

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/160



## ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

(za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014)

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

<b>Šifra programa</b>	P1-0294
<b>Naslov programa</b>	Računsko intenzivne metode v teoretičnem računalništvu, diskretni matematiki, kombinatorični optimizaciji ter numerični analizi in algebri z uporabo v naravoslovju in družboslovju Computationally intensive methods in theoretical computer science, discrete mathematics, combinatorial optimization, and numerical analysis and algebra with applications in natural and social sciences
<b>Vodja programa</b>	1941 Tomaž Pisanski
<b>Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)</b>	20366
<b>Cenovni razred</b>	C
<b>Trajanje programa</b>	01.2009 - 12.2014
<b>Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)</b>	101 Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko 1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko 1669 Univerza na Primorskem, Inštitut Andrej Marušič
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	1 NARAVOSLOVJE 1.07 Računsko intenzivne metode in aplikacije
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	1 Naravoslovne vede 1.01 Matematika

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

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

## SLO

V matematičnem modeliranju, znanstvenem računanju in analizi podatkov srečujemo vedno večje količine podatkov. To predstavlja praktične in teoretične težave, saj večina današnjih algoritmov in implementacij ni bila načrtovana za takšne izzive. V splošnem lahko opredelimo dva izvora težav: (1) podatki, ki naj bi jih analizirali, so izjemno veliki, in (2) narava računskega problema postavlja izjemno visoke zahteve po računskih zmogljivostih.

Za uspešno rešitev problemov moramo prirediti obstoječe algoritme in razviti nove, tako da bodo dejansko uporabni za reševanje velikih računskih problemov na današnjih računalnikih. Pri tem posvečamo vso potrebno pozornost tako teoretičnemu ozadju problematike, kakor tudi praktični implementaciji in uporabi v praksi.

Naše raziskovalne aktivnosti in cilji pokrivajo več poglavij, katerih skupna tema so računsko intenzivne metode pri reševanju problemov, formuliranju hipotez in izvajanju analiz v številnih problemskih domenah, od čisto matematičnih do naravoslovnih in družboslovnih. Naša metodologija združuje matematična in znanstvena teoretična dognanja z uporabo v praksi. Razvijamo lastno programsko opremo, prav tako pa uporabljamo in prirejamo obstoječe tehnologije pri reševanju računsko zahtevnih nalog. Naša raziskovalna skupina se osredotoča na naslednja poglavja:

- Velika omrežja in podatkovja
- Kombinatorna optimizacija
- Simbolno računanje
- Eksaktno znanstveno računanje (exact scientific computing)
- Numerična analiza in algebra
- Grafi v algebri, topologiji in geometriji
- Uporaba v kemiji in biomatematiki
- e-Izobraževanje

## ANG

In mathematical modeling, scientific computing, and data analysis, increasingly large amounts of data are encountered. This poses new practical and theoretical problems, as most current algorithms and their implementations have not been designed for such challenges. Based on our experience, we may broadly identify two main causes of trouble: (1) the input data to be analyzed is extremely large, and (2) the computational nature of the problems puts extremely high demands on computational resources.

To solve these problems will require adaptation of existing algorithms, as well as development of new ones, in such a way that they can be reasonably implemented and used to tackle large problems on today's computers. We pay attention to proper theoretical treatment of the subject, as well as practical aspects of implementation and applications in real-life situations.

Our research activities and goals cover a selection of topics which revolve around computationally intensive methods for solving problems, formulating hypotheses, and performing analyses in a variety of domains, ranging from pure mathematics, to natural and social sciences. Our methodology combines the insights provided by deep mathematical and scientific results with their applicability in real-world situations. We continue to develop our own software, as well as use and adapt existing technologies to tackle computationally demanding tasks.

Our research group focuses on the following areas:

- Large networks and data analysis
- Combinatorial optimization
- Symbolic computation
- Exact scientific computation
- Numerical analysis and algebra
- Graphs in algebra, topology, and geometry
- Applications in chemistry and biomathematics
- e-learning

### 3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, (vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014)<sup>2</sup>

SLO

Raziskovalne aktivnosti in cilji so tekom izvajanja programa pokrivali več podpodročij, katerih skupna tema so računsko intenzivne metode pri reševanju problemov, formuliranju hipotez in izvajanju analiz v številnih problemskih domenah, od čisto matematičnih do naravoslovnih in družboslovnih:

- Velika omrežja in podatkovja
- Kombinatorna optimizacija
- Simbolno računanje
- Eksaktno znanstveno računanje
- Numerična analiza in algebra
- Grafi v algebri, topologiji in geometriji
- Uporaba v kemiji in biomatematiki
- e-Izobraževanje

**Velika omrežja in podatkovja.** Ukvarjali smo se s simbolno analizo podatkov in razvili posebno metodo razvrščanja. Lotili smo se bibliografske baze Zentralblatt Math in omrežij sodelovanj avtorjev. Študirali smo oblike reprezentacij spletnih strani in portalov s pomočjo omrežij. Razvijali smo nove metode za analizo velikih acikličnih omrežij, (nov, hiter postopek za določanje pomembnosti vozlišč - verjetnostni (pre)tok, učinkovit postopek za določanje tranzitivnostnega ogrodja). Začeli smo razvijati algebrski pristop k analizi časovnih omrežij, ki temelji na časovnih količinah nad ustreznimi polkolobarji. Izvedli smo prenos znanj povezanih z analizo in vizualizacijo velikih omrežij na podjetje Abelium d.o.o.

**Kombinatorna optimizacija.** Ukvarjali smo se z različnimi problemi razvozov in preko udeležbe v več aplikativnih projektih (L7—0242, skupaj s Petrolom) in (L5—4282, Nigrad, zimska služba) izvedli več aplikacij v praksi in pomagali vzpostaviti platformo route.Plexor pri podjetju Abelium.

**Simbolno računanje.** Študirali smo linearne diferenčne enačbe s polinomskimi koeficienti (LDEPK), razvite po družini diskretnih hipergeometrijskih polinomov, izboljševali algoritme za konstrukcijo rekurzivnih relacij za koeficiente. Definirali in študirali smo subanalitične rešitve LDEPK nad  $C$  in študirali dimenzijo prostora rešitev ter dokazali delovanje večih algoritmov. Dokazali smo, da je odločitveni problem obstoja neničelnih polinomskih rešitev linearne parcialne diferencialne ali diferenčne enačbe s polinomskimi koeficienti algoritmično nerešljiv. Dokazali smo, da so Liouvillova zaporedja natanko prepleti d'Alembertovih zaporedij.

Ukvarjali smo se z triangulacijami Cayleyevih in Tuttovih politopov, izvajali raziskave na področju Skew Pieri pravil za Hall-Littlewoodove funkcije, določali diametre s permutacijami podanih grafov in se ukvarjali s štetjem standardnih označenih tabel, raziskovali na področju  $k$ -Schurovih funkcij ter simetričnih funkcij.

**Eksaktno znanstveno računanje.** Razvili smo metodo za računanje z eksaktnimi realnimi števili, ki je teoretično utemeljena s konstrukcijo realnih števil v Abstraktni Stoneovi Dualnosti, poleg tega pa omogoča deklarativno programiranje z realnimi števili. Uspešno smo zaključili raziskavo predstavitev racionalne funkcije. Posvetili smo se izračunljivosti v univerzalni algebri s pomočjo teorije realizabilnosti in nekatere znane rezultate o karakterizaciji izračunljive strukture realnih števil posplošili na splošne polne metrične algebre.

