

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/118



## 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>	P2-0032
<b>Naslov programa</b>	Procesna sistemska tehnika in trajnostni razvoj Process systems engineering and sustainable development
<b>Vodja programa</b>	6005 Zdravko Kravanja
<b>Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)</b>	13260
<b>Cenovni razred</b>	B
<b>Trajanje programa</b>	01.2009 - 12.2014
<b>Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)</b>	794 Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.02 Kemijsko inženirstvo
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	02. Okolje
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	2 Tehniške in tehnološke vede 2.04 Kemijsko inženirstvo

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

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

SLO

Ves čas trajanja (2009-2014) raziskovalnega programa Procesna sistemska tehnika in trajnostni razvoj smo raziskovalci programske skupine P2-0032 sledili zastavljenim ciljem, ki so

bili že na samem začetku usklajeni s strateškim in akcijskim načrtom Evropske tehnološke platforme SusChem (Trajnostna kemija), predvsem na področjih industrijske biotehnologije, načrtovanja (bio)reaktorjev in procesov ter horizontalnih aktivnosti (izobraževanje, inovacije, okoljska tehnika). Razvoj orodij in metodologij procesne systemske tehnike (PST) smo usmerjali k doseganju fundamentalno novih rešitev na strateških področjih, ki zagotavljajo primerljivo ekonomsko razvitost, energetske samovzdržnost in skrb za okolje. Razvijali smo napredna metodološka in računalniško podprta okolja za i) interdisciplinarno sintezo celotnih (bio)kemijskih preskrbovalnih verig, ii) povečano rabo obnovljivih virov (pridobivanje zelene energije, snovna in energijska izraba odpadkov, proizvodnja in energijske ter snovne pretvorbe vodika), iii) sinteze novih (bio)reakcijskih poti in načrtovanje kompleksnih biokemijskih in biofarmaceutskih procesov za sinteze produktov z želenimi lastnostmi, tudi zdravil, iv) znižanje obremenjevanja okolja (trajnostni indeksi, npr. eko-dobiček, čistejša proizvodnja, obvladovanje onesnaževanja in upravljanje z okoljem), v) in razvoj novih proizvodnih postopkov, orodij in tehnologij, skladnih z načeli trajnostnega razvoja, z uporabo modeliranja, simuliranja, procesne intenzifikacije, optimiranja in integracije procesov. Usmerili smo se tudi v razvoj računalniških aplikacij, rešitvenih metod in strategij na področju tehnologij informacijske družbe za reševanje kompleksnih problemov v (bio)kemijski in procesni tehniki. Intenzivirali smo prenos znanja in tehnoloških rešitev v podjetja, kot so Lek Mengeš, Perutnina Ptuj, IPLOM, Nafta Lendava, Pivovarna Laško, Talum, Tovarna papirja Goričane, Tanin Sevnica, Eko Inženiring Ravne in druga.

Razpolagamo z moderno laboratorijsko opremo (različni reaktorji, reakcijski kalorimeter z IR-spektrofotometrom, vodni laboratorij) in programsko opremo za reševanje problemov s področja kemijske tehnike. Sodelovali smo v več mednarodnih (EU, NATO, EUREKA) in nacionalnih projektih. V program smo uspešno vključevali podiplomski študij in mlade raziskovalce, imamo utrjeno mednarodno znanstveno sodelovanje. Vsako leto organiziramo simpozije Slovenski kemijski dnevi ter občasno mednarodna posvetovanja (ARW NATO, CAPE Forum, HESD).

Rezultati raziskav dokazujejo izjemno uspešnost programske skupine. V 6 letih smo objavili 119 znanstvenih člankov, imeli 1662 čistih citatov za članke, ki so povezani z WoS oz. 2412 čistih citatov za članke, ki so povezani s Scopus.

ANG

During the period of 2009-2014 the research under program Process Systems Engineering and Sustainable Development P2-0032 aimed at achieving its main goals, which were from the very beginning harmonized with those of The European Technology Platform for Sustainable Chemistry SusChem, especially in the fields of industrial biotechnology, reaction and process design, and horizontal issues (education, innovation, environmental engineering). The development of tools and methodology of Process Systems Engineering (PSE) was oriented towards reaching a breakthrough, which would lead to fundamentally new solutions for strategic problems, and assure appropriate economic standards, energy self-sustainability and preservation of the environment. The research group has been developing an advanced computer-aided methodology for i) interdisciplinary synthesis of the entire (bio)chemical supply chains, ii) increasing the consumption of renewable resources (green energy production, mass and energy utilization of wastes, hydrogen production and its mass and energy transformations), iii) syntheses of new (bio)reaction paths and the design of complex bioprocesses and bio-pharmaceutical processes for synthesizing products with desired properties, including drugs, iv) reducing environmental pollution (sustainability indicators, e.g. eco-profit, cleaner production, pollution prevention and control, and environmental management), and v) the development of new sustainable production procedures, tools and technologies by means of process modelling, simulation, intensification, optimization and integration. The group also carried out the development of software tools and applications, solution methods and strategies based on advanced Information and Communication Technologies for solving complex problems in (bio)chemical and process engineering. The group intensified transfer of knowledge and technologies to companies like Lek Ljubljana, Perutnina Ptuj, IPLOM, Nafta Lendava, Pivovarna Laško, Tanin Sevnica, Talum, Tovarna papirja Goričane, Eko Inženiring Ravne, and others. The group owns advanced laboratory equipment (different reactors, reactor calorimeter with IR spectrophotometer, water lab) and software for solving complex problems in the field of (bio)chemical and process engineering. It has been collaborated in several international (EU, NATO, EUREKA) and domestic projects. The group has successfully incorporated graduate study, students, and junior researchers in this research program. It also organized national meetings Slovenian Chemistry Days annually and occasionally some international meetings (ARW NATO, CAPE Forum, HESD). During the last 6 years 119 scientific papers were published with 1662 WoS and 2412 Scopes citations, which indicates significant activity of the research group.

