

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/236



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J2-4309
Naslov projekta	Hidrotermalna sinteza močno vezanih prevlek fotokatalitičnega TiO ₂ na kovinskih podlagah
Vodja projekta	2556 Goran Dražić
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	7559
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	104 Kemijski inštitut 276 Cinkarna, metalurško-kemična industrija, d.d. 719 IMPOL, industrija metalnih polizdelkov d.o. o. 1520 Zasebni raziskovalec Varužan Kevorkijan
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.04 Materiali 2.04.01 Anorganski nekovinski materiali
Družbeno-ekonomski cilj	02. Okolje
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.05 Materiali

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Onesnaženje vod in zraka je pereč problem, ki bo imel resne posledice na zdravje ljudi še v naslednjih generacijah. Tehnologije za čiščenje (odpadnih) vod in zraka se hitro razvijajo, med njimi postajajo tehnologije vezane na fotokatalitične nanomateriale vse bolj pomembne. Spoznanje, da so nanodelci lahko zelo nevarni in zdravju škodljivi je vse bolj intenzivno, zato je nevarnost, da delci, ki jih uporabljamo za čiščenje ostanejo v očiščenem materialu in sami

postanejo nevaren onesnaževalec. Znanje, kako trdno vezati fotokatalitične delce na podlago je zato zelo pomembno. Namen predlaganega projekta je bila priprava močno vezanih oblog iz titanovega dioksida v anatazni kristalni obliki na kovinah z ustreznimi mehanskimi in fotokatalitičnimi lastnostmi s hidrotermalno sintezo. Hidrotermalni proces prepreči možno onesnaženje okolja z nano TiO_2 med procesom izdelave. Glavni način, kako pripraviti obloge z visoko adhezijo je priprava goste vmesne plasti med kovinsko podlago in zgornjim TiO_2 anataznim tankim filmom. Ta vmesna plast ima istočasno vlogo nukleacijske plasti, na kateri zrastejo anatazni kristali med hidrotermalnim postopkom.

Osnovne aktivnosti projekta so bile:

- Študij kristalizacije anataza in tvorbe vmesne plasti na kovinskih podlagah
- Hidrotermalna sinteza trdno vezane, fotoaktivne TiO_2 plasti na vmesni plasti
- Izdelava mikroreaktorjev pri katerih smo testirali fotokatalizo in obrabo oziroma korozijo
- Podrobna mikrostrukturalna preiskava novih materialov in razlaga mehanizmov in procesov, ki potekajo med sintezo in njihovo uporabo

Rezultati, dobljeni pri raziskovalnem delu znotraj projekta imajo velik potencialni vpliv na industrijo v obliki izdelkov, kot so čistilniki in sterilizatorji na osnovi ultravijolične ali sončne svetlobe, samočisteče kovinske dekorativne plošče za zaščito hiš, mikroreaktorji za čiščenje odpadnih vod, itd. Uporaba izdelkov pri katerih bi implementirali trdno vezane TiO_2 obloge ima pozitiven učinek na ekologijo zaradi minimalne erozije in posledično minimalnega izpusta potencialno nevarnih nano delcev TiO_2 . Značilnost projekta je bila komplementarna ekspertiza raziskovalnih partnerjev z znanji in izkušnjami iz različnih znanstvenih, tehničnih in eksperimentalnih področij. Poleg Instituta Jožef Stefan, ki je skrbel za sintezo in karakterizacijo materialov je v projektu sodeloval še Kemijski Inštitut z znanji in opremo za študij katalize. Ostali člani raziskovalne ekipe prihajajo iz tovarne Impol d.o.o., ki je ena od večjih tovarn, ki proizvaja aluminijske izdelke in Cinkarne Celje, d.d., ki je največji proizvajalec TiO_2 v Sloveniji. V projektu je brez financiranja sodeloval še Odsek za materiale in katalizo Univerze v Portu, Portugalska, s strokovnjaki na področju katalize in meritev fotokatalitične učinkovitosti TiO_2 . V izvedbo projekta so bili vključeni štirje mladi raziskovalci, trije iz Instituta Jožef Stefan (dva sta že doktorirala, tretji bo v roku enega leta) in eden iz industrije (tudi že doktoriral).

ANG

Air and water pollution is a rising problem that will have strong impact on human health and quality of life throughout next generations. Air and water (waste) cleaning technologies are developing fast, among photocatalytic nanomaterials become more and more important. Realising that nanoparticles could be extremely hazardous there is a strong risk that nanomaterials, used for purification will remain in cleaned material and at the same time become dangerous pollutant. Knowledge how to tightly immobilise the photocatalytic nanoparticles on substrate surface to be used in cleaning technologies is in this sense very important.

The activities in the project were divided in four groups:

- study of crystallisation of anatase nanoparticles and formation of buffer layers on the top of metal substrate materials
- hydrothermal synthesis of firmly bound, effective photocatalytic TiO_2 coatings on top of the buffer layers
- production of test microreactors where photocatalysis and wear and erosion resistance were tested
- detailed microstructure characterization of newly developed materials and explanation of mechanisms and processes taking place during the synthesis and materials use

The results of the project have strong potential impact on the industry. During the research in the frame of project we solved many problems and found suitable technology of preparing strongly adhered photocatalytic TiO_2 coatings on metallic substrates with hydrothermal synthesis. New products like UV and/or solar driven purifier/steriliser of tap water, self-cleaning metallic decorative plates for protection of buildings, microreactors for purification of waste water, etc are just few examples of potential products. The application of strongly bound TiO_2 coatings has also positive impact on ecology due to negligible erosion and consequently minimised load of potentially dangerous nano TiO_2 particles to the surroundings. The

advantage of the project was a complementary expertise of the research partners with knowledge and skills from different scientific, technical and experimental backgrounds. Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia was responsible for the synthesis and characterization of materials, National Chemical Institute of Chemistry contributed in the field of measurements of photocatalytic properties. Other members of consortium were Impol d.o.o., one of the largest producer of aluminium products in Slovenia and Cinkarna Celje d.d., producer of TiO_2 materials and zinc foils. Department for materials and catalysis, University of Porto, Portugal was informally included in the field of catalysis. Among other researchers 4 Ph.D. students were included in the research (3 already successfully defended their theses).

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Titanov dioksid je zaradi fotokatalitskih lastnosti postal nepogrešljivi material pri uporabah vezanih na ekologijo, kot so obdelava odpadnih vod, čiščenje zraka in pitne vode, itd. Kot praktično vsi nanomateriali, je tudi titanov dioksid v obliki nanometerskega prahu zelo strupen in nevaren ter lahko v veliki meri prispeva k onesnaženju ekosistemov. Da bi zmanjšali onesnaženje v okoljih, kjer se uporabljajo izdelki in nanodelcev titanovega oksida, je zelo pomembno, da se ga ne uporablja v obliki razsutega prahu, celo ne v obliki suspenzij, ampak trdno vezanega na neki podlagi s čim manjšo možnostjo obrabe in erozije.

Namen predlaganega projekta je bila priprava močno vezanih oblog iz titanovega dioksida v anatazni kristalni obliki na kovinah z ustreznimi mehanskimi in fotokatalitičnimi lastnostmi. Hidrotermalni proces sam prepreči možno onesnaženje okolja z nanodelci TiO_2 med procesom izdelave. Osnovna hipoteza, kako pripraviti obloge z visoko adhezijo je bila priprava goste vmesne plasti med kovinsko podlago in zgornjim TiO_2 anataznim tankim filmom s pomočjo hidrotermalne sinteze. Ta vmesna plast ima istočasno vlogo nukleacijske plasti, na kateri zrastejo anatazni kristali v drugi fazi priprave s hidrotermalnim postopkom.

