

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/15



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z1-5441
Naslov projekta	Fluidika aktivnih in kompleksnih tekočin na mikroskali
Vodja projekta	25670 Miha Ravnik
Tip projekta	Zt Podoktorski projekt - temeljni
Obseg raziskovalnih ur	3400
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	08.2013 - 07.2015
Nosilna raziskovalna organizacija	1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	1 NARAVOSLOVJE 1.02 Fizika 1.02.01 Fizika kondenzirane materije
Družbeno-ekonomski cilj	13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	1 Naravoslovne vede 1.03 Fizika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Mikro aktivnost materialov je danes v vrhu raziskav kot zanimiv in nenavaden mehanizem mehkih kondenzirani snovi, ki je zmožen ustvariti pojave kot so notranja gibljivost, plavanje mikro-objektov in tvorba kompleksnih tokovnih profilov, pri čemer pa je glavni izziv raziskav doseči nadzor nad aktivnostjo, ki bi omogočil usmerjeno delovanje. V tem podoktorskem projektu predlagamo nov pristop nadzorovane aktivnosti, kjer bomo tri ključne mehanizme

povezane z aktivnostjo –ograjnost, topološke defekte in koloidne inkluzije- uporabili kot pristope za ustvarjanje aktivnosti in njen nadzor. Z uporabo kompleksnega numeričnega modeliranja in stalno povezavo s sodelujočimi eksperimenti bomo v prvem raziskovalnem cilju ustvarili aktivne tokovne profile v sferičnih, toroidnih in drugih eksperimentalno zanimivih mikro-votlinah, ki bodo določeni z ograditvijo. V drugem cilju bomo raziskali aktivne topološke defekte kot ključni mehanizem za topološko določanje aktivnih tokov. V tretjem cilju pa bomo v pasivnih anizotropnih kompleksnih tekočinah ustvarili koloidne plavalce iz več mikro-delcev kot diskretne vire aktivnosti posameznih objektov. V aktivnih tekočinah bomo splošno aktivnost stimulirali ali z lastno gibljivostjo ali pa z efektivno aktivnostjo, gnano z zunanjimi polji, kar bo dalo zanimiv nov vpogled v mikroskopski izvor aktivnih tokov. Raziskali bomo povezan vpliv ograditve in zunanjih polj na režime aktivnih tokov. Posebej biološko relevanten cilj projekta bo raziskati mehanizme lokalizirane aktivnosti na aktivnih mestih, kjer se bomo osredotočili na pojav sklapanja aktivnosti in aktivne sinhronizacije. Posebno aplikativno usmerjene bosta koncept »usmerjenega« mikro-plavanja, določenega z anizotropno smerjo tekočine, in pa koncept uporabe aktivnih defektov kot lokalnih aktivnih mikro-črpalk, ki bosta omogočila lokalni nadzor nad aktivnimi tokovi, kar bo odprlo zanimive možnosti uporabe teh metod za mikro-manipulacijo in mikro-spreminjanje tekočin. Metodološko bo glavni pristop projekta intenzivno numerično modeliranje s hibridno Lattice Boltzmann metodo na osnovi modela aktivne nematske tekočine, kar je danes eden od najučinkovitejših mezoskopskih kontinuumskih pristopov k aktivnim materialom. Projekt se bo izvajal v skupini za mehko snov na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, ki je znana po najvišjih znanstvenih standardih in skupnem teoretičnem in eksperimentalnem delu. Ta podoktorski projekt bo postavil tudi trdno osnovo za prenos znanja iz Oxforda v Ljubljano (in Slovenijo) po obdobju mobilnosti in tako prispeval k ustvarjanju nove kohezije na bilateralnem in mednarodnem nivoju. Širok doseg predlaganih raziskav, aplikativno usmerjeni raziskovalni cilji in močna povezanost z znanstveno in širšo javnostjo so tudi direktne zaveze k znanstveni odličnosti, kar bo ustvarilo nove možnosti za komercializacijo visokotehnoloških raziskovalnih rezultatov.