### 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

Raziskave v okviru tega programa so bile v celoti usmerjene k sintezi, načrtovanju, optimiranju in obratovanju trajnostnih (bio) kemijskih procesov. Pri raziskavah smo uporabljali in razvijali metode in orodja računalniško podprte procesne systemske tehnike (PST), s posebnim poudarkom na matematičnem programiranju. Z raziskavami smo želeli prispevati k reševanju nekaterih najpomembnejših svetovnih izzivov, npr. zmanjševanje neobnovljivih virov in obremenjevanje okolja. Pri tem smo razširili vlogo PST na celotno, trajnostno zasnovano (bio) kemijsko preskrbovalno verigo od molekulskega nivoja do obratov in procesnih mrež na regionalnem in kontinentalnem nivoju. Rezultate raziskav v zadnjih šestih letih smo objavili v več kot 100 člankih v vrhunskih znanstvenih revijah.

**Sinteza celotnih trajnostnih (bio)kemijskih preskrbovalnih verig.** Na tem področju smo razvili splošno mešano-celoštevilski linearni (MILP) model za optimiranje regionalnih omrežij za proizvodnjo in porabo energije iz biomase. Model smo aplicirali na nivo EU (COBISS 18172950) in ga nadgradili z večkriterijskim optimiranjem z uporabo metode metoda eko-dobička (COBISS 18198294, 17648150, 17135894, 17546774). V sodelovanju s procesnimi inženirji iz Nafta Petrochem smo raziskovali možnosti povečanja produktivnosti obstoječe proizvodnje metanola in formalina (COBISS 13867286, 14622998, 14089750).

**Povečana raba obnovljivih virov.** Za tovarno mesnih izdelkov Perutnina Ptuj d.d. smo izdelali optimizacijski model za hkratno sintezo bioplinskega procesa in toplotno integriranega omrežja toplotnih prenosnikov (COBISS 1783510, 14358038) in model za doseganje energijske samozadostnosti podjetja z integracijo obnovljivih virov (COBISS 16839958). Za isto podjetje smo raziskovali tudi možnost povečane rabe obnovljivih virov. Z integracijo biomase, odpadkov in sončne energije je mogoče dobiti energetsko samozadostnost pri izboljšanih ogljikem, dušičnem in energetskem odtisu, vendar poslabšanem vodnem odtisu (COBISS 17697558). Razvili smo metodologijo regionalne integracije celotnega območja in izvedli večkriterijsko večperiodno optimiranje (COBISS 17184022). Za toplotno integracijo procesov smo razvili preprosto tehniko grafičnega energetskega pregleda (COBISS 17841942). Optimirali smo proizvodnjo bioenergije na nivoju EU in dobili zelo obetajoče rezultate (COBISS 18172950). Nadalje smo izvedli trajnostno sintezo energetsko samozadostnega podjetja ob upoštevanju nedoločenosti (COBISS 17775126) ponudbe in povpraševanja v podjetju. Dobljeni rezultati so obetajoči in kažejo na trajnostno proizvodnjo in integracijo obnovljive energije pod fleksibilnimi pogoji. Prav tako so dobljene rešitve boljše in realnejše.

**Sinteze novih (bio)reakcijskih poti, bio in farmacevtskih procesov.** V sodelovanju s slovensko mlekarno Kele&Kele d.d. smo preučevali proizvodnjo probiotičnega napitka. Razvili smo metodo za izolacijo specifičnega eksopolisaharida iz kefirnih zrn in zmodelirali matematična modela za učinkovit opis kinetike rasti kefirnih zrn, proizvodnje etanola in CO<sub>2</sub> med fermentacijo (COBISS 16645142, 13592086, 13761046). Iskali smo nove sintezne poti in mehanizme za monoesterifikacijo diolov, nepogrešljivih intermediatov v farmacevtski in kozmetični industriji (COBISS 16260118). Z uporabo termičnih profilov oz. kalorimetrije smo določili kinetične parametre oksidacije mentola, ki ena pomembnejših reakcij v farmacevtski industriji (COBISS.SI-ID [17918998](#)). Za Emo Frite d.d. smo pridobili reprezentativne kinetične podatke dvokomponentne reakcije taljenja boraks-pentahidrata in kremena (COBISS 17385238). V okviru doktorske disertacije smo za isto podjetje razvili metodo vodne atomizacije steklenih frit, ki lahko uspešno nadomesti del sedanje proizvodnje teh prahov (COBISS [18353942](#)). Ukvarjali smo se z lepili, razvitimi na osnovi obnovljivih virov, saj imajo mnoge prednosti pred sintetičnimi. Z novo metodo termične modifikacije lepila na bazi izolata sojinih proteinov smo izboljšali njegove lastnosti (COBISS [1536965572](#)). Z Lekom smo sodelovali pri optimiranju pogojev gojenja ovarijskih celic kitajskega hrčka (COBISS 13469718) za proizvodnjo kompleksnih biozdravil. V laboratorijskem merilu smo preučevali možnosti razgradnje piščančjega gnoja in lignoceluloze (COBISS 13783574) ter raziskovali nove bioreakcijske poti (COBISS 17632278).

Raziskovali in optimirali smo učinkovitost proizvodnje bioplina iz bukovega lesa. Ugotovili smo, da je pri anaerobni digestiji z glivami predobdelanega materiala nastalo nekoliko več bioplina, kot pri neobdelanem lesu (COBISS 18239510).

