili MoS₂ in WS₂ nanodelce z natančno kontroliranimi lastnostmi, ki smo jih pridobili pri projektnih partnerjih. Poleg nanodelcev smo uporabili tudi delce mikro velikosti enake sestave (MoS₂ in WS₂), kar nam je omogočalo neposredno primerjavo učinkovitosti nanodelcev. Eden od ključnih vidikov pri razumevanju in zagotavljanju mehanskih in triboloških lastnosti nanokompozitov je optimalna uporaba nanodelcev (oblika, velikost, koncentracija) in posledično struktura nanokompozita ter adhezijske lastnosti med nanodelci in PEEK matrico.

V Laboratoriju za tribologijo in površinsko nanotehnologijo, UL smo izvedli celovite tribološke študije in analize površinskih mejnih filmov. Na osnovi triboloških in teoretičnih rezultatov smo s funkcionalizacijo nanokompozita in načrtovanjem površinskih mejnih filmov dosegli formiranje mejnih filmov z ustreznimi mehanskimi ter fizikalnokemijskimi lastnosti, s tem pa zagotavljali nizko trenje in trajnost površin. V tem projektu smo želeli tako z interdisciplinarnostjo in inovativnostjo uporabljenih postopkov, materialov in raziskav ter vključitvijo kar 6 svetovno priznanih znanstvenoraziskovalnih centrov, razviti in doseči hkrati več znanstvenih in delno aplikativnih ciljev. Ti predstavljajo več novosti na različnih področjih v svetovnem merilu in omogočajo izrazito konkurenčno prednost slovenske industrije v proizvodih z najostrejšimi tribološkimi zahtevami.

ANG

The project focused on a study of formation and performance of the surface boundary tribofilms in contacts of a newly developed polymer nanocomposite based on PEEK, using »self-lubricating« MoS₂ and WS₂ nanoparticles, adapted for operation under non-lubricated conditions. Development of the polymer nanocomposite with specific interface boundary film properties targets its use in high-tech products with strong requirements for low weight, but simultaneously with upper-end mechanical and tribological characteristics. The innovative use of electrophoretic deposition (EPD) for nanocomposite processing allows production of complex 3D mechanical components in a single process, without additional manufacturing or surface finish, at the quality that could not be achieved in polymer processing so far, which is an extraordinary advantage of this technique. What is more, EPD uses materials in liquid phase, which may have great impact on broader use of nanoparticles due to nano-safety concerns.

The matrix material used for the production of the polymer composites was poly-ether-ether-ketone, one of the high-performance and temperature stable engineering polymers, nowadays used for the most critical applications. MoS₂ and WS₂, used as nanoparticles in the polymer composites, were obtained from the project partners. In addition to nanoparticles, micro particles were also used, which gave as an indirect insight on the nanoparticles' efficiency. One

of the critical parameters in understanding and providing adequate tribological and mechanical properties of nanocomposites is also optimal use of nanoparticles (shape, size, concentration) and resulting nanocomposite structure as well as adhesion between the nanoparticles and PEEK matrix.

Comprehensive tribological studies and analyses of surface boundary films were performed in Laboratory for tribology and interface nanotechnology. Based on tribological and theoretical studies, boundary films with self-adapting and autonomic mechanical and physical-chemical properties that ensure low friction and enhanced durability were designed. Using interdisciplinary approaches and innovative techniques, materials, and studies, and incorporating as much as 6 world renown or even leading research groups each in its own field, we targeted in this project to reach several scientific and partially applied goals, representing several novelties in different areas.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

V sklopu projekta je bilo izvedenih več aktivnosti, ki so zajemale: pripravo, sintezo in karakterizacijo polimernih kompozitov na osnovi PEEK-a, mehanska, termična in tribološka preizkušanja, materialne in površinske analize, kemijske analize kompozitov ter proti-obrabnih mejnih filmov, določitev mehanizmov in načrtovanje mejnega mazanja in njegove optimizacije.

V prvem sklopu smo izbrali več različnih zvrsti nanodelcev (nano WS_2 kroglice, nano WS_2 iglice in nano MoS_2 prah) ter njihov izbor, glede na opisan projekt, razširili še na mikro WS_2 , mikro MoS_2 , grafen in ogljikove nanocevice, z namenom pridobitve širšega razumevanja vpliva različnih delcev na mehanske, termične, kemijske in tribološke lastnosti polimernih kompozitov na osnovi PEEK-a. Pred samo sintezo polimernih kompozitov je bilo potrebno zaradi uporabe novega postopka izdelave določiti ključne parametre sinteze. Za oblikovanje vzorcev s postopkom elektroforetske depozicije smo najprej preučili in ustrezno modificirali površinske lastnosti delcev PEEK polimera v vodnih suspenzijah (zeta-potencial in omakanje), iz katerih smo nato s pomočjo električnega polja pripravili surovce. Sama priprava suspenzije ter optimizacija parametrov EPD je bila zelo zamuden proces, zato smo za izdelavo polimernih kompozitov uporabili kombinacijo sušenja suspenzije ter stiskanja, ki v sami osnovi ne spremenita lastnosti depozita. S tem smo uspeli prihraniti veliko časa, postopek elektroforetske depozicije pa se je še naprej razvijal s PEEKom. Končno zgoščevanje smo izvajali pri različnih temperaturah nad in pod tališčem materiala (300 °C, 340 °C, 350 °C in 400 °C). Ti vzorci so bili nato mehansko, strukturno in tribološko preizkušeni. Rezultati teh preizkusov so bili primerjani z rezultati enakih testov na komercialno dostopnem PEEK materialu. S primerjavo smo zagotovili, da uporabljeni postopek izdelave daje podobne in primerljive rezultate kot konvencionalni postopki za izdelavo polimerov, poleg tega pa smo tudi določili parametre izdelave, ki so ostali enaki za vse nadaljnje polimerne kompozite.