ANG

Micro-scale activity of materials is today an exciting mechanism at the forefront of research in soft condensed matter and bio-physics, which is capable of exciting new phenomena. In this post-doc project, we propose a novel approach of controllable activity where three central mechanisms affecting the activity –the confinement by geometry, the topological defects, and the colloidal inclusions- will be used for generating the activity and its control. Using advanced numerical modelling with strong ties to collaborating experiments, we will implement in the first Objective, the spherical, toroidal, and other experimentally motivated active cavities to achieve confinement-controllable active flow profiles. In second Objective, active topological defects will be explored as the key- mechanism for topological control of active flows. And in the third Objective, colloidal swimmers made of several micro-particles will be studied in passive anisotropic complex fluids as sources of discrete sources of activity by individual active objects. In active materials, the general activity will be stimulated either by own bulk motility or by the effective activity driven with external fields, which will give a new insight in the microscopic origin of the active flows. We will explore coupled effects of confinement and external fields on the active flow regimes. A particularly biologically relevant research will be to explore mechanisms of localised activity in active patches, where we will focus on the phenomena of active coupling and active synchronisation. Specially application directed research goals will be the concept of "biased" micro-swimming by controlling the anisotropic direction in the fluid and the application of active defects as local micro-pumps, which will give access to local control of the active flow with possible use as novel efficient methods for micromanipulation and micro-control. The central methodological approach of the proposal will be intensive numerical modelling with the Hybrid Lattice Boltzmann method, based on the active nematic fluid model, which is today the central mesoscopic continuum approach to active materials. The project will be implemented in the soft matter group at the Faculty of Mathematics and Physics at the University of Ljubljana, which is renown for highest scientific standards and joint theoretical and experimental work. After the period of mobility, this post-doc project will also serve as a firm basis for direct transfer of knowledge of the fellow from Oxford to Ljubljana (and Slovenia), and will establish the cohesion at bi-lateral and international level. Finally, the wide outreach of the proposed research, the application directed research aims, and strong ties with scientific and general community are a direct commitment to 'frontier research' which will be able to create new opportunities for commercialisation of the

high-tech research results.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

V raziskavah smo uporabili intenzivno numerične simulacije na osnovi kontinuumskega Beris-Edwardsovega modela aktivnih in pasivnih tekočih kristalov, kot že začeto v prvem obdobju projekta. Določene segmente modela smo nadgradili, za razumevanje izbranih rezultatov simulacij pa smo uporabili tudi poenostavljene analitične poračune, ki so omogočili vpogled v sklopitve med polji. Osrednji numerični pristop uporablja tenzor ureditvenega parametra Q za opis orientacijskega urejanja, hitrostno polje u za opis materialnega toka in napetostni tenzor z dipolno simetrijo za sklopitve Q in u . Na teme povezane s projektom so se v drugi polovici projekta vključili tudi magistranti, nekaj teh vsebin pa zdaj nadaljuje tudi kot doktorati v skupini.

Skupno smo ob podpori tega projekta objavili 11 znanstvenih člankov -ki tudi projekt navajajo v zahvali-, med njimi 1x Nature Materials (IF = 36.5), 1x Nature Physics (IF=20.1) in 2x PNAS (IF = 9.7).

Raziskovalne rezultate projekta lahko povzamemo v naslednje sklope, ki izhajajo iz raziskovalnih ciljev RC1-RC3.

(i) Kibblov mehanizem defektov v mikrofluidnem ograjenem prostoru. Obravnavali smo dinamiko topoloških defektov ustvarjenih po Kibblovem mehanizmu, kjer je bil prostor omejen, konkretno z vlaganjem koloidnega vlakna. Pokazali smo tvorbo defektov in njihovo časovno odvisnost. Delo je bilo skupno s skupino Prof. I. Muševiča. Objava: Nature Phys. 11, 183 (2015) – ta vsebina je bila tudi prepoznana in nagrajena kot eden od najbolj odmevnih dosežkov Univerze v Ljubljani v preteklem letu.

(ii) Medsebojno spleteni fizični vozli in vozli polja. Pokazali smo medsebojno spletanje fizičnih vozlov v obliki mikroskopskih delcev in vozlov v molekularnem ureditvenim polju nematskega tekočega kristala, kar je skupno delo z eksperimentalno skupino I. Smalyukha z Univerze v Koloradu Boulder (ZDA). Numerično modeliranje se uporabi za opis in določitev strukture nematskega polja, posebej topoloških "boojum" defektov in defektnih linij, kar razkrije zanimivo prepleteno topologijo vozlov iz delcev in vozlov v polju. Opisane raziskave nadaljujemo v smeri stanj aktivnih nematskih tekočin, posebej v 3D prostoru. Objava: Nature Mater. 13, 258–263 (2014).

(iii) Kvazikristalni mozaiki na osnovi nematskih koloidov. Pokazali smo eno redkih realizacij kvazikristalnih struktur (Penroseovo P1 mrežo) v mehki snovi, konkretno z uporabo koloidnih ploščic v mikrofluidnem okolju nematskih kompleksnih tekočin. Strukture omogočajo hierarhično zamenjavo gradnikov, kar nakazuje možnost fraktalnih hierarhičnih mikrofluidnih struktur. Objava: Proc. Natl. Acad. Sci. USA 111, 2464 (2014).

