

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/6



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-5493
Naslov projekta	Bio in ?nano integrirani procesi za ciljno (več)funkcionalno obdelavo sintetičnih materialov
Vodja projekta	25790 Mojca Božič
Tip projekta	Zt Podoktorski projekt - temeljni
Obseg raziskovalnih ur	3400
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	08.2013 - 07.2015
Nosilna raziskovalna organizacija	795 Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.14 Tekstilstvo in usnjarstvo 2.14.02 Tekstilna kemija
Družbeno-ekonomski cilj	
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.05 Materiali

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Tematika raziskovalnega projekta se nanaša na področje raziskav in razvoja visoko aktivnih protimikrobnih sintetičnih materialov. Obsega encimsko pripravo in karakterizacijo novih funkcionalnih polimerov ter z njimi modificiranje karbonskih-TiO₂-nanocevk kot tudi integracijo modificiranih nanocevk na sintetične aromatske polimere (npr. polietilen tereftalat, polibutilen tereftalat, poliuretan itd.).

Prvi cilj projekta je povečati fotokatalitično aktivnost (t.j. protimikrobno delovanje) ter biokompatibilnost karbonskih-TiO₂-nanocevk. To bomo dosegli s permanentno modifikacijo ogljikovih-TiO₂-nanocevk preko vezave encimsko sintetiziranih polimerov t.j. fotosenzibilizatorjev na zunanje stene nanocevk, ki jo bomo izvedli *na mestu* z biokatalizatorji/encimi. Postopek bo temeljil na encimski oksidaciji naravnih nizko molekularnih fenolov, pri čemer nastanejo fenolni radikali, ki v stiku s C=C vezjo nanocevk tvorijo novo radikalno mesto na nanocevki in s tem omogočajo kovalentno povezovanje preko radikalskih reakcij. V ta namen bomo uporabili oksidaze različne katalitične aktivnosti, in sicer regijo- in kemijsko-selektivno delujoče tirozinaze in lakaze. Raziskave modificiranih nanocevk bodo podprte s kemijsko, strukturno in morfološko analizo ter z opredelitvijo njihovih protimikrobnih in biorazgradljivih lastnosti.

Drugi cilj projekta je permanentna vezava visoko aktivnih modificiranih nanocevk na površino izbranih sintetičnih polimerov ter s tem zagotoviti trajnost specifičnega učinka (t.j. protimikrobne aktivnosti).

Modificirane ogljikove-TiO₂-nanocevk, z najučinkovitejšim fotokatalitičnim delovanjem, bomo preko radikalske reakcije kovalentno vezali na aromatske polimere. Encimsko vezavo preko C-C, C-O in C-N vezi bomo izvajali neposredno in/ali posredno z uporabo mediatorjev.

Poseben izziv za ekološko učinkovito funkcionalizacijo bo razvoj *na-mestu* istočasne sinteze in vezave fotosenzibilizator-ogljikovih-TiO₂-nanocevk na aromatske polimerne površine. To bomo dosegli z inženiringom reakcijskega medija (t.j. koncentracija substrata in encima in njihovo časovno doziranje, pH reakcije, temperatura itd.).

ANG

The project relates to research and development of highly active antimicrobial synthetic materials. It covers the enzymatic synthesis and characterization of new functional polymers, and by them modification of carbon-TiO₂-nanotubes, as well as the integration of the modified nanotubes onto synthetic aromatic polymers (e.g. polyethylene terephthalate, polybutylene terephthalate, polyurethane, etc.).

The first aim of the project will be to increase the photocatalytic activity (i.e. antimicrobial activity) and biocompatibility of the carbon-TiO₂-nanotubes. This will be achieved by permanent modification of the carbon-TiO₂-nanotube via "sidewall functionalisation" performed by '*in situ*' bio-synthesized colourized photosensitizers. Procedure will be based on enzymatic oxidation of natural low-molecular-weight phenols yielding phenoxy radicals, which in contact of nanotube C=C bond produce a new radical site centered on the nanotubes, with ability of coupling phenoxy radicals and leading to the covalently attached phenol or its polymerized products (e.g. photosensitizers). For that purpose oxidase with region- and/or chemo-selective (i.e. tyrosinase, laccase) catalytic activity will be applied in aqueous solutions for the soluble phenolic substrates and in biodegradable water-miscible organic solvents when using insoluble substrates. Research activities of nanotube modification will be supported by chemical, structural and morphological analysis and by the definition of their antimicrobial and biodegradable properties.

The second aim of the project will be permanently attaching of the highly active modified nanotubes onto the polymer surface and thereby providing durability of the specialty effect (i.e. antimicrobial activity).

Modified carbon-TiO₂-nanotubes with the most efficient photocatalytic activity will be covalently bonded to aromatic based polymers by radical coupling reaction. Enzymatic coupling via C-C, C-O and C-N bonds will be carried out direct and/or indirect with the mediator employment. The special challenge for ecologically effective functionalisation will be in the developing *in situ* simultaneous synthesis and grafting of photosensitizer-carbon-TiO₂-nanotubes onto aromatic polymer surfaces. This will be assessed through medium engineering, (i.e., substrate and enzyme concentration and their dose-dependent manner, reaction pH, temperature, etc.).

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Eksperimentalno izvedbo projekta smo izvajali v laboratorijih Oddelka za tekstilne materiale in oblikovanje na Fakulteti za strojništvo v Mariboru, po posameznih nalogah v skladu z zastavljenimi cilji programa podoktorskega projekta.

