

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/129



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	L1-4067
<b>Naslov projekta</b>	Obvladovanje mikrobne adhezije na kontaktnih površinah
<b>Vodja projekta</b>	15647 Klemen Bohinc
<b>Tip projekta</b>	L Aplikativni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	8430
<b>Cenovni razred</b>	B
<b>Trajanje projekta</b>	07.2011 - 06.2014
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	382 Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	106 Institut "Jožef Stefan" 406 Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta 481 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta 2608 ISKRA PIO proizvodnja industrijske opreme, Šentjernej d.o.o.
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	1 NARAVOSLOVJE 1.02 Fizika 1.02.07 Biofizika
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	07. Zdravje
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	1 Naravoslovne vede 1.03 Fizika

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

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

SLO

V projektu "Obvladovanje mikrobne adhezije na kontaktnih površinah" smo raziskali vpliv hrapavosti in hidrofobnosti kontaktnih površin na stopnjo adhezije mikrobnih delcev in posledično tvorbe biofilmov.

V prvem delovnem sklopu smo pripravili površine z različnimi karakteristikami. Karakteristike

površin so bile izbrane glede na uporabnost v procesni, živilski in farmacevtski industriji. S pomočjo mikroskopa na atomsko silo in profilometra smo izmerili parametre, ki določajo hrapavost površin. Za omenjene površine smo izmerili tudi mejni kot omočenja površine, ki nam pove stopnjo hidrofobnosti površine. Rezultati potrjujejo, da imajo površine z večjo hrapavostjo manjši mejni kot. S pomočjo teh meritev izberemo površino, ki ima najmanjšo hrapavost. Bolj hrapave površine v večini primerov povečajo stopnjo adhezije mikroorganizmov.

V drugem delovnem sklopu smo okarakterizirali mikroorganizme z določitvijo njihovih fizikalno kemijskih površinskih lastnosti kot sta hidrofobnost in sposobnost za oddajanje/sprejemanje elektronov ter korelacija z njihovim potencialom za adhezijo. Za določanje hidrofobnosti celične površine smo optimizirali metodo bakterijska adhezija na ogljikovodike. Izmerjeni zeta potencial mikroorganizmov ni potrdil korelacije z adhezivnosti. Dva mikrobna seva smo vključili v nadaljnje eksperimente glede na najboljše adhezijske lastnosti.

V tretjem delovnem sklopu smo izbrali kvantitativne metode, ki so najprimernejše za ugotavljanje mikrobne adhezije na izbranih materialih. Izbrali in dodelali smo metodo temelječo na obarvanju mikroorganizmov s kristal vijoličnim. Barvilo smo iz celic ekstrahirali z etanolom in izmerili optično gostoto barvila s spektrofotometrom. Za določitev površinske topografije in distribucijo mikroorganizmov na površini smo uporabili vrstični elektronski mikroskop.

V četrtem delovnem sklopu smo opredelili optimalne pogoje za gojenje testnih mikroorganizmov pri preučevanju njihove zmožnosti pritrjevanja na površine. Raziskali smo vpliv koncentracije glukoze in temperature na samo adhezijo. Ugotovili smo, da se *E. coli* in *P. aeruginosa* in *L. monocytogenes* najbolje pritrjujejo na kovinske površine v gojišču brez glukoze, medtem ko se *S. aureus* najintenzivnejše oprijemlje pri 5 % koncentraciji glukoze v gojišču. Pokazali smo, da je optimalna temperatura v vseh primerih 37 °C. V okviru delovnega sklopa smo razvili pretočno komoro, s katero smo preučevali vpliv toka tekočine na adhezijo in pokazali, da adherirane bakterije najbolje odstranjuje turbulenten tok tekočine.

Peti delovni sklop smo usmerili v obvladovanje mikrobne adhezije in tvorbe biofilma na jeklenih površinah. Preučili smo fizikalne, kemijske in biološke načine nadzora prisotnosti mikroorganizmov na teh površinah in njihove živosti s tetrazolijevimi barvili in reagentoma resazurin in BacTiter GLo. Pokazali smo da lahko preprečimo adhezijo mikroorganizmov, zmanjšamo število mikrobnih kontaminentov in odstranimo nastali biofilm preučevanih mikrobnih sevov na kontaktnih površinah izbranih materialov.

ANG

In the project "Microbial adhesion management on material surfaces" we investigated the influence of surface roughness and hydrophobicity on the degree of microbial adhesion and the subsequent formation of biofilm.

In the first work package we prepared the surfaces with different characteristics. They have been chosen regarding the usage in process, food and pharma industry. The atomic force microscopy and profilometry were used to measure the surface roughness. The contact angle was measured (the surface hydrophobicity). The surfaces with higher roughness have smaller contact angles. Using these parameters we have chosen the surfaces with the lowest roughness, which decreases the bacterial adhesion.

In the second work package we characterized microorganisms by determining their physico-chemical surface properties like hydrophobicity and ability to donate/accept electrons. These parameters were correlated with the bacterial potential for adhesion. To determine cell surface hydrophobicity we optimize the method of bacterial adherence to hydrocarbons. The measured zeta potential of bacteria did not show any correlation with bacterial adhesion rate to material surface. Finally two bacterial strains with the highest adhesion abilities were selected for further experiments.

In the third work package we selected quantitative methods that are most suitable for the detection of microbial adhesion to material surfaces. We selected and improved the method based on crystal violet staining. From the bacterial cells the dye was extracted with the ethanol and the

corresponding optical density of crystal violet was measured using spectrophotometry. The scanning electron microscopy was used to measure the surface topography and the distribution of the adhered bacteria on the surface.