Stoneovo dualnost za Boolove mreže smo posplošili na poševne (nekomutativne) Boolove mreže. Dr. Bauer je sodeloval pri formalizaciji homotopske teorije v dokazovalnem pomočniku Coq. Študirali smo algebrske učinke in njihove prestreznike.

**Numerična analiza in algebra.** Ukvarjali smo se s singularnimi večparametričnimi problemi. Prišli smo do pomembnih rezultatov in razširili Atkinsonovo teorijo o povezavah med večparametričnimi problemi in pridruženimi operatorskimi determinantami tudi na singularne

primere.

Na področju numerične analize smo se ukvarjali z aproksimacijo stožnic (kvadrik) s parametričnimi polinomskimi krivuljami (ploskvami), študijem zlepkov krivulj in ploskev, karakterizacijo celičnih matrik in povezavo z Evklidsko razdaljnimi matrikami, posplošitvijo Newton-Cotesovih kubaturnih pravil, interpolacijskimi algoritmi, konstruiranjem racionalnih rotacijsko minimizirajočih ogrodij ter konstrukcijo geometrijsko zveznih gibanj togih teles.

**Grafi v algebri, topologiji in geometriji.** Študirali smo razdaljno regularne grafe ter karakterizacije  $Q$ -polinomskih razdaljno regularnih grafov. Na področju zemljevidov na ploskvah smo dalje razvijali teorijo tipov zemljevidov glede na grupo avtomorfizmov in povezave z operacijami na ploskvah. Raziskovali smo posplošene Petersenove,  $I$ -grafe in nadaljevali s študijem grafovskih reprezentacij in konfiguracij. Študirali smo grafe z enotsko razdaljo ter grafovske invariante reprezentacij v ravnini. Vpeljali in študirali smo so novo družino  $GI$ -grafov. Definirali in študirali smo posebne vrste kanoničen krov nad poljubnim enostavnim grafom  $X$ ,  $TheCov(X)$ . Sodelovali smo pri razvoju algoritmov za učinkovito generiranje pobarvanih grafov povezanih z zemljevidi. Na področju konfiguracij je usposabljanje začel mladi raziskovalec I. Estely. Preučevali smo posebne realizacije kombinatoričnih incidenčnih struktur, ki jih imenujemo kvazi-topološke incidenčne strukture.

**Uporaba v kemiji in biomatematiki.** Preučevali smo uporabo prapornih grafov na benzenoidih. Prišlo je do zanimive uporabe teorije grafov v povezavi Jahn-Tellerjevim izrekom. Ukvarjali smo se tudi z grafičnimi predstavitvami DNK.

**e-Izobraževanje.** Sodelovali smo pri večih projektih in se udeležili večih konferenc. V okviru projektne skupine Nauk.si, smo razvili portal kot repozitorij gradiv in orodje za izgradnjo gradiv v stilu wikipedije.

**Razno.** Sodelovali smo na projektih iz naravne in kulturne dediščine ter izvajali Seminar za diskretno matematiko ter Seminar iz zgodovine matematičnih znanosti. Organizirali smo več mednarodnih konferenc. Vzpostavili smo daleč najboljši pretok in prenos znanj in sodelovanje z gospodarstvom izmed vseh matematičnih programskih skupin. Vključeni smo bili v množico nacionalnih in mednarodnih projektov.

#### **Dopolnitev programa zaradi povečanja števila ur.**

Na področju reprezentacij grafov in podatkovnih zbirk smo se osredotočili na metodo komprimiranega zapisa 4-valentnih simetričnih grafov s pomočjo krovov in uspeli doseči zelo kompakten zapis. Razvili smo določene metode in algoritme s pomočjo programskih knjižnic SAGE in MAGMA, s katerimi lahko računamo in obdelujemo določene z grafi in grupami povezane strukture.

Na področju dinamičnih omrežij smo izgradili prototipno knjižnico v Pythonu za analizo in vizualizacijo časovnih količin (Ianus, TQ). Nadaljevali smo poglobljene raziskave na tem področju in pripravili nekaj del za objavo.

Izvajali smo raziskave povezane s teorijo tipov in razvojem modernih programskih jezikov z ustrežnejšo obravnavo stranskih učinkov ter prišli do novi rezultatov. Pridobili smo tudi nov tržni projekt povezan z dokazovalnimi pomočniki in njihovimi aplikacijami.

Nadaljevali smo raziskave v povezavi s Hermitsko in Lagrangevo optimizacijo ter inverznim problemom lastnih vrednosti in prišli do novih ugotovitev.

Na področju sintetične biologije smo razvijali orodja za simulacijo sestavljanja proteinskih verig. Na področju kemijske teorije grafov smo dosegli napredek povezan s štetjem Kekule struktur.

Na področju aplikativnih raziskav smo izvajali analizo na velikih podatkovjih pridobljenih preko sledi GPS signalov na kontejnerskem terminalu Luke Koper ter v vozni mreži sistema GoOpti. Ukvarjali smo se z razvojem metodologij za analizo pretokov potnikov v omrežju ter

hevrstičnimi algoritmi za učinkovito pakiranje potnikov na področju deljenega prevoza na zahtevo, kjer je motivacija izhajala predvsem iz modela GoOpti.

Na področju študija Haarovih grafov smo dosegli določen napredek v okviru dela na doktorski disertaciji mladega raziskovalca.

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

SLO

Ocenjujemo, da je bil program izveden skladno z načrtom v prijavi ter da smo na nekaterih področjih dosegli še dodatne dosežke in uspehe, na katere smo posebej ponosni. Ti so navedeni med najpomembnejšimi dosežki. Uspeh delovanja skupine jasno izkazuje tudi nabor rezultatov zavedenih v evidencah na sistemih COBISS in točkovanje le-teh v SICRIS.

#### 5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014<sup>4</sup>

SLO

Članstvo skupine se je v manjši meri spreminjalo in sproti smo na ARRS pošiljali ustrezne obrazložitve. Večja sprememba je bila povezana s povečanjem financiranja v obdobju zadnjih dveh mesecev. Takrat smo dodatno angažirali nekatere člane ter vključili še nekaj tehničnih sodelavcev.

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

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	16090457	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Teorija grafov in Jahn-Tellerjev izrek
		ANG	Graph theory and the Jahn-Teller theorem
	Opis	SLO	Jahn-Tellerjev izrek napoveduje spontano razbijanje simetrije in dvig degeneriranih elektronskih stanj nelinearnih molekularnih sistemov. V takih primerih se to zgodi zaradi geometrijskega popačenja. Molekularni problemi so pogosto modelirani s spektralno teorijo za obtežene grafe. Pričujoči prispevek obrne proces v nasprotno smer in na novo formulira Jahn-Tellerjev izrek za splošne utežene grafe. Če razumemo lastne vektorje kot orbitale, lastne vrednosti pa kot energijske nivoje, ki naj bi jih zasedli elektroni, tedaj je mogoče degeneracijo stanj razrešiti z ne popolnoma simetrično porazdelitvijo uteži na povezavah in, če je potrebno tudi na vozliščih grafa. V tej zvezi je postavljena tudi zanimiva domneva. Posebej sta obravnavana dva primera (graf oktaedra in graf fenalenila) saj se pri njiju degeniranost pojavlja zaradi različnih razlogov.
ANG		The Jahn-Teller (JT) theorem predicts spontaneous symmetry breaking and lifting of degeneracy in degenerate electronic states of (nonlinear) molecular and solid-state systems. In these cases, degeneracy is lifted by geometric distortion. Molecular problems are often modelled using spectral theory for weighted graphs, and the present paper turns this process around and reformulates the JT theorem for general vertex- and edge-weighted graphs themselves. If the eigenvectors and eigenvalues of a general graph are considered as orbitals and energy levels (respectively) to be occupied by electrons, then degeneracy of states can be resolved by a non-totally symmetric re-weighting of edges and, where necessary, vertices. This leads to the conjecture that whenever the spectrum of a graph contains a set of bonding or anti-bonding degenerate eigenvalues,	