Prvi delovni sklop podoktorskega projekta obsega izbor karbonskih nanocev in TiO_2 prekursorja in površinsko modifikacijo novo sintetiziranih karbonskih- TiO_2 -nanocev z bio-funkcionalnimi spojinami (Naloge 1.1, 1.2 in 1.3). Uporabili smo sono-kemijsko enostavno metodo sinteze karbonskih- TiO_2 -nanocev (z različnim molarnim razmerjem med TiO_2 :MWCNT) v kombinaciji s procesom kalciniranja. Novo sintetizirane karbonske- TiO_2 -nanocевke smo površinsko modificirali po dveh različnih postopkih: (i) »in situ« modifikacija z encimsko sintetiziranim fenoazin barvilom (tj. fotosenzibilizator) in (ii) »in situ« encimska oksidacija galične kisline ter hkratna vezava in polimerizacija galičnega polimera na karbonske- TiO_2 -nanocевke. Modificirane in nemodificirane karbonske- TiO_2 -nanocевke smo strukturno okarakterizirali z raznimi analitskimi tehnikami kot so: XRD, Raman, UV-vis, XPS in DLS. Kristalinična struktura in velikost tvorjenih TiO_2 kristalov novo sintetiziranih karbonskih- TiO_2 -nanocev in TiO_2 nanodelcev je bila določena z uporabo XRD metode, s katero smo potrdili prisotnost anatazne kristalne strukture TiO_2 velikosti od 9.5 do 16.5 nm, odvisno od razmerja med TiO_2 in karbonskimi nanocевkami. Pri prvi omenjeni modifikaciji smo z Raman in X-Ray fotoelektronsko (XPS) spektroskopsko tehniko potrdili uspešno encimsko vezavo barvila preko C=C vezi na površino karbonske- TiO_2 -nanocевke, s čimer smo povečali absorpcijski maksimum nanodelcev v vidni del svetlobe. Z encimsko modifikacijo površine karbonskih- TiO_2 -nanocev smo znižali vrzel frekvenčnega pasu iz 2,42 eV za nemodificirane karbonske- TiO_2 -nanocевke (17:1) na 2,27 eV in iz 1,66 eV za nemodificirane karbonske- TiO_2 -nanocевke (10:1) na 1,5 eV, kar je omogočilo, da so nano-kompoziti fotokatalitično aktivni v vidnem delu svetlobe. Fotokatalitično aktivnost posameznih nano-delcev smo testirali z degradacijo v vodi raztopljenega metilen modrega barvila pri radiaciji UV- in vidnega- dela svetlobe. Encimska modifikacija po prvem postopku je doprinesla k povečani fotokatalitični aktivnosti novih sintetiziranih nanodelcev pri obeh uporabljenih svetlobah tj. UV in vidni in k možnemu recikliranju ter ponovni uporabi po 4 zaporednih degradacijskih testih. Dobljeni rezultati in diskusije so zbrani v članku »Enhanced catalytic activity of the surface modified TiO_2 -MWCNT nanocomposites under visible light, objavljenem v *Journal of colloid and interface science*« (IF = 3.368).

Pri drugi omejeni modifikaciji, tj. »in situ« encimska oksidacija galične kisline ter hkratni vezavi in polimerizaciji galičnega polimera na karbonske- TiO_2 -nanocевke, smo novo nastale strukture okarakterizirali z XRD, Infra-Rdečo in UV-Vis difuzno odbojno spektroskopijo (DRS) ter SEM mikroskopijo. Cilj te modifikacije je bil onemogočiti visoko aktivnim kisikovim spojinam defundirati s titanijeve površine v plinsko fazo, kjer je njihova toksičnost vprašljiva a hkrati še obdržati fotokatalitično aktivnost. Pred in po modifikaciji smo izvedli antioksidativne (ABTS) teste, ki so pokazali, da s površinsko modifikacijo lahko dosežemo do 98% inhibicijo ABTS radikalov, medtem, ko neobdelani nanokompoziti dodatno inducirajo nastanek ABTS radikalov. Fotokatalitična aktivnost, ki smo jo določili s testom sposobnosti nanokompozitov razgraditi metil modro barvilo v vodni disperziji, se je po površinski obdelavi zmanjšala za 1,3 do 2,8 krat, odvisno od vrste obsevanja. Ne glede na zmanjšano fotokatalitsko aktivnost, smo uspeli oblikovati nanokompozite, ki hkrati delujejo antioksidativno in fotokatalitično, kar nove nanokompozitne materiale uvršča med materiale z nižjo stopnjo toksičnosti. Izsledke raziskave bomo poskušali objaviti v *Journal of sol gel science and technology*.

V nalogi 1.4 smo poizkušali encimsko modificirati TiO_2 -nanocевke, sintetizirane na Inštitutu Jožefa Stefana. Modifikacija ni bila uspešna, saj z encimsko katalizirano reakcijo nismo uspeli obstojno vezati barvila na površino TiO_2 -nanocev. Same cevke so bile težko dispergljive in so po modifikaciji izgubile na fotokatalitični aktivnosti. Zato smo se odločili za druge komercialno dosegljive TiO_2 -nanocевke in kemijsko modifikacijo s fenolnimi kisljinami, kjer smo izvedli študijo adsorpcije dveh kemično podobnih fenolnih kislin na površino Ti-nanocev (TiNT) z namenom povečanja oz. razširitev foto-inducirane aktivnosti v vidni del svetlobe. Kompozite smo strukturno analizirali z Raman in X-rentgensko spektroskopijo v kombinaciji z zeta-potencial metodo, medtem ko smo za določevanje fotokatalitične aktivnosti in stabilnosti uporabili kapilarno elektroforezo visoke ločljivosti v kombinaciji s ciklično voltametrijjo in spin-lovilec EPR spektroskopijo. Modifikacija s kafeično kislino (KK) je doprinesla k orientiranem in kompaktnem površinskem sloju molekularne KA (1-3 nm), ki je znižal vrzel frekvenčnega pasu iz 2.9 eV za nemodificirane TiNT na 1.55 eV za KK modificirane TiNT. Kljub znižanju vrzeli pa modifikacija ni doprinesla k povečanju nastajanja hidroksilnih radikalov pri nobeni uporabljeni svetlobi (UV in vidna). Medtem pa je galična kislina (GK) polimerizirala na površini TiNT in tvorila stabilno strukturo polimeriziranih GK molekul. Pri tem se je vrzel frekvenčnega pasu znižal na 2.25 eV in povečala se je fotokatalitična aktivnost oz. nastajanje hidroksilnih radikalov pri UV in vidni svetlobi. Tretja testirana fenolna kislina hidroksi-benzen kislina (HK) je vodila k nestabilnim površinskim slojem vezanim preko

enojne vodikove vezi. Študija predstavlja novo strategijo površinske modifikacije TiNT ter uspešno povečanje fotokatalitične aktivnosti. Dobljeni rezultati so objavljeni v članku »*Synergies of phenolic-acids' surface-modified titanate nanotubes (TiNT) for enhanced photo-catalytic activities*« revije Journal of colloid and interface science (IF = 3,55).