In the fourth work package we selected conditions for optimal cultivation of tested microorganisms resulting in their capacity to adhere to material surfaces. We considered the influence of glucose concentration and the temperature on the bacterial adhesion. It was found that *E. coli* in *P. aeruginosa* in *L. monocytogenes* give the maximal adhesion rate in the medium without glucose. We showed that the optimal temperature for the bacterial adhesion is at 37 °C. In order to study the influence of liquid flow the fluid chamber was constructed and developed. We showed that the maximal bacterial detachment is obtained with turbulent shower fluid flow.

The fifth work package was related to microbial adhesion management and the corresponding biofilm formation on the material surfaces. We considered the physical, chemical and biological approaches for prevention of microbial adhesion and viability with tetrazolium salts, and reagents resazurin and BacTiter GLo. We showed that we can prevent the bacterial adhesion, decrease the number of microbial contaminants and remove the formed biofilm of considered microorganisms on the contact material surfaces.

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

Cilj projekta je bil raziskati vpliv hrapavosti in hidrofobnosti kontaktnih površin na stopnjo adhezije mikrobnih delcev in posledično tvorbe biofilmov.

#### **WP I – PRIPRAVA IN KARAKTERIZACIJA POVRŠIN**

Namen je bil priprava površin z različnimi karakteristikami in njihova karakterizacija. Karakteristike površin so bile izbrane glede na uporabnost v procesni, živilski in farmacevtski industriji.

##### T I/1. PRIPRAVA NERJAVNIH JEKEL

V Iskri Pio so pripravili vzorce nerjavnih jekel AISI 304 in 316TI. Hrapavost površin smo spreminjali z 3D poliranjem, krtačenjem, brušenjem in elektropoliranjem. Pri 3D poliranju površino obdelamo z laserskim žarkom. Pri postopku krtačenja pride do enosmernega satiranja površine. Brušenje spada med postopek odrezovanja, pri katerem ima brus veliko število neenakomerno porazdeljenih brusnih zrn nepravilne geometrijske oblike. Elektropoliranje je elektrokemijski proces poliranja, pri katerem kovino potopimo v temperaturno kontrolirano elektrolitsko kopel in s pomočjo enosmernega električnega toka s površine odstranimo mikroskopske delce.

##### T I/2. KARAKTERIZACIJA POVRŠIN

Za omenjene površine je bila narejena kvantitativna karakterizacija površin s pomočjo mikroskopije na atomsko silo (AFM) in profilometrije na drsečo iglo. AFM smo uporabili v mešanem načinu delovanja (ang. tapping mode). Reprezentativne rezultate smo dobili z izbiro petih naključnih mest na preiskovani površini. Na vsakem mestu je bilo izmerjeno področje v velikosti 25 x 25 mikrometrov. Določili smo hrapavost, morfologijo in teksturiranost površin. Rezultati meritev hrapavosti (tabela 1) kažejo, da ima poliran material najmanjšo hrapavost (25 nm), največjo hrapavost ima brušen material (986 nm). V primeru brušenega materiala je hrapavost tako velika, da smo namesto AFM morali uporabiti profilometer na drsečo iglo. Za omenjene površine smo izmerili tudi mejni kot omočenja površine (tabela 1). Iz tega podatka lahko sklepamo na stopnjo hidrofobnosti površine. Rezultati potrjujejo, da imajo površine z večjo hrapavostjo manjši mejni kot.

Tabela 1. Hrapavosti in mejni koti različno obdelanih nerjavnih jekel.

MATERIAL	HRAPAVOST[nm]	MEJNI KOT[°]
3C	160,88	72,50
3D poliran	25,20	91,00
Krtačen	71,90	69,00
Brušen	986,00	74,00
Elektropoliran	369,00	87,43

S pomočjo AFM in profilometra smo izmerili parametre, ki določajo hrapavost površin. Bolj hrapave površine v večini primerov povečajo stopnjo adhezije mikroorganizmov. S pomočjo teh meritev izberemo površino, ki ima najmanjšo hrapavost.

## WP II – PRIPRAVA IN KARAKTERIZACIJA MIKROORGANIZMOV

Namen je bila karakterizacija mikroorganizmov z določitvijo njihovih fizikalno kemijskih površinskih lastnosti (hidrofobnost in sposobnost za oddajanje/sprejemanje elektronov) ter korelacija z njihovim potencialom za adhezijo.

### T II/1. DOLOČITEV HIDROFOBNOСТИ MIKROBNE CELIČNE POVRŠINE IN SPOSOBNOSTI ZA ODDAJANJE/PREJEMANJE ELEKTRONOV

Hidrofobnost celične površine smo določili z optimizirano metodo BATH (bakterijska adhezija na ogljikovodike) na petdesetih izbranih sevih bakterij *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, pri kvasovkah *Saccharomyces cerevisiae* in plesnih *Penicillium* in *Aspergillus*. Hidrofobnost večine testiranih bakterij je bila nizka (< 30 %), izjema so sevi *S. aureus* ŽMJ72, *B. cereus* ŽMJ116 in *P. aeruginosa* ŽMJ87. Spore plesni imajo visoko hidrofobnost (65 - 95%). Rezultati so bili osnova za izbor sevov za T II/ 2.

### T II/2. MIKROBNI POTENCIAL ZA ADHEZIJO NA POVRŠINO NERJAVEČEGA JEKLA

Za določitev stopnje adhezije sevov (22 izbranih) na polistirenskih površinah smo izbrali metodi merjenje absorpcije barvila KV (kristal violet) in merjenje absorpcije kromogenega barvila XTT. Na polistirenskih površinah je metoda KV pokazala, da je bila stopnja adhezije večja pri gramnegativnih bakterijah ( $p < 0,05$ ). Čeprav so največjo stopnjo adhezije imeli *S. aureus* ŽMJ72, *B. cereus* ŽMJ116 in *P. aeruginosa* ŽMJ87 za katere smo v T II/1 določili, da so najbolj hidrofobni, korelacije med hidrofobnostjo in stopnjo adhezije nismo dokazali ( $r^2 = 19,3$ ). Na jeklenih diskih premera 5mm smo z KV določili stopnjo adhezije bakterijskih sevov (tabela 2) in pokazali, da je adhezija odvisna od vrste bakterij in površine. *L. monocytogenes* ŽM520 je pokazal največjo adhezivnost na 3C in brušene površine. *S. aureus* ŽMJ72 se je najslabše adheriral na 3C površine, *P. aeruginosa* ŽMJ87 pa se je najslabše adheriral na brušeno površino.

