



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

|  |   |
|--|---|
| <b>Šifra projekta</b>                          | J2-2131   |
| <b>Naslov projekta</b>                         | Samo-sestavljivi nanomateriali na osnovi proteinskih ovitih vijačnic      |
| <b>Vodja projekta</b>                          | 7731 Jožefa Friedrich   |
| <b>Tip projekta</b>                            | J Temeljni projekt  |
| <b>Obseg raziskovalnih ur</b>                  | 4173  |
| <b>Cenovni razred</b>                          | C   |
| <b>Trajanje projekta</b>                       | 05.2009 - 04.2012   |
| <b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>       | 104 Kemijski inštitut   |
| <b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b> |   |
| <b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>  | 2 TEHNIKA<br>2.02 Kemijsko inženirstvo<br>2.02.06 Biokemijsko inženirstvo |
| <b>Družbeno-ekonomski cilj</b>                 | 13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)      |

#### 2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS<sup>1</sup>

|                   |                               |
|-------------------|-------------------------------|
| <b>Šifra</b>      | 2.04                          |
| <b>- Veda</b>     | 2 Tehniške in tehnološke vede |
| <b>- Področje</b> | 2.04 Kemijsko inženirstvo     |

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

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

SLO

Naravni proteini so v bistvu nanostrukture, ki se same od sebe sestavijo v točno določeno strukturo in so sposobni opravljati strukturne funkcije, katalizirati številne kemijske reakcije, prepoznavati najrazličnejše molekule itd. Načrtovanje umetnih proteinskih struktur, ki bi se tako kot naravni proteini zvile v zaželjeno strukturo, ostaja velik znanstveni izziv, kajti delo s proteini zahteva optimizacijo velikega števila interakcij med aminokislinami. Uspešno

načrtovanje novih umetnih proteinskih struktur za nove bionanomateriale nudi izjemne priložnosti za biotehnoško uporabo.

V projektu smo študirali inovativne rešitve omenjenega problema, ki nam omogočajo pripravo kompleksnih načrtovanih nanostruktur na osnovi polipeptidov. Kot osnovni gradnik smo definirali polipeptidno verigo, v kateri sta dva, trije ter dvanajst ali več peptidnih elementov med seboj povezanih z gibljivimi povezovalnimi segmenti, linkerji. Kot elementi so primerni tako naravni ali *de novo* načrtovani peptidi, ki tvorijo ovite vijačnice, pri katerih dobro poznamo zakonitosti sestavljanja v dimere željene orientacije, kakor tudi naravne di-, tri- in tetramerizacijske domene, opisane v literaturi. Pokazali smo, da načrtovano polipeptidno zaporedje natančno določa, kako se ti osnovni gradniki sami od sebe sestavijo v željene nanometrijske strukture, kot so kocka, tetraeder ali heksagonalna mreža. Naš pristop pomeni izjemen napredek na področju razvoja bionanomaterialov, saj gre za tip struktur, ki v naravi ne obstajajo. Tehnološka platforma, ki smo jo razvili, omogoča pripravo samosestavljaljivih nanostruktur, ki so lahko uporabne za dostavo zdravilnih učinkovin, katalizo, separacijo, pa tudi kot nosilec za sestavljanje nanostruktur za elektronska vezja, optične naprave in številne druge še neznane uporabe.

Osnovni gradniki za pripravo polipeptidnih nanostruktur so bili pripravljani kot rekombinantni proteini na osnovi sintetičnih genov, vstavljenih v *E. coli*, kjer lahko polipeptidne gradnike pripravimo poceni in v velikih količinah. Kot elemente, ki sestavljajo osnovne gradnike, smo uporabili ortogonalne peptidne segmente, ki tvorijo ovite vijačnice in smo jih uspešno načrtovali v začetnih eksperimentih, ter iz literature izbrane oligomerizacijske domene. Testirali smo različne načine zvitja polipeptidnih osnovnih gradnikov do bionanostruktur. Samosestavljanje struktur smo preverili s transmisijskim elektronskim mikroskopom, mikroskopom na atomsko silo, merjenjem dinamičnega sipanja svetlobe ter z več biokemijskimi metodami. Iz enega samega osnovnega polipeptidnega gradnika, ki je zaporedje iz kar dvanajstih peptidnih segmentov, smo pripravili tetraedrsko nanostrukturo. Iz osnovnih gradnikov, sestavljenih iz peptidne oligomerizacijske domene in peptidnega segmenta, ki tvori ovito vijačnico, smo pripravili membrane in jih testirali za filtracijo nanodelcev.

Izveden projekt pomeni prvi korak v razvoju popolnoma novega tipa bionanomaterialov z izjemnim biotehnoškim potencialom.

ANG

Natural proteins are in fact nanostructures, which self-assemble into a precisely determined assembly and are able to perform structural functions, catalyse numerous chemical reactions, recognize a variety of molecules etc. Design of synthetic protein assemblies, which - like the natural ones - could fold into the desired structure, remains a great scientific challenge, since working with proteins demands optimization of numerous interactions among amino acids. Successful design of new synthetic protein structures for new bionanomaterials offers outstanding opportunities for biotechnological production.

In the project, we studied an innovative solution of the mentioned problem, which enables us the preparation of complex designed nanostructures based on polypeptides. As a building block we defined a polypeptide chain, in which two, three or twelve and more peptide elements are linked together with flexible linkers. As elements we used either natural or *de novo* designed coiled coil-forming peptides - since rules for their assembling into dimers of the desired orientation are well known - or natural di-, tri-, and tetramerization domains, described in the literature. We demonstrated that the designed polypeptide sequence determines precisely self-assembling into the desired structures of nanometre dimensions, such as cubes, tetrahedra or 2D-hexagonal lattices. Our approach represents a remarkable progress in the field of bionanomaterials since such structures are not present in nature. Use of such type of technological platform enables the production of self-assembling nanostructures that can be applicable for drug delivery, catalysis, separation and also as scaffolds for assembling nanostructures for electronic circuits, optical devices and numerous other still unknown applications.

The building blocks for preparation of polypeptide nanostructures were produced as recombinant polypeptides based on synthetic genes, introduced into *E. coli*, which enables cheap polypeptide production, in large amounts. For building blocks construction, we used the orthogonal pairs of peptide segments, which form coiled coils and have been successfully designed in our experiments, as well as oligomerization domains selected from the data in the literature. Different refolding processes of building blocks into bionanostructures were tested. Self-assembling was followed by transmission electron microscopy, atomic force microscopy, measurements of dynamic light scattering, and analysed by several biochemical methods. We succeeded in preparing the tetrahedral nanostructure from a single polypeptide chain

composed of twelve peptide segments. From the building blocks, consisting of polypeptide oligomerization domain and coiled-coil-forming peptide segment we prepared membranes and tested them for filtration of nanoparticles.

The project results present the first step in the development of a absolutely new type of bionanomaterials with exceptional biotechnological potential.