**Znižanje obremenitve okolja.** Razvili smo metodologijo za celovito ocenjevanje trajnostnega razvoja pivovarn (COBISS 16260118). S ciljem ob minimalnih stroških znižati porabo vode v panogi smo izvedli dvokriterijsko optimizacijo vodnih porabnikov v pivovarni (COBISS 16240918). V komunalnem podjetju smo izvedli analizo življenskega cikla (COBISS 15923478). Tovarni papirja Medvode, d.d. smo predlagali alternativo biološki čistilni napravi. Prav tako smo preučevali magnetno mehčanje vode (COBISS 16876310). Nadgradili smo metodo za

zmanjšanje števila kriterijev pri večkriterijskem optimiranju in jo uporabili na primeru celotnih okoljskih odtisov (COBISS 16641558, 17446678, 17165846). Razvili smo tri metode ocenjevanja trajnostnega razvoja, primerne za večkriterijsko optimiranje, metodo trajnostnih indeksov (COBISS 16020502), odtisov (COBISS 15839766) in metodo eko- in celotnega dobička (COBISS 15787798, 16020502).

Preučevali smo mehanizme biološke denitrifikacije pitnih vod. Ugotovili smo, da je možno odstraniti nitrato iz vode, ki se porabi za spiranje ionskih izmenjevalcev z virom ogljika odpadno melaso. S tem se melasa uporabi in postane sekundarna surovina (COBISS [17685014](#)).

Preučevali smo možnosti odstranjevanje olj iz oljno vodnih emulzij z UF. Ugotovili smo, da je zelo primerna keramična membrana (COBISS [17373718](#)).

Uporabljali smo tudi kemometrični pristop načrtovanja mešanic za naftno in plinsko industrijo, kjer smo na poseben statistični analizi način načrtovali mešanice (formulacije) okoljsko spremenljivih kemikalij. Uporabljali smo različne elektrokemijske tehnike in metode za analizo površin, s katerimi določamo kvalitativno in kvantitativno sestavo, kar nam omogoča podrobno delovanje razvitih formulacij (COBISS [17802774](#), [COBISS 17341718](#), [COBISS 17585686](#)).

Na področju analize in merjenja okoljske trajnosti smo razvijali oz. nadgrajevali indikatorje potencialnega vpliva na okolje, trajnostni indeksi, eko- in celotni dobiček, eko- in celotna neto sedanja vrednost ter druge kombinirane kriterije (COBISS.SI ID 18396438). Razvili smo splošno metodologijo za zmanjševanje dimenzionalnosti kriterijev za probleme večkriterijskega optimiranja ob upoštevanju celotnih odtisov (COBISS 17446678). Prav tako smo uporabljali metode znižanja obremenjevanja okolja na praktičnih primerih, kontinentalne dobavne verige (COBISS 1818294) in dobavnega omrežja energetske samozadostnega podjetja (COBISS 18198294, 17775126).

Izvedli smo študijo izpostavljenosti delavcev v Sloveniji stirenu. Ugotovljeno je bilo, da so bile v nekaterih primerih presežene biološke mejne vrednosti, čeprav mejne koncentracije stirena v zraku niso bile presežene. Izvedena študija predstavlja osnovo za postavitev systemskega nadzora nad izpostavljenostjo nevarnim snovem na delovnih mestih (COBISS 18347798).

Izvedli smo načrtovanje šaržnih in kontinuirnih vodnih mrež z različnimi ekonomskimi kriteriji (COBISS 18190102 in 18099478).

**Novi proizvodni postopki, orodja in tehnologije, systemska tehnologija EWO.** V sodelovanju z ENSIGTI, Pau, Francija smo v modelirnem okolju GAMS razvili hibridni model (eksplicitni enačbeni del in implicitni del zapisan z zunanji rutini) za sintezo reakcijske destilacije [COBISS.SI-ID 14469142]. Po načelih čistejši proizvodnje smo posodabljali in spreminjali obstoječe procese v bolj trajnostne (COBISS 16556566). Energetske zahtevne procese smo energetske integrirali (COBISS 17124630). Izdelali smo optimizacijski model za zmanjšanje porabe sveže vode v industrijskih obratih s ponovno uporabo in regeneracijo vode (COBISS 15125014). Predlagali smo izboljšave obstoječih procesov s tehnološkimi modifikacijami (COBISS 14959126).

Razvili smo orodje TransGen za optimalno identifikacijo modifikacij za izboljšanja energetske in s tem ekonomske učinkovitosti obratov (COBISS 18144278, 18144022, 18098966, 18098710, 18137878, 18137622).

**Računalniške aplikacije, rešitvene metode in strategije, sintetizer MIPSYN.** Razvijali smo pravila za ustrezno modeliranje procesnih shem (COBISS 16826902), obravnavali fleksibilnost kemijskih procesov, razvili več računalniško podprtih aplikacij (COBISS 17446678, 17184022, 16605974) in procesni sintetizer MIPSYN (COBISS 17185046)

nadgradili za sintezo bioprocsov. Na področju sintez fleksibilnih procesov smo na osnovi občutljivostne analize negotovih parametrov razvili metodologijo za optimiranje procesov z velikim številom negotovih parametrov (COBISS 16795926). V zadnjem letu smo razvili oz. nadgradili več računalniških aplikacij, rešitvenih metod in/ali strategij. Nadgradili smo metodo za zmanjševanje dimenzionalnosti kriterijev za bolj praktično uporabo in za upoštevanje tako obremenilnih kot razbremenilnih vplivov (COBISS 17446678). Razvili smo praktično orodje, ki omogoča optimalno identifikacijo virov in manjkov energije ter optimalno procesno integracijo (COBISS 18144278, 18144022). Večletne raziskave na področju fleksibilnosti kemijskih procesov smo povezali v algoritem za načrtovanje omrežij toplotnih prenosnikov z velikim številom spreminjajočih se vhodnih podatkov, ki je primeren za reševanje problemov v industrijskem merilu (COBISS [18191382](#)). Razvili smo tudi optimizacijske modele za sintezo omrežij toplotnih prenosnikov med obrati, t.i. celotnih območij (Total Site) za zaporedni (COBISS.SI-ID [18027798](#)) in simultani (COBISS.SI-ID [18173718](#)) način sinteze.