Po določitvi parametrov izdelave je sledila sinteza in karakterizacija polimernih kompozitov. Polimerni kompoziti so bili izdelani v več različnih sklopih: a) primerjava polimernih nanokompozitov polnjenih z različnimi nanodelci, pri čemer so bili uporabljeni delci WS_2 nano kroglice, WS_2 nano iglice, ogljikove nanocevice in grafen vsi v koncentraciji 2 ut.%; v drugem b) sklopu so bili narejeni polimerni kompoziti z 2, 5 in 10 ut.% mikro MoS_2 delci in v tretjem c) sklopu še polimerni kompoziti z 0,5, 1, 2 in 5 ut.% mikro MoS_2 , nano MoS_2 , mikro WS_2 in nano WS_2 delci. Po končani izdelavi so bili izvedeni mehanski testi (t.j. merjenje trdote), termični testi (diferenčna dinamična kalorimetrija) in ocena dispergiraniosti delcev v matrici (energijska disperzijska spektroskopija rentgenskih žarkov).

Tribološko testiranje je bilo za vse polimerne kompozite izvedeno pri enakih testnih pogojih, kar je omogočilo neposredno primerjavo učinkovitosti različnih delcev. Pred samim testiranjem so bili vsi vzorci in proti-materiali spolirani na enako vrednost ($R_a = 0,03 \pm 0,005 \mu\text{m}$, EN ISO 4288:1996). Tribološki testi so bili izvedeni na univerzalnem tribološkem preizkuševališču (UMT-2, CETR, ZDA) v konfiguraciji valjček-disk. Spodnji (disk) preizkušanelec je bil polimerni kompozit, zgornji (valjček) proti-material pa jekleni valjček (DIN 100Cr6) z ravnimi končnimi ploskvami premera 3 mm. Vsi tribološki testi so bili izvedeni z recipročnim drsenjem, v nemazanem kontaktu pri temperaturi okolice (20 °C, RH = 30 ± 5 %). Za vse vzorce so bili

uporabljeni enaki testni pogoji: obremenitev 1 MPa, hitrost 0,05 m/s, pomik 5 mm, razdalja 1260 m. Dolžina tribološkega testiranja je bila določena tako, da so bili na vseh vzorcih doseženi ustaljeni koeficienti trenja. Na vsakem vzorcu so bili testi ponovljeni vsaj štirikrat, za zagotavljanje primerne statistične analize. Po končanih testih je bil za vsako ponovitev izračunan povprečni ustaljen koeficient trenja in s pomočjo optične interferometrije izmerjena normirana obraba. Obrabne površine so bile ovrednotene tudi s pomočjo optične mikroskopije ter vrstične elektronske mikroskopije (SEM). Površine jeklenih proti-materialov so bile neposredno po končanem tribološkem testu posnete z optičnim mikroskopom. Na podlagi nastalih posnetkov je bila s pomočjo programa ImageJ izračunana prekritost površine proti-materiala s prenosnim filmom. Z optično interferometrijo so bili narejeni tudi 3D posnetki površin proti-materialov, iz katerih je bila razvidna topografija prenosnega filma ter s pomočjo površinskega parametra hrapavosti Sz ocenjena debelina prenosnega filma. Kemijska sestava prenosnih filmov, ki predstavljajo izredno pomembne mejne tribološke plasti, je bila ovrednotena tudi z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo (XPS). Rezultati posameznih sklopov so sledeči:

1. Vpliv temperature izdelave na tribološke in mehanske lastnosti polimera PEEK

- Temperatura izdelave močno vpliva na trdoto PEEK-a. Z višjo temperaturo se je povišala tudi trdota.
- Vzorci, ki so bili narejeni s temperaturami blizu ali nad temperaturo tališča PEEK-a (P-350, P-400) so imeli nižji koeficient trenja kot vzorec, ki je bil narejen pod temperaturo tališča (P-300) ali komercialni PEEK (P-comm.).
- Ravno nasprotno sta imela P-300 in P-comm. za dva razreda nižje obrabne vrednosti, kot P-350, P-400.
- P-300 in P-comm. sta imela izrazito adhezijsko obrabno komponento, ki se je odražala tudi v nastanku prenosnega filma. P-350 in P-400, kjer adhezije ni bilo opaziti, nista tvorila prenosnih filmov s proti materialom.
- Obrabne lastnosti so bile povezane s trdoto materiala; izredno visoka trdota P-350 in P-400 je povzročila krhko obnašanje, kar je vodilo do visokega števila obrabnih delcev in zelo visoke normirane obrabe. P-300 in P-comm., ki sta imela zelo primerljive trdote, sta imela tudi mnogo nižje obrabne vrednosti.