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

Sintetične bionanomateriale, ki jih pripravimo iz bioloških gradnikov, lahko načrtujemo tako, da pridobijo številne posebne lastnosti, zaradi katerih so vedno bolj zanimivi za potencialno uporabo v najrazličnejše namene. Zelo pogosto uporabljeni gradniki pri izgradnji naravnih nanostruktur so peptidni heliksi, ki tvorijo prepletene paralelne ali antiparalelne ovite vijačnice. V projektu smo raziskovali uporabnost peptidnih segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice, kot osnovnih gradnikov kompleksnih nanostruktur. Ideja raziskovalnega projekta je bila **priprava izvirnih de novo načrtovanih bionanostruktur na osnovi gradnikov iz peptidnih segmentov**, ki so med seboj povezani s kratkimi, gibljivimi nevijačnimi segmenti. Ker so aminokislinska zaporedja peptidnih segmentov načrtovana tako, da je vsak izmed segmentov sposoben tvoriti dimer samo s svojim parom, lahko dosežemo samozdruževanje peptidnih segmentov v večje definirane nanostrukture.

**Koraki in cilji raziskave** so bili:

1. analiza topologije možnih kombinacij ovitih vijačnic za tvorbo samo-sestavljaljivih struktur
2. načrtovanje in analiza ortogonalnih peptidnih parov
3. priprava rekombinantnih proteinov v bakterijah
4. zvitje samo-sestavljaljivih struktur iz proteinov ter njihova analiza
5. vpliv spremenljivk na tvorbo struktur
6. funkcionalizacija samo-sestavljaljivih segmentov za aplikacije

##### 1. Topološka analiza

V prvih dveh letih smo uspešno zaključili analizo topologije struktur, pri čemer smo proučevali izgradnjo dvodimenzionalnih struktur (mreže) in tridimenzionalnih struktur (kocka, tetraeder) iz osnovnega gradnika, ki je sestavljen iz treh peptidnih segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice. V zadnjem letu smo topološke analize nadgradili. Preučili in matematično dokazali smo nastanek poliedrov iz ene same polipeptidne verige, ki je sestavljena iz toliko peptidnih segmentov, kot je dvojno število stranic poliedra, npr. pri izgradnji tetraedra je to dvanajst peptidnih segmentov.

##### 2. Načrtovanje in analiza ortogonalnih peptidnih parov

Peptidne pare, ki tvorijo ovite vijačnice, smo načrtovali z uporabo optimizacije elektrostatskih in hidrofobnih interakcij ter negativnega dizajna. Zasnovali, pripravili in testirali smo pare ortogonalnih peptidnih segmentov, ki zagotavljajo specifičnost, kar smo potrdili z merjenjem cirkularnega dikroizma (CD). Pokazali smo, da vsak načrtovani peptid s svojim parom tvori ovito vijačnico. Stabilnost ortogonalnih parov smo analizirali s temperaturno ali kemijsko denaturacijo. Rezultate smo objavili v reviji Journal of Peptide Science (Gradišar in Jerala, 2011). Iz teh peptidnih segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice, smo načrtovali različno dolge gradnike, ki se samosestavijo v nanostrukture oz. nanomateriale.

##### 3. Priprava rekombinantnih proteinov v bakterijah

Na osnovi ortogonalnih peptidov smo zasnovali sintetične gene za polipeptidne gradnike. V konstrukt smo vključili tudi heksahistidinski označevalec (His6), ki omogoča zasledovanje tvorbe proteina v bakteriji in njegovo izolacijo. Produkcijo rekombinantnih polipeptidov smo izvajali v bakteriji *E.coli*, in jih potem očistili s kromatografskimi metodami. Vsak polipeptid smo analizirali z elektroforetskima metodama SDS-PAGE in Western blot. Tako smo preverili pravilne molske mase polipeptidov in njihovo izražanje. Z merjenjem cirkularnega dikroizma smo preverili njihovo sekundarno strukturo- helikano zvitje, ki daje karakterističen signal. Pravilno molsko maso polipeptida smo potrdili z masno spektroskopijo. Izolirani polipeptid smo najprej denaturirali v kemijskem denaturantu, nato pa smo ga renaturirali v postopku dialize in mu tako omogočili samosestavljanje v nanostrukture.

##### 4. Zvitje samo-sestavljaljivih struktur iz proteinov ter njihova analiza

Izolirani polipeptid smo najprej denaturirali v kemijskem denaturantu, nato pa smo ga renaturirali v postopku dialize in mu tako omogočili samosestavljanje v nanostrukture. Pokazali smo, da je potrebno izvajati renaturacijo pri zelo nizkih koncentracijah polipeptida (okoli 10 ug/ml), saj tako zagotovimo interakcije med peptidnimi segmenti znotraj ene polipeptidne molekule. Po končani dializi, ki je zagotavljala pogoje, ugodne za samosestavljanje polipeptida, smo velikost in obliko nastalega bionanomateriala analizirali z različnimi bio-fizikalnimi metodami. Z merjenjem cirkularnega dikroizma smo preverili njihovo sekundarno strukturo, pokazali smo, da so nastale strukture helikano zvite. Z gelsko filtracijo smo določili okvirne molske mase struktur. Z merjenjem dinamičnega sipanja svetlobe (DLS) smo določili hidrodinamske radije struktur. Z merjenjem fluorescence smo pokazali nastajanje urejenih struktur in pomembnost določenega vrstnega reda peptidnih segmentov v osnovnem gradniku. Vzorce smo preverjali tudi s transmisijsko elektronsko mikroskopijo (TEM) in mikroskopijo na atomsko silo (AFM). Optimirali smo pripravo vzorcev za mikroskopiranje, saj smo ugotovili, da je primerno pripravljen vzorec ključnega pomena za reprezentativne mikroskopske slike. Z naštetimi metodami smo dokazali nastanek samosestavljivega tetraedra, sestavljenega iz ene polipeptidne verige, pri čemer stranica tetraedra meri približno 5 nm, kar je tudi v skladu z modelom, ki smo ga pripravili. Pokazali smo, da v procesu refoldinga prednostno nastajajo dvodimenzionalne mreže, za nastanek preprostejših teles (kocka) pa so potrebni bolj kontrolirani pogoji. Pokazali smo, da je za tvorbo načrtovane nanostrukture ali nanomateriala potreben točno določen vrstni red peptidnih segmentov v gradniku.

### 5. Vpliv spremenljivk na tvorbo struktur

Raziskovali smo vpliv dolžine peptidnih segmentov in linkerjev na samosestavljanje osnovnih gradnikov v nanostrukture. V ta namen smo modificirali srednji polipeptidni segment, skrajšali smo ga in zamenjali štiri aminokisljine, s čimer smo dosegli večji negativni naboj peptida. Podaljšali smo načrtovane peptidne segmente za štiri heptade. Linkerje smo podaljšali za eno ali tri aminokisljine.

Pokazali smo, da je za tvorbo struktur, kjer so koti med gradniki ostrejši, potreben daljši linker, ki omogoči večjo gibljivost peptidnih segmentov. Nasprotno, pri sestavljanju mreže iz gradnikov so lahko linkerji krajši.

### 6. Funkcionalizacija samo-sestavljivih segmentov za aplikacije

Na predele polipeptidnih gradnikov, ki niso neposredno udeleženi v interakcije med elementi (mesta **b**, **c**, **f**) smo uvedli aminokisljine, ki omogočajo funkcionalizacijo dobljenih nanostruktur. Med te spremembe spada predvsem uvedba prostih cisteinskih ostankov – za povezovanje več struktur skupaj preko disulfidov ali za derivatizacijo z drugimi spojinami – npr. fluorofori, ki bodo omogočili sledenje dodajanja izbranih sestavin. Pripravili smo polipeptidni gradnik, ki je označen s fluorescentnim proteinom, kar nam bo s pomočjo spektrometra za merjenje fluorescence omogoča spremljanje nastajanja nanostruktur.