(iv) Določanje površinske morfologije bioloških vlaken z nematskimi kapljicami. Pokazali smo, da lahko nematske kapljice, ki jih prebodemo z mikroskopskimi vlakni delujejo kot senzor za površinske lastnosti mikrovlaken, kot so celulozna vlakna in pajkove mreže. Določimo lahko tudi morebitno kiralnost vnanek, ter morfologijo morebitnih prepletov vlaken. Objava: Proc. Natl. Acad. Sci. 113, 1174 (2016)

(v) Fotonika mikrofluidnih koloidnih nematskih stanj: Raziskali smo ustvarjanje novih vektorskih laserskih snopov preko sklopitve z ureditvijo nematske tekočine, nastavljalivost fotonih pasov s spreminjanjem ureditve nematske tekočine ter Kerrov efekt v matričnih modrih fazah. Objave: Soft Matter 10, 6339 (2014), Phys. Rev. E 90, 022503 (2014) in Soft Matter 11, 8417 (2015).

(vi) Nastavljivi koloidni nematski materiali: Pokazali smo (i) več-valenčna nematska koloidna stanja, t.i. Janusove koloide, (ii) raziskali ureditev kromoničnih nematikov ob ograditvi, ki pokažejo nenavaden zvojni odziv, (iii) določili pome sedlasto pahljačaste konstante v kompleksnih nematskih geometrijah in (iv) raziskali nematske koloide z delci, ki spreminjajo topologijo. Objave: Materials 7, 4272-4281 (2014), Phys. Rev. E 89, 062502 (2014), Soft Matter 12, 1313 (2016) in J. Phys. Condens. Matter 27, 354111 (2015).

(vii) V pripravi za objavo je še več rezultatov iz obdobja trajanja projekta, ki se zdaj končujejo, med njimi: nematski fraktalni koloidi (članek bo poslan v Nature Comm), aktivna turbulenca v aktivnih nematskih kapljicah (poslano bo v Nature Physics), porozna nematska mikrofluidika (poslano v Phys Rev Fluids).

Projekt je tekel na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, v okviru Skupine za fiziko mehkih in delno urejenih snovi, ob tesnem sodelovanju z eksperimentalnima skupinama

I. Muševiča na Inštitutu Jožef Stefan in Prof. i. Smalyukha na Univerzi v Koloradu Boulder. Pri delu smo nadalje sodelovali s skupino J. M. Yeomans z Univerze v Oxfordu, z G. P Alexandrom (University of Warwick, UK) in z Dr. J.-ichi Fukudo (AIST, Japonska). Prav skupno delo s sodelavci je dalo projektu tudi mednarodno dimenzijo in pa seveda neposredno pot za diseminacijo rezultatov.

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

Kot načrtovano smo v prvem letu projekt pognali z Raziskovalnima ciljema RC1 in RC2, kjer smo implementirali različne robne pogoje in različne geometrije ograjujočih mikrofluidičnih kanalov in votlin. Narejeni so bili prvi rezultati tokovnih vzorcev in nematskega. K temi projekta so se pridružili tudi magistrski študenti.

V letu 2014 (0.5-1.5 leto projekta) smo izvajali in začeli z izvajanjem vseh raziskovalnih ciljev, vzporedno pa so se –kot je dobro razvidno iz predstavljenih rezultatih- odprla še izredno zanimiva nova vprašanja in sklopitve sistema, ki smo jih tudi realizirali, kot npr sklopitve s fotoniko in nekatera koloidna stanja. Pod RC1 smo delali na kompleksnih mikrokanalih različnih geometrij in študirali nematski tok; vzporedno sta iz teme nastali 2 magistrski deli. Pod RC2 smo izvedli raziskavo aktivnih in pasivnih umbiličnih defektov, ki so bili do sedaj tipično neupoštevani objekti v mikrofluidnih tokovih kompleksnih tekočin. Relevantno pod tem ciljem smo raziskali tudi zavozlane topološke defekte in kako se le-ti sklapljajo z zavozlano ograjujočo geometrijo. Med drugim smo pokazali efekte ograditve na faze Kibblovega mehanizma. Pod RC3 pa smo implementirali oblikovno spremenljive površine oziroma delcev v Lattice Boltzmann shemo, pri čemer je delo še naprej v teku. V okviru tega sklopa smo na primer realizirale topološko spremenljive koloidne delce in napovedali možnosti za njihovo eksperimentalno realizacijo.