V drugem delovnem sklopu, v nalogi 2.1 in 2.2 smo izbrali dva modelna aromatska sintetična materiala tj. amorfen polietilen teraftalat (PET) in polietersulfonsko (PES) folijo za vezavo novo sintetiziranih nanodelcev na površino z uporabo encimsko katalizirane reakcije. Za vezavo fotokatalitičnih nanodelcev smo uporabili lakaze z »*dip-coating*« metodo ter metodo izčrpavanja na laboratorijskem aparatu Turby (Mathis). Preučevali smo variiranje koncentracije različnih nanodelcev (z različnim molarnim razmerjem med TiO_2 in karbonskimi nanocevkami) in lakaznega encima ter njihovo časovno doziranje, pH reakcije, temperature in čas v odvisnosti od uspešne vezave nanodelcev na površino sintetičnih folij. Vezavo smo sledili z uporabo SEM mikroskopije, ATR-FTIR in Raman spektroskopije, s spremembo barve po obdelavi, izraženo z barvnim modelom CIE $L^*a^*b^*$ ter merjenjem UV zaščitnega faktorja (UPF) obdelanih sintetičnih aromatskih materialov, medtem, ko smo aktivnost preliminarно določevali z degradacijskimi testi v vodni raztopini metilen modrega barvila. PET in PES spadata med kemično inertne polimere, za katere je značilno, da jih je težko površinsko funkcionalizirati. V naši funkcionalizaciji smo predvideli mehanizem radikalske reakcije s katero bi kovalentno vezali novo sintetizirane karbonske- TiO_2 -nanocevkke preko oksidirane fenolne spojine (fenolni radikal) na aromatske polimere preko C-C, C-O in C-N vezave. Po testih obstojnosti oz. raznih pranjih z vodo ob in brez prisotnosti pralnih sredstev smo s SEM, ATR-FTIR in Raman analizami potrdili, da vezava karbonskih- TiO_2 -nanocevk na PET in PES ni dolgoročno obstojna, je pa obstojna vezava samih fenolnih spojin, ki smo jo dokazali z meritvami obarvanosti PET in PES po obdelavi ter posledično tudi z zvišanim UV zaščitnim faktorjem.

V tretjem delovnem sklopu, v nalogi 3.1 smo sistematično spremljali fotokatalitično aktivnost s testom degradacije metilen modrega barvila v vodni raztopini ob prisotnosti UVA/UVB svetlobe ter ločeno ob vidnem delu svetlobe (Luzchem). Degradacija metilen barvila (oz. fotokatalitična sposobnost) modificiranih PET in PES pred pranjem je bila do 85% pri UVA/UVB in 73% pri vidni svetlobi po 30 minutah izpostavljenosti. S pranjem modificiranih PET in PES vzorcev se je degradacijska učinkovitost le-teh linearno zniževala glede na število pranj, kar se navezuje na spiranje adsorbiranih karbonskih- TiO_2 -nanocevk s površine folij. Obarvanost, povezana z vezavo fenolnih in polifenolnih skupin na površino PET in PES se je izkazala za stabilno tudi po številnih pranjih.

V nalogi 3.2 smo ugotavljali mikrobiološko odpornost modificiranih in nemodificiranih PET in PES vzorcev s preskusom zakopavanja v zemljo po standardu SIST EN 12225:2001. Po šestih mesecih se izbrani modificirani in nemodificirani PET in PES niso razgradili, razen v primeru PES, ki je bil modificiran s karbonskimi- TiO_2 -nanocevkami v razmerju titanij : karbon 1:17, kjer je bila stopnja razgradnje (določena iz razlike v masi) 12,7%, kar smo potrdili tudi z elektronskim mikroskopom.

V zaključku lahko povzamemo, da smo v podoktorskem projektu prvič prikazali nadzorovano encimsko površinsko modifikacijo karbonskih- TiO_2 -nanocevk, ki vodi k izboljšani vodne disperzibilnosti karbonskih- TiO_2 -nanocevk ter k povečani fotokatalitični aktivnosti le-teh. Razvit encimski proces funkcionalizacije karbonskih- TiO_2 -nanocevk ima visok potencial za prenos v industrijsko okolje, kjer je proizvodnja usmerjena v fotokatalitične materiale za čiščenje odpadnih voda.

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

Delo v sklopu projekta "Bio in -nano integrirani procesi za ciljno (več)funkcionalno obdelavo sintetičnih materialov" je potekalo v skladu z zastavljenim terminskim planom in raziskovalnimi mejniki. Opravljeno delo in doseženi rezultati sledijo in v celoti potrjujejo zastavljene raziskovalne cilje. Raziskovalno delo smo izvajali glede na organizacijsko shemo projekta, ki je razdeljen na tri dele. V prvem delu smo natančno preučili lastnosti vseh komercialno dosegljivih karbonskih- TiO_2 -nanocevk in samih karbonskih cev, in se na podlagi komercialne dosegljivosti produkta odločili za sintezo karbonskih- TiO_2 -nanocevk, ki dosegajo predvidene lastnosti. Uspešno sintetizirane karbonske- TiO_2 -nanocevkke smo okarakterizirali glede na njihovo strukturo s pomočjo Raman, ATR-FTIR, XPS, XRD in UV-vis spektroskopije. Nadalje smo po načrtu projekta preučili funkcionalne in sintezne lastnosti posameznih fenolnih kislin in uporabljenih reakcijskih

katalizatorjev (npr. lakaze). Uspešno smo izvedli sintezo barvila fenoazin in preučili reakcijske pogoje oksidacije in polimerizacije galične kisline.

Površinska modifikacija TiO₂-nanocevk, sintetiziranih na Inštitutu Jožefa Stefana ni tvorila pričakovanih rezultatov, za smo se odločili za komercialno dosegljive titanijeve nanocevk in jih površinsko modificirali in natančno okarakterizirali. Modifikacija je bila uspešna v primeru uporabe galične kisline, kjer smo uspeli povečati fotokatalitično aktivnost z obstojnim površinskim polimeriziranim plaščem galične kisline.