2. Tribološke lastnosti PEEK nanokompozitov

- Pri uporabi nanodelcev je ključnega pomena njihova morfologija (t.j. oblika in velikosti) in vrsta materiala (MoS₂, WS₂, grafen, ogljikove nanocevke), saj močno vpliva na obrabne lastnosti polimernih kompozitov.
- Kompoziti, ki so bili narejeni z delci na osnovi WS₂, so imeli od 10 % do kar 60 % nižjo normirano obrabo kot čisti PEEK, medtem ko so kompoziti polnjeni z ogljikovimi nanocevkami in grafenom imeli obrabne vrednosti tudi do trikrat višje kot čisti PEEK.
- Obrabni mehanizmi so bili podobni za vse polimerne kompozite, in so vključevali abrazijo, delaminacijo, adhezijo in plastično deformacijo. Posamezni polimerni kompoziti so se med seboj razlikovali samo po izrazitosti posamezne obrabne komponente.
- V splošnem je bila obraba manjša kadar je bila trdota kompozita višja. Višja trdota je zmanjšala obrabo zaradi plastične deformacije ter tudi zaradi adhezije.
- Odlične lastnosti samih nanodelcev (npr. CNT in grafen) ne zagotavljajo tudi dobre tribološke lastnosti kompozitov.
- Koeficient trenja je bil bolj odvisen od morfologije nanodelcev kot od njihovega materiala – manjši delci so imeli nižji koeficient trenja v primerjavi z večjimi delci.
- Nastanek prenosnega filma na površinah proti materialov je izrednega pomena za zniževanje koeficienta trenja, vendar ne zagotavlja tudi nizke obrabe.
- Debeli prenosni filmi so bili praviloma izmerjeni pri visokih obrabnih vrednostih, saj so se med samim tribološkim testiranjem odstranjevali s površin. Ko je bil prenosni film odstranjen, je ponovno nastal, kar je pomenilo dodaten prenos materiala s polimernega vzorca. Ker gre za ponavljajoč proces – odstranitev materiala, nastanek prenosnega filma, odstranitev prenosnega filma, je v večini primerov prišlo do zelo visokih obrabnih vrednosti.

3. Tribološke lastnosti PEEK kompozitov polnjenih z mikro in nano delci MoS₂ in WS₂ v različnih koncentracijah

- Z uporabljenim postopkom izdelave smo dobili homogene kompozite pri vseh uporabljenih koncentracijah, kar smo ocenili z uporabo energijske disperzijske spektroskopije rentgenskih žarkov.
- Dodatek delcev v polimerno matrico delno vpliva tudi na termične in strukturne lastnosti polimera (diferenčna dinamična kalorimetrija). Zaznane so bile spremembe v kristaliničnosti polimernih kompozitov ter v nastanku novih kristalov, kar se je odražalo kot dodaten entalpijski vrh na DSC analizi.
- Vrsta delcev ter njihova koncentracija vpliva tudi na trdoto materiala. V primeru nizkih koncentracij delcev, se je trdota materiala zvišala, ter se z nadaljnjim poviševanjem koncentracije močno znižala.
- Koeficient trenja se je zniževal z višjo koncentracijo delcev, pri čemer je bilo znižanje trenja v primeru mikro delcev takojšnje (že pri najnižji koncentraciji), medtem ko je bilo v primeru nanodelcev potrebna višja koncentracija za enak efekt. Pri najvišji koncentraciji so si bili koeficienti trenja med seboj zelo podobni.
- Normirana obraba je bila nižja v primeru nizkih koncentracij dodanih delcev, ter se je nato močno zvišala ob višjih koncentracijah.
- Analiza obrabnih mehanizmov (elektronska vrstična mikroskopija, optična mikroskopija, optična interferometrija) je pokazala, da so bili obrabni mehanizmi vseh polimernih kompozitov sestavljeni iz enakih komponent (adhezija, abrazija, odstranitev materiala), vendar so se med seboj razlikovali po intenzivnosti posameznih komponent.
- Nizke obrabne vrednosti so večinoma spremljale obrabne sledi, na katerih je bilo opaziti veliko prilepljenega materiala. Ta prilepljen material se je izmenjeval med proti površino in obrabno površino na polimernem vzorcu, kar je preprečilo odstranitev novega materiala in je posledično vodilo v nižje obrabne vrednosti. Ta nalepljeni material je tudi prekril morebitne že nastale abrazijske praske in tako zaščitil površino. V primeru visokih obrab je bilo nalepljenega materiala zelo malo, opaziti pa je bilo večja območja odstranjenega materiala, kar je bilo neposredno povezano tudi z visokimi obrabnimi vrednostmi.
- V vseh primerih je bilo opaziti nastanek prenosnega filma na jeklenem proti-materialu. Površinska prekritost proti materiala se je enakomerno povečevala z zviševanjem koncentracije, ravno tako se je poviševala tudi debelina prenosnega filma.
- Kemijska analiza prenosnih filmov (rentgenska fotoelektronska spektroskopija) je pokazala, da je več kot 50 % MoS₂ in WS₂ med triboloških testov oksidirala, pri čemer so se tvorili MoO₃ in WO₃ oksidi. Ti oksidi so lahko krivi za relativno majhno znižanje koeficienta trenja, saj oksidacija zmanjša učinkovitost ter dobo trajanja MoS₂ in WS₂.

Na podlagi testov in analiz so bili določeni obrabni mehanizmi, učinkovitost posamezne vrste dodanih delcev in njihove koncentracije ter povezava med mehanskimi in tribološkimi lastnostmi. Rezultati dela so bili predstavljeni na več mednarodnih konferencah ter znanstvenih publikacijah.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

V skladu s programom projekta so se zaključile vse ključne faze dela. Izbrani in okarakterizirani so bili nanodelci in dodatno še mikro delci, izbran je bil osnovni material, izdelani in ovrednoteni so bili polimerni kompoziti. Določeni so bili vplivni parametri in testni pogoji triboloških preizkušanj. Opravljeno je bilo veliko število triboloških drsnih testov, na podlagi katerih so bili s tribometričnimi in nanotribološkimi analizami določeni obrabni mehanizmi, ustaljeni koeficienti trenja in normalizirane obrabe. Izvedene so bile topografske in kemijske analize obrabnih delcev in tribofilmov. Sodobne mikroskopske tehnike, kemijske, termične in strukturne analize so bile opravljene tudi s sodelovanjem s tujimi partnerji. Optimizacije polimernih kompozitov in njihovih mejnih filmov so bile izvedene na podlagi triboloških analiz z vidika velikosti, materiala, oblike in koncentracije dodanih delcev. V skladu s tem in s poročilom o realizaciji programa raziskovalnega projekta lahko sklenemo, da je bilo delo končano v okviru z zadanimi časovnimi smernicami predlaganega projekta. V okviru projekta smo potrdili raziskovalne hipoteze ter prišli do nekaterih pomembnih ugotovitev in

zaključkov. V okviru raziskovalnega dela je nastalo tudi več objav v priznanih znanstvenih revijah ter številni prispevki na domačih in mednarodnih konferencah. Zaradi aktualnosti rezultatov so v načrtu tudi nadaljnji prispevki na konferencah ter predvsem znanstveni članki, ki bodo predstavili celovit sklop rezultatov.