**Prenos znanja in tehnoloških rešitev.** Sodelovali smo pri prenosu znanj na druga področja, npr. za sintezo mehanskih konstrukcij skupaj s kolegi Fakultete za gradbeništvo UM, za Eko Inženiring smo izvedli celovito študijo možnosti za obrat čiščenja odpadnih oljnih emulzij (COBISS 17120534, 17120278), uvajali e-izobraževanje v študijski proces (COBISS [18316566](#)), proučevali strukturo naprednega računalniško podprtega študijskega programa za procesno integracijo in optimiranje ter v sklopu EU projekta FP7 EFENIS tehnološke rešitve za

energetsko integracijo obstoječih obratov pod fiksnimi in spremenljivimi pogoji prenesli v študijski program 2. bolonjske stopnje Kemijska tehnika. Ta znanja smo uspešno vpeljali v industrijo (rafinerija IPLOM v Italiji). S prof. Klemešem in prof. Varbanovom smo razvijali strukturo sodobnega računalniško podprtega študijskega programa za procesno integracijo in optimiranje (COBISS 15816470, 17202198).

Pridobljeno znanje smo uspešno prenašali na študente, tako na dodiplomskem, kot na podiplomskem študiju, tudi v okviru diplomskih, magistrskih in doktorskih del.

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

SLO

Zastavljene cilje smo uspešno realizirali na vseh sklopih raziskav. Tako smo na področju **sinteze celotnih trajnostnih (bio)kemijskih preskrbovalnih verig** problematiko trajnostnega razvoja v podjetjih procesne industrije obravnavali s celovitim procesno sistemskim pristopom in ločene člene (bio)kemijske preskrbovalne verige sinergistično povezali. Splošni optimizacijski model za biorafinerijsko dobavno omrežje smo uporabili na nivoju Evropske unije in ga uspešno nadgradili z večkriterijskim optimiranjem z inovativno metodo eko- in celotnega dobička. V sklopu raziskav za doseganje **povečane rabe obnovljivih virov** smo s procesno sistemskim pristopom razvijali postopke za pridobivanje zelene energije in surovin ter uporabo sončne energije, za doseganje energijske samozadostnosti obratov. Načrtovali smo obrate za snovno in energijsko izrabo odpadkov pri proizvodnji bioplina z anaerobno fermentacijo živalskih in bioodpadkov. Glavno vodilo pri raziskavah na področju **sinteze novih (bio) reakcijskih poti in procesov** je bil prav tako trajnostni razvoj z uporabo inovativnih in fleksibilnih procesov za proizvodnjo zelene energije ter produktov. Razvili smo nekaj novih reakcijskih poti, pridobili kvalitetnejše produkte z izboljšanimi lastnostmi in določili reakcijske mehanizme nepoznanih reakcij. S ciljem **znižanja obremenjevanja okolja** smo ob uporabi trajnostnih načel raziskovali racionalno rabo energije in razvili inovativen koncept ekodobička in drugih indikatorjev življenjskega kroga, ki poleg obremenilnih vključujejo tudi razbremenilne vplive na okolje. Realizirali smo vse zastavljene cilje, saj smo želeli prav na področju denitrifikacije najti takšen vir ogljika, da se smatra kot odpadke, le-tega pa bi se dalo uporabiti kot sekundarno surovino. Na nadaljnjem področju, t.j. čiščenje oljnih emulzij pa nam je uspelo pokazati, da so keramične membrane perspektivne. Razvili smo okoljsko sprejemljive formulacije, ki so v fazi testiranja podjetij za pridobivanje energentov. Pristope PST smo uporabljali tudi na področju **novih proizvodnih postopkov, orodij in tehnologij**, kjer smo razvijali računalniško podprto infrastrukturo za optimiranje obratovanja in poslovanja celotnih podjetij. Razvili smo nekaj **računalniških aplikacij, rešitvenih metod in strategij** ter nadgradili lastni in v svetu edinstveni sintetizer procesnih shem MIPSYN za sintezo (bio)kemijskih procesov. Razvili smo orodje za identifikacije modifikacij in procesno integracijo znotraj industrijskih kompleksov in celotnih območij. Zastavljene cilje smo dosegli tudi na področju **prenosa znanja in tehnoloških rešitev**, kjer smo uspešno vnesli e-izobraževanje v študijski proces in v sklopu EU in industrijskih projektov poskrbeli tudi za prenos znanja in tehnologij med akademskim in industrijskim okoljem (Pivovarna Laško, Perutnina Ptuj, Lek Mengeš, Tovarna papirja Medvode, Eko inženirig, Mlekarna Kele&Kele, EmoFrite, Nafta Petrochem, Vodarna Brest, Ecolab).

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

SLO

Sprememb programa ni bilo.

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

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	16645142	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv pogojev gojenja na proizvodnjo kefirana z mešano kulturo mlečnokislinskih bakterij kefirnih zrn