V drugem delu smo izvedli študijo in karakterizacijo encimske vezave novo sintetiziranih nano-delcev na površino dveh modelnih sintetičnih materialov (amorfen polietilen teraftalat (PET) in polietersulfonska (PES) folija) z uporabo »*dip-coating*« metode ter metodo izčrpavanja na laboratorijskem aparatu Turby (Mathis). Mehanizem, kot smo ga predvideli za vezavo karbonskih-TiO₂-nanocevk nismo uspeli potrditi. Potrdili pa smo obstojno vezavo samih fenolnih spojin, kar smo dokazali z meritvami obarvanosti PET in PES po obdelavi ter posledično tudi z zvišanim UV zaščitnim faktorjem.

V tretjem delu smo izvedli študijo sistematičnega analiziranja fotokatalitične aktivnosti modificiranih in nemodificiranih PET in PES ter vpliv pranja na aktivnost. Ugotovili smo, da se je aktivnost zmanjševala s števili pranj, medtem, ko je funkcionalna obarvanost (povečan UV zaščitni faktor), povezana z vezavo fenolnih in polifenolnih skupin na površino PET in PES ostala stabilna. Podali smo tudi ugotovitve študije biorazgradljivosti, ki smo jo izvedli po postopkih standarda SIST EN 12225:2001.

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

V sklopu izvajanja podoktorskega raziskovalnega projekta "Bio in -nano integrirani procesi za ciljno (več)funkcionalno obdelavo sintetičnih materialov" ni prišlo do sprememb programa raziskovalnega projekta.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	19155734	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Povečanje fotokatalitične aktivnosti s površinskim modificiranjem TiO ₂ -MWCNT nanokompozitov ob prisotnosti vidne svetlobe	
	ANG	Enhanced catalytic activity of the surface modified TiO ₂ -MWCNT nanocomposites under visible light	
	SLO	Združitev multi-slojnih ogljikovih nanocevk (MWCNT) s TiO ₂ na nano nivoju omogoča uspešno ločitev elektronov od nastalih vrzeli pri UV in vidni osvetlitvi. V tej študiji smo raziskali hitro sono-kemijsko sintezo v kombinaciji s kalciniranjem za pripravo TiO ₂ -MWCNT kompozitov z različnim molskim razmerjem med titanijem in ogljikom. Za doseg stabilnih nano-disperzij smo izkoristili inovativen biotehnološki pristop, ki temelji na kovalentni funkcionalizaciji TiO ₂ -MWCNT z in-situ sintetiziranimi topnimi fenoksiazin molekulami barvila. Funkcionalizirane in ne-funkcionalizirane TiO ₂ -MWCNT kompozite smo analizirali z vrsto različnih analiznih tehnik kot so XRD, Raman, XPS, SEM in UV-Vis difuzna odbojna spektroskopija (DRS), in dinamično sipanje svetlobe (DLS). Fotokatalitično aktivnost smo določili glede na sposobnost razgradnje metilen modrega barvila v vodni raztopini pod UV in vidnim sevanjem. TiO ₂ -MWCNT z optimalnim molarim razmerjem med titanijem in ogljikom so kazali na povečano fotokatalitično aktivnost v primerjavi z samimi TiO ₂ nano-delci. Novo sintetizirani TiO ₂ -MWCNT kompoziti kažejo na dobro hkratno sposobnost adsorpcije barvil, povečanje oz. razširitev foto-inducirane aktivnosti v vidni del svetlobe in izboljšanje ločevanja elektronov od nastalih vrzeli. Z rezultati smo potrdili kovalentno vezavo fenoksiazin barvila in amino-benzosulfonske kisline na površino TiO ₂ -MWCNT kompozitov, in s tem dosegli odlično disperzibilnost nano-kompozitov v vodi	

			in povečano absorpcijo vidnega dela svetlobe ter povečano fotokatalitično aktivnost.
		ANG	Fusing multiwall carbon nanotubes (MWCNTs) with TiO ₂ at the nano-scale level promotes the separation of the electron-hole charges generated upon UV and day light irradiation. In this study, we investigated facile sonochemical synthesis, combined with calcination process for the preparation of TiO ₂ -MWCNT composites with different mole ratio of titanium and carbon. In order to produce stable nano dispersions, we exploited an innovative biotechnology-based approach for the covalent functionalization of TiO ₂ -MWCNTs with in-situ synthesized soluble phenoxazine dye molecules. The none and functionalized TiO ₂ -MWCNTs composites were analyzed by a range of analytical techniques including XRD, Raman, XPS, SEM and UV-vis diffuse reflectance spectroscopy (DRS), and dynamic light scattering (DLS). The photocatalytic activity was evaluated toward the liquid-phase degradation of methylene blue in aqueous solution under both UV and visible light irradiation. TiO ₂ -MWCNTs with optimized mole ratio exhibit much higher photocatalytic activity and stability than bare TiO ₂ . The as-prepared TiO ₂ -MWCNTs photocatalyst possessed good adsorptivity of dyes, extended light absorption range and efficient charge separation properties simultaneously. The results indicated that the soluble phenoxazine dyes and amino-benzensulfonic acid monomers were covalently grafted on the surface of TiO ₂ -MCNTs, which promoted good aquatic dispersibility and extended light absorption, issuing in increased photocatalytic efficiency.
	Objavljeno v	Academic Press; Journal of colloid and interface science; 2016; Vol. 465; str. 93-105; Impact Factor: 3.368; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.691; WoS: EI; Avtorji / Authors: Božič Mojca, Vivod Vera, Vogrinčič Robert, Ban Irena, Jakša Gregor, Hribernik Silvo, Fakin Darinka, Kokol Vanja	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
	COBISS ID	18155542	Vir: COBISS.SI
2.	Naslov	SLO	Sinergija površinsko modificiranih titanatih nanocevk (TiNT) s fenolnimi kislinami za povečanje foto-katalitične aktivnosti
		ANG	Synergies of phenolic-acids' surface-modified titanate nanotubes (TiNT) for enhanced photo-catalytic activities
	Opis	SLO	Predstavljena je študija adsorpcije dveh kemično podobnih fenolnih kislin na površino Ti-nanocevk (TiNT) z namenom povečanja oz razširitev foto-inducirane aktivnosti v vidni del svetlobe. Kompoziti so bili strukturno analizirani z Raman in X-rentgensko spektroskopijo v kombinaciji z zeta-potencial metodo, medtem ko je za določevanje fotokatalitične aktivnosti in stabilnosti bila uporabljena kapilarna elektroforeza visoke ločljivosti v kombinaciji s ciklično voltametrijjo in spin-lovilec EPR spektroskopijo. Modifikacija s kafeično kislino (KK) je doprinesla k orientiranem in kompaktnem površinskem sloju molekularne KA (1-3 nm), ki je znižal vrzel frekvenčnega pasu iz 2.9 eV za nemodificirane TiNT na 1.55 eV za KK modificirane TiNT. Kljub znižanju vrzeli pa modifikacija ni doprinesla k povečanju nastajanja hidroksilnih radikalov pri nobeni uporabljeni svetlobi (UV in vidna). Medtem pa je galična kislina (GK) polimerizirala na površini TiNT in tvorila stabilno strukturo polimeriziranih GK molekul. Pri tem se je vrzel frekvenčnega pasu znižal na 2.25 eV in povečala se je fotokatalitična aktivnost oz nastajanje hidroksilnih radikalov pri UV in vidni svetlobi. Tretja testirana fenolna kislina hidroksi-benzen kislina (HK) je doprinesla k nestabilnim površinskim slojem vezanim preko enojne vodikove vezi. Študija predstavlja novo strategijo površinske modifikacije TiNT ter uspešno povečanje fotokatalitične aktivnosti.
			The adsorption of chemically similar but differently oxygen reactive