		the roots of the Hamiltonian matrix over this set will show a linear dependence on edge distortions, which has the effect of lifting the degeneracy. When the degenerate level is non-bonding, distortions of vertex weights have to be included to obtain a full resolution of the eigenspace of the degeneracy. Explicit treatments are given for examples of the octahedral graph, where the degeneracy to be lifted is forced by symmetry, and the phenalenyl graph, where the degeneracy is accidental in terms of the automorphism group.
	Objavljeno v	Royal Society; Proceedings. Series A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences; 2012; Vol. 468, no. 2140; str. 971-989; Impact Factor: 2.378; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.514; A': 1; WoS: RO; Avtorji / Authors: Ceulemans Arnout, Lijnen E., Fowler Patrick W., Mallion Roger B., Pisanski Tomaž
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	16739929 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> O bibliografskih omrežjih
		<i>ANG</i> On bibliographic networks
	Opis	<i>SLO</i> V članku pokažemo, da lahko bibliografske podatke pretvorimo v nabor usklajenih omrežij. Z množenjem omrežij lahko iz njih pridobimo več zanimivih izpeljanih omrežij. Pri njihovi definiciji je potrebno upoštevati ustrezno normalizacijo. Predstavljeni pristop je uporaben tudi za podobne nabore usklajenih omrežij z drugih področij. Omrežja, pridobljena iz bibliografskih podatkov, so lahko (zelo) velika (na sto tisoče vozlišč). K sreči so redka in jih za to še vedno lahko obdelamo razmeroma hitro. V članku damo odgovor na vprašanje: kdaj je zmnožek dveh redkih omrežij tudi sam redko omrežje. Predlagani pristopi so prikazani z analizo nabora omrežij na temo "social networks", pridobljenih iz Web of Science. Dela z velikim številom avtorjev dodajo običajnemu omrežju sodelovanj velike polne podgrafe in tako zameglijo sliko o sodelovanjih. Pokažemo, da lahko z ustrezno normalizacijo njihov učinek pridušimo. Med drugim vpeljemo mero sodelovalnosti avtorjev glede na dano bibliografijo in pokažemo, kako lahko izračunamo omrežje sklicevanj med avtorji in razkrijemo skupine glede na sklicevanje.
		<i>ANG</i> In the paper we show that the bibliographic data can be transformed into a collection of compatible networks. Using network multiplication different interesting derived networks can be obtained. In defining them an appropriate normalization should be considered. The proposed approach can be applied also to other collections of compatible networks. The networks obtained from the bibliographic data bases can be large (hundreds of thousands of vertices). Fortunately they are sparse and can be still processed relatively fast. We answer the question when the multiplication of sparse networks preserves sparseness. The proposed approaches are illustrated with analyses of collection of networks on the topic "social network" obtained from the Web of Science. The works with large number of co-authors add large complete subgraphs to standard collaboration network thus blurring the collaboration structure. We show that using an appropriate normalization their effect can be neutralized. Among other, we propose a measure of collaborativeness of authors with respect to a given bibliography and show how to compute the network of citations between authors and identify citation communities.
	Objavljeno v	Springer; Akadémiai Kiadó; Scientometrics; 2013; Vol. 96, iss. 3; str. 845-864; Impact Factor: 2.274; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.031; A'': 1; A': 1; WoS: EV, NU; Avtorji / Authors: Batagelj Vladimir, Cerinšek Monika
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

3.	COBISS ID	16706905	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Triangulacije Cayleyjevih in Tuttovih politopov	
		<i>ANG</i> Triangulations of Cayley and Tutte polytopes	
	Opis	<i>SLO</i> Pred kratkim so bili definirani Cayleyjevi politopi kot konveksne ogrinjače Cayleyjevih kompozicij, ki jih je vpeljal Cayley leta 1857. V članku dokažemo Braunovo domnevo, ki izraža prostornino Cayleyjevega politopa s številom povezanih grafov. Rezultat razširimo na deformacijo z dvema spremenljivkama, ki ji rečemo Tuttov politop. Njegova prostornina se izraža s Tuttovim polinomom polnega grafa. Naš pristop temelji na eksplicitni triangulaciji Cayleyjevega in Tuttovega politopa. Dokažemo, da simpleksi v triangulaciji pripadajo označenim drevesom in gozdovom. Srce dokaza je direktna bijekcija, ki temelji na algoritmu "najprej sosedje" za pot po drevesu.	
		<i>ANG</i> Cayley polytopes were defined recently as convex hulls of Cayley compositions introduced by Cayley in 1857. In this paper we resolve Braun's conjecture, which expresses the volume of Cayley polytopes in terms of the number of connected graphs. We extend this result to two one-variable deformations of Cayley polytopes (which we call $\$t\$$ -Cayley and $\$t\$$ -Gayley polytopes), and to the most general two-variable deformations, which we call Tutte polytopes. The volume of the latter is given via an evaluation of the Tutte polynomial of the complete graph. Our approach is based on an explicit triangulation of the Cayley and Tutte polytopes. We prove that simplices in the triangulations correspond to labeled trees. The heart of the proof is a direct bijection based on the neighbors-first search graph traversal algorithm.	
	Objavljeno v	Academic Press; Advances in mathematics; 2013; Vol. 245; str. 1-33; Impact Factor: 1.353; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.674; A': 1; WoS: PQ; Avtorji / Authors: Konvalinka Matjaž, Pak Igor	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	15262809	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Interpolacija z ravninskimi kubičnimi $G[na]2$ zleпки s pitagorejskim hodografom	
		<i>ANG</i> On interpolation by planar cubic $G[na]2$ Pythagorean-hodograph spline curves	
	Opis	<i>SLO</i> V članku je obravnavana geometrijska interpolacija ravninskih točk in smeri tangent na robu s kubičnim $G^2$ zlepkom s pitagorejskim hodografom (PH). Dokazano je, da tak interpolant obstaja, če so izpolnjeni določeni naravni pogoji. Konstrukcija zlepka poteka preko reševanja tridiagonalnega sistema nelinearnih enačb. Asimptotični red aproksimacije je 4.	
		<i>ANG</i> In this paper, the geometric interpolation of planar data points and boundary tangent directions by a cubic $G^2$ Pythagorean-hodograph (PH) spline curve is studied. It is shown that such an interpolant exists under some natural assumptions on the data. The construction of the spline is based upon the solution of a tridiagonal system of nonlinear equations. The asymptotic approximation order 4 is confirmed.	
	Objavljeno v	National Academy of Sciences-National Research Council; Mathematics of computation; 2010; Vol. 79, no. 269; str.305-326; Impact Factor: 1.382; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.936; A': 1; WoS: PN; Avtorji / Authors: Jaklič Gašper, Kozak Jernej, Krajnc Marjetka, Vitrih Vito, Žagar Emil	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	15322201	Vir: COBISS.SI