	ANG	Cultivating conditions effects on kefir production by the mixed culture of lactic acid bacteria imbedded within kefir grains
Opis	SLO	Namen študije je bil raziskati vpliv bioprocesnih pogojev in sestave fermentacijskega medija na donos kefirana iz kefirnih zrn. Dokazali smo, da lahko z vodenjem pogojev gojenja (temperatura, vrtilna frekvenca mešala) in sestavo fermentacijskega medija (ogljikovi hidrati, dušikove spojine, minerali, vitamini) močno vplivamo na donos EPS. Ugotovili smo, da sta temperatura in vrtilna frekvenca mešala kritični za proizvodnjo kefirana med 24 h gojenjem kefirnih zrn v polnomastnem kravjem mleku; optimalna pogoja sta 25 °C in 80 rpm. V nadaljevanju smo določili še optimalne dodatke hranil, pri katerih so bili donosi kefirana najvišji. Donos kefirana je bil najvišji pri obogatitvi fermentacijskega medija z laktozo, tiaminom in FeCl <sub>3</sub> . Rezultati so pokazali, da lahko z dodatkom različnih hranil izboljšamo proizvodnjo kefirana in, da učinkovita prirast kefirnih zrn ni ključni faktor za visok donos kefirana v zrnih.
	ANG	The influences of fermentation temperatures, agitation rates, and additions of carbon sources, nitrogen sources, vitamins and minerals on the production of kefir by kefir grains' lactic acid bacteria was studied over a series of experiments. The main aim of the work was to increase the exopolysaccharide (EPS) production where customised milk was used as the fermentation medium. It was proved that the controlling of culturing conditions and the modifying of fermentation medium conditions (i.e., carbon, nitrogen, mineral sources, and vitamins) can dramatically enhance the production of the EPS. The temperature and agitation rates were critical for kefir production during the 24h cultivation of grains our optimised conditions being 25°C and 80rpm, respectively. In addition, when optimising the effects of additional nutrition, it was discovered that lactose, thiamine, and FeCl <sub>3</sub> led to the maximal production of EPS. The results indicated that nutrients can be utilised to improve the production of EPS and that good kefir grains' growth does not appear to be a determining factor for a high production yield of EPS.
Objavljeno v		Applied Science Publishers; Food chemistry; 2013; Vol. 139, iss. 1-4; str. 970-977; Impact Factor: 3.259; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.666; A': 1; WoS: DW, JY, SA; Avtorji / Authors: Zajšek Katja, Goršek Andreja, Kolar Mitja
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	16020502
		Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Večkriterijsko optimiranje za pridobivanje trajnostnih rešitev z upoštevanjem celotnih vplivov na okolje
	ANG	Multi-objective optimisation for generating sustainable solutions considering total effects on the environment
Opis	SLO	Ta prispevek predstavlja dva pristopa večkriterijskega optimiranja, ki vključujeta celotne vplive na okolje (posredne in neposredne). Trajnostne metrike, ki običajno merijo le posredne vplive, smo nadgradili s posrednimi razbremenilnimi vplivi. Uporabili smo dva pristopa, direktni in celotni trajnostni indeks in eko in celotni dobiček. Oba pristopa sta prikazana na primeru proizvodnje bioplina. Rezultati kažejo, da pri upoštevanju celotnih vplivov dobimo realnejše rezultate kot pri upoštevanju le neposrednih vplivov. Primerno ravnotežje med ekonomskimi in okoljskimi kriteriji se vzpostavi pri maksimiranju celotnega dobička.
		This contribution presents and discusses two multi-objective optimisation approaches considering total (direct and indirect) effects on the environment. Sustainability metrics, conventionally measuring direct harmful effects on the environment, are now upgraded with indirect effects in order to measure the unburdening the environment, e.g. due to the

		ANG	substitution of harmful with benign products. The first approach, based on a relative direct sustainability index, is now upgraded to a total sustainability index, and the second one, based on a concept of eco-cost and net profit, is extended to arecently introduced concept of eco- and total profit. These approaches are illustrated through a case study of the supply chain synthesis for producing biogas from organic and animal wastes. The results indicate that considering total effects enables obtaining more realistic solutions, than in those cases when only direct effects are considered. An appropriate trade-off between economic and environmental criteria can be established when performing a maximisation of total profit.
	Objavljeno v		Elsevier; Sustainable development of energy, water and environment systems; Applied energy; 2013; Vol. 101; str. 67-80; Impact Factor: 5.261;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.798; A': 1; WoS: ID, II; Avtorji / Authors: Kravanja Zdravko, Čuček Lidija
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	15839766	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Multikriterijsko optimiranje regionalnih preskrbovalnih mrež z a proizvodnjo biomase in energije na osnovi celotnih odtisov
		ANG	Total footprints-based multi-criteria optimisation of regional biomass energy supply chains
	Opis	SLO	V članku predstavljamo večkriterijsko optimiranje regionalnega omrežja proizvodnje bioproductov in hrane iz biomase z vključitvijo posrednih (bremenilnih), neposrednih (razbremenilnih) in celotnih (posrednih in neposrednih) odtisov. Splošni model za optimiranje regionalnih omrežij za proizvodnjo in porabo energije iz biomase v celotni proizvodni mreži (Čuček in drugi, 2010) smo nadgradili za sočasno ocenjevanje trajnostnega razvoja, ki temelji na analizi življenjskega kroga. Z upoštevanjem celotnih odtisov smo pridobili dobičkonosnejše in okolju prijaznejše rešitve kot v primeru upoštevanja le neposrednih obremenilnih učinkov.
		ANG	This study presented a multicriteria optimisation of a regional network producing bioproducts and food from biomass, including direct (burdening), indirect (unburdening) and total (direct + indirect) footprints. The generic model for the optimisation of regional networks for the production and consumption of energy from biomass within the entire production network (Čuček et al., 2010) was upgraded for the simultaneous evaluation of sustainable development based on life cycle assessment. More profitable and environmentally friendly solutions were obtained when considering total footprints and not only direct footprints.
	Objavljeno v		Elsevier; Integration and Energy System Engineering, European Symposium on Computer-Aided Process Engineering 2011; Energy; 2012; Vol. 44, iss. 1; str. 135-145; Impact Factor: 3.651;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.451; A': 1;A': 1; WoS: DT, ID; Avtorji / Authors: Čuček Lidija, Varbanov Petar, Klemeš Jiri, Kravanja Zdravko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	17446678	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Metoda zmanjšanja dimenzionalnosti kriterijev za večkriterijsko optimiranje z upoštevanjem celotnih odtisov
		ANG	Objective dimensionality reduction method within multi-objective optimisation considering total footprints
			Ta prispevek predstavlja poenostavljeno in bolj praktično različico metode za zmanjšanje dimenzionalnosti kriterijev za večkriterijsko optimiranje