Pri projektu so sodelovali strokovnjaki iz dveh največjih slovenskih inštitutov in dveh industrij. Projekt je temeljni, saj je to področje še relativno neraziskano in je bilo potrebno najti odgovore na precej osnovna vprašanja povezana s strukturo, nukleacijo in kristalizacijo titanovega dioksida, pripravljenega s hidrotermalno sintezo in krojenjem določenih lastnosti. Kljub temeljni naravi, je bila osnovna ideja projekta direktno sodelovanje s slovensko industrijo (Impol, Slovenska Bistrica in Cinkarna Celje) in vodenje raziskav v smeri pridobivanja osnovnega znanja s področja trdno vezanih fotokatalitskih materialov, ki bi v industrijskem okolju omogočilo razvoj okolju prijaznih novih izdelkov in tehnologij.

Modelne podlage, ki smo jih raziskovali v tem projektu so bili aluminij, cink in titan. Najprej smo se posvetili karakterizaciji in pripravi kovinskih podlag, na katerih smo v kasnejših postopkih pripravili oblogo iz TiO_2 . Raziskali smo kemijsko sestavo in mikrostrukturo podlag s pomočjo elektronske mikroskopije in mikroanalize (SEM, TEM in EDXS). Mikrostruktura (velikost zrn in njihova morfologija, fazna sestava, kemijska sestava) in mehanske lastnosti imajo namreč pomemben vpliv na reakcije med hidrotermalno sintezo in s tem velik vpliv na končne lastnosti.

Delo smo smo vodili znotraj treh osnovnih sklopov raziskav:

Prvi sklop raziskav je bil **študij nukleacije in rasti nanodelcev** s pomočjo hidrotermalne ali solvotermalne sinteze. Raziskali smo možnost uporabe rutilne kristalne oblike pri fotokatalizi, s čimer bi lahko namesto UV svetlobe uporabili običajno vidno svetlobo. Eden izmed obravnavanih možnosti je bila tudi rast delcev s samourejanjem in tvorba bolj kompliciranih, hierarhičnih struktur. Uspelo nam je pripraviti anatazne strukture v obliki morskih ježkov, rožic, storžev, sestavljenih iz nanodelcev velikosti 10 nm. Pripravili in razložili smo tudi nastanek struktur s paralelnimi porami.

Drugi sklop raziskav je bila **sinteza vmesnega sloja na kovinskih podlagah**. V projektni dokumentaciji smo predlagali nekaj možnosti (binarji $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ in ZnO/TiO_2), izkazalo se je, da je v primeru cinka najobetavnejša vmesna plast kontrolirana rast cink oksidnih delcev ustrezne morfologije. Pri aluminiju je to bemitna plast (gama $\text{AlO}(\text{OH})$) in pri titanu z anodno oksidacijo pripravljene nanocевke amorfnega TiO_2 .

Tretji sklop pa je bil razvoj in optimizacija metod merjenja fotokatalitskih lastnosti oblog na kovinah. Razvili smo **mikroreaktor** na osnovi titanovega dioksida na titanovi foliji. Ta mikroreaktor je služil kot modelni sklop za optimizacijo meritev. Skupaj s kolegi iz Portugalske smo ugotovili, da je kofein zelo primeren modelni organski polutant.

Zastavljeni cilj projekta je bil torej doseganje znanja kako s hidrotermalno sintezo pripraviti fotokatalitske TiO_2 prevleke z visoko oprijemljivostjo na kovinskih podlagah in kako doseči želene fizikalne lastnosti površin kot so fotokataliza, hidrofilnost in hidrofobnost, optična reflektivnost, itd.

Študij nukleacije in rasti nanodelcev s pomočjo hidrotermalne ali solvotermalne sinteze.

V tem sklopu smo preiskovali sintezo rutilnih nanodelcev TiO_2 , saj bi zaradi nižje energije prepovedanega pasu (3,0 eV v primerjavi z anatazno obliko, ki ima 3,2 eV) lahko bili bolj učinkoviti v vidnem delu spektra. Za razliko od dosedanjih prepričanj, da rutilna oblika ni učinkovita smo ugotovili, da z direktno hidrotermalno pripravo rutilnih nanodelcev, ki imajo na površini 2nm debelo amorfno plast dobimo material, ki kaže primerljivo fotokatalitičnost kot jo imajo anatazni nanodelci. Prav v tej amorfni fazi je razlog, zakaj so tudi rutilni nanodelci lahko fotokatalitsko učinkoviti. Ta plast deluje kot lovalec elektronov (in lukenj) in prepreči oziroma oteži rekombinacijo. Ta plast omogoča tudi relativno enostavno adsorpcijo hidroksilnih ionov. Običajno pripravljeni rutilni nanodelci pri povišani temperaturi nimajo amorfne plasti, ker pride do preurejanja zunanjih atomskih ravnih, kar je razlog za njihovo neaktivnost. Delo "Low Temperature Synthesis and Characterization of Rutile Nanoparticles for Photocatalytic Degradation of Caffeine" je nastalo v sodelovanju s kolegi iz Univerze v Portu (zunanja članica projektne skupine) in je bilo objavljeno v reviji Applied Catalysis B (faktor vpliva 6).

Ker je določanje morfologije delcev majhnih velikosti (3 – 10 nm) precej težavno, saj je možno edino iz slik presevnega elektronskega mikroskopa, kjer pa delce vidimo le v projekciji, smo uporabili poseben postopek rekonstrukcije 3D oblike iz TEM posnetkov. Delo z opisom tehnike rekonstrukcije in z razlago nukleacije in kristalizacije anataznih nanodelcev je bilo objavljeno v reviji Journal of Crystal Growth (faktor vpliva 1,6). Na področju sinteze nanodelcev smo raziskovali tudi možnost priprave bolj kompliciranih struktur, kot npr. pripravo strukturiranih oblik TiO_2 anataznih delcev s pomočjo samourejanja. Z optimizacijo solvo in hidrotermalne sinteze smo uspeli pripraviti nanodelce v obliki ježkov in koral z zelo visoko specifično površino ($180 \text{ m}^2/\text{g}$, kar je 3x več od komercialnih prahov, kot npr. P25 proizvajalca Degussa). Skupaj s sodelavci Kemijskega Inštituta smo na modelnem sistemu samourejenih ZnO struktur raziskovali fotokatalizo cinkovega oksida in hidrocinika. ZnO nastane tudi v primeru, da uporabimo kovinski Zn kot podlago pri hidrotermalni sintezi. Delo je bilo objavljeno v reviji Applied Catalysis B (faktor vpliva 6). Študij razkroja kofeina kot enega od sodobnih polutantov s pomočjo fotokatalize čistih nanodelcev TiO_2 in delcev, katerim smo dodali večstenske ogljikove nano cevke smo objavili skupaj s kolegi iz Portugalske v reviji Catalysis Today (faktor vpliva 3,4).

Sinteza vmesnega sloja na kovinskih podlagah

Z izbiro ustreznih pogojev solvo in hidrotermalne sinteze smo pripravili tanke plasti cinkovega oksida na cinkovi podlagi. Velikost nanodelcev ZnO in njihovo obliko smo lahko kontrolirali s temperaturo in izbiro topila. Dobljene geometrije so bile od enakomerno velikih kockastih nanodelcev pa do razvejanih, morskim ježkom podobnih oblik. Prav tako smo določili najustreznejše pogoje za pripravo enakomerno velikih in gostih oblog iz bemita na aluminijasti podlagi. V primeru titanove folije smo z anodno oksidacijo pripravili tanko plast amorfnih nanocev, ki smo jih lahko pri toplotni obdelavi pretvorili v anatazno ali celo rutilno obliko.