Tabela 2: Stopnja adhezije bakterij  $\Delta A$  na jeklenih površinah AISI 304

MATERIAL	$\Delta A(P. aeruginosa \text{ ŽMJ87})$	$\Delta A(S. aureus \text{ ŽMJ72})$
3C	0,2551	0,1264
3D poliran	0,2937	0,3515
Krtačen	0,4175	0,2606
Brušen	0,1703	0,3208
Elektropoliran	0,4272	0,3262

Glede na najboljše adhezijske lastnosti smo izbrali *P. aeruginosa* in *S. aureus* za nadaljnje eksperimente.

**WP III – IZBIRA IN OPTIMIZACIJA METODE**

Namen tretjega delovnega sklopa je bil izbrati kvantitativne metode, ki so najprimernejše za ugotavljanje mikrobne adhezije na izbranih materialnih površinah.

**T III /1. ŠTEVNE METODE**

Izdelan je bil postopek kvantitativnega določanja mikrobne adhezije na kovinskih površinah z merjenje absorbanca kristal vijoličnega barvila adheriranih bakterij. Ugotovljeno je bilo, da je največja stopnja adhezije na brušenih ploščicah in elektropoliranih ploščicah, medtem ko je bila najnižja adhezija na 3D poliranih ploščicah (tabela 3).

Tabela 3 Stopnja adhezije bakterij  $\Delta A$  na jeklenih površinah AISI 304

MATERIAL	$\Delta A$ ( <i>E.coli</i> ATCC 35218)
3C	0,8
3D poliran	0,4
Krtačen	0,7
Brušen	1,3
Elektropoliran	1,1

V naslednjem koraku je bila analizirana potencialna uporaba ultrazvočne kopeli za odstranjevanje adheriranih mikroorganizmov. Ugotovljeno je bilo, da z ultrazvočno kopeljo lahko odstranimo večino mikrobne populacije, vendar nekaj celic še vedno ostane adheriranih na materialu (5%). Preskus ultrazvočne kopeli je tudi pokazal, da podaljševanje časa izpostavljenosti ploščic ni primerna, saj se temperatura vode segreje nad 50 °C.

**T III /2. SEM METODE**

Površinsko topografijo in distribucijo mikroorganizmov na površini smo določili z vrstičnim elektronskim mikroskopom. Rezultati so pokazali, da se bakterijske celice na začetku adherirajo v defektih in topografskih nepravilnosti materiala, kasneje se adherirajo na ravne dele površine.

**WP IV – PRITRJEVANJE MIKROORGANIZMOV NA POVRŠINE IN STABILNOST BIOFILMOV**

Namen je bil opredeliti optimalne pogoje za gojenje testnih mikroorganizmov pri preučevanju njihove zmožnosti pritrjevanja na površine.

**T IV / 1. POGOJI GOJITVE MIKROORGANIZMOV PRI UGOTAVLJANJU NJIHOVE SPOSOBNOSTI ADHEZIJE NA POVRŠINE**

Raziskali smo vpliv koncentracije glukoze na samo adhezijo bakterij na jeklene površine. Ugotovili smo, da se *E. coli*, *P. aeruginosa* in zlasti *L. monocytogenes* najboljše pritrjujejo na jeklene površine v gojišču brez glukoze, medtem ko se *S. aureus* najintenzivnejše oprijemlje pri 5 % koncentraciji glukoze v gojišču (tabela 4). Ugotovili smo, da je pri vseh vrstah preskušanih bakterijskih sevov optimalna temperatura za adhezijo 37 °C, ki smo jo uporabili kot referenčno za primerjavo intenzitete pritrjevanja pri ostalih inkubacijskih temperaturah. Pri temperaturi 22 °C je bila intenziteta pritrjevanja na različno hrapave ploščice manj intenzivna, razen pri *P. aeruginosa*. Pri 8 °C so se sicer bakterije razmnoževale, a se niso pritrjevale na nobeno od jeklenih površin niti po podaljšanem času inkubacije 10 dni. Pri 65 °C bakterijske celice niso preživele.

Tabela 4. Stopnja adhezije bakterij OD<sub>620</sub> (koncentracija KV) pri 37 °C po 48 urah. V oklepaju je naveden standardni odklon.

Bakterija	0%	1%	5%
<i>E. coli</i> ATCC 35218	0,330 (0,129)	0,192 (0,057)	0,376 (0,149)

<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	0,534 (0,194)	0,286 (0,114)	0,172 (0,072)
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	0,107 (0,031)	0,058 (0,029)	0,392 (0,130)
<i>L. monocytogenes</i> ŽM58	1,118 (0,12)	0,823 (0,132)	0,518 (0,131)

#### T IV/2. IZBIRA PARAMETROV, KI BODO OMOGOČILI TVORBO BIOFILMOV IN STRUKTUR, PODONIH BIOFILMOM

Poiskali smo optimalne pogoje, ki bodo omogočili tvorbo biofilmov in struktur, podobnih biofilmom. Mikroorganizme smo izpostavili različnim okoljskim in biološkim pogojem. V okviru delovnega sklopa smo razvili pretočno komoro, s katero smo preučevali vpliv laminarnega in turbulentnega toka tekočine ter vpliv temperature na adhezijo. Pokazali smo, da pritrjene bakterije najbolje odstranjuje turbulenten tok tekočine (tuš). Višja temperatura poveča delež odstranjenih bakterij. Na samo odstranjevanje vpliva tudi hrapavost površine