5.Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta ni bilo.

Sestava projektne skupine se je zmanjšala za dva raziskovalca saj v zadnjem letu nista bila obremenjena na tem projektu.

Aktivno pa sta se v projektno skupino vključila tehnika, ker se je izkazalo, da se na projektu potrebujejo dodatne meritve in analize.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	13905691	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Obraba in trenje poli-eter-eter-ketona (PEEK) polnjenega z grafenom, WS2 in CNT nanodelci
		ANG	Wear and friction behaviour of poly-ether-ether-ketone (PEEK) filled with graphene, WS [sub] 2 and CNT nanoparticles
	Opis	SLO	Cilj raziskave je bil oceniti ter primerjati vpliv materiala in morfologije dobro poznanih trdnih nano maziv na tribološke lastnosti poli-eter-eter-ketona (PEEK). Različni nanodelci so bili dodani v PEEK matrico: WS2 kroglice, WS2 iglice, ogljikove nanocevke ter grafen v obliki nano-prahu. Rezultati so pokazali, da imata tako morfologija kot material nanodelcev zelo velik vpliv na obrabo in koeficient trenja PEEK kompozitov, saj vplivata na trdoto, debelino prenosnih filmov in površinsko prekritost proti-materiala s prenosnim filmom. Nanodelci na osnovi WS2 so imeli boljše obrabne lastnosti v primerjavi z nanodelci na osnovi ogljika; WS2 kroglice so izboljšale obrabno obstojnost v primerjavi s čistim PEEK-om za 10 %, medtem ko je bilo to izboljšanje v primeru WS2 iglic kar 60 %.
		ANG	The aim of this study was to evaluate and compare the effect of the material type and the morphology of well-known solid lubricant nanoparticles on the tribological properties of poly ether ether ketone (PEEK) composites. Different nanoparticles were added to the PEEK matrix: WS2 fullerene like, WS2 needle-like, carbon nanotubes and graphene nanopowder. The results of dry-sliding tribological tests show that the material and the morphology of the nanoparticles have a crucial effect on both the wear and the coefficient of friction, primarily by affecting their macroscopic hardness, as well as the thickness and the surface coverage of their transfer films. The WS ₂ based nanoparticles outperformed the carbon-based nanoparticles in terms of wear performance; compared to PEEK, WS ₂ F improved the wear rate by 10 % and the WS ₂ N by 60 %.
	Objavljeno v	Elsevier; Wear; 2015; str. 1-8; Impact Factor: 1.862;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.275; A': 1; WoS: IU, PM; Avtorji / Authors: Kalin Mitjan, Zalaznik Maša, Novak Saša	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	00000000	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Tribološke lastnosti PEEK polimera s samomazalnimi MoS2 delci

		ANG	Tribological behaviour of a PEEK polymer containing solid MoS ₂ lubricants
Opis	SLO		Raziskava se je osredotočala na vpliv različnih koncentracij (2–10 ut.%) molibdenovega disulfida (MoS ₂) v PEEK matrici na termične, mehanske in tribološke lastnosti kompozitov. Rezultati triboloških testiranj, DSC in SEM-EDS analiz so pokazali, da ima koncentracija delcev pomemben vpliv na tribološke, mehanske in termične lastnosti. Pri najvišji uporabljeni koncentraciji (t.j. 10 ut.%) se je koeficient trenja znižal za 25 %, medtem ko se je izmerjena obraba zmanjšala za ~20 % v primeru uporabe 5 ut.% delcev. Kot glavni parameter za doseganje izboljšanje triboloških lastnosti se je izkazala kombinacija dovolj visoke trdote ter pravšnje količine prenosnega filma na površini proti-materiala.
	ANG		The addition of different concentrations (2–10 wt.%) of molybdenum disulphide (MoS ₂) to a poly ether ether ketone (PEEK) matrix has been studied in terms of the thermal, mechanical and tribological properties of the materials. The results of dry-sliding tribological tests, DSC and SEM-EDS analyses show that the concentration of MoS ₂ influences the tribological, mechanical and thermal properties. With the highest concentration of MoS ₂ (10 wt.%), the coefficient of friction was reduced by as much as 25 %, while the maximum reduction in the wear rate was ~20 %, which required 5 wt.% of MoS ₂ . The most important parameter when it comes to achieving an improved tribological behaviour was found to be the combination of a high hardness and a sufficient quantity of transfer film being formed.
Objavljeno v	Sprejeto v objavo: Lubrication Science - Wiley; 2015; Avtorji / Authors: Zalaznik Maša, Kalin Mitjan, Novak Saša, Miroslav Huskić		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
3.	COBISS ID	11111111	Vir: vpis v poročilo
Naslov	SLO	Vpliv temperature izdelave na tribološke in mehanske lastnosti polimera PEEK	
	ANG	Influence of processing temperatures on the tribological and mechanical properties of polymer PEEK, in submission	
Opis	SLO	Vpliv temperature na polimer PEEK je bil raziskovan z vidika materialnih in triboloških lastnosti. PEEK vzorci so bili izdelani pri različnih temperaturah; pod (300 °C), okoli (350 °C) in nad (400 °C) temperature tališča PEEK-a, in primerjani s komercialno dostopnim PEEK vzorcem. Rezultati triboloških testiranj, merjenja trdote in XRD analize so pokazali, da temperature izdelave močno vpliva na materialne lastnosti (trdota, kristaliničnost), kar se kasneje odraža tudi v triboloških lastnostih. Vzorci, ki so bili izdelani pri višjih temperaturah (t.j. 350 °C in 400 °C) so imeli približno 60 % višjo trdoto ter 20 % nižje trenje, kot vzorec izdelani pri temperature 300 °C in komercialen vzorec. Po drugi strani pa sta ta dva vzorca imela za kar velikostna razreda višjo obrabo. Vzorec, izdelani pri 300 °C, je imel zelo podobne lastnosti (trdota, trenje, obraba) kot komercialen vzorec.	
	ANG	In this paper the influence of processing temperature on PEEK was investigated in terms of material and tribological properties. PEEK samples were produced at temperatures below (300 °C), around (350 °C) and above (400 °C) melting point of PEEK and were compared to the commercially available PEEK material. The results of dry-sliding tribological tests, hardness measurements and XRD analysis show, that the processing temperature importantly influences the material properties (i.e. hardness and crystallinity) that is later on expressed also in the tribological behaviour. Samples that were produced at 350 °C and 400 °C showed ~60 % higher hardness (compared to 300 °C and commercial material) and a ~20 % lower coefficient of friction, but also a two order of magnitude higher wear rate. On the other hand, the sample produced at 300 °C	