Če povzamemo, so rezultati po naši oceni opazno presegle cilje projekta –trenutno skupaj 11 objav z nekaj zelo odmevnimi, več pa jih je še v pripravi. Vsebine projekta direktno tudi uporabljamo kot dobro izhodišče za nadaljnja 2 projekta, ki smo jih uspeli pridobiti v preteklem letu, in sicer 3-letni projekt z ameriškim letalstvom USAF AFRL EOARD Research Project Nematic Colloidal Tilings as Tunable Soft Metamaterials (vodja M. Ravnik) in triletni ARRS projekt J1-7300 Metamateriali na osnovi tekočokristalnih koloidov. Aplikativno pa so nam vsebine v okviru dela na projektu razširile nabor aplikativnih znanj, ki jih prav zdaj pripravljamo v okviru razpisov pametne specializacije skupaj z Lek d.d. član Sandoz. Z jesenjo 2016 je tudi v postopku potrjevanja industrijski projekt s strani Lek d.d. ki bo namenjen financiranju 1 doktorskega študenta v okviru naše raziskovalne skupine (mentor M. Ravnik) za delo na temi agregacije proteinov.

V sklepu smo tako mnenja, da je delo na projektu dalo dobre rezultate, ki so relevantni tako s stališča osnovne znanosti kot tudi aplikacij in industrije.

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

Ni bilo nobenih sprememb programa raziskovalnega projekta niti sprememb programske skupine projekta.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	2786916	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Svetlobno nadzorovan topološki naboj v nematskih tekočih kristalih
		ANG	Light-controlled topological charge in a nematic liquid crystal
			V delu poročamo o odkritju svetlobnega ustvarjanja in nadzora nad topološkim nabojem v sistemu ograjenih nematskih tekočih kristalov. Pokažemo, da ograditev prostora, konkretno z mikroskopskim koloidnim vlaknom, vpliva na kasnejši razvoj Kibble-Zurek mehanizma in posledično omogoči ujetje topoloških defektnih zank z različnimi vrednostmi

	Opis	SLO	topološkega naboja. Njihovo dinamično obnašanje, kot sta odboj in anihilacija, natančno nadziramo z lasersko pinceto. Strukturo polja in anihilacijsko dinamiko določimo tudi z intenzivnim numeričnim modeliranjem na računalniških gručah. Splošneje opisana raziskava pokaže odzivnost Kibble-Zurek mehanizma na povezanost in robne pogoje prostora ter omogoči vpogled v ključne topološke invariante splošnih topološko pogojenih ureditvenih polj.
		ANG	We report on the discovery of light- control of the topological charge in the system of confined nematic liquid crystals, demonstrating that the confinement of space, specifically with microscopic colloidal fibres, affects the later stages of the Kibble-Zurek mechanism which allows for trapping and control of topological defect loops with different values of the topological charge. By using laser tweezers, the dynamics of topologically charged objects can be well manipulated, including in processes of repulsion and annihilation. The structure of ordering fields and the annihilation dynamics are determined also with intensive numerical modelling. More generally, the demonstrated research reveals the sensitivity of the Kibble-Zurek mechanism on the connectedness of space and symmetry-breaking boundary conditions and further provides a new insight into key topological invariants of general topologically conditioned ordering fields.
	Objavljeno v	Nature Pub.; Nature physics; 2015; Vol. 11, no. 2; str. 183-187; Impact Factor: 20.147; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.669; A'': 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Nikkhou Maryam, Škarabot Miha, Čopar Simon, Ravnik Miha, Žumer Slobodan, Muševič Igor	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	2630244	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Medsebojno spleteni vozli koloidov in defektnih zank v nematskih poljih
		ANG	Mutually tangled colloidal knots and induced defect loops in nematic fields
	Opis	SLO	V članku poročamo o medsebojnem spletanju fizičnih vozlov v obliki mikroskopskih delcev in vozlov v molekularnem ureditvenim polju nematskega tekočega kristala. Mikroskopske delce-vozle izdelamo z uporabo laserske dvo-fotonske fotopolimerizacijske tehnike. Numerično modeliranje se uporabi za opis in določitev strukture nematskega polja, posebej topoloških "boojum" defektov in defektnih linij, kar razkrije zanimivo prepleteno topologijo vozlov iz delcev in vozlov v polju. Opisane raziskave odpirajo nove možnosti za samo-sestavljanje topoloških superstruktur in za modeliranje drugih fizikalnih sistemov s podobnimi topološkimi značilnosti. Članek je bil dodatno izpostavljen z naslovnico (Front Cover) revije Nature Materials in s posebnim News and Views člankom Prof. W. T. M. Irvine-a z Univerze v Chicagu, enega vodilnih svetovnih strokovnjakov s področja eksperimentalne topologije kompleksnih polj.
		ANG	The work reports on the mutual knotting of physical knots in the form of microscopic colloidal particles and the field knots in the molecular ordering field of nematic liquid crystal. Microscopic particle-knots are produced via laser two-photon photopolimerisation technique. Numerical modelling is used for characterisation of the structures in the nematic field, especially topological boojum defects and defect lines, which reveals an interesting interplay of knotted particle and field topologies. The research opens a new route for the self-assembly of topological superstructures and for modelling of other physical systems with similar topological characteristics. The paper was additionally highlighted with the Front Cover of Nature Materials issues and with a News and Views article by Prof. W.T.M. Irvine from the University of Chicago, who is one of the world leading experts on experimental topology of complex fields.