		phenolic-acid derivatives on the Ti-nanotubes (TiNTs) surfaces to increase and/or broaden their photo-induced activity was studied using Raman and X-ray photoelectron spectroscopies combined with zeta-potential analyses. Photo-catalytic activities and stabilities of newly synthesized particles were evaluated by using high-resolution capillary electrophoresis in combination with cyclic voltammetry and spin-trapping EPR spectroscopy. The modification with caffeic acid (CA) resulted in well-oriented and dense but oxygen semi-stable thin layer (1-3 nm) of self-assembled mono-molecular and/or bi-dentate coordinated molecules on the TiNTs' surfaces, which narrowed the band gap from 2.9 eV (for un-modified TiNTs) to 1.55 eV, but however restrict the hydroxyl radicals generation under both UV (320 nm) and VIS (450 nm) source radiations. On the other hand, the gallic acid (GA) resulted in situ polymerized GA layer through bi-dentate binding as highly-oxygen-stabilized surface structure yielding narrower band gap of 2.25 eV and increased hydroxyl radical's generation under both exposure lights. The third tested hydroxybenzoic acid (HA), resulted to an unstable layer bonded thorough single-hydrogen bonding mechanism. This work offers a new modification strategy for stable (oxygen and photo-induction related) and highly visible-light responded TiNTs as photocatalyst.
	Objavljeno v	Academic Press; Journal of colloid and interface science; 2015; Vol. 438; str. 277-290; Impact Factor: 3.368; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.691; WoS: EI; Avtorji / Authors: Jaušovec Darja, Božič Mojca, Kovač Janez, Štrancar Janez, Kokol Vanja
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	18806294	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Novi površinsko modificirani TiO ₂ -MWCNT nanokompoziti za doseg različnih funkcionalnosti
		ANG	New surface engineered TiO ₂ -MWCNT nanocomposites with diverse functionalities
	Opis	SLO	Fotokatalitske reakcije na površini TiO ₂ vključujejo ne samo foto-iniacirane vrzeli in elektrone, ampak tudi oksidativno ali reduktivno generirane reaktivne kisikove spojine (RKS), kot so .OH, O ₂ ⁻ . in H ₂ O ₂ celo v odsotnosti specifičnega obsevanja z UV-svetlobo. Njihovo delovanje še ni povsem razjasnjeno. Ko se RKS adsorbirajo s površine TiO ₂ in difundirajo v plinske ali vodne faze, njihova toksičnost postane vprašljiva. RKS proizveden v presežku lahko povzroči oksidativen stres ali lahko deluje negativno na molekulske imunskega sistema. Primer toksičnega učinka je delovanje TiO ₂ v prahu v prisotnosti sončnega sevanja, ki ga najdemo v sončnih kremah. Da bi omejili prehod RKS s površine TiO ₂ v plinsko fazo, v tem prispevku predstavljamo nove antioksidativno modificirane TiO ₂ -MWCNT nanokomposite, ki imajo sposobnost zadržanja RKS spojin. Tako smo TiO ₂ -MWCNT površinsko funkcionalizirali s galično kislino in pri tem uporabili encim lakazo kot katalizator. Strukturne lastnosti in uspešnost funkcionalizacije smo analizirali s pomočjo XRD, infrardeče in UV-Vis difuzno odbojne spektroskopije. Za določanje antioksidativne aktivnosti smo uporabili 2,2 azino-bis (3-etilbenzotiazoline-6-sul-fonično kislino), medtem, ko smo za določitev fotokatalitične aktivnosti uporabili metilen modro barvilo v vodni raztopini enkrat ob prisotnosti UV in drugič vidne svetlobe.
			Photocatalytic reactions on the surface of TiO ₂ involve not only photo-