		showed in all respects (hardness, friction, wear) properties very similar to those measured for commercial PEEK.
	Objavljeno v	Še ni objavljeno
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	66666666 Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i> Elektroforetsko nanašanje masivnih izdelkov iz polieter-eter-ketona (PEEK) iz vodnih suspenzij
		<i>ANG</i> Aqueous Electrophoretic Deposition of Bulk Polyether ether ketone (PEEK)
	Opis	<i>SLO</i> Elektroforetsko nanašanje (EFN) je tehnika koloidnega procesiranja, ki omogoča hitro izdelavo masivnih izdelkov. Dodatek pravilno izbranega surfaktanta omogoča pripravo vodne suspenzije ter zaradi njegovega vpliva na elektrokinetične lastnosti, tudi nanos hidrofobnih delcev polieter-eter-ketona (PEEK). Elektroforetske lastnosti in prevodnost suspenzij so bile ovrednotene glede na količino dodanega surfaktanta, pH ter povezane z lastnostmi pripravljenih nanosov. Z spremljanjem lastnosti suspenzije (pH, ζ in prevodnost) med in po nanašanju smo pridobili bolj poglobljen vpogled v proces nanašanja. Z uporabo koncentriranih suspenzij PEEK prahu (50 ut. %) z dodatkom dodecil benzensulfonske kisline (DBSA) pri pH>4 lahko v eni minuti pri jakosti električnega polja 10-30 Vcm ⁻¹ , tvorimo masivne nanose z debelino > 15 mm. Električni tok je med nanašanjem naraščal, kar smo pripisali povišanju električne prevodnosti elektrolita zaradi migracije ionov ter elektrokemijskih reakcij ob elektrodah. Kljub temu da je PEEK polimer hidrofoben, je uporaba vodnih suspenzij zelo učinkovita za oblikovanje masivnih nanosov.
		<i>ANG</i> Aqueous electrophoretic deposition (EPD) is a colloidal processing technique, which enables fast formation of bulk deposits. The addition of suitable surfactant would enable dispersion, and due to their effect on electrokinetic properties, also the deposition of hydrophobic particles of polyether ether ketone (PEEK). The electrophoretic properties and the conductivities of suspensions were analysed as a function of the addition of surfactants or the pH, and related to the properties of the as-prepared bulk deposits. A more in-depth understanding of the deposition process was achieved by monitoring the suspensions' properties (pH, ζ and conductivity) before and after the deposition and observation of the deposits' properties. We have shown that by using a concentrated suspension of PEEK (50 wt. %) with the addition of DBSA at pH>4, thick deposits (> 15 mm) were formed at moderate voltages (10-30 Vcm ⁻¹) in one minute. Although the PEEK polymer is hydrophobic by nature, aqueous EPD was shown to be an effective technique for shaping bulk parts. During the deposition, unusual current increase was observed and was attributed to an increase in the conductivity due to the migration of ions and electrochemical reactions at the electrodes.
	Objavljeno v	še ni objavljeno (v recenziji)
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	13688347 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Izboljšanje tribološke lastnosti PEEK-a z dodatkom MoS ₂ delcev
		<i>ANG</i> Improvement of tribological properties of PEEK with addition of MoS ₂ particles