#### WP V – NADZOR (PREPREČEVANJE) MIKROBNE ADHEZIJE IN NASTAJANJE BIOFILMOV

Raziskave so bile usmerjene v obvladovanje mikrobne adhezije in tvorbe biofilma s sledečimi cilji: (T V/1) Preučiti uporabnost izbranih postopkov za preprečevanje mikrobne adhezije na kontaktnih površinah izbranih in ustrezno površinsko obdelanih materialov; (T V/2) Ugotoviti zanesljivost mikrobne dekontaminacije površin glede na tvorjenje oblik VBNC in njihovo odpornost; in (T V/3) Ugotoviti uporabnost kombiniranih postopkov mikrobne dekontaminacije kontaktnih površin izbranih materialov.

Raziskali smo fizikalne, kemijske in biološke načine nadzora prisotnosti mikroorganizmov na površinah, s katerimi smo omejili ali preprečili adhezijo in filmotvornost in/ali odstranili bakterijski biofilm. Kot dopolnilo metodi kvantifikacije adherirane biomase oz. biofilma z barvilom kristal violet (optimizirana v WPII) smo vpeljali metode ugotavljanja kultivabilnosti ter živosti adheriranih / biofilmskih celic z tetrazolijevimi barvili (INT, MTT, XTT), reagentoma resazurin in BacTiter GLo ter spremljali strukturo biofilmov z izbiro specifičnih fluorescenčnih barvanj ob uporabi reverzne konfokalne laserske mikroskopije. Z namenom nadzora kontaminantov v industriji smo vključili različne površine, izbrane v WPI, široka koncentracijska območja aktivnih/bioaktivnih snovi, dodatno smo testirali tudi mešane kulture mikroorganizmov. Ugotovili smo, da biofilmi omogočijo odpornejše preživetveno stanja celic (žive a ne-kultivabilne oblike), torej povečajo odpornost biofilmskih celic. Rezultati:

- Elektrooksidirana vode ter kemijski način dezinfekcije z uporabo oksidativnih biocidnih sredstev (peroksiocetna kislina, vodikov peroksid) sta učinkovito zmanjšala adhezijo ter biofilm prisotnih kontaminantov. Adhezivnost smo inhibirali tudi z naravnimi fenolnimi učinkovinami (fenolnimi kisljinami) ali rastlinskimi izvlečki, ki jih vsebujejo (npr. rožmarina, alpinije), ali izvlečki iz stranskih proizvodov in/ali odpadkov pri proizvodnji izvlečkov/eteričnih olj (npr. alpinija).
- S primerjavo živosti ter kultivabilnosti smo ugotovili da različni okoljski dejavniki (neugodna temperatura, atmosfera, stradanje) sprožijo prehod bakterij v odporna preživetvena stanja tudi bakterij v strukturi biofilma. Te celice povečajo odpornost proti istim in drugim stresom, vključno s protimikrobnimi učinkovinami.
- Običajni sanitacijski postopki niso zadostni za odstranitev prisotnih biofilmov na površinah. Učinkovitejši nadzor filmotvornih sevov smo zagotovili s kombiniranimi postopki čiščenja in razkuževanja ter s kombinacijo dveh naravnih protimikrobnih snovi (npr. izvlečka alpinije in epigalokatehin galata).

Uporabnost: nadzor tvorbe biofilma ter preprečevanje prisotnosti filmotvornih sevov je mogoč z uporabo elektrooksidirane vode, biocidov ter nekaterih naravnih

fenolnih spojin.

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

Med samim potekom projektom ni prišlo do bistvenih sprememb programa. Skladno z dognanji smo razširili spekter določenih meritev kot je razvidno iz celotnega poročila.

V prvem delovnem sklopu smo dodatno vključili meritev mejnega kota, kateri še dodatno okarakterizira površino. V drugem delovnem sklopu smo testirali vpliv ultrazvoka na odstranjevanje bakterij adheriranih na jeklene površine. Dodatno smo optimizirali metodo merjenja absorpcije barvila kristal violet (KV) za določanje stopnje mikrobne adhezije za grampozitivne in gramnegativne bakterije ter naredili eksperimente še z dodatnimi bakterijami. V tretjem delovnem sklopu smo metodo štetja kolonij uporabili samo za določitev raste krivulje. Z bolj natančno metodo vrstičnega elektronskega mikroskopa (SEM) smo dodatno raziskali časovni potek adhezije in preferenčna mesta vezave na površino. V četrtem sklopu smo dodatno raziskali vpliv hrapavosti površine poleg že začrtanih vplivov temperature, vrednosti pH in laminarnega/turbulentnega toka. *Legionella pneumophila* ATCC 33153 je bila vključena kot dodaten organizem zaradi potenciala tvorbe biofilma v vodovodnih napeljavah. V kar so bili vključeni dodatni sodelavci. V zadnjem sklopu smo namesto primerjalne analize metode konfokalne laserske mikroskopije ter kultivabilnosti in živosti adheriranih / biofilmskih celic testirali mešane kulture mikroorganizmov, katere lahko vplivajo na odpornost bakterijskih celic.

V vseh delovnih sklopih smo podali odgovore na raziskovalne hipoteze.

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

Ni prišlo do sprememb programa raziskovalnega projekta. Držali smo se začrtanega časovnega plana.