		ANG	excited holes and electrons, but also oxidatively or reductively generated reactive oxygen species (ROS) such as OH, O ₂ ·- and H ₂ O ₂ even in the absence of specific irradiation with UV light. Their behaviour has not yet been fully understood. When ROS desorbs from the TiO ₂ surface and diffuse into the gas or aqueous phase, their toxicity is questionable. ROS may cause, if produced in excess, oxidative stress or may act as signalling molecules for the immune system. One example is TiO ₂ powder used in sunscreen formulations, where free radicals generated under sunlight irradiation are responsible for toxic effects. In order to limit the transportation of ROS from the TiO ₂ surfaces into the gas phase, in this contribution we present new photoactive TiO ₂ -MWCNT nanocomposites with antioxidant modified surfaces, which can capture ROS species. The TiO ₂ -MWCNT nanocomposites were surface functionalized by using laccase as catalyst to attaching gallic acid polymerized molecules on the nanocomposite surface. Structure and surface functionalization was investigated by X-ray, infrared and UV-vis diffuse reflectance spectroscopy analysis. The antioxidant activity was analyzed using 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphononic acid) and photocatalytic activity toward the liquidphase degradation of methylene blue in aqueous solution under both UV and visible light irradiation.
	Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	IOS - Inštitut za okoljevarstvo in senzorje; Book of abstracts; 2015; str. [85]; Avtorji / Authors: Božič Mojca, Ban Irena, Fakin Darinka, Stana-Kleinschek Karin	
	Tipologija	1.12	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
2.	COBISS ID	18545430	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Fotokatalitična aktivnost novo sintetiziranih TiO ₂ -karbonskih nanocevk, funkcionaliziranih z aromatskimi polimeri
		ANG	New enzymatic approach for surface modification of TiO ₂ -multiwall carbon nanotube composites, and their enhanced photocatalytic activity
	Opis	SLO	Titanijev dioksid (TiO ₂) je zaradi svoje visoke fotokatalitične aktivnosti, netoksičnosti, cenenosti in fotokemične stabilnosti eden izmed najbolj raziskanih fotokatalizatorji. Njegovo praktično uporabo močno omejuje nizki kvantni izkoristek, ki je posledica hitre rekombinacije foto generiranih verzel-elektronskih parov in omejen odziv na vidni del svetlobe. Po drugi strani pa večslojne karbonske nanocevk (MWCN) predstavljajo ustrezno predlogo za izboljšanje fotokatalitične aktivnosti materialov. Kombinacija TiO ₂ in MWCNT omogoča potencialno povečanje aktivnih mest, pri čemer posledično povečamo fotokatalitično aktivnost. V tej študiji smo se osredotočili na sono-kemično metodo, v kombinaciji s procesom kalciniranja za pripravo TiO ₂ -karbonskih nanocevk z različnimi molskimi razmerji med titanijem in ogljikom. Sintetizirane TiO ₂ -karbonske nanocevk imajo ogromno površino, ki je vzrok za visoko aglomeracijo nanodelcev. Za zmanjšanje aglomeracije smo sintetizirane TiO ₂ -karbonske nanocevk naknadno funkcionalizirali z na mestu encimsko sintetiziranimi topnimi aromatskimi polimeri. Encimski postopek temelji na neposrednem napadu sp ² ogljikovega atoma na površini MWCNT preko prostih radikalov, kar omogoča določeno kontrolo funkcionalizacije brez uničenja originalne MWCNT strukture. Kontrolne MWCNT in funkcionalizirane TiO ₂ -karbonske nanocevk smo okarakterizirali z vrsto različnih analizičnih metod, vključno z Raman, ultravijolično-vidno (UV-vis) in X-Ray fotoelektronsko (XPS) spektroskopijo, vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM) in termo-gravimetrično kot tudi z diferencialno analizo kalorimetrijo (TGA-DSC). Fotokatalitsko aktivnost smo ovrednotili z razgradnjo metilen modrega barvila v raztopini ob prisotnosti sevanja UV in vidnega dela svetlobe. Rezultati potrjujejo uspešno kovalentno vezavo topnih aromatskih

		polimerov na površino MWCNT in tako zmanjšanje njihove agregacije.
	ANG	Among various semiconductors, titanium dioxide (TiO₂) is the most studied photocatalysts because of its high photocatalytic activity, non-toxicity, low cost and photochemical stability in the reaction conditions. However, the low quantum efficiency, owing to the fast recombination of photo generated hole-electron pairs and limited response to sunlight irradiation because of wide band-gap of TiO₂ greatly limited its practical application. On the other hand, multiwalled carbon nanotubes (MCNTs) present an appropriate template for materials with field-emission displays and photocatalytic properties. Thus, a combination of TiO₂ and MCNTs could potentially create many active sites yielding increased photocatalytic activity. In this work, we focused on the sonochemical, combined with calcination process for the preparation of TiO₂-carbon nanotube composites with different mole ratio of titanium and carbon. Synthesised TiO₂-carbon nanotubes exhibit an enormous surface area, which is responsible for the high agglomeration tendency. Therefore, we post functionalized TiO₂-carbon nanotubes with enzymatic in situ synthesized soluble aromatic polymers. This enzymatic procedure is based on the direct attack of the sp² carbon on the MCNT surface through a free radical process, allowing having a certain control of the yield of functionalization without destroying the MCNTs original structure. The bare MCNTs and the functionalized TiO₂-carbon nanotube composites were characterized by a range of analytical techniques including Raman, ultraviolet-visible (UV-vis) and X-Ray photoelectron (XPS) spectroscopies, scanning electron microscopy (SEM) and thermogravimetric and differential scanning calorimetry analysis (TGA-DSC). The photocatalytic activity was evaluated toward the degradation of methylene blue in aqueous solution under both UV and visible light irradiation. The results indicated that the soluble aromatic polymers were grafted covalently on the surface of MCNTs successfully, and the functionalized TiO₂-carbon nanotube composites exhibit higher aquatic solubility.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	Elsevier; Fourth International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials (Hybrid Materials 2015) Sitges (near Barcelona), Spain, 9 - 13 March 2015; 2015; Str. [15]; Avtorji / Authors: Božič Mojca, Vivod Vera, Vogrinčič Robert, Majerič Martina, Kokol Vanja
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
3.	COBISS ID	18791702 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Površinska modifikacija TiO ₂ -multislojnih ogljikovih nanocevk kompozitov za povečanje fotokatalitske aktivnosti
		ANG Surface engineering of TiO ₂ -multiwall carbon nanotube composites to increase the photocatalytic activity
	Opis	SLO Združitev multi-slojnih ogljikovih nanocevk (MWCNT) s TiO ₂ na nano nivoju omogoča uspešno ločitev elektronov od nastalih vrzeli pri UV in vidni osvetlitvi. V tej študiji smo raziskali hitro sono-kemijsko sintezo v kombinaciji s kalciniranjem za pripravo TiO ₂ -MWCNT kompozitov z različnim molskim razmerjem med titanijem in ogljikom. Za doseg stabilnih nano-disperzij smo izkoristili inovativen biotehnološki pristop, ki temelji na kovalentni funkcionalizaciji TiO ₂ -MWCNT z in-situ sintetiziranimi topnimi fenoksiazin molekulami barvila. Novo sintetizirani TiO ₂ -MWCNT kompoziti kažejo na dobro hkratno sposobnost adsorpcije barvil, povečanje oz. razširitev foto-inducirane aktivnosti v vidni del svetlobe in izboljšanje ločevanja elektronov od nastalih vrzeli. Z rezultati smo potrdili kovalentno vezavo fenoksiazin barvila in amino-benzosulfonske kisline na površino TiO ₂ -MWCNT kompozitov, in s tem dosegli odlično disperzibilnost nano-kompozitov v vodi in povečano absorpcijo vidnega dela svetlobe ter