Razvoj mikroreaktorja

Znotraj dela na projektu je bil izdelan prototipni mikroreaktor na osnovi anodno oksidirane površine titana in hidrotermalne sinteze anataznih nanodelcev, pripetih na površini. Mladi raziskovalec Matic Krivec, ki je bil član projektne skupine in je izdelal reaktor v sklopu svojega doktorskega dela, je v uglednem laboratoriju za katalizo Univerze v Hannovru (pri priznanem strokovnjaku prof. Bahnemannu) znotraj štirimesečnega usposabljanja temeljito premeril

fotokatalitske lastnosti naprave. Iz tega dela so nastali trije članki. V enem je opisana zgradba, izdelava in podrobna mikrostruktura posameznih sklopov mikroreaktorja in njegove osnovne lastnosti. Članek je bil objavljen v ugledni reviji ACS Applied materials & interfaces (faktor vpliva 5,9). V drugem članku je opisana inhibicija fotokatalitske učinkovitosti mikroreaktorja zaradi prisotnosti klorovih ionov, ki so posledica razgradnje diklorocetne kisline. Delo je objavljeno v reviji Physical chemistry chemical physics (faktor vpliva 4,2). Zadnji članek iz te serije podrobno opisuje lastnosti mikroreaktorja, kot so hidrodinamika, masni pretok in reakcijsko kinetiko selektivne fotodegradacije fenola. Delo je bilo objavljeno v reviji AIChE (American Institute of Chemical Engineering, faktor vpliva 2,6).

Vpetost v izobraževalni proces

V sklopu projekta je bila septembra 2012 opravljena diploma na Naravoslovnotehniški fakulteti v Ljubljani z naslovom »Hidrotermalna sinteza fotokatalitične prevleke iz TiO₂ na aluminiju« diplomanta Anžeta Abrama, ki je od konca leta 2012 mladi raziskovalec in za doktorsko delo raziskuje hidrotermalno sintezo nanodelcev TiO₂ na kovinskih podlagah. Tematika projekta je bila vpeta tudi v podiplomski izobraževalni proces, saj so bili v delo vključeni trije mladi raziskovalci pod mentorstvom vodje projekta s temami, povezanimi s pripravo fotokatalitskih materialov in čvrsto vezanih prevlek na osnovi TiO₂.

Sodelovanje z industrijo in drugimi skupinami

Pri pripravi projekta smo si zadali nalogo, da bomo znanja in izkušnje istočasno prenašali v industrijo, kjer bodo dobrodošla pri proizvodnji različnih izdelkov s TiO₂ fotokatalitsko prevleko.

Za potrebe Cinkarne Celje smo razvili postopek za izdelavo superhidrofobnih površin na cinkovi pločevini, ki bi se lahko uporabljala kot zaščita streh in fasad s samočistečimi lastnostmi (efekt lotusovega lista). Tovrstne površine preprečujejo adhezijo mikroorganizmov in bi bile uporabne v industriji hrane in bioloških laboratorijih.

V zadnjem letu z Iskro Semič preizkušamo možnosti uporabe posebno obdelane aluminijske folije za kondenzatorje. Hidrotermalno obdelana folija s tankim nanosom bemita in TiO₂ ima namreč bistveno boljše dielektrične lastnosti kot neobdelana in s tem bi lahko izboljšali lastnosti kondenzatorjev.

Nova pridobljena znanja s področja funkcionalizacije površine kovinskih podlag smo uporabili pri sodelovanju na aplikativnem projektu L1-4067 - Obvladovanje mikrobne adhezije na kontaktnih površinah (vodja dr. Klemen Bohinc, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana, sofinancer Iskra - Pio) kjer smo z različnimi sintezami in postopki pripravili podlage z določenimi lastnostmi. Študirali smo vpliv omakanja (hidro filnosti in fobnosti), hrapavosti in prisotnost fotokatalitskih slojev na adhezijo mikroorganizmov.

Številčni povzetek rezultatov

Direktni rezultati iz dela na projektu:

8 objavljenih člankov v revijah s faktorjem vpliva
2 vabljeni predavanji na mednarodnih konferencah
4 objavljeni referati
20 objavljenih povzetkov na mednarodnih konferencah
2 samostojna znanstvena sestavka ali poglavji v monografski publikaciji
2 elaborata, študiji (opis postopkov priprave funkcionaliziranih površin za industrijo)
3 doktorska dela (mladi raziskovalci, mentorstvo vodje projekta), 2 končana (2013 in 2014)
1 diplomsko delo (somentorstvo vodje projekta), 2012

še v načrtu:

2 rokopisa člankov pred pošiljanjem v objavo (prva polovica leta 2015)
1 doktorat (maj 2016)

Posredni rezultati:

1 patentna prijava (Evropski Patentni urad)
1 članek s faktorjem vpliva

še v načrtu:

3 članki s faktorjem vpliva tik pred pošiljanjem v objavo (prva polovica leta 2015)

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

Ocenjujem, da je bilo delo na projektu v celoti realizirano v predvidenih časovnih okvirih. Vsi delovni sklopi so bili v celoti pokriti, en delovni sklop, ki je bil predlagan v primeru večjega financiranja (velik projekt) je bil vseeno izveden, saj smo med delom ugotovili, da je nujno potreben. Opravili smo temeljito karakterizacijo tesnih podlag (iz redne proizvodnje industrijskih partnerjev), opravljena je bila vrsta hidrotermalnih poskusov in optimizirana sinteza in karakterizacija vmesne plasti, ki je omogočila trdno vezavo TiO₂ nanodelcev na modelne kovine (Zn, Al in Ti). Opravljene so bile meritve fotokatalitičnih lastnosti TiO₂ oblog na Al, Zn in Ti. Mejniki so bili pravočasno doseženi, raziskovalni cilji, produkti (deliverables) pa celo preseženi (število objavljenih člankov in prispevkov na konferenci). V projektni prijavi smo predvideli objavo treh do petih člankov, dejansko je bilo objavljenih 8, dva pa sta še v fazi oddajanja v objavo. Uspelo nam je objavljati v ugledne revije z visokim faktorjem vpliva in visokim rangom znotraj vede. Povprečni faktor vpliva vseh objav je bil 4. V letu 2012 je diplomsko delo, povezano s projektom opravil Anže Abram, leta 2013 je doktorirala mlada raziskovalka Barbara Horvat in maja 2014 je uspešno zagovarjal doktorsko disertacijo mladi raziskovalec Matic Krivec.

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

V začetku leta 2013 se je projektni skupini pridružil Kemijski Inštitut. Razlog za pridružitve je bil v njihovi komplementarnosti opreme in znanj. Kljub temu, da je pri projektu uspešno sodelovala skupina iz Univerze v Portu na Portugalskem, ki je pokrivala področje bolj kompliciranih meritev fotokatalize, pa se je pokazala potreba po tovrstnih meritvah v večjem obsegu. S pridružitvijo Kemijskega Inštituta je bilo delo na projektu še učinkovitejše in bolj produktivno. Uspešnost sodelovanja s Kemijskim Inštitutom se je pokazala že kmalu po pridružitvi, saj smo objavili skupno delo v ugledni katalitski reviji (IF 6). V letu 2015 je bilo objavljeno delo s področja karakterizacije mikroreaktorjev (IF 2,4).

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	26271015	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Fotokatalitska razgradnja kofeina
		ANG	Photocatalytic degradation of caffeine
	Opis	SLO	Da bi optimizirali in poenostavili način merjenja fotokatalitičnosti, smo v začetku projekta del časa posvetili iskanju najbolj primerne metode, ki bi se izognila problemom, ki nastopijo ob uporabi različnih barvil (resazurin, metilen-modro, itd.). Skupaj s sodelavci iz Univerze v Portu na Portugalskem smo raziskovali razgradnjo kofeina kot modelnega onesnaževalca. Prednost uporabe kofeina je v tem, da se njegovo koncentracijo lahko enostavno spremlja z UV-VIS spektrofotometrom in je sama po sebi precej stabilna spojina. Kot primere fotokatalitskega materiala smo uporabili različne komercialno dosegljive TiO ₂ in kompozitni material z dodatkom ogljikovih vlaken.
			To optimize and simplify the measurements of photocatalysis but still avoid