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

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	4669803	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Razpoložljive površine diktirajo sposobnost adhezije bakterij
		ANG	Available surface dictates microbial adhesion capacity
	Opis	SLO	Adhezijo bakterij na materilanih površinah lahko kontroliramo preko same karakteristike površine. V tem delu smo se osredotočili na hrapavost. Štiri različne steklene površine smo pripravili s poliranjem (različne gradacije). Hrapavost površin smo kontrolirali z mikroskopom na atomsko silo in profilometrom. Uporabili smo tri različne vrste bakterij. Stopnjo adheriranih bakterij na površinah smo določili spektrofotometrično in s pomočjo elektronskega vrstičnega mikroskopa. Rezultati so pokazali, da stopnja adhezije narašča z naraščajočo hrapavostjo, kar je posledica naraščajoče razpoložljive površine in naraščajočega števila defektov na površini.

	ANG	The bacterial adhesion can be controlled (inhibit or promote) by different material surface characteristics like surface roughness, on which we concentrate in our study. Four different glass surfaces were prepared by polishing the glass plates with different gradations. The corresponding surface roughness was controlled by atomic force microscope and profilometer. For experiments we have used one Gram-positive bacterium ( <i>Staphylococcus aureus</i> ) and two Gram-negative bacteria ( <i>Pseudomonas aeruginosa</i> and <i>Escherichia coli</i> ). The rate of adhered bacteria on glass surfaces was determined spectrophotometrically. The results showed that the rate of adhered bacteria increases with increasing surface roughness. The increased adhesion of bacteria on more rough surfaces is the interplay between the increasing effective surface and increasing number of defects on the surface. In order to keep all parameters under control we have also measured the surface charge density and hydrophobicity of bacteria and glass surfaces as well.	
	Objavljeno v	Elsevier Science; International journal of adhesion and adhesives; 2014; Vol. 50, no. 1; str. 265-272; Impact Factor: 2.216; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; WoS: II, PM; Avtorji / Authors: Bohinc Klemen, Dražić Goran, Fink Rok, Oder Martina, Jevšnik Mojca, Nipič Damijan, Godič Torkar Karmen, Raspor Peter	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	4448632	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Določitev živih celic biofilma v mikrotiterskih ploščicah
		ANG	Determination of viable biofilm cells in microtiter plates
	Opis	SLO	Testirali smo tetrazolična barvila MTT, XTT, TTC in INT kot indikatorje celičnega metabolizma in njihovo uporabo v kvantifikaciji biofilmov. Vključili smo tudi metodo temelječo na ATP bioluminiscenčnih meritvah in resazurinskih fluorescenčnih meritvah za določitev antibakterijskega izkoristka. Teste smo optimizirali in primerjali kvantitativne metode merjenja bakterijskih živosti celic na površini polistirena.
		ANG	The ability of bacteria to attach to the food contact surface and to form biofilm is one of the important hazards in production of safe food. Given the tremendous clinical importance of biofilms, it is somewhat surprising that there is no standard method for investigating the cells in bacterial biofilms. For bacteria, a common method is to quantitate the mass of biofilms by crystal violet or safranin staining, followed by extraction of bound dye with a solvent and measurement of absorption. Simple and rapid methods which provide information about viability are required for an effective control and operation of the biofilm systems. Tetrazolium salts have become some of the most widely used tools in cell biology for measuring the metabolic activity of microorganisms and depend on the reduction produces of dye in living cells, that can be used for quantitative redox assays. The goal was to optimize several spectrophotometric methods to broaden their applicability for biofilm quantification. We tested tetrazolium dyes MTT, XTT, TTC and INT as indicators of cell metabolism and their application in biofilm quantification. We included also a microdilution method based on ATP bioluminescence measurement and resazurin fluorescence measurement which were previously found to be useful, rapid techniques for determining antibacterial efficiency. Assays were optimised and compared as quantitative methods of measuring bacterial viable cells on polystyrene surface.
	Objavljeno v	Institute of Food Technology; Proceedings; 2014; Str. 252-257; Avtorji / Authors: Klančnik Anja, Podobnik Petra, Smole Možina Sonja, Raspor Peter, Bohinc Klemen, Jeršek Barbara	



	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
3.	COBISS ID	4438891	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Obvladovanje mikrobne adhezije na kontaktnih površinah
		<i>ANG</i>	Current cooperation and results: : illustration of microbial adhesion management on contact surfaces
	Opis	<i>SLO</i>	Prispevek obravnava znanstveno sodelovanje s katedro za Biotehnologijo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani. S sodelovanjem smo pričeli pred enim letom z aplikativnim projektom "Obvladovanje mikrobne adhezije na kontaktnih površinah". V okviru omenjenega projekta študiramo interakcijo med mikroorganizmi in površinami. V projekt so vključeni sodelavci z Zdravstvene fakultete, Biotehniške fakultete, Veterinarske fakultete, Univerza v Ljubljani, Inštituta "Jožef Stefan" in Iskre Pio, d.o.o. Cilj študij je raziskati vpliv hrapavosti površin in hidrofobnosti na stopnjo adhezije mikroorganizmov. V prvem delu so predstavljene znanstvene osnove. Opisan je sam projekt ter pomembnost raziskav za strategijo varnosti hrane v primarni produkciji. Zaključimo s sporočilom za prihodnost.
		<i>ANG</i>	The contribution outlines the scientific cooperation with the Chair of Biotechnology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana. The collaboration started one year ago with the applicative project entitled "Microbial adhesion management on material surfaces". In this project the researchers from the following institutions are included: Faculty of Health Sciences, Biotechnical Faculty and Veterinary Faculty, University of Ljubljana, Institute "Jožef Stefan", and Iskra Pio, d.o.o. Within this project we study interactions between microorganisms and material surfaces. The objective of this study is to investigate the influence of surface roughness and hydrophobicity on the degree of microorganism adhesion. In the first part the scientific background will be stated and the project will be described. Importance of this research on the food safety strategy in primary production will be given. We will conclude with the message for the future.
	Objavljeno v	Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo, Katedra za biotehnologijo, mikrobiologijo in varnost živil; Biotechnology and microbiology for knowledge and benefit; 2012; Str. 331-336; Avtorji / Authors: Bohinc Klemen, Jevšnik Mojca, Raspor Peter	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	