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

Projekt je temeljil na proučevanju *de novo* načrtovanih kompleksnih samosestavljivih bionanostruktur oziroma bionanomaterialov, katerih ogrodje predstavljajo polipeptidne ovite vijačnice. V času izvajanja projekta smo dosegli naslednje :

- *de novo* smo načrtovali 8 peptidov (P1 do P8), sestavljenih iz 4 heptad, pri čemer po dva sestavljata ortogonalni par (P1-P2, P3-P4, P5-P6, P7-P8). Naše hipoteze glede specifičnega parjenja zaradi interakcij med peptidi in stabilnost peptidov smo potrdili z meritvami na sintetičnih peptidih. Rezultate smo objavili v članku (Gradišar, Jerala. J.Pept.Sci., 2011).
- *de novo* načrtovane peptide, ki tvorijo ovite vijačnice, in oligomerizacijske domene, poznane v literaturi, smo kombinirali pri načrtovanju polipeptidnega gradnika, ki je bil sestavljen iz dveh segmentov. Eksperimentalno smo pokazali, da se takšni gradniki samosestavijo v dvodimenzionalno mrežo pri kontroliranih pogojih. Rezultate smo objavili v članku (Doles et al., Transactions, 2012).
- zasnovali smo polipeptidne gradnike, sestavljene iz treh segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice. S študijo topologije smo pokazali, da s takšnim gradbenim elementom sestavimo tako 2- kot 3-dimenzionalne strukture nanodimenzij. Preverjali smo, kako na sestavljanje v nanostrukture vplivajo dolžina peptidnih segmentov in dolžina povezovalnega segmenta med njimi. Članek je v pripravi. Patentirali smo princip gradnje samosestavljivih polipeptidnih nanomaterialov iz takšnega tipa gradnikov.

• z matematično analizo smo pokazali, kako lahko poliedrske strukture načrtujemo le iz enega gradnika, ki je sestavljen iz točno določenega zaporedja segmentov, ki tvorijo poliedrske robove. Eksperimentalno smo pokazali princip delovanja na najenostavnejšem poliedru, tetraedru. Vpeljali smo postopke, po katerih pridobimo gradnike za samosestavljanje in analiziramo zvitje samosestavljenih struktur z različnimi bio-fizikalnimi in mikroskopskimi metodami. Pokazali smo, da je za uspešno samosestavljanje nanostrukture iz ene polipeptidne verige pomembno, da zvitje v kontroliranih pogojih. Pripravili smo kontrolne konstrukte, s katerimi smo pokazali, da vrstni red peptidnih segmentov vpliva na tvorbo željene poliedrske nanostrukture. Funkcionalizirali smo pripravljeno nanostrukturo, t.j. načrtovali smo osnovni gradnik, kjer smo za peptidnimi segmenti pripeli še fluorescirajoči protein za detekcijo urejene strukture. V eni najuglednejših znanstvenih revij smo pred kratkim prejeli pozitivno recenzijo osnutek članka, kjer smo predstavili načrtovanje, produkcijo in karakterizacijo iz ene polipeptidne verige samosestavljenega tetraedra. Prav tako smo v letu 2011 vložili patentno prijavo, s katero smo zaščitili inovativen pristop k pridobivanju samosestavljenih poliedrskih bionanostruktur iz ene polipeptidne verige. Zaključujemo, da smo zastavljene cilje v okviru raziskav projekta **uspešno realizirali**. Z raziskavami na tem izredno aktualnem področju bomo nadaljevali v zastavljeni smeri.

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

Tekom projekta ni bilo sprememb programa raziskovalnega projekta. Projektna skupina se za časa trajanja projekta ni spremenila. Nosilka projekta se je štiri mesece pred iztekom upokojila.

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

| Znanstveni dosežek |            |  |
|--------------------|------------|--|
| 1.                 | COBISS ID  | 5025306  |
|                    | Vir:       | COBISS.SI  |
|                    | Naslov     |  |
|                    | <i>SLO</i> | Funkcionalni samosestavljivi polipeptidni bionanomateriali   |
|                    | <i>ANG</i> | Functional self-assembling polypeptide bionanomaterials  |
|                    | Opis       |  |
|                    | <i>SLO</i> | Bionanotehnologija proučuje nove, načrtovane biopolimere in njihovo uporabnost, pri čemer za produkcijo nanomaterialov koristi biološke sisteme. Molekularno samosestavljanje, ki je osnovni princip organizacije bioloških sistemov, je tudi glavna gonilna sila pri sestavljanju umetnih bionanomaterialov. Proteinske domene in peptidi so zaradi sposobnosti tvorjenja tridimenzionalnih struktur zelo primerni osnovni gradniki, pri čemer moramo kombinirati najmanj dve oligomerizacijski domeni z oligomerizacijskim stanjem dve ali tri. V članku opisujemo princip nastanka polipeptidnih materialov, ki vsebujejo definirane nanopore, in jih lahko uporabimo za separacijo nanomolekul. Uporaba dimerizacijskih domen, ki tvorijo antiparalelne ovite vijačnice, omogoča spreminjanje dimenzij nanopor in spreminjanje njihovih kemijskih lastnosti. Sestavljanje ali razstavljanje takšnih bionanomaterialov lahko reguliramo z zunanjimi signali, kot smo prikazali na primeru kumermicin-inducirane dimerizacije giraze B, ki sproži polipeptidno sestavljanje. |
|                    | <i>ANG</i> | Bionanotechnology seeks to modify and design new biopolymers and their applications and uses biological systems as cell factories for the production of nanomaterials. Molecular self-assembly as the main organizing principle of biological systems is also the driving force for the assembly of artificial bionanomaterials. Protein domains and peptides are particularly attractive as building blocks because of their ability to form complex three-dimensional assemblies from a combination of at least two oligomerization domains that have the oligomerization state of at least two and three respectively. In the present paper, we review the application of polypeptide-based material for the formation of material with nanometre-scale pores that can be used for the separation. Use of antiparallel coiled-  |