	Objavljeno v	Nature Pub. Group; Nature materials; 2014; Vol. 13, no. 3; str. 258-263; Impact Factor: 36.503; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.709; A'': 1; A': 1; WoS: EI, PM, UB, UK; Avtorji / Authors: Martinez Angel, Ravnik Miha, Lucero Brice, Visvanathan Rayshan, Žumer Slobodan, Smalyukh Ivan I.	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	2638948	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Kvazikristalni mozaiki z nematskimi koloidnimi ploščicami
		ANG	Quasicrystalline tilings with nematic colloidal platelets
	Opis	SLO	V delu z numeričnim modeliranjem pokažemo sestavljanje kvazikristalne koloidne mreže –natančneje Penroseve P1 mreže- z uporabo petkotnih koloidnih ploščic v plasteh nematskega tekočega kristala. Mozaiki so energijsko stabilizirani z vezavnimi energijami do 2500kT za mikrometrске ploščice in nadalje omogočajo hierarhično zamenjavo mozaika z manjšimi ploščicami. Kvazikristalne strukture sestavimo bottom-up s sestavljanjem t.i. gruč v obliki čolna, romba, in zvezde, s čemer se izognemo drugim nekvazikristalnim stabilnim ali metastabilnim strukturam ploščic. Osrednje v razvoju kvazikristalnih mozaikov kot ploščic v nematskem tekočem kristalu je, da omogočajo širok nabor dolžinskih skal v mozaiku, kar bi lahko uporabili za razvoj kvazikristalne fotonike na več frekvenčnih območjih.
		ANG	Here, we show with numerical modeling that quasicrystalline colloidal lattices can be achieved in the form of original Penrose P1 tiling by using pentagonal colloidal platelets in layers of nematic liquid crystals. The tilings are energetically stabilized with binding energies up to 2500 kT for micrometer-sized platelets and further allow for hierarchical substitution tiling, i.e., hierarchical pentagulation. Quasicrystalline structures are constructed bottom-up by assembling the boat, rhombus, and star maximum density clusters, thus avoiding other (nonquasicrystalline) stable or metastable configurations of platelets. Finally, the design of the quasicrystalline tilings as platelets in nematic liquid crystals is inherently capable of a continuous variety of length scales of the tiling, which could allow for the design of quasicrystalline photonics at multiple frequency ranges.
	Objavljeno v	National Academy of Sciences; Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America; 2014; Vol. 111, issue 7; str. 2464-2469; Impact Factor: 9.674; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.706; A'': 1; A': 1; WoS: RO; Avtorji / Authors: Dontabhaktuni Jayasri, Ravnik Miha, Žumer Slobodan	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	2917220	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Določanje površinske morfologije bioloških vlaken z označevanjem pajkovih mrež in celuloznih filamentov z nematskimi kapljicami
		ANG	Sensing surface morphology of biofibers by decorating spider silk and cellulosic filaments with nematic microdroplets
	Opis	SLO	V delu pokažemo, da tekočerkristalne kapljice prebodene z mikrotankimi biološki vlakni –kot so pajkova mreža in celulozna vlakna- pokažejo površinske karakteristike vlaken ter tako delujejo kot občutljivi senzorji za površino. S povezavo eksperimentov in numeričnega modeliranja identificiramo različna vlakna preko interakcijo med nematsko kapljico in vlaknom, vključno s pravokotnim, aksialnim in helikoidnim planarnim urejanjem molekul. Nematske kapljice kot senzorji tudi neposredno pokažejo kiralnost vlaken. Pokažemo tudi različne prepletene vlaken preko kapljic pozicioniranih natančno na mesta prepleta. Splošneje opisana