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

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	4591211	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i>	Adhezija na kovinske površine
		<i>ANG</i>	Bacterial adhesion to metal surfaces
	Opis	<i>SLO</i>	Na mednarodni konferenci sem predstavil študijo adhezije mikroorganizmov na različnih nerjavečih jeklenih površinah. Hrapavost smo kontrolirali s profilometrom in mikroskopom na atomsko silo. Stopnja adheriranih bakterij na steklenih površinah smo določili s pomočjo obarvanja bakterij s kristal vijoličnim in s pomočjo vrstičnega elektronskega mikroskopa. Rezultati kažejo, da stopnja adhezije bakterij narašča z naraščajočo hrapavostjo površine.
			On the international conference I presented a study on the bacterial adhesion to stainless steel material surfaces. The corresponding surface

			roughness was controlled by atomic force microscopy and profilometry. The rate of adhered bacteria on glass surfaces was determined with crystal violet staining and scanning electron microscopy. We showed that the increased adhesion of bacteria takes place on more rough surfaces.
	Šifra	B.04	Vabljen predavanje
	Objavljeno v	European Colloid and Interface Society; ECIS 2013; 2013; Str. [1]; Avtorji / Authors: Bohinc Klemen, Nipič Damijan, Godič Torkar Karmen, Raspor Peter	
	Tipologija	1.12	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
2.	COBISS ID	4513899	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Obvladovanje mikrobne adhezije na materialnih površinah
		ANG	Microbial adhesion management on material surfaces
	Opis	SLO	Adhezijo bakterij lahko kontroliramo z različnimi karakteristikami materialne površine. Med njimi tudi s hrapavostjo, na katero smo se koncentrirali v tej študiji. Različne steklene površine smo pripravili s spoliranjem različnih gradacij. Hrapavost smo kontrolirali s profilometrom in mikroskopom na atomsko silo. Stopnja adheriranih bakterij na steklenih površinah smo določili s pomočjo spektrofotometra in vrstičnega elektronskega mikroskopa. Rezultati kažejo, da stopnja adhezije bakterij narašča z naraščajočo hrapavostjo površine. Povečana adhezija bakterij na bolj hrapavih površinah je posledica povečanja učinkovite površine in števila defektov na površini. Na koncu predavanja sem predstavil rezultate na steklenih materialnih površinah.
		ANG	The bacterial adhesion can be controlled by different material surface characteristics like surface roughness, on which we concentrate in our study. Different glass surfaces were prepared by polishing the glass plates with different gradations. The corresponding surface roughness was controlled by atomic force microscope and profilometer. The rate of adhered bacteria on glass surfaces was determined with spectrophotometer and scanning electron microscopy. Our results showed that the rate of adhered bacteria increases with increasing surface roughness. The increased adhesion of bacteria on more rough surfaces is the interplay between the increasing effective surface and increasing number of defects on the surface. At the end of my talk I presented recent results on stainless steel material surfaces.
	Šifra	B.04	Vabljen predavanje
	Objavljeno v	University Medical Centre Groningen, Department of Biomedical Engineering; 2012; Avtorji / Authors: Bohinc Klemen	
	Tipologija	3.14	Predavanje na tuji univerzi

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

Razvita in skonstruirana je bila pretočna komora, v kateri smo lahko študirali vpliv laminarnega/turboletnega toka tekočine na adhezijo bakterij na materialnih površinah. Raziskavo smo objavili v obliki članka v reviji International journal of environmental health research:

FINK, Rok, ODER, Martina, RANGUS, Dušan, RASPOR, Peter, BOHINC, Klemen. Microbial adhesion capacity : influence of shear and temperature stress. International journal of environmental health research, ISSN 0960-3123, 2015, vol. , no. , 14 str., ilustr.  
<http://dx.doi.org/10.1080/09603123.2015.1007840>, doi: 10.1080/09603123.2015.1007840.  
 [COBISS.SI-ID 4829547], [JCR, SNIP, Scopus do 3. 3. 2015: št. citatov (TC): 0, čistih citatov

(CI): 0, normirano št. čistih citatov (NC): 0]

Napisali smo poglavje za knjigo z naslovom "Biological and Pharmaceutical Applications of Nanomaterials", Taylor & Francis Group.

Poglavje ima naslov: "Surface Characteristics Dictate Microbial Adhesion Ability", avtorji: Klemen Bohinc, Mojca Jevšnik, Rok Fink, Goran Dražič, and Peter Raspor

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

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

SLO

Cilj projekta "Obvladovanje mikrobne adhezije na kontaktnih površinah" je bil raziskati vpliv hrapavosti in hidrofobnosti kontaktnih površin na stopnjo adhezije mikrobnih delcev in posledično tvorbe biofilmov. Kljub temu, da je bil projekt aplikativne narave, smo znotraj projekta dosegli nova znanstvena spoznanja. Znanstvena spoznanja so bila objavljena v dveh mednarodnih člankih s faktorjem vpliva, del znanstvenih spoznanj bo objavljen v poglavju knjige. Nova znanstvena spoznanja odpirajo možnost nadaljnjih raziskav. V okviru projekta je bila vpeljana nova metoda za merjenje stopnje adhezije na jeklenih površinah. Razvita in skonstruirana je bila pretočna komora za študij vpliva laminarnega in turbulentnega toka tekočine na odstranjevanje na površino adheriranih bakterij. V okviru projekta je bilo pridobljeno splošno znanje za področje biofilmov, ki je pomembno za oblikovanje novih kontaktnih površin v številnih strokah in novih raziskovalnih vedah, ki so vezane na proučevanje obnašanja novih materialov tako v procesnih industrijah kot tudi v medicini. Vsa ta pridobljena znanja bodo omogočala nadaljnje raziskave na tem področju.