|    |              |  |
|----|--------------|--|
|    |              | coil dimerization domains introduces the possibility of modulation of pore size and chemical properties. Assembly or disassembly of bionanomaterials can be regulated by an external signal as demonstrated by the coumermycin-induced dimerization of the gyrase B domain which triggers the formation of polypeptide assembly.   |
|    | Objavljeno v | Biochemical Society; Bionanotechnology III; Biochemical Society transactions; 2012; Vol. 40, no. 4; str. 629-634; Impact Factor: 3.711; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.739; WoS: CQ; Avtorji / Authors: Doles Tibor, Božič Sabina, Gradišar Helena, Jerala Roman   |
|    | Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek   |
| 2. | COBISS ID    | 4534810   Vir: COBISS.SI   |
|    | Naslov       | <i>SLO</i> De novo načrtovanje ortogonalnih peptidnih parov, ki tvorijo paralelne heterodimerne ovite vijačnice  |
|    |              | <i>ANG</i> De novo design of orthogonal peptide pairs forming parallel coiled-coil heterodimers  |
|    | Opis         | <i>SLO</i> Načrtovali in testirali smo set parov peptidov, ki tvorijo paralelno ovito vijačnico. Načrtovanje temelji na izračunu maksimalne razlike med stabilnostjo željenega para in najstabilnejšega neželjenega para. Uporabili smo N-terminalni segment za inicializacijo heliksa, favorizirane kombinacije aminokislin za elektrostatske in hidrofobne interakcije, in negativni dizajn, ki temelji na principu zakopanih Asn preostankov. S CD smo analizirali 36 možnih kombinacij med osmimi peptidi. Le kombinacije željenih parov so tvorile alfa-helikalne strukture, kar potrjuje ortogonalnost seta peptidnih parov. |
|    |              | <i>ANG</i> A set of pairs of parallel coiled-coil-forming peptides was designed and tested. The design based on maximizing the difference in stability between the desired pairs and the most stable unwanted pairs. We used Nterminal helixinitiator residues, favorable combinations of electrostatic and hydrophobic interactions, and a negative design based on burial of Asn residues. The 36 pair combinations of the eight peptides were analysed by CD. Each peptide formed a high level of alphahelical structure exclusively in combination with its designed partner confirming the orthogonality of peptide pairs.    |
|    | Objavljeno v | John Wiley & Sons; Journal of peptide science; 2011; Vol. 17, no. 2; str. 100-106; Impact Factor: 1.799; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.215; WoS: CQ, EA; Avtorji / Authors: Gradišar Helena, Jerala Roman   |
|    | Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek   |
| 3. | COBISS ID    | 4381210   Vir: COBISS.SI   |
|    | Naslov       | <i>SLO</i> Samosestavljive strukture sestavljene iz ene polipeptidne verige iz najmanj treh segmentov, ki lahko tvorijo obvite vijačice  |
|    |              | <i>ANG</i> Self-assembled structures composed of single polypeptide comprising at least three coiled-coil forming elements   |
|    | Opis         | <i>SLO</i> Izum opisuje pripravo samosestavljivih nanostruktur in proces produkcije samosestavljivih nanostruktur iz polipeptidnih verig, sestavljenih iz najmanj treh segmentov, ki tvorijo ovito vijačnico. Določeno zaporedje segmentov v polipeptidni verigi omogoča nastanek definiranih struktur, tako kletk kot nanomrež. Nanostrukture se sestavijo iz enega tipa polipeptidne verige, ki je sestavljena iz treh, štirih ali šestih segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice, pri čemer nastanejo nanokletke, nanomreže ali nanocevice.   |
|    |              | The invention describes a preparation of self-assembling nanostructures and a process for preparation of self-assembling nanostructures from   |

|    |              |   |
|----|--------------|---|
|    |              | <p>polypeptides which are composed of at least three segments forming a coiled helix, which are assembling themselves into one sole polypeptide chain in a defined sequence which enables the composing into defined nano-cages or nano-nets. Nanostructures can be assembled from one sole polypeptide chain, yet which is composed of three, four or six segments forming coiled helices and are stacked into nano-cages, nano-nets or nano-tubes.</p>  |
|    | Objavljeno v | Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino; 2011; 47 str.; Avtorji / Authors: Jerala Roman, Fekonja Ota, Pohar Jelka, Gradišar Helena, Benčina Mojca, Hafner Bratkovič Iva, Bremšak Robert, Miklavčič Špela, Jelerčič Urška, Lukan Anja, Doles Tibor, Božič Sabina, Verce Marko, Debeljak Nika, Friedrich Jožica  |
|    | Tipologija   | 2.24 Patent   |
| 4. | COBISS ID    | 4382234   |
|    |              | Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | SLO Polipeptidni material s prilagodljivimi lastnostmi por  |
|    |              | ANG Polypeptide material with adjustable pore properties  |
|    | Opis         | SLO Izum opisuje dvo- ali tri-dimenzionalni polipeptidni material z nastavljivimi lastnostmi por, ki ga pripravimo iz fuzijskih proteinov, ki so sestavljeni iz vsaj dveh domen, pri čemer najmanj ena domena tvori ovito vijačnico in najmanj ena domena je oligomerizacijska domena. Izum se nanaša na polipeptidni material, potencialno uporaben npr. pri kemijski katalizi in separaciji molekul glede na njihove lastnosti.   |
|    |              | ANG The invention represents a polypeptide material with adaptable pore properties, prepared by two- or three-dimensional combining of fusion proteins composed of at least two protein domains, where at least one domain is forming a coiled helix and at least one domain is a protein oligomerization domain. The invention relates to a polypeptide material which can be used in applications such as chemical catalysis and separation of molecules on the basis of their properties.  |
|    | Objavljeno v | Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino; 2011; 72 str.; Avtorji / Authors: Jerala Roman, Fekonja Ota, Pohar Jelka, Gradišar Helena, Benčina Mojca, Hafner Bratkovič Iva, Bremšak Robert, Miklavčič Špela, Jelerčič Urška, Lukan Anja, Doles Tibor, Božič Sabina, Verce Marko, Debeljak Nika  |
|    | Tipologija   | 2.24 Patent   |
| 5. | COBISS ID    | 4471578   |
|    |              | Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | SLO Funkcionalizacija trdnih površin s kovalentno vezavo bioaktivnih peptidov   |
|    |              | ANG Functionalization of solid surfaces with covalent binding of bioactive peptides   |
|    | Opis         | SLO Študirali smo možnost funkcionalizacije površin z bioaktivnimi peptidi za uporabo v medicini. Na modelnem substratu smo pripravili površinsko prevleko, na katero smo vezali modelni peptid z antibiotično aktivnostjo. Tako pripravljena površina je izkazovala biocidno aktivnost, saj je znižala koncentracijo Gram-negativne bakterije E. coli za več kot pet velikostnih redov. Površinske prevleke z antimikrobno aktivnostjo so potencialno uporabne za medicinske naprave, kot so katetri in implantati, za preprečitev tvorbe mikrobnega biofilma, ki vodi do težko ozdravljivih infekcij. |
|    |              | ANG We studied the possibility of surface functionalization with bioactive peptides for application in medicine. The model substrate was surface coated to enable binding of the model peptide with antimicrobial activity. The surface obtained in such a way exhibited biocidic activity and reduced the concentration of the Gram-negative bacterium Escherichia coli for more than five orders of magnitude. Surface coatings with antimicrobial activity are applicable in medical devices, such as catheters and implants, for  |

|              |      |   |
|--------------|------|---|
|              |      | prevention of microbial biofilm formation, which causes severe infections.  |
| Objavljeno v |      | Chapman and Hall; Journal of materials science. Materials in medicine; 2010; Vol. 21, issue 10; str. 2775-2782; Impact Factor: 2.325; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.925; WoS: IG, QE; Avtorji / Authors: Mohorčič Martina, Jerman Ivan, Zorko Mateja, Butinar Lorena, Orel Boris, Jerala Roman, Friedrich Jožica |
| Tipologija   | 1.01 | Izvirni znanstveni članek   |