		ANG	problems as in the case of using dyes (resazurine, methylene-blue, etc.) we systematically test few substances as a model pollutants. In cooperation with colleagues from the University of Porto, Portugal we studied the photocatalytic degradation of caffeine as a model pollutant. The concentration of the caffeine could be easily followed using UV-VIS spectrophotometer. Different photocatalyst were used, various commercial grade nano particles and composites with the addition of the carbon nano tubes.
	Objavljeno v		Elsevier; Proceedings of the SPEA 7, 7th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: environmental Applications, 17-20 June 2012, Porto, Portugal; Catalysis today; 2013; Vol. 209; str. 108-115; Impact Factor: 3.309; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.798; A': 1; WoS: DW, EI, II; Avtorji / Authors: Marques Rita R. N., Sampaio Marija J., Carrapiço Pedro M., Silva Cláudia G., Morales-Torres Sergio, Dražić Goran, Faria Joaquim Luís, Silva Adrián M. T.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	26672423	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Nizkotemperaturna sinteza in karakterizacija rutilnih nanodelcev z amorfno površinsko plastjo za fotokatalitsko razgradnjo kofeina
		ANG	Low-temperature synthesis and characterization of rutile nanoparticles with amorphous surface layer for photocatalytic degradation of caffeine
	Opis	SLO	Delo govori o možnosti uporabe rutilnih nanodelcev za fotokatalitsko razgradnjo kofeina kot modelne odpadne spojine. Ker ima rutil nižji prepovedani pas kot običajno uporabljeni anatazni nanodelci, bi bil bolj učinkovit pri obsevanju z vidno svetlobo (anataz potrebuje UV svetlobo). V delu smo ugotovili, da s primerno sintezo lahko dobimo direktno rutilne nanodelce, ki imajo zelo aktivno površino. S pomočjo presevalne elektronske mikroskopije in mikroanalize smo ugotovili, da je površina sestavljena iz 12 nm debele amorfne plasti, ki ima odločilen pomen pri fotokatalizi. Klasično pripravljene rutilni nanodelci (s premeno iz anataza pri višji temperaturi) imajo zelo čisto in gladko površino, kar je poleg njihove velikosti najpomembnejši razlog, da imajo zelo slabe fotokatalitske lastnosti. Delo je nastalo s sodelovanjem kolegov iz Univerze v Portu, kjer je bil opravljen del eksperimentalnega dela povezanega z meritvami fotokatalitičnosti, strukturne preiskave so bile opravljene v Sloveniji.
		ANG	Work is dealing with the possibility to use rutile nanoparticles for photocatalytic decomposition of caffeine as a model contaminant. Rutile, a crystal modification of TiO ₂ has lower bandgap than anatase crystal form. This would mean that for the photocatalytic effect the visible light could be used, and not UV light like in anatase case. Using appropriate synthesis very small rutile nanoparticles, with high specific surface were directly obtained. Particles were characterised with transmission electron microscopy and microanalysis where 12 nm thick amorphous layer was found on the surface. Classically prepared rutile particles with thermally stimulated phase transformation from anatase have very clean and flat surface. We explained that the surface amorphous layer was the main reason why our rutile particles possess quite good photocatalytic properties and classically prepared rutile is practically inactive. The work was partially done at University of Porto, Portugal, where photocatalytic measurements were performed.
	Objavljeno v		Elsevier; Applied catalysis. B, Environmental; 2013; Vol. 140-141; str. 9-15; Impact Factor: 6.007; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.798; A'': 1; A': 1; WoS: EI, IH, II; Avtorji / Authors: Krivec Matic, Segundo Ricardo A., Faria Joaquim Luís, Silva Adrián M. T., Dražić Goran

	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	5188890	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv količine ZnO, stabilnosti in morfologije na kinetiko fotokatalitske degradacije kofeina in resazurina
		ANG	The impact of ZnO load, stability and morphology on the kinetics of the photocatalytic degradation of caffeine and resazurin
	Opis	SLO	Ker je ena od podlag, predlaganih v projektu tudi kovinski cink, in ker pri hidro in solvothermalni sintezi pride do nastanka vmesne plasti cinkovega oksida, smo del časa porabili za določanje intrinzične fotokatalitičnosti samega ZnO. Kristale ZnO smo pripravili s hidrotermalno sintezo preko hidrocinikita. Ugotovili smo, da je fotokatalistka aktivnost ZnO zelo odvisna od morfologije delcev. Po drugi strani pa je pomembna ugotovitev, da cinkov hidrocinikit ni kazal fotokatalitičnosti. Od preiskovanih oblik je bilo ugotovljeno, da imajo paličasti kristali ZnO večjo fotokatalitsko aktivnost kot ježki. Manjši delci so kazali večjo aktivnost. Avtorji smo prvi v literaturi objavili vrednosti meritev širine prepovedanega pasu pri hidrocinikitu, ki znaša 4,1 eV. Delo je nastalo v sodelovanju z raziskovalci iz Kemijskega inštituta.
		ANG	One of the proposed substrates within the project was also zinc. During the hydrothermal treatment of zinc the nanoparticles of zinc oxide crystallise at the top of the substrate. To determine the intrinsic photocatalytic properties of ZnO we spent some time on this issue and prepared the ZnO nanoparticles with hydrothermal route from hydrozincite (ZnHC). The photocatalytic activity of ZnO varied with its morphology; ZnHC was not photocatalytic. Rodlike crystals showed a better photocatalytic effect than flower and hedgehog-like crystals. More profound photocatalytic effect was achieved with smaller crystals. The band gap of hydrozincite was 4.1 eV, which was determined and published for the first time. The work was performed in the collaboration with the National Institute of Chemistry, Ljubljana.
	Objavljeno v	Elsevier; Applied catalysis. B, Environmental; 2013; Vol. 136/137; str. 202-209; Impact Factor: 6.007; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.798; A'': 1; A': 1; WoS: EI, IH, II; Avtorji / Authors: Bitenc Marko, Horvat Barbara, Likozar Blaž, Dražić Goran, Crnjak Orel Zorica	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	26981415	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Visoko učinkovit fotokatalitski mikroreaktor na osnovi TiO ₂
		ANG	A highly efficient TiO ₂ -based microreactor for photocatalytic applications
	Opis	SLO	V delu je opisana priprava in lastnosti mikroreaktorja na osnovi fotokatalitske trdno vezane obloge iz TiO ₂ . Z originalno dvostopenjsko sintezo (prva stopnja je bila anodna oksidacija titanove folije, druga pa hidrotermalna sinteza anataznih nanodelcev TiO ₂) smo pripravili samostojni sklop, ki vsebuje izvor UV svetlobe (4 UV LED diode), krnilnik za LED diode, hermetično zaprt pokrov iz UV presevnega pleksi stekla in aktivni kanal premera 0, 25 mm in dolžine 39 cm. Z metodami elektronske mikroskopije in mikroanalize (SEM, FIB, TEM) smo opravili podrobno mikrostrukturno študijo plasti. Ugotovili smo, da so vmesne plasti goste, med kovinskim titanom in TiO ₂ je prvo nekaj nm debela plast rutila, nato pa nekaj 100 nm debela plast TiO ₂ nanocevk. Kot vrhnji sloj je hidrotermalno sintetizirana plast anataznih nanodelcev. V delu so opisane osnovne fotokatalitske lastnosti reaktorja in njegovo staranje. Tudi po letu in pol delovanja je reaktor še vedno kazal 60% začetne aktivnosti.