		metoda kaže možnosti za uporabo kot preprost vendar izredno učinkovit način za testiranje površinskih lastnosti majhnih mikro-objektov, kar bi omogočilo njihovo natančno karakterizacijo.
	ANG	Here we demonstrate that liquid crystal droplets deposited on microthin biofibers—including spider silk and cellulosic fibers—reveal characteristics of the fibers' surface, performing as simple but sensitive surface sensors. By combining experiments and numerical modeling, different types of fibers are identified through the fiber-to-nematic droplet interactions, including perpendicular and axial or helicoidal planar molecular alignment. The nematic droplets as sensors also directly reveal chirality of cellulosic fibers. Different fiber entanglements can be identified by depositing droplets exactly at the fiber crossings. More generally, the presented method can be used as a simple but powerful approach for probing the surface properties of small-size bioobjects, opening a route to their precise characterization.
	Objavljeno v	National Academy of Sciences; Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America; 2016; Vol. 113, no. 5; str. 1174-1179; Impact Factor: 9.674; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.706; A': 1; A'': 1; WoS: RO; Avtorji / Authors: Aguirre Luis E., Oliveira Alexandre de, Seč David, Čopar Simon, Almeida Pedro L., Ravnik Miha, Godinho Maria H., Žumer Slobodan
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	2850916 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Matrične modre faze
		ANG Templated blue phases
	Opis	SLO Raziskali smo z numeričnim modeliranjem matrične modre faze. Z nastavljanjem površinskih pogojev sidranja na polimerni površini matrike napovemo ureditveno urejanje drugačno kot od modrih faz ter tako učinkovito nakažemo obstoj novih optičnih materialov z lastnostmi podobnimi modrim fazam. Študiramo optični Kerrov odziv matričnih modrih faz in pokažemo obstoj velike Kerrove konstante ter opazno odvisnost od površinskega sidranja. Splošneje je opisana študija usmerjena v pojasnitev vloge matrike v kompleksnih nematskih tekočinah ter kot možna pot za ustvarjanje novih optičnih materialov na osnovi matrik in kiralnih tekočih kristalov.
		ANG We explore with numerical modelling the templated blue phases. By tailoring the anchoring conditions of the polymer matrix surfaces we predict orientational ordering different from those of bulk blue phases, effectively indicating novel optical blue-phase like materials. Optical Kerr response of templated blue phases is explored, finding large Kerr constants and notable dependence on the surface anchoring strength. More generally, the presented numerical approach is aimed to clarify the role and actions of templating polymer matrices in complex chiral nematic fluids, and further to help design novel template-based materials from chiral liquid crystals.
	Objavljeno v	Royal Society of Chemistry; Soft matter; 2015; Vol. 11, iss. 43; str. 8417-8425; Impact Factor: 4.029; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.669; A': 1; WoS: EI, PM, UI, UY; Avtorji / Authors: Ravnik Miha, Fukuda Jun-ichi
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	Vir: vpis v obrazec

	Naslov	SLO	Svečana listina mlademu visokošolskemu učitelju za izjemne pedagoške in znanstvene dosežke; podeljuje Univerza v Ljubljani (dec. 2014).
		ANG	Honorary award for best junior university professors; Awarded by the University of Ljubljana (Dec 2014)
	Opis	SLO	Ravnik je prejel Svečano listino mlademu visokošolskemu učitelju za izjemne pedagoške in znanstvene dosežke, ki jo podeljuje Univerza v Ljubljani (december 2014). To je priznanje mladim profesorjem do 35 let, ki pokriva vsa znanstvena področja, in nakazuje nacionalno predvsem pa v svetovnem okviru trenutno najbolj prodorne mlade učitelje na univerzi. Podeli se največ 3 nagrade na leto za vsa področja.
		ANG	Ravnik was awarded the Honorary award for best junior university professors by the University of Ljubljana (December 2014). This award is a recognition to a young professor (up to age of 35), which covers all fields of science, and indicates junior professors at the university with highest-calibre research potential and top-level teaching skills. Maximum 3 awards are given each year for all fields.
	Šifra	E.01 Domače nagrade	
	Objavljeno v	http://www.uni-lj.si/aktualno/novice/2014120216200071/	
Tipologija	3.25 Druga izvedena dela		
2.	COBISS ID		Vir: vpis v obrazec
	Naslov	SLO	Vabljen predavanje na priznani Gordon Research Conference 2015
		ANG	Invited lecture at the distinguished Gordon Research Conference 2015
	Opis	SLO	Ravnik je junija 2015 s predavanjem »Fractal and Quasi-Crystalline Nematic Colloids for Photonics«. Na Gordonski konferenci 2013 (ta serija poteka vsaki dve leti) je bil vabljeni vodja sekcije (chairman). Gordonske konference so najodmevnejše konference iz »vročih« tem raziskav različnih vej znanosti, kjer se predstavljajo najnovejši in tipično še neobjavljeni rezultati raziskav. Na njih tako ni povzetkov predavanj ali referatov, prepovedano pa je celo fotografiranje.
		ANG	In June 2015, Ravnik was an invited speaker at the Gordon Research Conference 2011: Liquid Crystals, Massachusetts, USA, with the talk "Fractal and Quasi-Crystalline Nematic Colloids for Photonics". . At the 2013 Gordon conference (the Liq. Cryst. Gordon conference takes place every 2-years) he was invited session chairman. Gordon conferences are the most resonant conferences from the top-edge research topics of various fields of science, where most recent and typically even unpublished research results are presented. Therefore, there are no conference abstracts and conference proceedings, and even photography is forbidden.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v	https://www.grc.org/programs.aspx?id=11481	
Tipologija	3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa		
3.	COBISS ID	2635108	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vabljeni štipendist Japanese Society for Promotion of Science (JSPS) in serija 9 vabljenih predavanj na japonskih univerzah in inštitutih
		ANG	Invitation Fellow of Japanese Society for Promotion of Science (JSPS) and a series of 9 invited talks at Japanese universities and institutes
	Opis	SLO	Dr Miha Ravnik je z gostiteljem Dr. Jun-ichi Fukudo (AIST, Japonska) pridobil Short-term Invitation Fellowship osrednje japonske raziskovalne agencije Japanese Society for Promotion of Science (JSPS). V okviru 1.5 mesečnega obiska na Japonskem je imel kot vabljeni predavatelj serijo 9 predavanj pri različnih skupinah na univerzah v Tokyu, Kyotu, Fukuoki,