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

|    |                            |  |
|----|----------------------------|--|
|    | Družbeno-ekonomski dosežek |  |
| 1. | COBISS ID                  | 35592197 Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov                     | SLO Samosestavljeni polipeptidni poliedri<br>ANG Self-assembling polypeptide polyhedra   |
|    | Opis                       | SLO Izum se nanaša na polipeptide, ki so zmožni s samosestavljanjem izgraditi poliederske strukture. Polipeptid je sestavljen iz najmanj dvanajstih segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice, in so med seboj povezani z distančniki. Stranice poliedra so sestavljene iz para omenjenih segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice. Opisali smo načrtovanje in proces priprave samosestavljivega tetraedra, ki predstavlja najpreprostejši polieder. Polipeptidna veriga je sestavljena iz dvanajstih segmentov, ki tvorijo ovito vijačnico, in so povezani v točno določenem vrstnem redu. Omenjeno nanostrukturo smo okarakterizirali z različnimi metodami.<br>ANG The invention relates to polypeptides capable of forming polyhedra by self-assembly. The polypeptide is composed of at least 12 coiled-coil-forming segments connected via linker segments, wherein each of the edges of the polyhedron is constructed of a pair of said coiled-coil-forming segments. We described the design and process for preparation of self-assembling tetrahedron, the simplest polyhedron. Polypeptide chain comprising 12 coiled-coil-forming segments in a defined order was successfully assembled into tetrahedron. The nanostructure was characterized using different methods. |
|    | Šifra                      | F.33 Patent v Sloveniji  |
|    | Objavljeno v               | Urad RS za intelektualno lastnino; 2011; 56 str.; Avtorji / Authors: Jerala Roman, Gradišar Helena, Božič Sabina, Doles Tibor  |
|    | Tipologija                 | 2.23 Patentna prijava  |
| 2. | COBISS ID                  | 4911642 Vir: COBISS.SI   |
|    | Naslov                     | SLO Načrtovanje samosestavljivega polipeptidnega tetraedra<br>ANG Design self-assembling polypeptide tetrahedron   |
|    | Opis                       | SLO Na kongresu v Cambridgu, kjer so sodelovali vrhunski predavatelji s tega področja, smo v predavanju predstavili dizajn samosestavljivega tetraedra iz ene polipeptidne verige, ki je sestavljena iz dvanajstih segmentov, med seboj povezanih z gibljivimi peptidnimi linkerji. Samosestavljanje rekombinantnega polipeptida je določeno z natančnim vrstnim redom segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice, in paroma tvorijo šest stranic, vsaka meri približno 5 nm. Z različnimi metodami smo pokazali nastanek takšnega tetraedra, s transmisijskim elektronskim mikroskopom, z mikroskopom na atomsko silo, z merjenjem velikosti delcev. Razcepljen fluorescenčni protein, ki smo ga vezali na oba konca polipeptidne verige, se je pravilno sestavil in fluoresciral le v primeru pravilno sestavljenega tetraedra. Če smo zamenjali vrstni red segmentov   |



|              |  |  |
|--------------|--|--|
|              |  | v polipeptidni verigi ali en segment odstranili, se tetraeder ni sestavil pravilno.  |
|              | ANG  | We designed the tetrahedron that self-assembles from a single polypeptide chain comprising 12 concatenated coiled-coil-forming peptide segments separated by flexible peptide hinges. Self-assembling of the recombinant polypeptide is defined by the precise order of coiled-coil-forming segments and their pairwise interactions that form 6 rigid edges, each measuring approx. 5 nm. We characterized the obtained nanostructure using different methods, transmission electron microscopy, atomic force microscopy, dynamic light scattering. Split fluorescent protein attached to the termini of the polypeptide is reconstituted only by the correctly formed tetrahedron, while polypeptides with a deleted or scrambled segment order fail to self-assemble correctly. |
| Šifra        | B.04 Vabljen predavanje  |  |
| Objavljeno v | Bionanotechnology III : from biomolecular assembly to applications : 46 January, Robinson College, Cambridge, UK : programme & abstracts. London: Biochemical Society, 2012, 2012, str. 9.; Avtorji / Authors: Božič Sabina, Doles Tibor, Gradišar Helena, Vengust Damjan, Hafner Bratkovič Iva, Klavžar Sandi, Jerala Roman |  |
| Tipologija   | 1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)   |  |
| 3.           | COBISS ID  | 4827162 Vir: COBISS.SI   |
|              | Naslov   | SLO Samosestavljanje polipeptidov v strukture nanodimenzij   |
|              |  | ANG Self-assembly of polypeptides into nanoscale structures  |
|              | Opis   | SLO Na kongresu Slovenskega biokemijskega društva v Mariboru smo v predavanju predstavili princip dizajniranja samosestavljaljivih polipeptidnih nanostruktur. Prikazali smo primer samosestavljaljivega tetraedra iz ene polipeptidne verige, ki je sestavljena iz dvanajstih segmentov, med seboj povezanih z gibljivimi peptidnimi linkerji. Samosestavljanje rekombinantnega polipeptida je določeno z natančnim vrstnim redom segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice, in paroma tvorijo šest stranic, vsaka meri približno 5 nm. Z različnimi metodami smo pokazali nastanek takšnega tetraedra, s transmijskim elektronskim mikroskopom, z mikroskopom na atomsko silo, z merjenjem velikosti delcev.   |
|              |  | ANG At the Conference of the Slovenian Biochemical Society in Maribor, we demonstrated the principle of self-assembling polypeptide nanostructure design. We presented the tetrahedron that self-assembles from a single polypeptide chain comprising 12 concatenated coiled-coil-forming peptide segments separated by flexible peptide hinges. Self-assembling of the recombinant polypeptide is defined by the precise order of coiled-coil-forming segments and their pairwise interactions that form 6 rigid edges, each measuring approx. 5 nm. We characterized the obtained nanostructure using different methods, transmission electron microscopy, atomic force microscopy, dynamic light scattering.  |
|              | Šifra  | B.04 Vabljen predavanje  |
|              | Objavljeno v   | Zavod za zdravstveno varstvo; Abstract book; 2011; Str. 75; Avtorji / Authors: Gradišar Helena, Božič Sabina, Doles Tibor, Vengust Damjan, Hafner Bratkovič Iva, Mertelj Alenka, Jerala Roman  |
|              | Tipologija   | 1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)   |
| 4.           | COBISS ID  | 258116096 Vir: COBISS.SI   |
|              | Naslov   | SLO Sodelovanje v uredniškem odboru na znanstvenem srečanju z mednarodno udeležbo  |