	Opis	SLO	metodo reprezentativnih kriterijev. Metoda temelji na podobnosti med različnimi kriteriji, s čimer je možno zmanjšati število kriterijev na minimalno število reprezentativnih kriterijev. Metoda je uporabna tako za posredne kot tudi celotne odtise. V prispevku so kot kriteriji uporabljeni ekonomski dobiček in celotni odtisi. Celotni odtisi so definirani kot vsota posrednih in neposrednih odtisov, kjer posredni odtisi upoštevajo le obremenitev okolja, medtem ko celotni odtisi vključujejo obremenitev in razbremenitev okolja. Ta metoda za zmanjšanje dimenzionalnosti kriterijev je uporabljena na demonstracijskem primeru regionalnih dobavnih verig, kjer ocenjujemo različne celotne odtise. Iz demonstracijskega primera je razvidno, da je poenostavljena različica metodo reprezentativnih kriterijev enostavna za uporabo, omogoča uporabniku lažje razumeti rezultate dobljene pri večkriterijskem optimiranju. Metoda predstavlja praktično orodje za hkratno izvajanje večkriterijskega optimiranja in zmanjšanja dimenzionalnosti problema pri ekonomskem in okoljskem optimiranju ob upoštevanju celotnih odtisov.
		ANG	This contribution presents a simplified and more practical version of an objective dimensionality reduction method within multi-objective optimisation - a Representative Objectives Method. This method is based on similarities between several objectives in order to reduce the number of objectives to a minimum number of representative objectives. This method can be applied to different direct and total objectives. In this contribution the selected objectives are annual profit and total footprints. Total footprints are the sum of direct and indirect footprints where the direct footprints only consider the burdening of the environment, whilst the total footprints consider both the burdening and unburdening of the environment. This dimensionality reduction method is applied during a demonstration case study of regional supply chains regarding the evaluations of different total environmental footprints. This case study indicates that this simplified version of the Representative Objectives Method is easy to apply and enables the user to more easily understand multi-objective optimisation solutions. It represents a practical tool for performing the dimensionality reduction of criteria during the economic and environmental optimisation of different problems when considering total environmental footprints.
	Objavljeno v	Elsevier; Journal of cleaner production; 2014; Vol. 71; str. 75-86; Impact Factor: 3.590; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.143; A": 1; A': 1; WoS: IH, JA; Avtorji / Authors: Čuček Lidija, Klemeš Jiri, Kravanja Zdravko	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	17802774	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba korozijskih inhibitorjev za jekla v kislinskih medijih naftne in plinske industrije
		ANG	Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry
	Opis	SLO	Pregledni znanstveni članek predstavlja kislinski postopek v industriji pridobivanja energentov. Poudarek je na HCl in visoki temperaturi, ki je običajna v kislinskem postopku. Nizkolegirana jekla so najpogosteje uporabljeni materiali za izdelavo naftnih in plinskih vrtin zaradi nizkih stroškov in visoke zmogljivosti. Med kislinskim postopkom je potrebno ta jekla inhibirati. Ta članek opisuje razvoj mešanic kislinskih inhibitorjev s posebnim poudarkom na okoljsko sprejemljivih kemikalijah, ki se uporabljajo v industriji pridobivanja energentov. Opisuje tudi potencialno nevarnost uporabe konvencionalnih kislin in uporabo metansulfonske kisline kot alternativno kislino v kislinskem postopku, zaradi svojih koristnih lastnosti. Večina razvitih inhibitorjev ali njihovih mešanic ne izpolnjujejo



		zahtevam, ki jih navaja OSPARCOM [četrta ministrska konferenca za Severno morje v Esbjergu, Norveška, 8. in 9. junij, 1995], saj so lahko njihove primarne aktivne sestavine škodljive pri izpustih v okolje. Raziskave so torej osredotočene na razvoj alternativ, ki se trenutno uporabljajo. Trenutno je ta članek najbolj bran članek v reviji Corrosion Science, sedaj že več kot 6 mesecev.
	ANG	This review summarizes the corrosion inhibition of steel materials in acidic media. Numerous corrosion inhibitors for steels in acidic solutions are presented. The emphasis is on HCl solutions, lower-grade steels, and elevated temperatures. This review is also devoted to corrosion inhibitor formulation design % mixtures of corrosion inhibitors with (mainly) surfactants, solvents, and intensifiers to improve the effectiveness of individual compounds at elevated temperatures. The information presented in this review is useful for diverse industrial fields, primarily for the well acidizing procedure, and secondly for other applications where corrosion inhibitors for steel materials are needed.
Objavljeno v		Pergamon Press; Corrosion science; 2014; Vol. 86; str. 17-41; Impact Factor: 3.686; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.916; A": 1; A': 1; WoS: PM, PZ; Avtorji / Authors: Finšgar Matjaž, Jackson Jennifer
Tipologija		1.02 Pregledni znanstveni članek

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

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	17185046 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Čiščenje in ponovna uporaba industrijske odpadne vode ANG Industrial process water treatment and reuse
	Opis	SLO Na osnovi nove večnivojske metode za globalno optimiranje smo predlagali in uporabili računalniško podprto okolje za načrtovanje obdelave in ponovne uporabe vode v vodnih omrežjih. Z namenom olajšanja formulacije in reševanja problemov smo optimizacijske metode, orodja za analizo in inženirska znanja integrirali v računalniško podprto okolje. ANG We proposed and applied a computerised framework for the design of water treatment and reuse networks based on a novel multilevel global optimisation method. Within the framework, optimisation methods, problem analysis tools and wastewater engineering knowledge are integrated within a computerised environment, in order to facilitate the formulation and solution of the design problems.
	Šifra	F.23 Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev
	Objavljeno v	American Chemical Society; Industrial & engineering chemistry research; 2014; Vol. 53, no. 13; Str. 5160-5171; Impact Factor: 2.235; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.798; WoS: II; Avtorji / Authors: Quaglia Alberto, Pennati Alessandra, Bogataj Miloš, Kravanja Zdravko, Sin Gürkan, Gani Rafiqul
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	17135894 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Kontinentalna biorafinerijska preskrbovalna omrežja za proizvodnjo transportnih goriv