Opis	SLO	Visoko zmogljivi polimeri, kot je poli-eter-eter-eton, se pogosto uporabljajo kot zamenjava za kovinske elemente v različnih aplikacijah. V primerjavi z drugimi polimernimi materiali, ima PEEK zelo obetavne tribološke lastnosti, ki pa jih je potrebno za uporabo v najbolj zahtevnih pogojih, kot so ne mazani kontakti, še dodatno izboljšati. S tem namenom so bile v PEEK matrico dodane različne koncentracije (2–10 ut.%) MoS ₂ delcev. Tribološki testi so bili izvedeni z recipročnim drsenjem v ne mazanih pogojih, z jeklenim valjčkom kot proti-materialom. Izmerjeni so bili ustaljeni koeficient trenja, obraba, trdota ter ocenjen nastanek prenosnega filma. Rezultati so pokazali, da MoS ₂ delci lahko izboljšajo koeficient trenja in obrabo do 25 %.
	ANG	High performance polymers, such as poly-ether-ether-ketone, are frequently used as a replacement for machined metals in a variety of applications. Compared to other polymer materials, PEEK has shown promising tribological properties; however, when using PEEK in harsh conditions, such as dry sliding contacts, further improvement of its tribological properties is still needed. In order to do that, different concentrations of molybdenum disulphide (MoS ₂) particles (2 10 wt.%) were dispersed into PEEK matrix and compared to a pure PEEK sample. Tribological tests were performed by reciprocating sliding in dry conditions with steel pin as a counter-material. Observations of steady state friction, wear performance, hardness and transfer film formation were made. Results show that MoS ₂ particles improve friction and wear behaviour of a material up to 25 %.
Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja	
Objavljeno v	Slovenian Society for Tribology; Polytrib 2014; 2014; Datoteka Session II/3_ZALAZNIK_Improvement of tribological properties of PEEK with addition of MoS ₂ particles.pdf (5 f.); Avtorji / Authors: Zalaznik Maša, Kalin Mitjan, Novak Saša, Iveković Aljaž	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
2.	COBISS ID	13690139 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Posebnosti v triboloških raziskavah polimerov
	ANG	Specifics in tribological investigation of polymers
Opis	SLO	Polimerni materiali so deležni vedno večje pozornosti v različnih vejah industrije zaradi njihove nizke teže, nizkih stroškov, primernosti za masovno proizvodnjo ter drugih ugodnih lastnosti, tudi triboloških. Za tribološke raziskave so primerni tako realni problemi kot modelni kontaktni problemi, med katerimi imajo vsi svoje prednosti in slabosti. Pri modelnih preizkušanjih, ki so bolj pogosta, je potrebno upoštevati mnogo omejitev, ki izhajajo iz polimernih lastnosti, npr. nizka termična odpornost in slabše mehanske lastnosti, vsaj v primerjavi s kovinami. Za pridobitev ustreznih rezultatov, ki jih je mogoče prenesti na realne aplikacije, je posebno pozornost potrebno posvetiti kontaktnim obremenitvam in temperaturam. Za zagotavljanje primernosti preizkušanja in preizkuševalnih parametrov je nujno upoštevati in kontrolirati realno kontaktno površino in realne kontaktne temperature. Raziskava je tako bila osredotočena na zgoraj omenjene posebnosti polimernega tribološkega preizkušanja, kot tudi na možne načine njihovega premagovanja.
		Polymer materials are getting ever more attention in various applications due to their low weight, low cost, suitability for mass production, and several other beneficial specific properties, often also tribological. During tribological research real-scale studies or model contact-based studies can be selected. Each of them has some positive and some negative sides. However, for contact-based studies, which are more common, several

			restrictions holds for polymers, which are valid due to polymer low thermal resistance and mechanical strength, at least compared to conventional metals. Namely, the contact loads and temperatures have relatively narrow window of appropriateness to lead to relevant results, suitable for transfer into real application. Therefore, in order to be able to perform the experiments under these conditions, real contact area and real contact temperatures should be known and controlled. This paper presents some of the above discussed specifics and discusses possible ways how to overcome them, primarily addressing necessary future research directions to better control polymer tribology research.
	Šifra	B.04	Vabljeni predavanja
	Objavljeno v	Slovenian Society for Tribology; Polytrib 2014; 2014; Datoteka Session IV/1_KALIN_Specifics in tribological investigation of polymers.pdf (1 f.); Avtorji / Authors: Kalin Mitjan	
	Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljeni predavanja)	
3.	COBISS ID	13532955	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Tribološke lastnosti PEEK/MoS2 kompozitov: vpliv koncentracije in temperature izdelave
		ANG	Tribological behavior of PEEK/MoS ₂ composites
	Opis	SLO	Koeficient trenja, obraba ter obrabni mehanizmi PEEK/MoS2 kompozitov so predstavljeni v odvisnosti od koncentracije MoS2 delcev (0–10 ut.%) in temperature izdelave. Rezultati so pokazali, da imata tako temperature izdelave kot koncentracija delcev velik vpliv na tribološke in mehanske lastnosti PEEK/MoS2 kompozitov.
		ANG	In this study, coefficient of friction, wear rate and wear mechanisms of PEEK/MoS composites are presented in a relationship to MoS particles concentration (0–10 wt.%) and processing temperature (300–350 °C). Tribological tests were performed by reciprocating sliding in dry conditions with steel pin as a counter material. Results show that processing temperature and concentration have a considerable influence on tribological and mechanical properties.
	Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	Danish Technological Institute]; Nordtrib 2014; 2014; Datoteka Nordtrib2014_FinalPaper_35 (6 f.); Avtorji / Authors: Zalaznik Maša, Kalin Mitjan, Novak Saša	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
4.	COBISS ID	28042791	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Elektroforetsko nanašanje polietereeterketona (PEEK) iz vodnih suspenzij
		ANG	Electrophoretic deposition of poly-ether-ether ketone (peek) from aqueous suspensions
			Kljub temu da je polietereeterketon (PEEK) po naravi hidrofoben, lahko učinkovito uporabimo proces elektroforetskega nanašanja iz vodnih suspenzij kot učinkovit način oblikovanja masivnih izdelkov in prevlek. V tem delu so opisani pogoji priprave suspenzije, procesni parametri ter lastnosti tvorjenih PEEK nanosov. Predlagan in komentiran je mehanizem tvorbe nanosa. Vodne suspenzije PEEK prahu z visokim površinskim nabojem ter nizko prevodnostjo so bile uspešno pripravljene z dodatkom dodecyl benzensulfonske kisline (DBSA) ter NaOH za doseg optimalnega pH. Napolarni DBSion se absorbira na hidrofobno površino PEEK polimera, kar povzroči hidrofilizacijo PEEK delcev kot tudi visoko negativen