5.			In the paper the synthesis, design and properties of TiO ₂ based microreactor is described. Firmly adhered TiO ₂ anatase layer was introduced using original two steps synthesis. In the first step using anode oxidation the few hundreds of nm thick layer of TiO ₂ nanotube was formed. During second step hydrothermal synthesis was used to form few nm sized anatase nanoparticles at the top of the TiO ₂ nanotubes. The device was composed of autonomous UV light source (4 UV LED diodes) with corresponding controller, hermetical seal made of UV transparent Plexiglas and active channel, 250 microns wide and 39 cm long coated with anatase TiO ₂ . Using electron microscopy and microanalysis techniques (SEM, FIB, TEM) thorough microstructural investigation was performed where interfaces and individual layers were characterised. Between metal titania and TiO ₂ few nm sized rutile phase was found. Few hundreds nm thick layer composed of TiO ₂ nanotubes follow. At the top of the tubes, hydrothermally grown few nm sized anatase nanoparticles were present. In the paper the properties and aging of the reactor was reported. After year and a half of the intensive use, the reactor still exhibit 60% of starting photocatalytic efficiency.
	Objavljeno v		American Chemical Society; ACS applied materials & interfaces; 2013; Vol. 5, issue 18; str. 9088-9094; Impact Factor: 5.900; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A': 1; WoS: NS, PM; Avtorji / Authors: Krivec Matic, Žagar Kristina, Suhadolnik Luka, Čeh Miran, Dražić Goran
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS ID		27660327 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Narava kloridne inhibicije fotokatalitske razgradnje dikloroacetne kisline v mikoreaktorju na osnovi titanovega dioksida
		ANG	The nature of chlorine-inhibition of photocatalytic degradation of dichloroacetic acid in a TiO ₂ -based microreactor
	Opis	SLO	V delu je opisana razgradnja dikloroacetne kisline in delne inhibicije delovanja fotokatalitskega mikoreaktorja zaradi prisotnosti klora. Z uporabo komplementarnih analitskih tehnik (HPIC, EPR) smo dokazali vzrok za pojav inhibicije. Prvotno hipotezo, da prihaja do večjega števila klorovih radikalov smo zavrgli in dokazali, da je selektivna adsorpcija klora večja od adsorpcije hidroksilnih ionov in s tem zaradi steričnih ovir onemogočen nastanek večjega števila hidroksilnih radikalov. Delo je bilo delno opravljeno v priznanem laboratoriju za fotokatalizo in nanomateriale, ki ga vodi prof. Detlef Bahnemann na Fakulteti za tehniško kemijo v Univerzi v Hannoveru, znotraj usposabljanja mladega raziskovalca Matica Krivica.
		ANG	In the work the degradation of dichloroacetic acid and partial inhibition of the reactor functionality was described. Using complementary analytical methods we explained the origin of this inhibition. Using various analytical techniques (HPLC, EPR, etc.) the reasons for chlorine inhibition were determined. It was found that there is not forming substantial amount of chlorine radicals, but the chlorine ions are preferentially absorbed to the surface of microreactor, inhibiting the absorption of hydroxyl ions and consequently inhibiting the formation of hydroxyl radicals. The work was done in renowned laboratory for photocatalysis and nanomaterials (prof. Detlef Bahnemann) at Faculty for technical chemistry at the University of Hannover. The work was a part of PhD thesis of young scientist Matic Krivec.
	Objavljeno v		Royal Society of Chemistry; PCCP. Physical chemistry chemical physics; 2014; Vol. 16, issue 28; str. 14867-14873; Impact Factor: 4.198; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.414; A': 1; WoS: EI, UH; Avtorji / Authors: Krivec Matic, Dillert Ralph, Bahnemann Detlef W., Mehle Alma, Štrancar Janez, Dražić Goran

Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
------------	--------------------------------

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	26850087	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Fotokatalitski TiO ₂ od hierarhičnih stuktur do mikroreaktorja
		ANG	Photocatalytic TiO ₂ - from hierarchical structures to a microreactor
	Opis	SLO	Vodja projekta je v zadnji petih letih imel 5 vabljenih predavanj na mednarodnih konferencah in šolah. Ožje področje predstavitev je bila analitska elektronska mikroskopija in njena uporaba pri razvoju in študiju sodobnih fotokatalitičnih nanomaterialov in sklopov. Opisano delo je bilo predstavljeno junija 2013 kot vabljeni predavanje na konferenci IC4N (International conference from Nanoparticles and Nanomaterials to Nanodevices and Nanosystems), kjer je avtor govoril o samourejanju, tvorbi hierarhičnih struktur pri titanovem dioksidu in uporabi teh struktur pri izdelavi mikroreaktorjev za fotokatalizo (http://www.uta.edu/ic4n/inspeaker.php). Osnovna ideja predavanja je bila pokazati nujno povezavo med temeljito mikrostrukturno karakterizacijo z metodami elektronske mikroskopije in končnimi lastnostmi materialov.
		ANG	In last 5 years the project leader has five invited lectures at International conferences and workshops. The topics of the talks were related to analytical electron microscopy and the use of this method during the research and development of modern photocatalytic nanomaterials. The listed lecture was presented at 4thIC4N (International Conference from Nanoparticles and Nanomaterials to Nanodevices and Nanosystems), which was held in Greece on June 2013 as an invited lecture. The lecture was devoted to self-assembly and formation of hierarchical structures based on TiO ₂ and design of photocatalytic microreactors using such structures studied with different electron microscopies and microanalytical techniques. (http://www.uta.edu/ic4n/inspeaker.php)
	Šifra	B.04 Vabljeni predavanja	
	Objavljeno v	s. n.]; Book of abstracts; 2013; Str. 32; Avtorji / Authors: Dražić Goran, Horvat Barbara, Krivec Matic, Abram Anže	
	Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljeni predavanja)	
2.	COBISS ID	269004544	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Sinteza, rast, samourejanje in fotokatalitske lastnosti nanodelcev TiO ₂ pripravljenih s hidrotermalno sintezo
		ANG	Synthesis, growth, self-assembly and photocatalytic properties of TiO ₂ nanoparticles prepared with a hydrothermal route
	Opis	SLO	Med časom trajanja projekta so na njem sodelovali trije mladi raziskovalci pod delovnim in akademskim mentorstvom vodje projekta. Prva med njimi (Barbara Horvat) je doktorirala septembra 2013. V svojem doktoratu je raziskovala področje sinteze anataznih nanodelcev s samourejanjem. Raziskovala je morfologijo, velikost in rast anataznih nanodelcev, pripravljenih s hidrotermalno sintezo. Iz HRTEM posnetkov je s posebnim postopkom rekonstruirali obliko kristalov. V začetku nastanejo majhni, nepravilni, škatlasti kristaliti, ki prerastejo v podolgovate morfologije s tem, da se podaljšajo v <101> smereh. Kristali se dodatno preoblikujejo v rahlo asimetrične oblike in končno preidejo v obliko tetragonalnih bipiramid. Med trajanjem doktorata je objavila dve deli. V maju leta 2014, še pred