Naslov	SLO	Dedekindova realna števila v Abstraktni Stoneovi dualnosti
	ANG	The Dedekind reals in abstract Stone duality
Opis	SLO	Abstraktna Stoneova dualnost (ASD je neposredna aksiomatizacija splošne topologije, v nasprotju s tradicionalnimi in modernimi pristopi, ki gradijo napredhodnem pojmu diskretne množice, tipa ali objekta v toposu. ASD združuje matematični in računski pogled v formulaciji, ki je po svoji zasnovi izračunljiva, hkrati pa ne žrtvuje ključnih lastnosti realne analize, kot je kompaktnost zaprtega intervala. Predhodne teorije rekurzivne analize tega niso dosegle, ker so bile zasnovane na pojmu točke; v ASD pa je to možno, saj tako kot teorija okolišev in formalna topologija gradi na algebri odprtih podprostorov. ASD je predstavljen kot lambda-račun, ki ga tu predstavimo v samozadostni obliki, saj so bile osnove in ozadje že obdelane v preteklosti. Osrednja tema članka je konstrukcija realne osi s pomočjo dvostranskih Dedekindovih rezov. Dokažemo, da je v tej konstrukciji zaprti interval kompakten in odkrit, pri čemer se ta dva pojma izražata z obstojem kvantifikatorjev. Nadaljna poglavja, kot je izrek o srednji vrednosti, so obravnavana v ločenem članku, ki gradi na pričujočem delu. Intervalska domena ima pri vsem osnovno vlogo. Kljub temu pa razumemo intervale kot posplošene Dedekindove reze, ki so osnova za konstrukcijo realne osi, in ne kot pare realnih števil. Aritmetika je podrobno obravnavana, pri čemer so naše operacije bolj zapletene kot Moorove intervalske operacije, ker vse izpeljemo konstruktivno in ker obravnavamo obrnjene (Kaucherjeve) intervale. Nazadnje primerjamo ASD z drugimi sistemi konstruktivne in izračunljive topologije in analize.
	ANG	Stone Duality (ASD) is a direct axiomatisation of general topology, in contrast to the traditional and all other contemporary approaches, which rely on a prior notion of discrete set, type or object of a topos. ASD reconciles mathematical and computational viewpoints, providing an inherently computable calculus that does not sacrifice key properties of real analysis such as compactness of the closed interval. Previous theories of recursive analysis failed to do this because they were based on points; ASD succeeds because, like locale theory and formal topology, it is founded on the algebra of open subspaces. ASD is presented as a lambda calculus, of which we provide a self-contained summary, as the foundational background has been investigated in earlier work. The core of the paper constructs the real line using two-sided Dedekind cuts. We show that the closed interval is compact and overt, where these concepts are defined using quantifiers. Further topics, such as the Intermediate Value Theorem, are presented in a separate paper that builds on this one. The interval domain plays an important foundational role. However, we see intervals as generalised Dedekind cuts, which underly the construction of the real line, not as sets or pairs of real numbers. We make a thorough study of arithmetic, in which our operations are more complicated than Moore's, because we work constructively, and we also consider back-to-front (Kaucher) intervals. Finally, we compare ASD with other systems of constructive and computable topology and analysis.
Objavljeno v		CUP; Mathematical structures in computer science; 2009; Vol. 19, iss. 4; str. 757-838; Impact Factor: 0.838; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.34; WoS: EX; Avtorji / Authors: Bauer Andrej, Taylor Paul
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek

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

Družbeno-ekonomski dosežek		
----------------------------	--	--



1.	COBISS ID	239049984	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Glavni in odgovorni urednik znanstvene publikacije
		ANG	Founding and editor-in-chief of a scientific journal
	Opis	SLO	Ars mathematica contemporanea. Pisanski, Tomaž (glavni in odgovorni urednik 2008-). [Tiskana izd.]. Ljubljana: Društvo matematikov, fizikov in astronomov, 2008-. ISSN 1855-3966. <a href="http://amc-journal.eu/index.php/amc">http://amc-journal.eu/index.php/amc</a> . [COBISS.SI-ID 239049984] . Revija je bila v 2011 sprejeta na SCI lestvico
		ANG	Ars mathematica contemporanea. Pisanski, Tomaž (founding and editor-in-chief 2008-). [Printed ed.]. Ljubljana: Slovenian society of mathematicians, physicists and astronomers, 2008-. ISSN 1855-3966. <a href="http://amc-journal.eu/index.php/amc">http://amc-journal.eu/index.php/amc</a> . [COBISS.SI-ID 239049984]. The journal was accepted to SCI.
	Šifra	C.04	Uredništvo mednarodne revije
	Objavljeno v	Ars mathematica contemporanea, <a href="http://amc-journal.eu">http://amc-journal.eu</a>	
Tipologija	4.00	Sekundarno avtorstvo	
2.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Izvolitev v Academia Europaea
		ANG	Election to Academia Europaea
	Opis	SLO	Prof. dr. Tomaž Pisanski je bil izvoljen v prestižno Academi Europeae v sekcijo informatika.
		ANG	Prof. dr. Tomaž Pisanski was elected to prestigious membership of Academi Europeae, section informatics.
	Šifra	D.03	Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih
	Objavljeno v	<a href="http://www.ae-info.org/ae/User/Pisanski_Toma%C5%BE">http://www.ae-info.org/ae/User/Pisanski_Toma%C5%BE</a>	
Tipologija	4.00	Sekundarno avtorstvo	
3.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Nagrada za program Pajek
		ANG	Award for Pajek software
	Opis	SLO	Na XXXIII International Sunbelt Social Network Conference sta V. Batagelj in A. Mrvar prejela INSNA's William D. Richards Jr., Software Award, 2013 za program Pajek. Gre za nagrado za življensko delo namenjeno posameznikom, ki so ustvarili javno dostopno programsko opremo, brez katere bi bilo nemogoče preučevati socialna omrežja.
		ANG	V. Batagelj and A. Mrvar have received INSNA William D. Richards Jr. Software Award , 2013 at XXXIII International Sunbelt Social Network Conference. The William D. Richards, Jr. Software Award is a "lifetime achievement award" to honor individuals who have created publically available social network analysis software without which it would be impossible to study social networks.
	Šifra	E.02	Mednarodne nagrade
	Objavljeno v	<a href="http://www.insna.org/awards_richard.html">http://www.insna.org/awards_richard.html</a>	
Tipologija	3.25	Druga izvedena dela	
4.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Homotopska teorija tipov
		ANG	Homotopy type theory