|              |           |     |  |
|--------------|-----------|-----|--|
|              |           | ANG | Cooperation in the editorial board on the scientific conference with international participation   |
| Opis         |           | SLO | Kot članica uredniškega odbora sem sodelovala na 9. srečanju Slovenskega biokemijskega društva   |
|              |           | ANG | As a member of editorial board Helena Gradišar cooperated at the 9th Congress of the Slovenian Biochemical Society   |
| Šifra        |           |     | C.06 Članstvo v uredniškem odboru  |
| Objavljeno v |           |     | Zavod za zdravstveno varstvo; 2011; 298 str.; Avtorji / Authors: Janežič Sandra, Benčina Mojca, Rupnik Maja, Gradišar Helena   |
| Tipologija   |           |     | 2.25 Druge monografije in druga zaključena dela  |
| 5.           | COBISS ID |     | 4975898 Vir: COBISS.SI   |
| Naslov       |           | SLO | Načrtovanje poliedrov na osnovi ovitih vijačnic  |
|              |           | ANG | Coiled-coil based designed polyhedra   |
| Opis         |           | SLO | Na vabljenem predavanju na angleški univerzi Je Roman Jerala predstavil rezultate naših raziskav. Predstavil je bil princip dizajniranja samosestavljevih polipeptidnih nanostruktur. Prikazal je primer samosestavljivega tetraedra iz ene polipeptidne verige, ki je sestavljena iz dvanajstih segmentov, med seboj povezanih z gibljivimi peptidnimi linkerji. Samosestavljanje rekombinantnega polipeptida je določeno z natančnim vrstnim redom segmentov, ki tvorijo ovite vijačnice, in paroma tvorijo šest stranic, vsaka meri približno 5 nm. Z različnimi metodami smo pokazali nastanek takšnega tetraedra, s transmijskim elektronskim mikroskopom, z mikroskopom na atomsko silo, z merjenjem velikosti delcev. Razcepljen fluorescenčni protein, ki smo ga vezali na oba konca polipeptidne verige, se je pravilno sestavil in fluorescial le v primeru pravilno sestavljenega teraedra. Če smo zamenjali vrstni red segmentov v polipeptidni verigi ali en segment odstranili, se tetraeder ni sestavil pravilno. |
|              |           | ANG | At the Bristol University, Roman Jerala had lecture on the topic of the principle of self-assembling polypeptide nanostructure design. He presented the design of tetrahedron that self-assembles from a single polypeptide chain comprising 12 concatenated coiled-coil-forming peptide segments separated by flexible peptide hinges. Self-assembling of the recombinat polypeptide is defined by the precise order of coiled-coil-forming segments and their pairwise interactions that form 6 rigid edges, each measuring approx. 5 nm. We characterized the obtained nanostructure using different methods, transmission electron microscopy, atomic force microscopy, dynamic light scattering. Split fluorescent protein attached to the termini of the polypeptide is reconstituted only by the correctly formed tetrahedron, while polypeptides with a deleted or scrambled segment order fail to self-assemble correctly.  |
| Šifra        |           |     | B.04 Vabljeno predavanje   |
| Objavljeno v |           |     | University od Bristol; 2012; Avtorji / Authors: Jerala Roman   |
| Tipologija   |           |     | 3.14 Predavanje na tuji univerzi   |

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

Člani projektne skupine so večkrat predstavljali svoje raziskovalno delo s predavanji in plakati na konferencah ter z vabljenimi predavanji. Prav tako so sodelovali pri predstavitvah raziskav in znanosti širši javnosti in pri izvedbi študentskih raziskav kot mentorji za tekmovanji iGEM na MIT, ZDA ter BioMod, ZDA.

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

### 10.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>10</sup>

SLO

Pomen raziskav, ki so bile izvedene v okviru projekta, za razvoj znanosti je razviden iz strateških dokumentov tako v Sloveniji kot v Evropski skupnosti. Projektne raziskave se uvrščajo na dve področji, ki sta v Resoluciji o nacionalnem raziskovalno in razvojnem programu Slovenije navedeni med posebno perspektivnimi: Napredni (novi) sintetični kovinski in nekovinski materiali in nanotehnologije ter Zdravje in znanost o življenju. Prav tako se uvrščajo na vsaj dve področji, ki so jih v evropskem 7. okvirnem programu (Cooperation) uvrstili med prioriteta za leto 2011, to sta biotehnologija (Aktivnost 2.3 Vede o življenju, biotehnologija in biokemija za trajnostne ne-prehrabne produkte in procese) in nanoznanosti (Aktivnost 4.1 Nanoznanosti in nanotehnologije). Pri tem je konkretno sintezna biologija uvrščena med nove trende v biotehnologiji.

Pomembnost projekta je predvsem v ovrednotenju potenciala revolucionarnega pristopa za načrtovanje proteinskih bionanomaterialov in njihovega biotehnološkega pridobivanja. Rezultati projekta so podali nova znanstvena spoznanja, ki imajo uporabno vrednost in smo jih najprej zaščitili v štirih patentnih prijavih, nato pa o njih poročali v mednarodni znanstveni literaturi in na znanstvenih srečanjih. Nova odkritja in znanja o možnosti de novo priprave različnih novih proteinskih struktur in o možnostih njihove funkcionalizacije so zanimiva tudi za druga področja znanosti. Daljnoročno lahko pričakujemo razvoj popolnoma nove skupine bionanomaterialov. Pridobljeni izvirni funkcionalni materiali bodo lahko uporabni na številnih področjih kot so medicina, farmacija, kemijsko inženirstvo, elektronika itd.

ANG

Importance of the research results for the development of science is evident from the strategic documents in Slovenia as well as in the European Union. The proposed research coincides with two lines, which are in the European 7th Framework Programme (Cooperation) among the priorities: biotechnology (Activity 2.3 Life sciences, biotechnology and biochemistry for sustainable non-food products and processes) and nanosciences (Activity 4.1 Nanosciences and nanotechnologies). In addition, synthetic biology is placed among the Emerging trends in biotechnology. The research coincides also with two areas that are in the Slovenian Resolution on National R&D Programme identified as particularly promising: Advanced (new) synthetic metal and non-metal materials and nanotechnologies, and Health and life sciences.

The relevance of the project results is first of all in the evaluation of the potential of the revolutionary approach for design of protein bionanomaterials and their biotechnological production. Results of the project lead to new scientific knowledge with application value and therefore, we first protected them in four patent applications, then we published the results in international scientific literature and at the scientific meetings. New discoveries and knowledge about the possibility of de novo synthesis of a variety of new protein structures and about their potential functionalization are interesting also for broader scientific audience. In the long term we can expect development of a completely new group of bionanomaterials. The produced innovative functional materials can be applicable in various fields such as medicine, pharmacy, chemical engineering, electronics etc.

### 10.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>11</sup>

SLO

Največja vrednost rezultatov projekta je razvoj visoko specializiranih znanj, ki so na razpolago uporabnikom s področja farmacije, medicine in kemije za reševanje konkretnih problemov. Z uporabo izvirnega pristopa raziskujemo možnosti za načrtovano pridobitev nanodelcev z definirano strukturo in novimi lastnostmi za tako imenovano na znanju temelječo bioekonomijo (Knowledge Based Bioeconomy – KBBE). V Sloveniji to področje priprave nanomaterialov ni bilo pokrito, dokler se ni začela pred štirimi leti s tem ukvarjati naša skupina, v svetu pa so raziskave na tem področju intenzivne, predvsem v ZDA, v najrazvitejših evropskih državah in na Japonskem. Gre za strateško zelo pomembno področje, saj je znano, da je na področju nanotehnologije veliko patentov. Daljnoročno bodo nova odkritja in znanja lahko vodila do novih materialov z visoko dodano vrednostjo, z različno, po želji krojeno funkcionalnostjo za

različna področja uporabe. Primeri uporabnosti takšnih nanomaterialov z novimi lastnostmi so npr. na področju farmacije, kjer bi nanodelci na osnovi proteinov omogočili nov tip dostave zdravil s pomočjo biokompatibilnih molekul. Nanodelci bi lahko kontrolirano sproščali zdravilne učinkovine pod določenimi pogoji, lahko bi npr. zaščitili zdravilne učinkovine pred delovanjem prebavnih encimov, lahko bi omogočili usmerjanje zdravila v organizmu in povzročili koncentriranje in nadzorovano sproščanje zdravilnih učinkovin v obolenem, npr. rakavem tkivu. V odnosu do okolja lahko pričakujemo, da bodo nanodelci na osnovi bioloških molekul imeli večjo biokompatibilnost, da bodo torej imeli manjše škodljive učinke kot npr. antimikrobni delci na osnovi nanodelcev srebra, ki v človeškem organizmu povzročajo vnetje, ali nanodelci titanovega dioksida, katere povezujejo z nevrodegenerativnimi boleznimi.