		ANG	Continental biorefinery supply networks for the production and supply of transportation fuels
Opis		SLO	Gre za aplikacijo generičnega multiperiodnega modela za učinkovito sintezo biorafinerijskih preskrbovalnih mrež na kontinentalnem nivoju. Model izkorišča regijsko specifične karakteristike za proizvodnjo in preskrbo z biogorivi in upošteva več najnaprednejših proizvodnih tehnologij, ki so v modelu opisane s surogatnimi modeli. Tako je mogoče reševati kompleksne preskrbovalne mreže velikega obsega in izoptimirati okoljskoekonomsko optimalne rešitve z upoštevanjem trajnostne proizvodnje biomase brez pretvorbe hrane v energijo.
		ANG	This work presented the application of a generic multiperiod model for the efficient syntheses of biorefinerie supply networks at the continental level. This model explores specific regional characteristics for the production and supply of biofuels. Several the more advanced biofuels production technologies were considered and embedded within the biorefinery supply networks as surrogate models in order to handle the complexities of largescale supply networks. Economically optimal solutions were obtained by considering sustainable biomass production whilst preventing the usage of food for energy.
Šifra	B.04 Vabljen predavanje		
Objavljeno v	s. n.; 3rd International Congress on Sustainability science & engineering, [ICOSSE 2013], Cincinnati, August 11-15, 2013; 2013; str. 30; Avtorji / Authors: Čuček Lidija, Martín Mariano, Grossmann Ignacio E., Kravanja Zdravko		
Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)		
3.	COBISS ID	16359958	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Integracija obnovljivih virov za izboljšanje energetske preskrbe proizvodnih podjetij znotraj regionalnih preskrbovalnih mrež	
	ANG	Integration of renewables for improving companies' energy-supplies within regional supply networks	
Opis	SLO	Osnovno vprašanje je "ali je možno bistveno zvišati preskrbo z energijo iz obnovljivih virov ali celo dosežati energetska samozadostnost". Na primeru velikega domačega podjetja Perutnine Ptuj smo pokazali, da je ta cilj možno doseči ali celo preseči.	
	ANG	The basic question regarding a company's energy supply is "whether it is possible to significantly improve the company's energy supply based on renewables". A real case study of the large company Perutnina Ptuj showed that this objective can be achieved.	
Šifra	F.04 Dvig tehnološke ravni		
Objavljeno v	ČSCHI;AIDIC; PRES 2012; Chemical engineering transactions; 2012; Part 1; str. 469-474; Avtorji / Authors: Vujanović Annamaria, Pahor Bojan, Kravanja Zdravko		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
4.	COBISS ID	79503617	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Slovenski kemijski dnevi 2014, Maribor, 11. - 12. september 2014	
	ANG	National meeting Slovenian Chemistry days	
Opis	SLO	Gre za vsakoletno organizacijo izvedbe slovenskega srečanja kemikov in kemijskih inženirjev "Slovenski kemijski dnevi"ki so v letu 2014 potekali 11. in 12. septembra na FKKT UM.	
	ANG	The annual national meeting of chemists and chemical engineers "Slovenian	

		Chemistry Days" was organised from 11th-12th September at FKKT UM.	
	Šifra	B.01	Organizator znanstvenega srečanja
	Objavljeno v	Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; 2014; 1 optični disk (CD ROM); Avtorji / Authors: Kravanja Zdravko, Bogataj Miloš, Novak-Pintarič Zorka	
	Tipologija	2.32	Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na domači konferenci
5.	COBISS ID	18144278	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Na pretovarjanju osnovano učinkovito ogrodje za energijsko ciljanje in rekonstruiranje industrijskih celotnih območij
		ANG	Efficient transshipment-based framework for energy targeting and retrofitting industrial Total Sites
	Opis	SLO	V prispevku predstavljamo učinkovito ogrodje za energijsko ciljanje in rekonstruiranje industrijskih celotnih območij. V ta namen smo nadalje razširili pretovorjevalni model z upoštevanjem prisiljenih in prepovedanih stikov. Ogrodje omogoča optimalno izbiro relokacij toplotnih prenosnikov. Ogrodje lahko uporabimo za držane in spremenljive obratovalne pogoje. Rešitev prikazanega primera kaže, da je z uporabo identificiranih modifikacij mogoče dosežati pomembne izboljšave energijske učinkovitosti in ekonomike.
		ANG	This work presents an efficient framework for energy targeting and retrofitting the industrial Total Sites. An transshipment model with constrained matches – forced and/or forbidden matches – is further extended. It enables the optimum selection for reallocating the heat exchangers, which is practical for retrofitting. Framework could be applied for fixed and varying operational conditions. From the case-study it can be seen that significant improvements in energy efficiency and economic objective can be obtained when applying modifications.
	Šifra	F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev
	Objavljeno v	s. n.; PRES2014; Chemical engineering transactions; 2014; Part 1; str. 1813-1818; Avtorji / Authors: Čuček Lidija, Kravanja Zdravko	
	Tipologija	1.01	Izvorni znanstveni članek

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

Predvsem gre za razvoj študijskih programov Kemijske tehnike na vseh bolonjskih stopnjah in pripravo akreditacijske dokumentacije, pri čemer so člani programske skupine aktivno sodelovali in v študijske programe vnašali svoje raziskovalne dosežke ter študente vključevali v svoje raziskave.