ANG

In the project "Microbial adhesion management on material surfaces" we investigated the influence of surface roughness and hydrophobicity on the degree of microbial adhesion and the subsequent formation of biofilm. Although the project was applied we obtained new scientific knowledge. The results were published in two international scientific papers with impact factor and in one book chapter. New scientific findings open new possibilities for further research. Within the project we developed a new method for measuring the bacterial adhesion rate on metal surfaces. New flow chamber was developed and constructed. With the chamber we studied the influence of laminar and turbulent liquid flow on the detachment of bacteria adhered to the metal surface. This project gives new knowledge about biofilms which is important for development of new contact surfaces in different disciplines related to process industry and medicine. All acquired knowledge will enable further research in this field.

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

SLO

Pri poskusih so bili med vsemi preskušanimi mikroorganizmi, izbrani mikrobni sevi izolirani v Sloveniji in sicer *P. aeruginosa* ŽMJ87, *Staph. aureus* ŽM72 in *L. monocytogenes* ŽM520. Pomembno je spremljati pojavnost sevov predvsem tistih, ki tvorijo strukturo biofilmov tudi s stališča zagotavljanja varne hrane in varovanja zdravja potrošnikov, kot tudi v okoljih, kjer se pričakuje, da se vzdržuje aseptično okolje, kot je to primer v živilski, farmacevtski industriji in še posebej zdravstvu. Spremljanje prisotnosti posameznih mikrobnih sevov se lahko uporablja pri kombiniranju formulacij biocidnih sredstev kot tudi dograjevanje sanitacijskih postopkov v sistemih HACCP. V raziskavi se je pokazal tudi pomen obdelave površin nerjaveče pločevine. Kot primer navajamo obdelavo nerjaveče pločevine AISI 304 z različnimi postopki obdelave površinskega dela. Ugotavljamo, da nekatere obdelave znatno otežujejo postopek adhezije mikroorganizmov na površino. Izbire tovrstnih materialov pripomorejo k zanesljivejšim postopkom sanitacije in nadzorom nad nastajanjem biofilmov. Tehnološki procesi obdelave nerjavečih materialov pomenijo v sami obdelavi tudi dodatni strošek, ki v posameznih postopkih lahko znatno povečajo ceno končnega proizvoda. Med primerjavo posameznih obdelanih materialih ugotavljamo, da nekateri postopki obdelave znatno podražijo končni proizvod, vendar se s tem ne zmanjša tudi verjetnost bakterijske adhezije kot tudi zmanjša možnost nastajanja biofilmov. Raziskava je pokazala, da neustrezna izbira tehnološkega procesa primerjajoč tendenco mikrobne adhezije lahko bistveno vpliva na podražitev proizvodnje nerjaveče

pločevine in s tem slabša konkurenčnost na tržišču. Izpostavili bi tudi večjo zanesljivost vzdrževanja nerjavečih površin in nadzor nad mikrobnimi prisotnostjo. Vse to je na voljo slovenski procesni industriji za izboljšave in razvoj.

ANG

Our experiments were performed with bacterial strains isolated in Slovenia, i.e. *P. aeruginosa* ŽMJ87, *Staph. aureus* ŽM72 and *L. monocytogenes* ŽM520. The study of bacterial adhesion and biofilm formation is especially important to ensure food safety and consumer health protection. It is also important for the environment where it is expected to maintain an aseptic environment like in the food industry, pharmaceutical industry and health care. Monitoring the presence of individual microbial strains may be used in the upgrading of sanitation procedures in the HACCP system. In our research we should stress the importance of surface treatments. As an example we mention stainless steel surfaces AISI 304/316 with different surface treatments. During our research we found that the specific surface treatments may substantially decrease the microbial adhesion. The appropriate material selection can contribute to more reliable sanitation procedures and to better control of the biofilm formation. The technological processes in the stainless steel production represent additional costs and can significantly increase the price of the final product. We note that some complex surface treatments increase the price of the final products but parallel does protect bacterial adhesion and subsequent biofilm formation. Our research showed that not adequate chosen technology can increase the price of the stainless steel production and therefore decrease the competitiveness on the market.

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

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

Cilj		
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
<b>F.05</b>	<b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno

<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
<b>F.14</b>	<b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.15</b>	<b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.16</b>	<b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.17</b>	<b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.18</b>	<b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.19</b>	<b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.20</b>	<b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.21</b>	<b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.22</b>	<b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.23</b>	<b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
<b>F.24</b>	<b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.25</b>	<b>Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.26</b>	<b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.27</b>	<b>Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.28</b>	<b>Priprava/organizacija razstave</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.29</b>	<b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.30</b>	<b>Strokovna ocena stanja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.31</b>	<b>Razvoj standardov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.32</b>	<b>Mednarodni patent</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.33</b>	<b>Patent v Sloveniji</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.34</b>	<b>Svetovalna dejavnost</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.35</b>	<b>Drugo</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>

**Komentar**


**11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**  
**Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
<b>G.01</b>	<b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text" value=""/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text" value=""/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	



G.03.04.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>						
G.04.01.	Dvig kvalitete življenja		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>						
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>						
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>						
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>						
<b>G.09.</b>	<b>Drugo:</b>						

**Komentar**

--

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

	Sofinancer			
1.	Naziv	ISKRA PIO proizvodnja industrijske opreme, Šentjernej d.o.o.		
	Naslov	Trubarjeva 5, 8310 Šenthernej		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	100.000	EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25	%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
		1.	Testiranje adhezivnosti bakterij na jeklenih površinah	F.01
		2.	Razvoj in konstrukcija pretočne komore	F.06
		3.	Metoda za izbor primernih površin za vgradnjo v aseptične prostore	F.04
		4.	Pretočna komora služi kot instrument za merjenje adhezivnosti bakterij na površinah	F.13
		5.	Soavtorstvo pri znanstveni publikaciji	A.01
	Del sredstev sofinancer ni nakazal. Ta del je za projekt založila			

Komentar	Zdravstven fakulteta. Fakulteta je uvedla postopek izterjave.
Ocena	V preteklih poročilih je bila ocena sofinancerja: glede na opravljeno delo ugotavljamo, da je bil projekt izpeljan kot je bilo načrtovano.