Opis	SLO	<p>površinski naboj, kar je še posebej zaželeno za proces elektroforetskega nanašanja. Med samim nanašanjem ostanejo DBSioni absorbirani na delce v nanosu, medtem ko H⁺ ioni ki nastajajo ob elektrodi zaradi razpada vode, nadomeščajo Na⁺ ione, kateri migirajo proti negativno nabiti elektrodi kjer se reducirajo v Na⁰ ter po reakciji z vodo zvišajo pH preostale suspenzije.</p> <p>Nanašanje PEEK delcev iz vodnih suspenzij z 50 ut. % suhe snovi je potekalo hitro, nastali depoziti pa so bili homogeni z zeleno gostoto do 55 % TG. Upornost nanosa med samim nanašanjem se spreminja glede na koncentracijo in vrsto ionov v elektrolitu, ki se nahaja med delci nanosa.</p>	
	ANG	<p>Although polyetherether ketone (PEEK) polymer is hydrophobic by nature, aqueous electrophoretic deposition can be employed as efficient technique for shaping bulk parts and coatings. In this paper, the development of the suspension, processing parameters and the properties of the PEEK deposits are described. The mechanisms that took place to form a deposit are suggested and discussed.</p> <p>Aqueous PEEK suspension with high surface charge and low conductivity was successfully prepared by addition of dodecylbenzene sulphonic acid (DBSA) and NaOH to adjust pH. The nonpolar DBSion attached to the hydrophobic surface of PEEK resulting in hydrophilisation of the PEEK particles as well as in highly negative surface charge favourable for EPD process. During the deposition, the DBS appear to remain attached at the particles in the deposit. H⁺ ions produced at depositing electrode through the decomposition of water replaced Na⁺ ions, which migrate toward the negative electrode where after reduction to Na⁰ and reaction with water increase the pH of the remaining suspension.</p> <p>The aqueous electrophoretic deposition from suspensions with 50 wt.% of solids loading was rather fast and resulted in large homogeneous PEEK deposits with density of up to 557% TD. The deposit resistance is greatly affected by the behaviour, amount and concentration of the ions within the interparticle electrolyte within the deposit.</p>	
Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci		
Objavljeno v	Engineering Conference International; Program; 2014; Avtorji / Authors: Novak Saša, Iveković Aljaž, Lukek Marko		
Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci		
5.	COBISS ID	13691163	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Tribološke lastnosti polietereeterketona (PEEK) izdelanega pri različnih temperaturah	
	ANG	Tribological properties of poly-ether-ether-ketone (PEEK) produced at different processing temperatures	
Opis	SLO	<p>Lastnosti PEEKa so močno povezane z njegovo delno kristalinčno strukturo, ki se razvije med postopkom izdelave. V tej raziskavi smo uporabili postopek izdelave, ki nam je omogočal izdelavo PEEK vzorcev pri različnih temperaturah, vključno s tistimi pod temperaturo tališča. Rezultati so pokazali, da temperatura izdelave močno vpliva na trdoto in obrabne lastnosti materiala. Z višjo temperaturo izdelave se je močno povišala tudi trdota vendar na račun obrabne odpornosti.</p>	
	ANG	<p>PEEK properties are contributed to its semicrystalline structure that is developed during processing. In this work, we have produced PEEK samples with variation of compression moulding where compression was separated from a heating part. This enabled us to use different processing temperatures, even those under a melting point of PEEK (300–400 °C). Produced samples were tested in a reciprocating sliding regime in a dry sliding contact and evaluated in terms of friction, wear,</p>	

		hardness and transfer film formation. The results show that processing temperature has a great influence on wear performance and hardness of a material. Hardness was increased by higher processing temperature but, on the other hand, wear resistance was better at lower processing temperatures. Temperature influence was also seen in transfer film formation and in the appearance of worn surfaces.
Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v	Slovenian Society for Tribology; Polytrib 2014; 2014; Datoteka Posters/1_ZALAZNIK_Tribological properties of poly-ether-ether-ketone (PEEK) produced at different processing temperatures.pdf (5 f.); Avtorji / Authors: Zalaznik Maša, Kalin Mitjan, Novak Saša, Iveković Aljaž	
Tipologija	1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

V lanskem letu smo po več letih intenzivnih raziskav dokazali izvor nekonsistentnosti in kontradiktornosti v svetovni literaturi glede vpliva omočljivosti in površinske energije na trenje. Čeprav so nekateri že pred nami opazili, da trenje zavisi od teh parametrov, pa razlogi za to niso bili pojasnjeni. Še več, nekateri so se sklicevali na omočljivost, drugi na površinsko energijo. V skupini smo dokazali, da je trenje dejansko odvisno od polarne komponente površinske energije, kjer smo za več materialov dobili skoraj popolno linearno korelacijo. Predstavili smo model, ki pojasnjuje, da je majhen delež polarne komponente napram disperzijski ključen za šibkost adhezijske interakcije, ki rezultira v zdrsu na meji med mazivom in površino, leta pa povzroči znižanje trenja zaradi manjših strižnih sil in hitrosti fluida. Še več, izpeljali smo lastni parameter omočljivosti in pokazali, da lahko s pomočjo tega parametra nedvoumno določimo vrsto omočljivosti in s tem predvidimo zdrs na steni omočene površine. Doslej so za merilo omočljivosti uporabljali kontaktne kote, za kar smo dokazali, da je napačno in le naključno (v primerih adhezijske omočljivosti) vodi do pravilne ocene omočljivosti, ki pa ne velja za olja. Od tod je izvirala kontradiktornost rezultatov in zaradi naključnosti (včasih so se rezultati ujemali s površinsko energijo, včasih z omočljivostjo merjeno s kontaktnim kotom) nezmožnost razumevanja tega pojava in tudi nezmožnost uporabe koncepta za znižanje trenja, kar pa je z našimi rezultati sedaj mogoče. Ti rezultati so bili med drugimi materiali ugotovljeni tudi za več vrst polimernih materialov: PA, POM, PEEK in PTFE. Tako smo na določenih prevlekah dosegli tudi do 60 % znižanje trenja, kar predstavlja revolucionaren rezultat, v zadnjih letih pa je prof. Kalin imel kar 25 vabljenih predavanj na to temo po vsem svetu, kar kaže na izjemnost odkritja. Omenjene rezultate smo objavili v več znanstvenih člankih, ki pa se ne nanašajo le na ta projekt.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