		Osaki in na inštitutu AIST v Tsukubi in sicer z vsebinami, ki so izhajala tudi iz projekta.
	ANG	Dr Miha Ravnik was together with his host Dr Jun-ichi Fukuda (AIST, Japan) awarded a Short-term Invitation Fellowship of the central Japanese research agency Japanese Society for Promotion of Science (JSPS). During his 1.5 month visit, Ravnik gave a series of 9 invited lectures at distinguished universities Tokyo, Kyoto, Fukuoka and Osaka; and at the AIST institute in Tsukuba, presenting also topics from this project.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v	Dokuritsugyousei houjin Nihongakujutsushinkoukai; Goudou kenkyuukai shiryou; 2013; Str. 1; Avtorji / Authors: Ravnik Miha
	Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)
4.	COBISS ID	Vir: vpis v obrazec
	Naslov	SLO Ravnik vodja projektov USAF AFRL EOARD Research Project Nematic Colloidal Tilings as Tunable Soft Metamaterials in ARRS J1-7300 Metamateriali na osnovi tekočerkristalnih koloidov
		ANG Ravnik PI of USAF AFRL EOARD Research Project Nematic Colloidal Tilings as Tunable Soft Metamaterials in ARRS J1-7300 Matamaterials based on liquid crystal colloids
	Opis	SLO Vsebine projekta smo uporabili kot izhodišče za nadaljnja 2 projekta, ki smo jih uspeli pridobiti v preteklem letu, in sicer 3-letni projekt z ameriškim letalstvom USAF AFRL EOARD Research Project Nematic Colloidal Tilings as Tunable Soft Metamaterials in triletni ARRS projekt J1-7300 Metamateriali na osnovi tekočerkristalnih koloidov
		ANG The contents of the grant were used as a starting point for two further reserach projects, which we got approved in the past year, i.e. 3 year project with American airforce USAF AFRL EOARD Research Project Nematic Colloidal Tilings as Tunable Soft Metamaterials and a 3-year slovenian ARRS project J1-7300 Matamaterials based on liquid crystal colloids.
	Šifra	D.01 Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov
	Objavljeno v	http://softmatter.fmf.uni-lj.si/main.php?page=proj
	Tipologija	3.25 Druga izvedena dela
5.	COBISS ID	2704996 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Tri magistrska dela v okviru projekta (mentor M. Ravnik)
		ANG Three MSc theses finished with the project (advisor M. Ravnik)
	Opis	SLO Trije magistrski študentje so opravili magistrske naloge povezane s projektom (Ž. Kos, J. Aplinc in A. Bregar). Štirje doktorski študentje in pet magistrskih zdaj dela na temah povezanih in delno začelih v tem projektu.
		ANG Three MSc students completed their MSc theses in relation with this project (Ž. Kos, J. Aplinc and A. Bregar). Four PhD students and 5 MSc students are now working on topics related and partially started in this project.
	Šifra	D.10 Pedagoško delo
	Objavljeno v	[Ž. Kos]; 2014; 57 str.; Avtorji / Authors: Kos Žiga
	Tipologija	2.09 Magistrsko delo