Opis	SLO	<p>Homotopska teorija tipov je nova veja matematike, ki na presenetljiv način združuje različna matematična področja. Zasnovana je na nedavno odkriti zvezi med homotopsko teorijo in teorij tipov. Dotika se tako različnih področij matematike kot so homotopske grupe sfer, algoritmi za preverjanje tipov, in defincija šibkih <math>\infty</math>-grupoidov. Homotopska teorija tipov omogoča nove "univalentne" osnove matematike, v katerih ima osrednjo vlogo aksiom o univalentnosti Voevodskega ter višji homotopski tipi. Pričujoča knjiga je mišljena kot prva sistematična ekspozicija univalentnih osnov, in zbirka primerov tega novega načina matematičnega razmišljanja, pri čemer od bralca ne zahteva poznavanja formalne logike in uporabe dokazovalnih pomočnikov. Verjamemo, da bodo univlanetne osnove sčasoma postale možna alternativa teoriji množic kot "implicitnim temelj" vsakdanje neformalizirane matematike.</p>	
	ANG	<p>Homotopy type theory is a new branch of mathematics that combines aspects of several different fields in a surprising way. It is based on a recently discovered connection between homotopy theory and type theory. It touches on topics as seemingly distant as the homotopy groups of spheres, the algorithms for type checking, and the definition of weak <math>\infty</math>-groupoids. Homotopy type theory brings new ideas into the very foundation of mathematics. On the one hand, there is Voevodsky's subtle and beautiful univalence axiom. The univalence axiom implies, in particular, that isomorphic structures can be identified, a principle that mathematicians have been happily using on workdays, despite its incompatibility with the "official" doctrines of conventional foundations. On the other hand, we have higher inductive types, which provide direct, logical descriptions of some of the basic spaces and constructions of homotopy theory: spheres, cylinders, truncations, localizations, etc. Both ideas are impossible to capture directly in classical set-theoretic foundations, but when combined in homotopy type theory, they permit an entirely new kind of "logic of homotopy types". This suggests a new conception of foundations of mathematics, with intrinsic homotopical content, an "invariant" conception of the objects of mathematics - and convenient machine implementations, which can serve as a practical aid to the working mathematician. This is the Univalent Foundations program. The present book is intended as a first systematic exposition of the basics of univalent foundations, and a collection of examples of this new style of reasoning - but without requiring the reader to know or learn any formal logic, or to use any computer proof assistant. We believe that univalent foundations will eventually become a viable alternative to set theory as the "implicit foundation" for the unformalized mathematics done by most mathematicians.</p>	
Šifra	C.07	Drugo uredništvo	
Objavljeno v	Univalent Foundations Program; 2013; XIII, 589 str.; Avtorji / Authors: Bauer Andrej		
Tipologija	2.25	Druge monografije in druga zaključena dela	
5.	COBISS ID	16418137	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Konfiguracije iz vidika teorije grafov	
	ANG	Configurations from a graphical viewpoint	
		<p>Konfiguracije, ki jih lahko preučujemo iz vidika teorije grafov preko Levijevih grafov, ležijo v preseku teorije grafov, grup, ploskev in geometrije, ki predstavljajo zelo aktivna področja matematičnih raziskav. V knjigi, oblikovani kot zaključena celota, je algebraična teorija grafov uporabljena za predstavitev grup, topološka teorija grafov je uporabljena za preučevanje ploskev, geometrična teorija grafov pa nam olajša razumevanje incidenčnih geometrij. Po pregledu konfiguracij v 1. poglavju</p>	

Opis	SLO	predstavimo v 2. poglavju teorijo grafov, v 3. poglavju pa podamo geometrično orientiran uvod v teorijo grup. V 4. poglavju predstavimo kombinatorično obravnavo zemljevidov in ploskev. V 5. poglavju predstavimo koncept incidenčne strukture preko po točkah obarvanih grafov. Tu tudi podamo kombinatorične vidike klasičnih konfiguracij. V zadnjem poglavju za klasične konfiguracije podamo nekaj zanimivih geometričnih lastnosti, zgodovinskih opomb, referenc in aplikacij. S preko 200 ilustracijami, nalogami in obsežno bibliografijo na koncih poglavij ter množico podanih odprtih problemov predstavlja knjiga dobro osnovo za podiplomski tečaj iz teorije grafov, napreden dodiplomski seminar kot tudi celovito referenco za matematike in raziskovalce.
	ANG	On the back cover page: Configurations can be studied from a graph-theoretical viewpoint via the so-called Levi graphs and lie at the heart of graphs, groups, surfaces, and geometries, all of which are very active areas of mathematical exploration. In this self-contained textbook, algebraic graph theory is used to introduce groups; topological graph theory is used to explore surfaces; and geometric graph theory is implemented to analyze incidence geometries. After a preview of configurations in Chapter 1, a concise introduction to graph theory is presented in Chapter 2, followed by a geometric introduction to groups in Chapter 3. Maps and surfaces are combinatorially treated in Chapter 4. Chapter 5 introduces the concept of incidence structure through vertex colored graphs, and the combinatorial aspects of classical configurations are studied. Geometric aspects, some historical remarks, references, and applications of classical configurations appear in the last chapter. With over two hundred illustrations, challenging exercises at the end of each chapter, a comprehensive bibliography, and a set of open problems, Configurations from a Graphical Viewpoint is well suited for a graduate graph theory course, an advanced undergraduate seminar, or a self-contained reference for mathematicians and researchers.
Šifra	D.11 Drugo	
Objavljeno v	Birkhäuser; 2013; XIII, 279 str.; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Pisanski Tomaž, Servatius Brigitte	
Tipologija	2.01 Znanstvena monografija	

## 8. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>7</sup>

--

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

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

SLO

Iz našega dela je mogoče ugotoviti tesno mednarodno vpetost naše raziskovalne skupine. Objavljamo v vodilnih mednarodnih znanstvenih revijah na mnogih raziskovalnih področjih, udeležujemo se najpomembnejših specializiranih mednarodnih srečanj, obiskujemo pomembne tuje univerze in vrhunske znanstvene inštitucije, sodelujemo na mednarodnih znanstvenih projektih in na aplikativnih projektih. Poleg tega smo tudi sami organizirali mednarodna srečanja.

Sodelujemo tudi na različnih interdisciplinarnih projektih: s skupino za analizo socialnih omrežij na FDV, Ljubljana, skupino za računalniški vid na FRI, Ljubljana, Inštitutom za biofiziko na MF, Ljubljana, Kemijskim inštitutom, in Primorskim inštitutom za naravoslovne in tehniške vede Univerze na Primorskem.

Naše delo daje pomembne rezultate na področjih uporabe računsko intenzivnih metod v

teoretičnem računalništvu, analizi velikih omrežij, simbolnem računanju, problemih teorije grafov, numerične analize in linearne algebre, računalniško podprtega geometrijskega načrtovanja, kombinatorični optimizaciji, kemiji in v bioinformatiki.

Mnogi rezultati imajo poleg teoretičnega pomena tudi uporabno vrednost. To uporabljamo pri prenosu znanja iz akademske sfere v industrijo. Za uporabnike izven znanstvene sfere so posebno pomembni metodologija reševanja problemov, matematično modeliranje in razvoj programskih rešitev. Pri tehnološkem razvoju sodelujemo z nekaterimi vodilnimi slovenskimi podjetji (Gorenje, Mobitel, Iskratel).

Pomemben je tudi razvoj kadrov. Mladim raziskovalcem omogočamo stike z vrhunskimi mednarodnimi raziskovalci in jih vpeljujemo v raziskovalno delo.

Empirično preverljiv pomen naših rezultatov je vsekakor število člankov in citatov del članov raziskovalne skupine.

ANG

Results of our work in the previous research period show a tight interconnection of our research group into the worldwide research. We publish our papers in the most influential scientific journals in many research areas, participate in the most important specialized international conferences, visit important foreign universities and scientific institutes, collaborate in international research and applicative projects. Additionally, we have organized international scientific events.

We work on various interdisciplinary projects: with a group for analyzing social networks at FDV, Ljubljana, group for computer vision at FRI, Ljubljana, Institute of biophysics at MF, Ljubljana, Institute of chemistry, and Primorska institute for natural sciences and technology of Primorska University.