		povečano fotokatalitično aktivnost.
	ANG	Fusing multiwall carbon nanotubes (MWCNTs) with TiO ₂ at the nano-scale level promotes the separation of the electron-hole charges generated upon UV and day light irradiation. In this study, we investigated facile sonochemical synthesis, combined with calcination process for the preparation of TiO ₂ -MWCNT composites with different mole ratio of titanium and carbon. In order to produce stable nano dispersions, we exploited an innovative biotechnology-based approach for the covalent functionalization of TiO ₂ -MWCNTs with in-situ synthesized soluble phenoxazine dye molecules. The as-prepared TiO ₂ -MWCNTs photocatalyst possessed good adsorptivity of dyes, extended light absorption range and efficient charge separation properties simultaneously. The results indicated that the soluble phenoxazine dyes and amino-benzensulfonic acid monomers were covalently grafted on the surface of TiO ₂ -MCNTs, which promoted good aquatic dispersibility and extended light absorption, issuing in increased photocatalytic efficiency.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	s. n.; SMT 29 conference, June 10th-12th 2015, Technical University of Denmark, Kgs Lyngby; 2015; Str. 61; Avtorji / Authors: Božič Mojca, Vivod Vera, Vogrinčič Robert, Ban Irena, Jakša Gregor, Fakin Darinka, Kokol Vanja
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
4.	COBISS ID	17828630 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Površinska funkcionalizacija titanatnih nanocevk z različnimi fenolnimi kislinami in njihova fotokatalitična aktivnost
	ANG	Surface functionalization of titanate nanotubes with different phenolic acids and their poto-catalytic activity
	Opis	SLO V prispevku smo predstavili razvoj in optimizacijo funkcionalizacije TiO ₂ hibridov, ki temelji na združenem pristopu obeh, oblikovanja TiO ₂ nanodelcev in raziskovanja TiO ₂ -površinskih interakcij z organskimi fenolnimi kislinami. Z novimi dognanji o lastnostih, modifikaciji in permanentnem nanosu anorganskih nano delcev kot so TiO ₂ in njegovi hibridi z različnimi organskimi fenolnimi spojinami, smo prispevali k obogatitvi temeljnega znanja (korelacija med reaktivnostjo, strukturo in površinskimi lastnostmi) kakor tudi uporabnega znanja (uvajanje novih stabilnih struktur in preskusnih metod ter razvoj novih tehnologij) s tega področja; ter k razvoju novih nano materialov z multifunkcionalnimi lastnostmi.
	ANG	In the contribution we have presented the development and the optimization of the designing the TiO ₂ hybrids based on combinatorial approaches to both TiO ₂ structure design and the exploration of TiO ₂ surface interactions with organic phenolic acids. New findings about the properties, modification and permanent application of inorganic nano-particles such as TiO ₂ and its hybrids with various organic phenolic compounds have enormous contribution to the enrichments of fundamental knowledge (correlation between reactivity, structure and surface properties) as well as applicable knowledge (introduction of new stable structures and testing methods, and development of new technologies) from this area; and to the development of new nano materials with multi-functional properties.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	2014; Avtorji / Authors: Jaušovec Darja, Božič Mojca, Kovač Janez, Štrancar Janez, Kokol Vanja
	Tipologija	3.15 Prispevek na konferenci brez natisa

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²**9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸****9.1. Pomen za razvoj znanosti²**

SLO

Znanstvena relevantnost projekta se najboljšje odraža v rezultatih:

- (i) Pojasnili smo strukturno odvisnost različnih fenolov, uporabljenih kot substrati pri lakazni katalizirani oksidaciji, na sintezo novih funkcionalnih obarvanih spojin. Z obsežnimi raziskavami, ki smo jih opravili v okviru tega projekta, smo pojasnili odvisnost encimskih reakcijskih pogojev na strukturno različne fenolne derivate (t.j. nastanek radikalnega kationa, izločitev vodika, stabilizacija fenolnega radikala itd). Poleg tega smo pojasnili kvantitativno-strukturno odvisnost težnje med vezavo ali medsebojno polimerizacijo različnih fenolnih struktur.
- (ii) Kombinacija različnih visoko razvitih eksperimentalnih tehnik (ATR-FTIR, Raman, XPS, SEM in EPR) je v prvi fazi omogočila določitev kemije na površini karbonskih-TiO₂-nanocevk ter v drugi fazi kemijo med modificiranimi nanocevkami in aromatskimi sintetičnimi materiali. To je pripomoglo pridobiti poglobljeno znanje o oblikovanju, strukturi, reaktivnosti in funkcionalnosti ter razumevanju njihovih medsebojnih razmerij.
- (iii) Nova spoznanja na področju sintetičnih polimerov, kot so procesi aktivacije in ciljne funkcionalizacije polimernih površin, karakterizacija in optimizacija funkcionalnih lastnosti in predlagana metodologija še bodo objavljena v mednarodnih znanstvenih revijah s faktorjem vpliva SCI. S tem bomo obogatili in nagradili obstoječa znanja na številnih znanstvenih področjih (npr. znanosti vlaken in materialov, znanosti fotokatalize, znanosti o polimerni kemiji in biofiziki ter znanosti nanotehnologije in biotehnologije). Da bi nova spoznanja bila dostopna tudi domačim strokovnjakom, bodo izbrani članki predstavljeni tudi v nacionalni znanstveni in strokovni publicistiki ter na strokovnih konferencah. Tako bomo omogočili razpravo in izmenjavo idej tudi znotraj slovenske znanstvene skupnosti.