Nadaljnje raziskave bi lahko vodile do izboljšanja konkurenčnosti slovenskih biotehnoških podjetij oz. ustanavljanja novih spin-off podjetij, kar bi posledično lahko vodilo do novih delovnih mest za biotehnoško izobražen kader. Poleg gospodarskih učinkov bodo novi materiali, implementirani v ustreznih produktih, lahko služili izboljšanju kvalitete življenja državljanov.

Posredno pa nova znanja, metode in materiali pripomorejo k promociji države preko objav naših rezultatov v mednarodni znanstveni literaturi in poročanj na mednarodnih znanstvenih srečanjih. Raziskovalni projekt je pokazal pomembno vlogo tudi z vidika vzgoje novih visoko kvalificiranih in specializiranih kadrov, saj so bili vanj vključeni diplomanti in mladi raziskovalci.

ANG

The highest relevance of the project results for the economy and the society we see in the development of highly specialized knowledge that is available for users from the fields such as pharmacy, medicine and chemistry for solving real problems. Within the project we explored – by using an innovative approach - the possibilities for the designed production of nanoparticles with predefined structure and new features, which resulted in new products with high added value for the so-called Knowledge-Based Bioeconomy (KBBE). In Slovenia, this area of the preparation of nanomaterials was not covered until we started our project four years ago. However, in the world, intense research is underway in this area, mainly in the USA, in mostly developed European countries and in Japan. This is a strategically very important area, since it is known that in the field of nanotechnology many patents overlap and it is important, who first discovers new types of nanostructures. Our new discoveries and knowledge may finally lead to new materials with high added value, with different, predetermined functionalities for different fields of application. Examples of application of such materials with new properties are in the field of pharmacy, where the nanoparticles based on proteins would enable a new way for drug delivery by means of biocompatible molecules. Nanoparticles could perform controlled release of drugs under certain conditions, protection of the active substance against the digestive enzymes; they could target the drug in the body and lead to concentration and controlled release of active substances in diseased tissue, e.g. cancer tissue. We can expect that nanoparticles on the basis of biological molecules will have a higher biocompatibility, and consequently they will have less adverse effects than antimicrobial nanoparticles based on silver, which in humans cause inflammation, or than nanoparticles of titanium dioxide, which are presumably associated with neurodegenerative diseases.

The continuation of the research will represent increased competitiveness of Slovenian biotech companies and will eventually result in establishing new spin-off companies, which in turn may lead to new jobs for the biotechnologically educated staff. In addition to economic performance, new materials, implemented in the appropriate products, may serve to improve the quality of life. Indirectly, new knowledge, new methods and materials help to promote Slovenia through publication of our results in international scientific literature and presentations at international scientific meetings.

The research project was also important in terms of education of highly qualified and specialized personnel, since many diploma students and young researchers were involved in researches.

**11. 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 type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.02</b> | <b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.03</b> | <b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>     |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.04</b> | <b>Dvig tehnološke ravni</b>                                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.05</b> | <b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>       |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.06</b> | <b>Razvoj novega izdelka</b>                                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.07</b> | <b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>                         |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input 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 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 type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |

|             |  |   |
|-------------|--|---|
|             |  | <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 type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.11</b> | <b>Razvoj nove storitve</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.12</b> | <b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.13</b> | <b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>           |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <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 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 type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.16</b> | <b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.17</b> | <b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>                  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |

|             |  |   |
|-------------|--|---|
| <b>F.18</b> | <b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>    |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.19</b> | <b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>                          |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.20</b> | <b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.21</b> | <b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>                             |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.22</b> | <b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.23</b> | <b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>           |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.24</b> | <b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b> |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.25</b> | <b>Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>                               |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.26</b> | <b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>                     |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             |  |   |

|             |   |   |
|-------------|---|---|
|             | Rezultat  | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov  | <input type="text"/>                              |
| <b>F.27</b> | <b>Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b> |   |
|             | Zastavljen cilj   | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat  | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov  | <input type="text"/>                              |
| <b>F.28</b> | <b>Priprava/organizacija razstave</b>                                 |   |
|             | Zastavljen cilj   | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat  | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov  | <input type="text"/>                              |
| <b>F.29</b> | <b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>             |   |
|             | Zastavljen cilj   | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat  | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov  | <input type="text"/>                              |
| <b>F.30</b> | <b>Strokovna ocena stanja</b>   |   |
|             | Zastavljen cilj   | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat  | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov  | <input type="text"/>                              |
| <b>F.31</b> | <b>Razvoj standardov</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj   | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat  | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov  | <input type="text"/>                              |
| <b>F.32</b> | <b>Mednarodni patent</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj   | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat  | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov  | <input type="text"/>                              |
| <b>F.33</b> | <b>Patent v Sloveniji</b>   |   |
|             | Zastavljen cilj   | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat  | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov  | <input type="text"/>                              |
| <b>F.34</b> | <b>Svetovalna dejavnost</b>   |   |
|             | Zastavljen cilj   | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat  | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov  | <input type="text"/>                              |
| <b>F.35</b> | <b>Drugo</b>  |   |



|                    |   |
|--------------------|---|
| Zastavljen cilj    | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
| Rezultat           | <input type="text"/>                              |
| Uporaba rezultatov | <input type="text"/>                              |

**Komentar**


**12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**  
**Osnačite 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 type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.01.02.    | Razvoj podiplomskega izobraževanja                   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.01.03.    | Drugo: <input type="text"/>                          | <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 type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.02.    | Širitev obstoječih trgov                             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.03.    | Znižanje stroškov proizvodnje                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.04.    | Zmanjšanje porabe materialov in energije             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.05.    | Razširitev področja dejavnosti                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.06.    | Večja konkurenčna sposobnost                         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.07.    | Večji delež izvoza                                   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.08.    | Povečanje dobička                                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.09.    | Nova delovna mesta                                   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.10.    | Dvig izobrazbene strukture zaposlenih                | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.11.    | Nov investicijski zagon                              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.12.    | Drugo: <input type="text"/>                          | <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 type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.03.02.    | Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.03.03.    | Uvajanje novih tehnologij                            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.03.04.    | Drugo: <input type="text"/>                          | <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 type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.04.02.    | Izboljšanje vodenja in upravljanja                   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.04.03.    | Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
|             |  |                       |                       |                       |                       |  |

|              |  |                       |                       |                       |                       |  |
|--------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| G.04.04.     | Razvoj socialnih dejavnosti  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.04.05.     | Razvoj civilne družbe  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.04.06.     | Drugo:   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.05.</b> | <b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.06.</b> | <b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>                                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.07</b>  | <b>Razvoj družbene infrastrukture</b>  |                       |                       |                       |                       |  |
| G.07.01.     | Informacijsko-komunikacijska infrastruktura  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.07.02.     | Prometna infrastruktura  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.07.03.     | Energetska infrastruktura  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.07.04.     | Drugo:   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.08.</b> | <b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>                           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.09.</b> | <b>Drugo:</b>  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |

**Komentar**

|  |
|--|
|  |
|--|

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

|    |  |       |     |
|----|--|-------|-----|
|    | 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  |       |     |

**14.Izjemni dosežek v letu 2012<sup>13</sup>****14.1. Izjemni znanstveni dosežek**

V članku v ugledni reviji smo objavili rezultate raziskav bionanomaterialov iz polipeptidnih gradnikov. Iz polipeptidnega gradnika, sestavljenega iz dveh segmentov, smo prikazali samosestavljanje / razstavljanje mreže z nanoporami s pomočjo zunanega dejavnika. V eni izmed najuglednejših revij smo pred kratkim dobili pozitivno recenzijo za predlog članka s področja samosestavljivih bionanostruktur iz ene polipeptidne verige. V članku smo predstavili

našo inovativno idejo načrtovanja poliedrskih nanostruktur iz ene same polipeptidne verige, ki jo sestavljajo peptidni segmenti, ki tvorijo ovite vijačnice in je zaporedje segmentov natančno določeno. Eksperimentalno smo hipotezo potrdili na samosestavljenem tetraedru, prikazali smo produkcijo polipeptida in karakterizacijo tetraedričnih nanostruktur, ki se samosestavijo pod določenimi pogoji. Pričakujemo objavo članka v 2013, ki bo vsekakor izjemen dosežek.