V tem projektu so bili pridobljeni različni znanstveno-relevantni rezultati, ki predstavljajo pomemben preskok v smeri zmanjševanja trenja in obrabe ter uporabe polimernih kompozitov s samomazalnimi delci za visoko tehnološke aplikacije. Inovativna uporaba postopka elektroforetske depozicije za izdelavo polimernih delov iz vodne suspenzije je doprinesla dodatno razumevanje uporabe takšnega postopka. Izdelana je bila celovita študija vpliva samomazalnih delcev na osnovi MoS₂ in WS₂ na tribološke, mehanske, termične in kemijske lastnosti polimera PEEK, kar do sedaj še ni bilo izvedeno. Z izdelavo kvalitetnih in predvsem homogeno strukturiranih kompozitov smo dosegli ponovljivo in relevantno preizkušanje triboloških lastnosti PEEK polimernih kompozitov. Z uporabo kvalitetnih MoS₂ in WS₂ delcev s kontrolirano strukturo in sestavo smo prvi določili delujoče mehanizme mejnega mazanja teh delcev v polimernih kompozitih.

Z variacijo različnih morfologij nanodelcev in mikrododelcev smo kot prvi podali korelacijo med formiranjem prenosnega filma ter strukturnimi in mehanskimi lastnostmi. Uspešno smo določili povezavo med morfologijo, koncentracijo in materialom nanodelcev z mehanskimi in termičnimi lastnostmi polimernih samomazalnih nanokompozitov.

ANG

In this project we acquired several scientifically relevant results that represent a step-change in terms of friction and wear reduction and the use of polymer composites with self-lubricated particles for industrial applications.

The innovative use of EPD for production of polymer parts from aqueous suspensions gave an additional insight into this procedure.

A systematic study of tribological, mechanical, thermal and chemical properties of MoS₂ and WS₂ composites was performed for the first time worldwide.

Production of high-quality and homogeneous nanocomposites enabled a repeatable testing of tribological properties of PEEK composites. The use MoS₂ and WS₂ particles with controlled structure and composition enabled us to present the actual mechanisms of lubrication of these self-lubricating particles.

With the variation of different morphologies of nanoparticles and micro particles we have correlated the transfer film formation with structural and mechanical properties. We have successfully provided a correlation between the morphology, concentration and material with mechanical and thermal properties of self-lubricated polymer composites.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Vsebina in rezultati tega projekta se nanašajo na temeljne znanstvene probleme ter tehnološke aplikacije in razvoj. Uporaba polimerov ter polimernih kompozitov se dandanes močno povečuje, pri čemer se povečujejo tudi zahteve po dobrih mehanskih in triboloških lastnostih. V Sloveniji imamo zelo razvite panoge s številnimi uspešnimi podjetji, vpetimi tudi v mednarodne avtomobilske industrije in industrije gospodinjstev, ki vedno bolj pogosto posegajo po polimerih kot zamenjavo za kovinske elemente. Pri takšnih zamenjavah je zelo pomembno, da polimerni materiali zagotavljajo enako funkcionalnost kot kovinski materiali, pa vendar pri nižji teži, lažji izdelavi ter posledičnimi nižjimi stroški. Kljub temu, da je bil projekt temeljno usmerjen, je bil njegov posredni cilj tudi izdelava tribološko in mehansko učinkovitega PEEK nanokompozita za realne mehanske komponente, ki bi se lahko uporabljale v slovenski industriji. Rezultati tega projekta bodo tako lahko imeli široko uporabnost v različnih panogah slovenske industrije. Z razvojem polimernega nanokompozita ter načrtovanjem ustreznih mejnih filmov smo dosegli zmanjšanje trenja in obrabe, kar neposredno privede do manjših energijskih izgub, manjšega onesnaževanja, prihrankov pri osnovnih surovinah, povečane zanesljivosti in trajnosti mehanskih sistemov ter zmanjšanja vzdrževanja.

ANG

The results of this project refer to basic scientific and technological applications and developments. In Slovenia there are some very developed industrial sectors with many successful companies in automotive and household appliance industries, which very often search for polymer materials to replace the existing metals in various applications. In such replacements it is crucial that polymers can ensure the same functionality as metal materials, but with less weight, easier production and lower costs. Regardless that this project was classified as a basic study, its goal was also to design a tribologically and mechanically efficient PEEK composite that can be used in Slovenian industry. Results of this project could have a broad applicability in different companies in various sectors of industry. The development of appropriate boundary films and their design we have achieved a significant reduction of friction and wear, which leads to reduction of energy losses and pollution, savings in raw materials, increased reliability and durability of mechanical systems and reduced maintenance.

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		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

--

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	

G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.07.04.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer			
1.	Naziv			
	Naslov			
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
		1.		
		2.		
		3.		
		4.		
		5.		
	Komentar			
	Ocena			

13.Izjemni dosežek v letu 2014¹²**13.1. Izjemni znanstveni dosežek**

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
strojništvo

Mitjan Kalin

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	12.3.2015
-----------	-----------

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/44

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

² 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](#)

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

⁴ 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](#)

⁵ 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](#)

⁶ 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](#)

⁷ 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](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

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

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

¹¹ Rubrike izpolnite / 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](#)

¹² 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
C8-04-14-42-C2-73-07-26-D4-A6-D5-70-26-34-2E-F5-ED-5D-6D-82