Our work yields important results in applications of computationally intensive methods in theoretical computer science, analysis of large networks, symbolic computations, problems in graph theory, numerical analysis and linear algebra, computer aided geometric design, combinatorial optimization, chemistry and bio-informatics.

Many results have not only theoretical value, but can be applied in practice. We use this in transfer of knowledge from the scientific world into industry. For users outside scientific community the methodology of problem solving, mathematical modeling and design of computer algorithms and their implementation are of particular importance. We collaborate in technological development with some of the leading Slovenian companies (Gorenje, Mobitel, Iskratel).

Also the human resources and their development are important. We enable our junior researchers connections with leading international researchers and teach them to become an important part of the scientific community.

Our results can be easily empirically verified by the number of our papers and citations of our work.

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

SLO

Novi algoritmi in implementacije v simbolnem računanju in na področju diskretne in numerične matematike prispevajo k učinkovitosti in računski moči programskih orodij na skoraj vseh poljih znanosti in tehnologije.

Pomen naših raziskav za Slovenijo je mogoče razvrstiti v dva sklopa.

### 1. Vzgoja in razvoj kadrov

Z vzgojo novih raziskovalcev krepimo bazo znanstvene sfere. Svoje mlade raziskovalce ves čas

privajamo na mednarodno konkurenco in jim omogočamo stike s svetovnim raziskovalnim vrhom na tem področju. Nekateri med njimi tudi študirajo v tujini. To bo vsekakor prispevalo k dvigu kvalitete in povečanju mednarodnega sodelovanja.

## 2. Uporaba in sodelovanje z uporabniki izven znanstvene sfere

Člani programske skupine sodelujemo tudi na različnih aplikativnih projektih, kjer v praksi uporabimo znanja, pridobljena preko temeljnih raziskav na programu. Nekateri naši raziskovalci nadaljujejo svojo kariero tudi zunaj akademskih inštitucij in pridobljeno znanje (metodologija reševanja problemov, programiranje) neposredno prenašajo v svoje delovno okolje, s čimer krepijo vezi med znanstveno sfero in ostalo družbo. Primeri sodelovanja so podjetja Abelium, Arctur, Epilog, GoOpti, XLab, Hruška, Luka Koper, Petrol, iii-Oliva, Splošna Bolnišnica Izola, idr. V skupino poskušamo zajeti kljub birokratskim oviram tudi vrhunske raziskovalce iz industrije.

Člani skupine so prispevali nove pristope k analizi velikih omrežij, ki s neposredno uporabni v upravi in na drugih področjih. S projekti iz področja e-izobraževanja razvijamo tehnologije za enostavno pripravo programov za celostno učenje z vključevanjem informacijsko-komunikacijske tehnologije in medijev. S tem bomo prispevali tudi k izboljševanju informacijske pismenosti in dostopnosti do novih tehnologij širši javnosti.

Znanja, pridobljena v programski skupini, so danes visoko cenjena v svetovnem gospodarstvu. Ob vključenosti slovenskega gospodarstva v svetovne tokove je tako tudi zelo pomembno, da so takšna znanja prisotna v Sloveniji in na voljo našemu gospodarstvu. Slednje se lahko na ta način veliko uspešneje in hitreje razvija.

ANG

New algorithms and their implementations in symbolic computation and discrete and numerical mathematics enhance the efficiency and computing power of software tools in almost all areas of science and technology.

The main impact of our research program on Slovenia can be divided into two groups:

### 1. The development of the human potential

Our young researchers get the knowledge of the state-of-the-art in their respective fields. Some of them study abroad and work with the leading international authorities. All this will intensify international scientific cooperation and will help ensure a solid foundation and continued high standards of achievement in Slovenian science in the future.

### 2. Applications and cooperation with potential users outside of the research community

Several members of our research programme collaborate in different applied projects in which they use in concrete situations the knowledge obtained in their fundamental research in the programme. Some of our researchers continue their careers outside of academia and transfer their acquired knowledge and skills (especially the problem-solving methodologies, but also their programming skills) to their working environment, thus intensifying the bonds between academia and the rest of society. Examples of our collaboration with different firms and institutions are Abelium, Arctur, Epilog, GoOpti, XLab, Hruška, Luka Koper, Petrol, iii-Oliva, Splošna Bolnišnica Izola, and others. In spite of administrative difficulties, we try to include in our activity also top researchers from the industry.

Group members have contributed new approaches to the analysis of large networks that can be directly employed in public administration and in other areas. Our projects in the area of e-learning will simplify the preparation of integral learning programs incorporating information-communication technologies and media and will thus contribute to their wider accessibility and also to improvement of computer literacy in general.

The know-how developed in our research programme is nowadays highly appreciated in global economy. Since the slovenian economy is involved in international activities it is extremely important that such knowledge is available to our companies, enhancing a faster and a more

successful development.

**10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014<sup>11</sup>****10.1. Diplome<sup>12</sup>**

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	48
bolonjski program - II. stopnja	10
univerzitetni (stari) program	118

**10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti<sup>13</sup>**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
28582	Andrej Muhič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22479	Melita Hajdinjak	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
32770	Tadej Kanduč	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
11234	Kovič Jurij	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
30604	Kristijan Breznik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
24421	Boris Horvat	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26450	Primož Lukšič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32079	Maria del Rio Francos	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26521	Davorin Lešnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20757	Gregor Dolinar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28584	Katja Prnaver	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28254	Andrej Perne	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
31111	Žiga Povalej	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
27559	Vito Vitrih	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Darko Zupanc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Primož Skale	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28222	Maruša Stanek	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28160	Peter Holozan	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29662	Jerneja Šifrer	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Tomaž Weiss	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

Legenda:

**Mag.** - Znanstveni magisterij**Dr.** - Doktorat znanosti**MR** - mladi raziskovalec**11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju<sup>14</sup>**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
28582	Andrej Muhič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	

24421	Boris Horvat	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
26450	Primož Lukšič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
32079	Maria del Rio Francos	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
26521	Davorin Lešnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
28584	Katja Prnaver	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
27559	Vito Vitrih	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	

Legenda zaposlitev:

- A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
- B** - gospodarstvo
- C** - javna uprava
- D** - družbene dejavnosti
- E** - tujina
- F** - drugo

### 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
0	Christopher Stone	B - uveljavljeni raziskovalec	3	
24421	Boris Horvat	A - raziskovalec/strokovnjak	24	
0	Daniel Pellicer	D - podoktorand	12	
32079	Maria del Rio Francos	C - študent - doktorand	42	
35520	Istvan Estelyi	C - študent - doktorand	27	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
- B** - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
- C** - študent - doktorand iz tujine
- D** - podoktorand iz tujine

### 13. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014<sup>15</sup>

SLO

- EdReNe: Educational Repositories Network, trajanje projekta: 1.5.2007 - 30.4.2010, vrsta projekta: okvirni program eContentplus
- ASPECT: Adopting Standards and Specifications for Educational Content, trajanje projekta: 1.9.2008 - 28.2.2011, vrsta projekta: okvirni program eContentplus
- EGIDE ECO-NET 2009, program 21315ZF: Algorithms for Systems of Functional Equations and Application to Integrability of Dynamical Systems, trajanje projekta: 1.1.2009 - 31.12.2009, vrsta projekta: francoski projekt za sodelovanje s srednje- in vzhodno-evropskimi državami
- COMPUTAL, <http://computal.uni-trier.de>, vrsta projekta: EU FP7-PEOPLE-2011-IRSES. V projekt je bil vključen dr. Andrej Bauer
- GReGAS - EUROCORES/EUROGIGA ([www.gregas.eu](http://www.gregas.eu)), koordinator projekta, dr. Tomaž Pisanski (koordinator), podpira Evropska znanstvena fundacija, 2011 - 2014.
- Establishing a knowledge base for quality in education: Testing a dynamic theory of educational effectiveness, EUROCORES projekt pri Evropski znanstveni fundaciji (ESF) Vodja projekta: prof. dr. Bert Creemers, iz Nizozemske, iz Slovenije dr. Matevž Bren,

slovenska skupina je pridruženi partner.