		zaključkom pogodbe o financiranju je zagovarjal svojo doktorsko delo tudi drugi mladi raziskovalec, Matic Krivec (KRIVEC, Matic, Synthesis and characterization of nanoparticles, nanostructures and micro-devices based on photocatalytic TiO ₂ (Sinteza in karakterizacija nanodelcev, nanostruktur in mikrosistemov na osnovi fotokatalitičnega TiO ₂) : doktorska disertacija. Ljubljana: [M. Krivec], 2014. X, 104 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 274190848]. Tretji doktorand, Anže Abram, pa bo nadaljeval z delom na tematiki, povezani s projektom do zagovora, ki bo predvidoma v prvi polovici leta 2016.	
	ANG	During the time of the project three young researchers (PhD. students), under the scientific and academic guidance from project leader, were actively involved in the research work. Among them the first one that finished PhD study was Barbara Horvat. She studied the nucleation and growth of TiO ₂ nanoparticles during the hydrothermal synthesis. She studied morphology, size and growth of hydrothermally prepared anatase crystals. From HRTEM images shape of crystals was reconstructed. Small, irregular blocky anatase nuclei become rod-like at higher temperature, stretching along one of the 101 directions. Crystals further develop into wedge-shaped ones with almost absent base pinacoids. In the final stage, crystals evolve into equilibrium shape: plain tetragonal bipyramids. During her work she published two papers. In May 2014, before the formal end of his funding contract the second PhD student, Matic Krivec, defended his PhD thesis. (KRIVEC, Matic, Synthesis and characterization of nanoparticles, nanostructures and micro-devices based on photocatalytic TiO ₂ : doctoral dissertation, Ljubljana, 2014. X, 104 p., ilustr. [COBISS.SI-ID 274190848]. The third student, Anže Abram, will continue to work in the field till the end of his study in the first half of the 2016.	
	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom	
	Objavljeno v	[B. Horvat]; 2013; XVI, 95 str.; Avtorji / Authors: Horvat Barbara	
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija	
3.	COBISS ID	Vir: vpis v poročilo	
	Naslov	SLO	Članstvo v organizacijskem odboru mednarodne konference JEP 2013 3rd European Symposium on Photocatalysis, ki je bila v Portorožu 25. 27. septembra 2013
		ANG	Membership in organising committee fo JEP 2013 3rd European Symposium on Photocatalysis, held in Portorž, 25. 27. September 2013
	Opis	SLO	Vodja projektne skupine je bil v organizacijskem odboru konference (European symposium on Photocatalysis), ki jo je organizirala Univerza v Novi Gorici je bila ena od najpomembnejših znanstvenih srečanj povezanih s fotokatalizo v Evropi in svetu v letu 2013. http://photocatalysisfederation.eu/jep2013/homepage.html
		ANG	Project leader was in organisation committee of the JEP 2013 European Symposium on Photocatalysis which was one of the most important events in the year 2013 connected to the area of photocatalysis. The conference was organised by University of Nova Gorica. http://photocatalysisfederation.eu/jep2013/homepage.html
	Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja	
	Objavljeno v	Objavljeno v http://photocatalysisfederation.eu/jep2013/committees.html	
	Tipologija	3.25 Druga izvedena dela	
4.	COBISS ID	26981415	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Visoko učinkovit fotokatalitski mikroreaktor na osnovi TiO ₂
			A highly efficient TiO ₂ -based microreactor for photocatalytic

		ANG	applications
	Opis	SLO	Oktobra 2014 je bilo delo "Mikronaprava na osnovi fotokatalitskega TiO ₂ za dolgoročno razgradnjo organskih onesnaževal" uvrščeno v izbor ARRS "Odlični v znanosti v letu 2013". Delo je bilo predstavljeno na Forumu inovacij, ki je potekalo v Cankarjevem Domu 14. novembra 2014.
		ANG	This work was selected in October 2014 and classified as "Excellent in science for the year 2014 from Research Agency of Republic of Slovenia. Young researcher presented his thesis on the occasion of Inovation Forum, held in Cankarjev dom 14th of November 2014.
	Šifra	E.01 Domače nagrade	
	Objavljeno v	American Chemical Society; ACS applied materials & interfaces; 2013; Vol. 5, issue 18; str. 9088-9094; Impact Factor: 5.900; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A': 1; WoS: NS, PM; Avtorji / Authors: Krivec Matic, Žagar Kristina, Suhadolnik Luka, Čeh Miran, Dražić Goran	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	28092967	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Sodelovanje pri raziskovalnih projektih in projektih z industrijo
		ANG	Collaboration within research projects and projects with the industry
	Opis	SLO	Direktna sodelava z industrijskima partnerjema (Cinkarna Celje in Impol Slovenska Bistrica) je imela namen znanja, pridobljena z raziskovalnim delom, približati industriji in ji ponuditi možnosti uporabe tega znanja pri razvoju novih izdelkov. Med izvajanjem projekta je bila projektna skupina iz Institutov (tudi predvsem mladi raziskovalci) v stalnem stiku z obema industrijama na obiskih in pogovorih na kakšen način bi lahko nova spoznanja praktično prenesli v industrijsko okolje. Tako smo pri Cinkarni Celje ugotavljali, da bi posebno funkcionalizirana površina plošč cinka lahko imela samočistilne lastnosti, tako s pomočjo lotusovega efekta (superhidrofobnost) kot samočistilnost zaradi fotokatalitskega efekta. Predlagali smo tudi modifikacijo hidrotermalnega procesa s pomočjo pregrete pare. Aluminijska pločevina, ki je v proizvodnji Impola pa bi z nanosom TiO ₂ bila uporabna za integriran fotokatalitski reaktor za čiščenje sive vode in istočasno sončni kolektor za ogrevanje vode.
		ANG	Direct cooperation with industrial partners (Cinkarna Celje and Impol Slovenska Bistrica) was aiming to transfer the knowledge acquired through research work to the industry and to develop new products. During the implementation of the project the team from the institutes (including especially young researchers) was in constant contact with both industries through the visits and talks on how practically transferred the knowledge in an industrial environment. Thus, in the case of Cinkarna Celje we found that the specific functionalized surface of zinc can have a self-cleaning properties by using the lotus effect (superhydrophobicity) as self-cleaning due to the photocatalytic effect. We have also proposed a modification of hydrothermal process using superheated steam. Aluminum plates, which are in the production of Impol could be coated with TiO ₂ and applied to an integrated photocatalytic – solar collector reactor for the treatment of gray water and at the same for heating water.
	Šifra	F.06 Razvoj novega izdelka	
	Objavljeno v	2014; Avtorji / Authors: Abram Anže, Kevorkijan Varužan, Cvahte Peter, Dražić Goran	
	Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Dodatni trije članki, ki so direkten rezultat dela na projektu:

KRIVEC Matic, POHAR Andrej, LIKOZAR Blaž, DRAŽIĆ Goran, Hydrodynamics, mass transfer, and photocatalytic phenol selective oxidation reaction kinetics in a fixed TiO₂ microreactor.

AIChE journal, ISSN 0001-1541, Feb. 2015, vol. 61, 2, str. 572-581.

[COBISS.SI-ID 5567258], kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2)

HORVAT Barbara, REČNIK Aleksander, DRAŽIĆ Goran. The growth of anatase bipyramidal crystals during hydrothermal synthesis. Journal of crystal growth, ISSN 0022-0248, 2012, 347, 1, str. 19-24, [COBISS.SI-ID 25695015], kategorija: 1A2 (Z, A1/2)

GOMES Helder T., MACHADO Bruno, SILVA Adrián M. T., DRAŽIĆ Goran, FARIA Joaquim Luís. Photodeposition of Pt nanoparticles on TiO₂-carbon xerogel composites. Materials letters, ISSN 0167-577X, 2011, 65, no. 6, str. 966-969,

[COBISS.SI-ID 24592167], kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2)

Dva elaborata:

ABRAM Anže, KEVORKIJAN Varužan, CVAHTE Peter, DRAŽIĆ Goran. Hidrotermalna priprava fotokatalitičnih prevlek na aluminiju, (IJS delovno poročilo, 11719). 2014. [COBISS.SI-ID 28092967]

ABRAM Anže, BOROTA Boris, VREČKO Vladimir, DRAŽIĆ Goran. Hidrotermalna priprava funkcionalnih prevlek na cinku, (IJS delovno poročilo, 11720). 2014. [COBISS.SI-ID 28092711]

Znanje, pridobljeno na projektu je bilo implementirano v delu:

BOHINC Klemen, DRAŽIĆ Goran, FINK Rok, ODER Martina, JEVŠNIK Mojca, NIPIČ Damijan, GODIČ TORKAR Karmen, RASPOR Peter. Available surface dictates microbial adhesion capacity. International journal of adhesion and adhesives, ISSN 0143-7496, 2014, vol. 50, no. 1, str. 265-272,

[COBISS.SI-ID 4669803], kategorija: 1A2 (Z, A1/2)

Patentna prijava (osnovna ideja izvira iz spoznanj zbranih na projektu, soavtorja patentne prijave sta sodelavca na projektu):

SUHADOLNIK Luka, KRIVEC Matic, ČEH Miran, ŽAGAR Kristina, DRAŽIĆ Goran, Reactor : patentna prijava PCT/EP2014/069011. München: European Patent Office, 5. sep. 2014.