#### 14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Zelo smo uspešni pri vključevanju študentov v raziskovalno delo. Že 6 let vsako leto pod vodstvom naših mentorjev študentske ekipe z raziskavo tekmujejo na tekmovanju s področja sintezne biologije na MIT, ZDA, kjer dosegajo izvrstne rezultate. Poleg znanstvenega rezultata so uspehi na tekmovanju zelo pomembni za promocijo kvalitete slovenske znanosti in izobraževanja.

### 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:*

Kemijski inštitut

Jožefa Friedrich

#### ŽIG

Kraj in datum:

#### Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/178

<sup>1</sup> Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

<sup>3</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>4</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

<sup>5</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>6</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>7</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>8</sup> Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>9</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>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>12</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>13</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00

18-84-F9-4D-E6-A5-51-8F-F1-26-CE-8D-A8-14-2F-9A-66-7A-2F-DE

VEDA: TEHNIŠKE IN TEHNOLOŠKE VEDE

Področje: 2.04 Kemijsko inženirstvo

## Dosežek 1: FUNKCIONALNI SAMOSESTAVLJIVI POLIPEPTIDNI BIONANOMATERIALI

Vir: Doles T. et al. Functional self-assembling polypeptide bionanomaterials; Biochem. Soc. Trans. (2012) 40, 629-634.

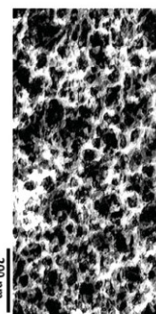
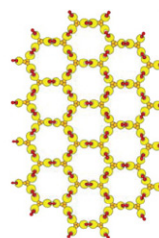
### Functional self-assembling polypeptide bionanomaterials

Tibor Doles<sup>\*</sup>, Sabina Božič<sup>\*</sup>, Helena Gradišar<sup>\*†</sup> and Roman Jerala<sup>\*†‡</sup>

<sup>\*</sup>Department of Biotechnology, National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia, <sup>†</sup>EN-FIST Centre of Excellence, Ljubljana, Slovenia, and <sup>‡</sup>Faculty of Chemistry and Chemical Technology, University of Ljubljana, Slovenia

#### Abstract

Bionanotechnology seeks to modify and design new biopolymers and their applications and uses biological systems as cell factories for the production of nanomaterials. Molecular self-assembly as the main organizing principle of biological systems is also the driving force for the assembly of artificial bionanomaterials. Protein domains and peptides are particularly attractive as building blocks because of their ability to form complex three-dimensional assemblies from a combination of at least two oligomerization domains that have the oligomerization state of at least two and three respectively. In the present paper, we review the application of polypeptide-based material for the formation of material with nanometre-scale pores that can be used for the separation. Use of antiparallel coiled-coil dimerization domains introduces the possibility of modulation of pore size and chemical properties. Assembly or disassembly of bionanomaterials can be regulated by an external signal as demonstrated by the coumermycin-induced dimerization of the gyrase B domain which triggers the formation of polypeptide assembly.



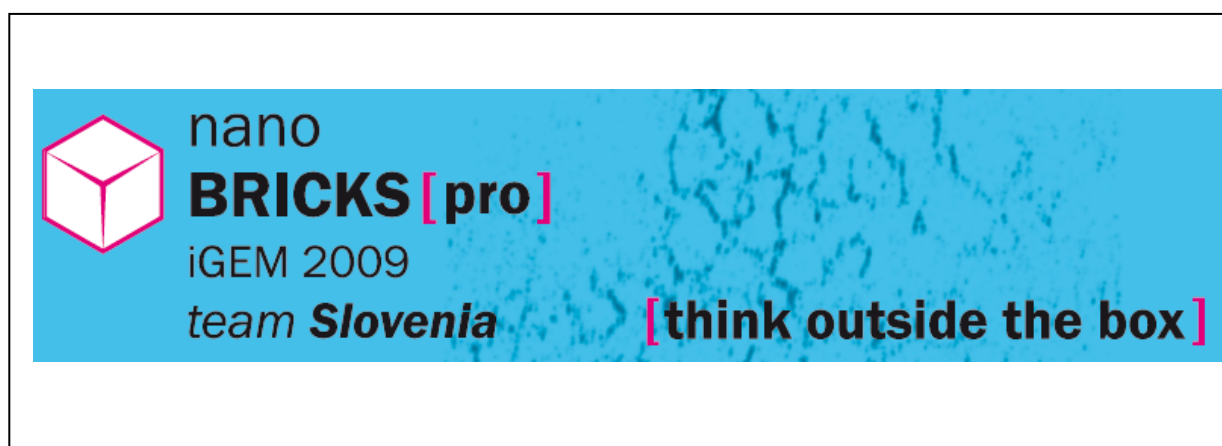
V članku v ugledni reviji angleškega biokemijskega društva smo objavili rezultate naših raziskav s področja samosestavljenih polipeptidnih nanomaterialov.

V članku opisujemo princip nastanka polipeptidnih materialov, ki vsebujejo definirane nanopore, in jih lahko uporabimo za separacijo nanomolekul. Uporaba dimerizacijskih domen, ki tvorijo antiparalelne ovite vijačnice, omogoča spreminjanje dimenzij nanopor in spreminjanje njihovih kemijskih lastnosti. Sestavljanje ali razstavljanje takšnih bionanomaterialov lahko reguliramo z zunanji signali.

# VEDA: TEHNIŠKE IN TEHNOLOŠKE VEDE

Področje: 2.04 Kemijsko inženirstvo

Dosežek 1: Študentsko mednarodno tekmovanje v sintezni biologiji, Vir:  
[http://2009.igem.org/Main\\_Page](http://2009.igem.org/Main_Page)



Zlata kolajna na tekmovanju raziskovalnih projektov iz sintezne biologije na univerzi MIT v letu 2009.

Raziskovalci projektne skupine smo vsako leto organizirali ekipo študentov Univerze v Ljubljani, ki je na *raziskovalnem področju "sintezne biologije"* izvedla vsako leto nov raziskovalni projekt na temo zdravja in medicine ali nanomateriali. Leta 2009 smo osvojili zlato kolajno na mednarodnem tekmovanju v Sintezni Biologiji na znameniti univerzi MIT, ZDA. Leta 2010 in 2012 pa sta se projekta uvrstila med šest finalistov in osvojila prva mesta na posameznih področjih.

Poleg znanstvenega rezultata je uspeh na tekmovanju zelo pomemben za promocijo kvalitete slovenske znanosti in izobraževanja v svetu in za promocijo študija naravoslovja v Sloveniji ter za razvoj sintezne biologije kot pomembne mlade discipline.