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine^Z

--

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Znanstveni rezultati tega projekta zajemajo široko študijo efektov v kompleksnih tekočinah kot jih pogojujejo ograjenost, dinamično poganjanje in zunanja polja. Delo –v polnem sodelovanju z več skupinami v Sloveniji in mednarodno- je pokazalo med drugim efekte ustvarjanja topoloških defektov v kasnejših fazah Kiblovega mehanizma, vozlanje fizičnih vozlov in vozlov polja, stabilizacijo koloidnih struktur s kvazikristalno simetrijo in razvoj nematskih kapljic kot površinskih senzorjev za biološka vlakna, kar so vse odlični rezultati na svetovnem nivoju. Odmevnost rezultatov se kaže tudi v visokih objavah teh vsebin (Nature Physics, Nature Materials, 2x PNAS)) in mnogih (20+) vabljenih predstavitev na mednarodnih konferencah in inštitucijah. Splošneje so razviti raziskovalni rezultati zanimiv prispevek na stiku področij znanosti mehkih snovi, znanosti o svetlobi, fluidike in aplikacij, ter imajo potencial, da se nadaljnje razvijejo v katerokoli od teh raziskovalnih smeri. V sklepu je to delo prispevek h konceptom uporabe kompleksnih tekočin in njihove dinamike za razvoj novih materialov, novih pristopom k mikroskopski kontroli toka svetlobe in kot izhodišče za simulacije kompleksnih dinamičnih pojavov kot je na primer agregacija proteinov.

ANG

The scientific results of this project encompass a broad study of effects in complex fluids, as affected by confinement, dynamic driving, and external fields. The work –in full collaboration with several groups in Slovenia and internationally- demonstrated among other, the effects of topological defect generation in latter stages of Kibble mechanism, knotting of physical and field knots, stabilisation of a colloidal assembly with quasicrystalline symmetry, and development of nematic droplets as surface sensors for biofibers, which are all cutting edge results at international level. This is reflected in the high-profile publications of these topics (Nature Physics, Nature Materials, 2x PNAS) and multiple (20+) invited presentations at conferences and institutions worldwide. More generally, the developed research results are an interesting contribution at the cross-road between top-level modern soft matter science, light studies, fluidics and applications, which have the potential to grow further into any of these research directions. Finally, this work is a contribution to push forward the concepts of complex fluid dynamics to develop novel materials, novel approaches for microscopically controlling the flow of light, and as a starting point for simulations of complex dynamic phenomena such as protein aggregation

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Rezultati projekta so v kontekstu pomena za Slovenijo večplastni. Odlični znanstveni rezultati so neposredni doprinos k nadaljnji uveljavitvi slovenske skupnosti mehke snovi kot enega svetovno najodličnejših centrov za fiziko tekočih kristalov in splošneje kompleksnih tekočin. Tudi neposredno so znanstveni rezultati tega zgodnjega post-doc stopnje projekta omogočili tvorbo mlade raziskovalne skupine okrog vodje projekta, ki je zdaj v procesu nadaljnje rasti in stabilizacije. Posredno pa je to novo znanje prispevalo k višji kvaliteti izobraževanja študentov različnih nivojev na Univerzi v Ljubljani in je zdaj eno od izhodišč za več bodočih doktoratov. Projekt in njegovi rezultati so tudi posredno prispevali k razvoju aplikativnega znanja simuliranja kompleksnih dinamičnih pojavov, kar zdaj prenašamo v verige in mreže vrednosti Pametne specializacije Slovenije.

ANG

The results of this project are multilayered in context of contribution to Slovenia. The top level scientific results are a direct contribution to the further establishment of the Slovenian soft matter community as one of the major international centers for the physics of liquid crystals, and more generally complex fluids. Also directly, scientifically, the developed scientific results of this early-stage post-doctoral level project enabled the formation of a young research group around the PI of the project, which is now in the process of further consolidation and growth. Indirectly, this growth of knowledge contributed to a higher level education of students of various level at the University of Ljubljana, and is now one of the sources for future work of several PhD students. The project and its results also indirectly contributed to the development of applied knowledge of simulating complex dynamical phenomena, which is now being

transferred into the value-chains and networks of applications to Smart specialisation in Slovenia.

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

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

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

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

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

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

Komentar

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

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

G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

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

13.Izjemni dosežek v letu 2015¹²**13.1. Izjemni znanstveni dosežek**

--

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

--

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
matematiko in fiziko

Miha Ravnik

ŽIG

Datum:

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/15

- ¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)
- ² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
- ⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)
- ⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

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

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- ⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)
- ⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)
- ⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)
- ¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2015 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.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/2016 v1.00
60-0B-37-8F-11-49-4C-71-8C-0F-65-51-19-3A-79-66-E2-F8-FD-9A