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

#### 13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Adhezijo bakterij na materialnih površinah lahko kontroliramo preko same karakteristike površine. V tem delu smo se osredotočili na hrapavost steklenih in jeklenih površin. Hrapavost površin smo kontrolirali z mikroskopom na atomsko silo in profilometrom. Uporabili smo tri različne vrste bakterij. Stopnjo adheriranih bakterij na površinah smo določili spektrofotometrično in s pomočjo elektronskega vrstičnega mikroskopa. Rezultati so pokazali, da stopnja adhezije narašča z naraščajočo hrapavostjo, kar je posledica naraščajoče razpoložljive površine in naraščajočega števila defektov na površini.

K. Bohinc, G. Dražič, R. Fink, M. Oder, M. Jevšnik, D. Nipič, K. Godič Torkar, P. Raspor, Available surface dictates microbial adhesion capacity. International journal of adhesion and adhesives 50(1) (2014) 265-272.

#### 13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

## C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

#### Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
raziskovalne organizacije:*

in

*vodja raziskovalnega projekta:*

Univerza v Ljubljani, Zdravstvena  
fakulteta

Klemen Bohinc

**ŽIG**

Kraj in datum:

Ljubljana

12.3.2015

**Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/129**

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

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

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

## [Nazaj](#)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

<sup>12</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priložko/-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

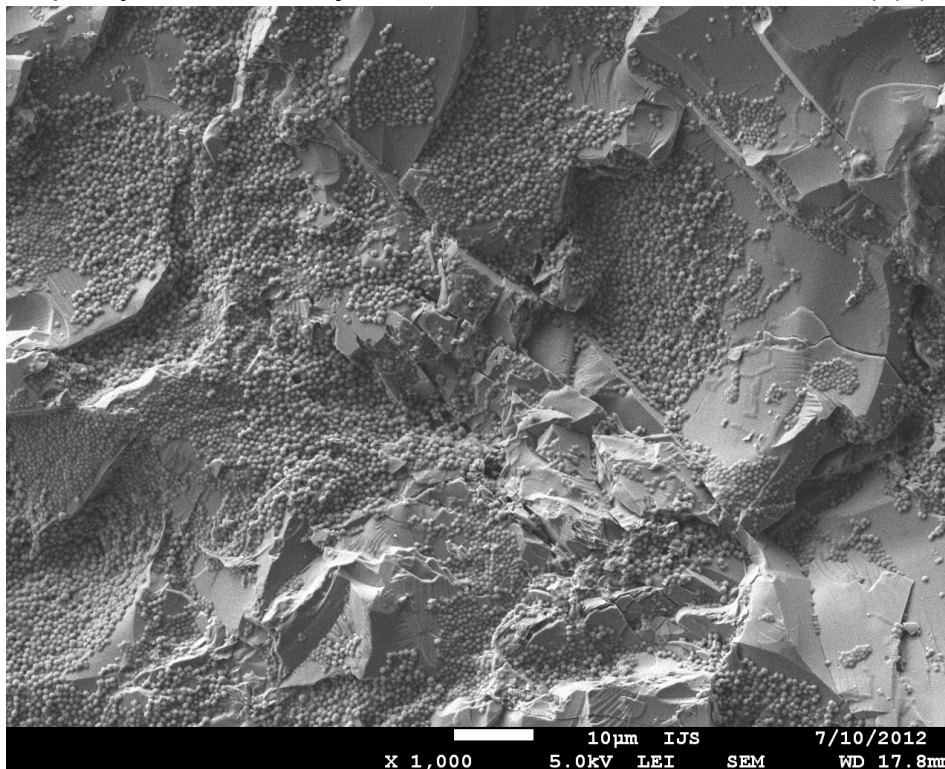
44-DD-C1-71-59-85-C9-F3-4E-54-03-96-DE-D3-C4-E2-CF-76-3A-AF

## **Priloga 1**

## VEDA NARAVOSLOVJE

### Področje: L1-4067, Obvladovanje mikrobne adhezije na kontaktnih površinah

Dosežek 1: \_\_\_\_\_, Vir: članek K. Bohinc, G. Dražič, R. Fink, M. Oder, M. Jevšnik, D. Nipič, K. Godič Torkar, P. Raspor, Available surface dictates microbial adhesion capacity. International journal of adhesion and adhesives 50(1) (2014) 265-272.



#### Opis dosežka oziroma učinka

V projektu "Obvladovanje mikrobne adhezije na kontaktnih površinah" smo raziskali vpliv hrapavosti in hidrofobnosti kontaktnih površin na stopnjo adhezije mikrobnih delcev in posledično tvorbe biofilmov.

Adhezijo bakterij na materialnih površinah lahko kontroliramo preko same karakteristike površine. V tem delu smo se osredotočili na hrapavost steklenih in jeklenih površin. Hrapavost površin smo kontrolirali z mikroskopom na atomsko silo in profilometrom. Uporabili smo tri različne vrste bakterij. Stopnjo adheriranih bakterij na površinah smo določili spektrofotometrično in s pomočjo elektronskega vrstičnega mikroskopa. Rezultati so pokazali, da stopnja adhezije narašča z naraščajočo hrapavostjo, kar je posledica naraščajoče razpoložljive površine in naraščajočega števila defektov na površini.