- Aproximacija in računanje z naprednimi reprezentacijami geometrijskih objektov, 2009 - 2010, dr. Jernej Kozak, bilateralno sodelovanje Slovenija - Avstrija
- Uporaba topoloških, geometrijskih, algebrskih in kombinatoričnih metod v znanosti, 2009 - 31.12.2010, dr. Tomaž Pisanski, bilateralno sodelovanje Slovenija - Hrvaška
- Geometrijska interpolacija krivulj in ploskev, 2007 - 2009, dr. Emil Žagar, bilateralno sodelovanje Slovenija- Norveška
- Projekt SAFEPORT (www.safeport.eu) čezmejno sodelovanje Slovenija-Italija (Jure Pražnikar, Boris Horvat)
- Projekt Traveller Information System for the adriatic region TISAR (IPA Adriatic Italija, Slovenija, Hrvaška, BiH, Črna Gora, Grčija, Albanija, na UP IAM vodita dr. Primož Lukšič, dr. Boris Horvat)
- Bilateralala z Norveško BI-NO/11-12-011, vodja: dr. Gašper Jaklič
- Bilateralala z ZDA BI-US/11-12-034, vodja: dr. Gašper Jaklič
- Bilateralala z Italijo BI-IT/11-13-003, vodja: dr. Gašper Jaklič
- Bilateralala z Belgijo BI-BE/11-12-F, vodja: dr. Bor Plestenjak
- Geometric interpolation and approximation techniques for advanced applications, slovensko-češki bilateralni projekt (2011-2012), GIANT-project, vodja dr. Marjeta Krajnc.

#### **14.Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009–31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS<sup>16</sup>**

SLO

- Gospodarski projekt za naročnika ARNES. Svetovanje pri upravljanju življenjskega cikla virtualnega učnega okolja, 2009, delno podprt tudi iz Evropskega socialnega sklada (ESS) in Ministrstva za šolstvo in šport RS (MŠŠ), sodelovali in vodili: dr. Boris Horvat in dr. Primož Lukšič.
- Logika. Projekt izdelave e-gradiv iz logike v osnovni šoli (2009/10), ESS in MŠŠ, sodelovali in vodili: dr. Boris Horvat in dr. Primož Lukšič.
- Fizika za srednje šole. Projekt izdelave e-gradiv iz fizike v srednji šoli (2009/10), ESS in MŠŠ, sodelovali in vodili: dr. Boris Horvat in dr. Primož Lukšič.
- Fizika za osnovne šole. Projekt izdelave e-gradiv iz fizike v osnovni šoli (2009/10), ESS in MŠŠ, sodelovali in vodili: dr. Primož Lukšič, dr. Boris Horvat
- Računalnistvo in informatika. Projekt izdelave e-gradiv iz računalništva in informatike (2009/10), ESS in MŠŠ - sodelovali: dr. Primož Lukšič, dr. Boris Horvat.
- Matematika za srednjo šolo. Projekt izdelave e-gradiv iz matematike za srednjo šolo (2009/10), Evropski socialni sklad in Ministrstvo za šolstvo in šport RS - sodelovali: dr. Primož Lukšič, dr. Boris Horvat
- DEDI II. Digitalna enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem – DEDI predstavlja prvi poskus večmedijske digitalne predstavitve slovenske naravne in kulturne dediščine, 2009/2010, Evropski sklad za regionalni razvoj in Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo - dr. Boris Horvat, vodja pri partnerju.
- e-Sigma. Izdelava inovativnega sistema za pregled, urejanje in izdelavo e-gradiv, izdelava repozitorija e-gradiv na fakultetni ravni, 2009-2010, Evropski sklad za regionalni razvoj in Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo, vodil dr. Primož Lukšič, sodeloval dr. Boris Horvat.
- Tržni projekt z A&C Consulenza + Ambient d.o.o., 2009-2010: Nadgradnja programskih knjižnic za moderne CAD sisteme. Vodil in sodeloval: dr. Marko Boben.
- Raziskovalni vavčer s podjetjem Epilog d.o.o., 2013, Sodelovali: dr. Boris Horvat, dr. Primož Lukšič, dr. Marko Boben
- edu.Plexor – Aplikacija socialnih omrežij v e-izobraževanju, Slovenski podjetniški sklad, 2009-2011, dr. Boris Horvat (vodja), dr. Primož Lukšič
- net.Plexor – zbirka orodij za analizo in vizualizacijo velikih omrežij, Tehnološka agencija Slovenije (TIA), projekt za prenos znanja iz Univerze v Ljubljani, 2010-2011, vodja: dr. Boris Horvat, sodeluje dr. Primož Lukšič
- Krepitev razvojnih oddelkov v podjetjih, 2011-2014, EU, Evropski sklad za regionalni razvoj ter Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo (MVZT), vodja dr. Boris Horvat, sodelujoči: dr. Tomaž Pisanski, dr. Primož Lukšič
- Nekaj članov programske skupine je leta 2009 ustanovilo visokotehnološko podjetje



Abelium d.o.o., raziskave in razvoj, ki je postalo redni član TPLJ in ima registrirano raziskovalno skupino. Zaposluje več doktorjev znanosti iz matematike in računalništva ter je partner na večjih nacionalnih in mednarodnih razvojno-raziskovalnih projektih.

**15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov raziskovalnega programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)**<sup>17</sup>

SLO

V okviru programske skupine sodelujemo pri razvoju tehnologij in znanj na stopnjah tehnološkega razvoja (po NASA TRL standardu) vse od stopnje 1 (zamisel, bazične raziskave) do 6 (demonstracijski prototip). Uporaba rezultatov raziskav in razvoja v praksi je smiselna pri rezultatih, ki so na TRL lestvici višje od stopnje 5 oziroma 6. Trenutno lahko v programski skupini P1-0294 identificiramo rezultate večih ločenih večletnih raziskav:

(1) Orodje Pajek (<http://pajek.imfm.si>) za analizo velikih omrežij. Prenos znanj povezanih z razvojem knjižnice algoritmov za analizo in vizualizacijo je že bil izveden iz Univerze v Ljubljani na podjetje Abelium d.o.o., kjer se razvija orodje net.Plexor. To orodje bo moč prosto uporabljati za akademske namene.

(2) Orodje v okviru projekta nauk.si ([www.nauk.si](http://www.nauk.si)), ki je prosto dostopno, ima potencial širše uporabe in možnosti razvoja novih poslovnih modelov v eizobraževanju. Odprtokodno rešitev dalje razvija podjetje Abelium d.o.o.