[COBISS.SI-ID 28389159], kategorija: SU (S)

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti²

SLO

Področja projekta so bila usklajena s prioritetami nacionalnega raziskovalnega programa Republike Slovenije, kot so nanomateriali in nanotehnologije, ekologija in kvaliteta okolja (zemlja, voda, zrak) in zdravje. Ta področja so še posebno pomembna za Slovenijo in zahtevajo razširitev znanja ter znanstvene in ekonomske učinkovitosti. Onesnaženje vod in zraka je pereč problem, ki bo imel resne posledice na zdravje ljudi še v naslednjih generacijah. Tehnologije za čiščenje (odpadnih) vod in zraka se hitro razvijajo, med njimi postajajo tehnologije vezane na fotokatalitične nanomaterialne vse bolj pomembne. Spoznanje, da so nanodelci lahko zelo nevarni in zdravju škodljivi je vse bolj intenzivno, zato je nevarnost, da delci, ki jih uporabljamo za čiščenje ostanejo v očiščenem materialu in sami postanejo nevaren onesnaževalec. Znanje, kako trdno vezati fotokatalitične delce na podlago je zato zelo pomembno. Rezultat dela na projektu je novo znanje, ki bo vplivalo na razvoj novih fotokatalitskih materialov za uporabo pri čiščenju vode in zraka. Znotraj projekta je bil razvit nov koncept mikroreaktorjev, ki bi jih lahko uporabili pri čiščenju sekundarnega vodnega kroga na nivoju individualnih hiš. Poleg eksperimentalnega dela pri sintezi novih materialov je bil v projektu poudarek na sistematičnem študiju mikrostrukture vse do atomske ločljivosti z uporabo elektronske mikroskopije in

mikroanalize. V projektnem konzorciju so bili poleg raziskovalcev iz Odseka za Nanostrukturne materiale, ki imajo komplementarna znanja iz področja sinteze nanomaterialov, koloidne kemije, mikrostrukturnih preiskav s pomočjo elektronske mikroskopije in mikroanalize, tudi raziskovalci iz Kemijskega inštituta z izkušnjami pri merjenjih fotokatalitičnosti in dizajniranja (mikro)reaktorjev. Poleg raziskovalcev iz inštitutov so bili v konzorciju raziskovalci dveh velikih Slovenskih industrij: Impol, Slovenska Bistrica in Cinkarna Celje. Pri projektu je sodeloval tudi Laboratorij za materiale in katalizo Fakultete za inženirstvo Univerze v Portu na Portugalskem. S svojim znanjem, opremo in izkušnjami s področja fotokatalize so aktivno in kvalitetno prispeval k izvedbi projekta. Glavni rezultati in originalni znanstveni dosežki, pridobljeni z delom na projektu, so bili objavljeni na mednarodnem nivoju v uglednih revijah, ki so zanimive za širši krog znanstvenikov. Raziskovalne skupine, vključene v projekt so objavile osem znanstvenih del v uglednih revijah z visokim faktorjem vpliva, dve vabljene predavanji na mednarodnih konferencah. Dva sodelavca na projektu sta sodelovala pri oblikovanju novega koncepta mikroreaktorja in sta koavtorja patentne prijave. Znanje pridobljeno na projektu je bilo preneseno v sodelujoče proizvodne organizacije kar je osnova za uspešne bodoče tehnologije in izdelke.

ANG

The topics of the project are in accordance with the priorities of the national research program of the Republic of Slovenia, such as nanomaterials and nanotechnologies, ecology and quality of environment (soil, water, air) and health. These areas, particularly important for Slovenia, are defined as those that urge expanding of their knowledge, scientific and economic efficiency of propulsion, based on the values of human society, as well as those that directly support the faster development of the leading economic sectors. Air and water pollution is a rising problem that will have strong impact on human health and quality of life throughout next generations. Air and water cleaning technologies are developing fast, among photocatalytic nanomaterials become more and more important. Realising that nanoparticles could be extremely hazardous there is strong risk that nanomaterials, used for purification will remain in cleaned material and at the same time become dangerous pollutant. Knowledge how to tightly immobilise the photocatalytic nanoparticles on substrate surface to be used in cleaning technologies is in this sense very important. During the research work within the project we acquire knowledge that will influence the development of new photocatalytic materials for use in water and/or air purification. We developed new concepts of microreactor that could be used as a secondary cycle water purification at the level of individual houses. Beside experimental work in synthesis of new materials, systematic microstructural investigation, down to atomic resolution, was performed using electron microscopy and microanalysis methods. In the project consortium beside researchers from Department for Nanostructured materials, which had complimentary expertise in nanomaterial synthesis, colloidal chemistry, microstructural investigation using electron beam techniques, also researchers from National Institute of Chemistry with the expertise in measurements of photocatalytic properties and determination and modelling of (micro)reactor properties were present. Experts specialised in metals and metal surfaces from two largest Slovenian industries were also involved: Impol, Slovenska Bistrica and Cinkarna Celje. The Laboratory of catalysis and materials from Engineering Faculty of University of Porto contributed with his broad expertise, experience and equipment connected with photocatalysis. The main and original scientific contributions, were generated under this project, and were published at international level interesting for professional and scientific community. The research groups involved published 8 scientific papers in scientific journals with high impact factors, two invited lectures and many contributions at the international conferences. Two researches from the project team co-authored a patent application of the conceptually completely new design of photo-electro catalytical microreactor. The knowledge gained from the project was transferred to the participating companies and is the basis for new very interesting products.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Rezultati, dobljeni pri raziskovalnem delu znotraj projekta imajo lahko velik vpliv na industrijo in ekologijo. Med raziskovalnim delom v okviru projekta smo reševali mnoge probleme in našli ustrezno tehnologijo za pripravo trdno vezanih oblog iz titanovega dioksida na kovinskih podlagah s hidrotermalnim postopkom. Po končanju projekta bi bilo logično nadaljevanje

prenosa dosežkov in znanja v industrijske razmere (upscaling) in razvoj novih produktov na osnovi fotokatalitičnih oblog iz TiO₂. Ti izdelki so lahko čistilniki in sterilizatorji na osnovi ultravijolične ali sončne svetlobe, samočisteče kovinske dekorativne plošče za zaščito hiš, mikoreaktorji za čiščenje odpadnih vod, itd. Uporaba izdelkov pri katerih bomo implementirali trdno vezane TiO₂ obloge bo imela pozitiven učinek na ekologijo zaradi minimalne erozije in posledično minimalnega izpusta potencialno nevarnih nanodelcev TiO₂ v okolje. Naslednji pomemben vpliv projekta bi bila izdelava in komercializacija mikoreaktorjev na osnovi trdno vezanega TiO₂, ki bi se uporabljali v individualnih hišah za čiščenje zmerno onesnažene vode (z detergenti, milom, nizkimi koncentracijami organskih snovi) s pomočjo sončne svetlobe. Taki mikoreaktorji bi lahko bili integrirani s sončnimi toplotnimi kolektorji v enovit ekološko usmerjen sklop. Tako očiščeno vodo bi lahko uporabljali za zalivanje, pranje avtomobilov, splakovanje stranišč. Z uporabo takih sklopov bi se poraba pitne vode lahko razpolovila. Oba industrijska partnerja (Impol d.o.o in Cinkarna Celje d.d.) sta zainteresirana za nadaljnjo uporabo znanj, pridobljenih v času trajanja projekta.

Za pospeševanje in ohranitev globalne ekonomije so potrebne inovativne proizvodne tehnologije, kot npr. razvoj trdno vezanih fotokatalitičnih plasti za uporabo pri okoljsko prijaznih izdelkih. Sodelovanje različnih raziskovalnih skupin znotraj projekta, od katerih vsaka ima dokazana znanja in izkušnje na svojem področju, je omogočilo razvoj novih nanostrukturnih materialov, ki do sedaj še niso bili raziskani. Razvoj in proizvodnja mikoreaktorjev na osnovi trdno vezanih prevlek iz TiO₂ za čiščenje vod bi lahko izboljšalo konkurenčnost Slovenske industrije. Diseminacija in prenos znanja med znanstvenimi institucijami in industrijo je bila izrednega pomena pri organiziranosti in upravljanju projekta. Zelo pomembno je, da se industrija aktivno priključi razvojnemu in raziskovalnemu delu institutov in univerz. Po drugi strani pa zaradi tesnega sodelovanja tudi raziskovalci iz institutov dobijo boljši vpogled v kompleksnost in utrip razvojnega dela v industriji. Tovrstno sodelovanje lahko pripomore k odločitvi mladih sposobnih doktorjev znanosti, da bi nadaljevali svojo kariero v industrijskem okolju.