ANG

The scientific relevance of the project is reflected in the results:

- (i) Explained is structure-effect relationships of various natural phenols used as laccase and/or tyrosinase substrate in the synthesis of new functional colored compounds. Extensive research, performed in this project, is revealing dependence of enzyme-catalysed environment on the structure different phenol derivatives reactions i.e. radical cation formation, hydrogen abstraction, stabilisation of phenoxy radicals, etc. In addition, a quantitative structure-effect relation between grafting and polymerisation tendencies of different phenolic structures is established.
- (ii) The combination of different sophisticated experimental techniques (ATR-FTIR, Raman, XPS, SEM and EPR) was firstly lead to the fundamental knowledge of the chemistry occurring at surfaces and interfaces of carbon-TiO₂-nanotubes and secondly between modified nanotubes and aromatic synthetic materials. This allowed to gain advanced knowledge for modelling/predicting of the structure/composition reactivity/surface properties relationships of the materials, by means of characterization of the bulk and surface properties under real operation conditions and for preparing materials with tenable properties.
- (iii) All new discoveries on the synthetic polymers composition, the processes of target multi-functionalisation of polymers surfaces, characterisation and optimisation of multi-functional properties and relevant advance in the methodology proposed will considerably contribute to the development of science and/or several scientific fields (e.g. fibre and material science, photocatalytic science, chemistry of polymers, biophysics of polymers, nanotechnology and biotechnology) by results being published in international high-level scientific literature. In order to reach parts of Slovene audience that does not have the access to this literature, selected articles will be featured in national scientific and professional press, and professional conferences, which will fruitfully enhance the discussion and exchange of ideas within the scientific community, an unavoidable pre-condition for successful development of science.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Sinteza protimikrobno visoko učinkovitih modificiranih ogljikovih-TiO₂-nanocerk in razvoj okolju prijaznih funkcionalizacijskih procesov za številne aromatske polimere, ki omogočajo enostopenjsko kontinuirano sintezo in vezavo ter s tem serijsko proizvodnjo protimikrobnih sintetičnih površin, bo vodilo k pridobitvi tehnološkega znanja in možnostim za prijavo patentov. Širitev znanja in morebitna uporaba patenta za stroškovno učinkovito proizvodnjo protimikrobnih sintetičnih materialov bo omogočila večjo konkurenčnost slovenskih in evropskih proizvajalcev.

Pridobljeno znanje in izkušnje bomo lahko neposredno uporabili v različnih slovenskih tekstilnih in avtomobilskih podjetjih, kot so npr. Juteks, eno izmed pomembnejših slovenskih proizvajalcev talnih oblog ali Johnson Controls NTU, proizvajalec avtomobilskih in pohištvenih izdelkov.

Juteksove talne obloge so izdelane v skladu z najsodobnejšo tehnologijo iz kakovostnih kompozitnih materialov (npr. s poliuretanskim površinskim slojem). V njihovo ponudbo so vključene tudi protimikrobne talne obloge. Trenutno podjetje uporablja Vanquish SL10 kot protimikrobni aditiv. Zaradi visoke cene (15€/kg) in okoljskih omejitev (Vanquish SL10 je razvrščen med Xn – zdravju škodljivo in N – nevarno za okolje), v Juteksu iščejo nove rešitve za pridobitev protimikrobnih lastnosti materialov.

Doseganje protimikrobnega učinka z uporabo bio-nano titanijevih spojin obeta izpolnitev pričakovanj kot so kompatibilni stroški, brez vonja, širok spekter aktivnosti, brez prisotnosti arzena, kompatibilnost s poliuretanom ter možnosti neposredne aplikacije na površini poliuretanskih talnih oblog.

Projekt bo doprinesel k povečanju palete izdelkov, razširitvi trgov, novih delovnih mest in k preobratu malih in srednje velikih podjetij z razvojem novih bio-nano apretirnih tehnologij in novih funkcionalnih materialov s široko možnostjo aplikacij v tekstilu izven tradicionalne uporabe, avtomobilstvu, pohištvu, zaščite itd.

ANG

Synthesis of antimicrobial highly effective modified carbon-TiO₂-nanotubes and development of ecological friendly functionalization processes of various aromatic polymers, allowing one-step continuous synthesis and grafting process and thus mass production of antimicrobial synthetic surfaces will lead to the new technological knowledge and open up the potential for patent application. Spreading of knowledge and the eventual use of the patent for the cost effective production of antimicrobial synthetic materials will allow Slovenian and European manufacturers to maintain competitiveness.

Knowledge and experience gained will offer direct application in the different Slovenian textile and automotive companies e.g. Juteks as one of the main Slovenian floor coverings producer or Johnson Controls NTU as manufacture of automotive and furniture products.

Juteks floor coverings are made of high-quality raw composite materials (e.g. polyurethane surface coated) in accordance with the most advanced technology. Their production line offers also an antimicrobial type of floor coverings. At the moment company is using Vanquish SL10 as antimicrobial additive. Due to its high price (15€/kg) and environmental issue's (classified as Xn – Harmful and N – Dangerous for the environment) Juteks is looking for a new antimicrobial material. Achieving antimicrobial effect with bio-nanoscale titanium compounds holds great promise to fulfil the following expectations: compatible price, low odour, broad-spectrum activity, non-arsenic based, compatible with polyurethane and possibility of direct application on polyurethane floor covering surface.

The project could thus lead to increased product range, expanded markets, new jobs and turnover of small and medium-sized enterprises through the development of novel bionanofinishing technologies and new functional materials with broad range of applications in home textile, automotive, furniture, protective, etc.

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 2015¹²**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 Mariboru, Fakulteta za
strojništvo

Mojca Božič

ŽIG

Datum: 17.3.2016

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/6

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.rrs.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 2015 (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.rrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.rrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2016 v1.00
85-F8-B7-3A-52-F7-60-7D-3A-2A-A2-9B-DE-7C-9E-80-67-EA-B1-F2