(3) Metoda za vizualizacijo pretokov, ki so bilo razvito v sodelovanju s programsko skupino "P2-0167 Energetska strojništvo", v okviru projekta "L2-4270 Razvoj računalniško podprte vizualizacijske metode za diagnostiko hitrostnih polj na področju hidrodinamskih sistemov" (vodja prof. dr. Brane Širok) ter v sodelovanju mladih raziskovalcev v gospodarstvu in znanstvenikov iz raziskovalne skupine Abelium Research podjetja Abelium d.o.o. se že uporabljaja v prototipnih aplikacijah v industriji (kamena volna). Programsko orodje za uporabo metode je dostopno na <http://admflow.net>.

(4) Znanja iz kombinatoričnih optimizacij in teorije grafov ter algoritmov na grafih v povezavi z rezultati projektov logistične optimizacije v okviru projektov kompetenčnega centra KC CLASS, projekt "P6 Logistika", ter projekta, "L5-4282 Matematično modeliranje in informatizacija procesov logističnega sistema poštnih storitev", se že uprabljajo v praksi pri podjetju Nigrad d.o.o. Na to temo je na Inštitutu Andrej Marušič bila registrirana inovacija. Znanja se uporabljajo tudi pri razvoju celovitega informacijskega sistema z napredno logistično optimizacijo za hitro rastoč poslovni model GoOpt (<http://goopti.com>). Člani programa (dr. Boris Horvat) so bili tudi med prejemniki nagrade za najbolj inovativen poslovni model na 8. Slovenskem forumu inovacij v letu 2013.

(5) Znanja dr. Marka Bobna na področju računalniškega vida se tudi že uporabljajo v praksi, kjer je že prišlo do poskusnega sodelovanja investitorji semenskega kapitala iz Danske, Izraela in ZDA preko podjetja Abelium d.o.o. Predstavljajo tudi del rešitve iOliva, ki je bila nagrajena na 7. Slovenskem forumu inovacij kot najbolj inovativna storitev. Rešitev iOliva je mobilna in oblachna aplikacija, ki omogoča podajanje predikcij kakovosti olivnega olja na podlagi fotografij oliv.

**16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali**

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	300.000 EUR
	Podjetje Abelium d.o.o. je že primer podjetja, ki je nastalo na osnovi podjetniške motivacije nekaterih članov

ocena potrebne infrastrukture in opreme <sup>18</sup>	programske skupine. Podjetje bo predvidoma v nadaljevanju programa postalo partner na programu. Ocenjujemo, da bi lahko na osnovi znanj v programski skupini lahko nastalo še kakšno podjetje. Sicer pa je po naših izkušnjah 300.000 EUR nekakšna meja za osnovna sredstva, ki omogočajo kakovostno delo manjše ekipe na področju uporabne matematike za zagonsko obdobje pribl. 2 let (ekipa nekaj ljudi). Zadostna infrastruktura je računalniška oprema in najem prostorov.
-------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 17. Izjemni dosežek v letu 2014<sup>19</sup>

### 17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Objavljena monografija:

BATAGELJ, Vladimir, DOREIAN, Patrick, FERLIGOJ, Anuška, KEJŽAR, Nataša. Understanding large temporal networks and spatial networks : exploration, pattern searching, visualization and network evolution, (Wiley series in computational and quantitative social science). Chichester: J. Wiley & Sons, 2014. XIV, 450 str., graf. prikazi, zvd. ISBN 978-0-470-71452-2. <http://catalogimages.wiley.com/images/db/jimages/9780470714522.jpg>. [COBISS.SI-ID 31563993]

### 17.2. 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 in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

### Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
matične RO (JRO in/ali RO s  
koncesijo):*

in

*vodja raziskovalnega programa:*

Inštitut za matematiko, fiziko in  
mehaniko

Tomaž Pisanski

### ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

15.3.2015

**Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/160**

<sup>1</sup> Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne

ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

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

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

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

<sup>6</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa 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 programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

<sup>7</sup> Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

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

<sup>9</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Upoštevacjo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

<sup>12</sup> Vpišite število opravljenih diplom v času izvajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

<sup>13</sup> Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite "MR". [Nazaj](#)

<sup>14</sup> Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

<sup>15</sup> Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>16</sup> Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>17</sup> Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>18</sup> Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

<sup>19</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). 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-RPROG-ZP/2015 v1.00b

BB-4E-D9-12-66-BF-1C-53-CE-8D-DC-9D-46-E1-E0-C9-DD-2A-E8-EE

## **Priloga 1**

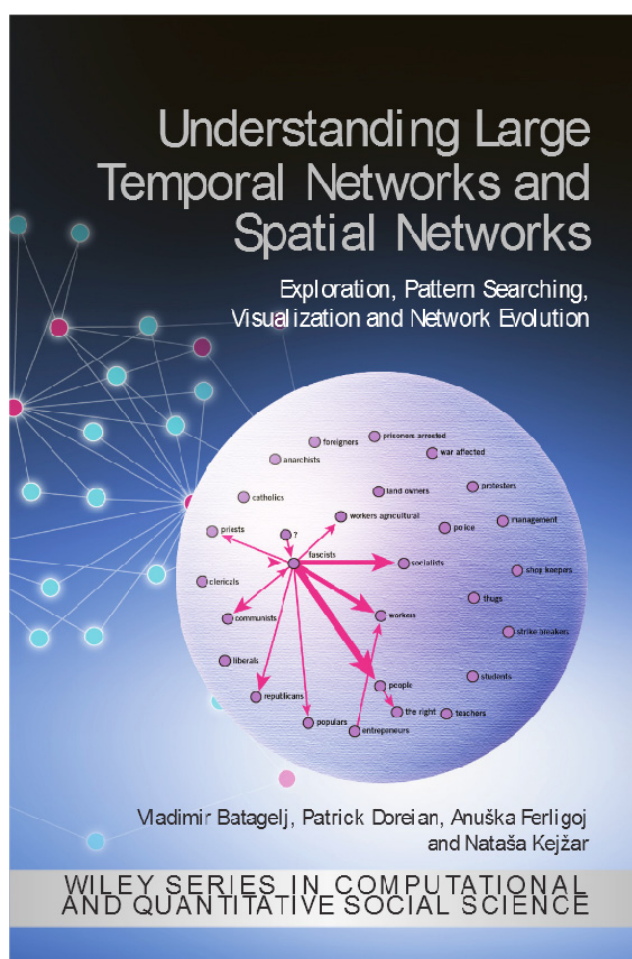
**VEDA / Področje / Podpodročje:**

**1.07.01/Naravoslovno-matematične vede/Računalniško intenzivne metode in aplikacije/Algoritmi**

**Dosežek:** BATAGELJ, Vladimir, DOREIAN, Patrick, FERLIGOJ, Anuška, KEJŽAR, Nataša. *Understanding large temporal networks and spatial networks : exploration, pattern searching, visualization and network evolution*, (Wiley series in computational and quantitative social science). Chichester: J. Wiley & Sons, 2014. XIV, 450 str., graf. prikazi, zvd. ISBN 978-0-470-71452-2.

<http://catalogimages.wiley.com/images/db/jimages/9780470714522.jpg>. [COBISS.SI-ID 31563993]

**Vir:** <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470714522.html>



Knjiga raziskuje družbene mehanizme, ki pripomorejo k spremembam omrežij, in jih povezuje z računskim modeliranjem spreminjanja strukture s ciljem odkrivanja vzorcev. Opredeljuje družbene procese nastanka in evolucije takih omrežij.