ANG

The results of the project will have strong potential impact on the industry and ecology. During the research in the frame of project we solved many problems and found suitable technology of preparing strongly adhered photocatalytic TiO₂ coatings on metallic substrates with hydrothermal synthesis. After finishing the project it would be logical to transfer the findings to industrial scale and to develop new products like UV and/or solar driven purifier/steriliser of tap water, self-cleaning metallic decorative plates for protection of buildings, microreactors for purification of waste water, etc. The application of strongly bonded TiO₂ coatings will have also positive impact on ecology due to negligible erosion and consequently minimised load of potentially dangerous nanoTiO₂ particles to the environment. Another direct economy impact would be possible if microreactor based devices would be used in individual houses as solar-driven purification systems for moderately contaminated water (contaminated with detergents, soaps, mild organics, etc.). This purified water could be used for irrigation (watering plants), car washing, toilet flushing, etc. In such a case the amount of consumed drinking water would be halved. Both industrial partners (Impol d.o.o. and Cinkarna Celje, d.d.) are strongly motivated to use the results in their future production.

To maintain a global and competitive economy requires a new innovative production technology, such as the development of tightly bound photocatalytic surfaces used in environment friendly applications. Participation of the various research groups within the project, of which each in its field has proved a rich expertise, enabled the development of new nanostructured materials, which until now Slovenia has not yet been demonstrated. With the participation of our experts in the fields of metallurgy, surface and microstructure analysis, colloidal chemistry and physics, environment and materials science, processing and characterization of surfaces, enabled the development of high quality functional coating materials that would provide low cost, efficient and environmental friendly purification of water and air, and thus would provide a higher level of quality of life. Development of TiO₂ microreactor based purifiers would improve the competitiveness of the Slovenian industry. Dissemination and transfer of knowledge between scientific institutions and industry was an extremely important parameter of organization and management of this project. It is very important that the industrial enterprises access and participate in research and development activities at the institutes and universities. On the other hand, through this cooperation the institute researchers had opportunity to better understand the complexity and pace of industrial

development. Such cooperation could promote the flow of talented young researchers toward industry.

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	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
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	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
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 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	☐	☐	☐	☐	
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 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**

KRIVEC, Matic, DILLERT, Ralph, BAHNEMANN, Detlef W., MEHLE, Alma, ŠTRANCAR, Janez, DRAŽIČ, Goran. The nature of chlorine-inhibition of photocatalytic degradation of dichloroacetic acid in a TiO₂-based microreactor. PCCP. Physical chemistry chemical physics, ISSN 1463-9076, 2014, vol. 16, issue 28, str. 14867-14873, [COBISS.SI-ID 27660327]
 kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2); uvrstitev: SCI, Scopus, MBP;

V delu je opisana razgradnja dikloroacetne kisline in inhibicije delovanja fotokatalitskega mikroreaktorja zaradi prisotnosti klora. Z uporabo komplementarnih analitskih tehnik (HPIC, EPR) smo dokazali vzrok za pojav inhibicije. Prvotno hipotezo, da prihaja do večjega števila klorovih radikalov smo zavrgli in s študijem adsorpcijskih izoterm dokazali, da je selektivna adsorpcija klora večja od adsorpcije molekul dikloroacetne kisline in je s tem zaradi steričnih ovir onemogočena adsorpcija in posledična razgradnja kisline.

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:

Institut "Jožef Stefan"

Goran Dražić

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana,

16.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/236

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](#)

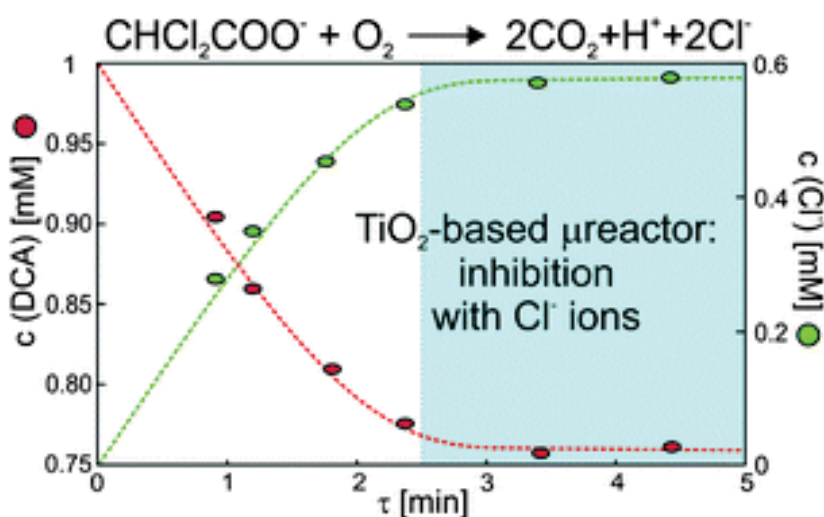
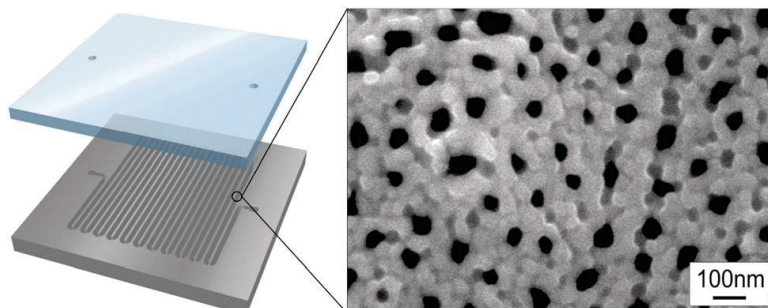
¹¹ Rubrike izpolnite / prepišite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

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
90-ED-51-5A-FC-70-83-5F-DC-3B-F4-9D-34-54-B2-1F-27-E1-44-9A

Priloga 1

Narava kloridne inhibicije fotokatalitske razgradnje diklorocetne kisline v mikroreaktorju na osnovi titanovega dioksida



Shematska slika TiO_2 fotokatalitskega mikroreaktorja in diagram zmanjšanja učinkovitosti mikroreaktorja v odvisnosti od koncentracije kloridnih ionov.

V delu je opisana razgradnja diklorocetne kisline in inhibicije delovanja fotokatalitskega mikroreaktorja zaradi prisotnosti klora. Z uporabo komplementarnih analitskih tehnik (HPIC, EPR) smo dokazali vzrok za pojav inhibicije. Prvotno hipotezo, da prihaja do večjega števila klorovih radikalov smo zavrgli in s študijem adsorpcijskih izoterm dokazali, da je selektivna adsorpcija klora večja od adsorpcije molekul diklorocetne kisline in je s tem zaradi steričnih ovir onemogočena adsorpcija in posledična razgradnja kisline. Delo je bilo delno opravljeno v priznanem laboratoriju za fotokatalizo in nanomateriale, ki ga vodi prof. Detlef Bahnemann na Fakulteti za tehniško kemijo v Univerzi v Hannoveru, znotraj usposabljanja mladega raziskovalca Matica Krivica.

Royal Society of Chemistry; PCCP. Physical chemistry chemical physics; 2014; Vol. 16, issue 28; str. 14867-14873; Impact Factor: 4.198; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.414; A': 1; WoS: EI, UH; Avtorji / Authors: Krivec Matic, Dillert Ralph, Bahnemann Detlef W., Mehle Alma, Štrancar Janez, Dražić Goran