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

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

SLO

Na procesno-sistemskem nivoju smo nadgradili splošno metodologijo za optimiranje regionalnih omrežij za proizvodnjo in porabo energije ter metodologijo za optimiranje snovnih in energetskih tokov industrijskih podjetij z njihovim dobavnim omrežjem. Z uporabo razvitih metodologij je odslej mogoče dobiti fleksibilne trajnostne rešitve pod fiksnimi in variabilnimi pogoji. Na biomolekularnem laboratorijskem nivoju smo optimirali proizvodnjo bioplina iz predobdelanih lignoceluloznih materialov, kjer smo uporabili bukov les. Izkazalo se je, da predobdelava lesa pripomore k večji proizvodnji bioplina. Na področju ocenjevanja trajnostnega razvoja smo razvili splošno metodologijo za zmanjševanje dimenzionalnosti kriterijev za

probleme večkriterijskega optimiranja tako za obremenilne kot celotne (obremenilnih in razbremenilnih) odtise oz. druge kriterije. Orodje se je izkazalo kot praktično in uporabno za zmanjševanje dimenzionalnosti kriterijev. Na področju procesne integracije in intenzifikacije smo razvili splošen postopek in orodje za optimalno identifikacijo modifikacij in integracijo znotraj industrijskih kompleksov in celotnih območij. Orodje se je izkazalo kot zelo obetajoče in veliko naprednejše od trenutno obstoječih komercialnih in akademskih orodij te vrste ter predstavlja pomembno novost v svetu.

Za čiščenje industrijskih odpadnih vod, kot so oljno-vodne emulzije, izkazujejo keramične membrane določene prednosti pred klasičnimi postopki, kot je zanesljiva kakovost efluenta. Tako se kaže znanstveni doprinos zlasti v razvoju novih materialov membran, ki so vse bolj cenovno dostopne.

Ob upoštevanju trajnostnih načel smo študirali nove (bio)reakcijske poti, optimirali njihove procesne parametre in razvijali kinetične modele reakcij, za katere ti podatki še niso bili objavljeni. Izpostavljamo dve znanstveni tematiki z veliko možnostjo aplikacije. Večina komercialnih lepil za les je še vedno sintetičnih, večinoma zaradi njihove boljše voodopornosti. Vendar so pridobljena iz neobnovljivih in omejenih fosilnih virov. Ker so varstvo okolja, zdravja in trajnostna raba naravnih virov velik svetovni problem, zanimanje za naravna lepila narašča. Znano je, da imajo lepila na osnovi soje potencial za zamenjavo sintetičnih, smo razvili novo metodo toplotne modifikacije izolata sojinih proteinov, ki omogoča proizvodnjo lesnih lepil z visoko lepilno močjo.

Kemijske in fizikalne lastnosti stekel in frit so v veliki meri odvisne od hitrosti hlajenja in sposobnosti za čim hitrejše preoblikovanje taline v amorfnu trdno snov. Poznavanje teh sprememb omogoča proizvodnjo frit višje kakovosti (peči, grelniki za vodo itd) in uspešno ustvarjanje novih talilnih sistemov. Razvili smo tehniko vodne atomizacije za proizvodnjo frit in določili mehanizem strjevanja taline.

Kombiniran pristop z uporabo elektrokemijskih metod in tehnik za površinsko analizo, pri študiju zasnove mešanic za uporabo v industriji pridobivanja energentov, je doprinesel k pridobitvi kvalitativnih in kvantitativnih informacij, ki so potrebne za podrobno razumevanje delovanja teh sistemov, kar bo omogočilo razvoj novih mešanic. Osnovne raziskave, usmerjene v izboljšanje razumevanja teh procesov so pomembne za splošen napredek na tem področju. Pomembnost te študije se še posebej kaže v dejstvu, da so uporabljene samo okoljsko sprejemljive kemikalije glede na nemško klasifikacijo WGK, kar prispeva k trajnostnemu razvoju.

ANG

On the process-system's level, we upgraded general methodology for the optimisation of regional supply network for production and consumption of energy, and methodology for optimisation of material and energy flows within industrial companies and their supply network. Using the developed methodologies it is now possible to obtain flexible sustainable solutions under fixed and varying conditions.

On the bio-molecular laboratory scale we optimised the production of biogas from pre-treated lignocellulosic materials, where we used beech wood. The results showed that pre-treatment of wood helps to increase biogas production.

In the field of measuring and evaluating sustainable development we developed general methodology for reducing the dimensionality of criteria for multi-objective optimisation problems for both burdening and total (burdening and unburdening) footprints and other criteria. The developed tool was proved to be practical and useful for reduction of dimensionality of criteria.

In the field of process integration and intensification we developed a general procedure and tool for the optimal identification of modifications and integration within industrial complexes and Total Sites. The tool was proved to be very promising and much more advanced than the currently-existing commercial and academic tools of such kind, and thus represents a major innovation.

For the treatment of industrial effluents, such as oil-in-water emulsion, membrane separation processes offer significant advantages over conventional treatment methods, such as reliable effluent quality. The scientific importance is shown in the new membrane material development.

Taking into account the principles of sustainability, we studied new (bio)reaction pathways, optimized their process parameters and developed kinetic models of reactions for which these data have not been published. We highlight two scientific topics with great potential for

applications. The majority of commercial wood adhesives are still synthetic adhesives, mostly due to their better water resistance. However, they are derived from non-renewable and limited fossil resources. Since protection of the environment, health and sustainable use of natural resources have become a major world concern the interest in natural adhesives is increasing. As soy-based adhesives have a potential to replace the synthetic ones a new method of thermal modification of soy protein isolate for production of wood adhesives with high adhesive bonding strength was developed.

Chemical and physical properties of glasses and frits are to a large extent dependent on the speed of quenching and the ability to transform the melt as quickly as possible to the amorphous solid. Knowledge of these changes allows the production of higher quality end products of frits (ovens, water heaters etc.) and successful creation of new melting systems. The water atomisation technique for frits production together with reaction mechanism was developed.

Combined electrochemical and surface analytical approach, to design formulations in oilfield applications, provided the qualitative and quantitative information necessary for a detailed understanding of mechanisms at elevated temperatures, which will prove useful in designing new formulations. Fundamental research directed at an improved understanding of these systems is important for general scientific progress in that field. The importance of this research is even more pronounced because only environmentally friendly chemicals were used (German WGK 1 classification), which contributes to sustainable development.

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

SLO

Ukvarjali smo se s sistematičnim razvojem in izboljševanjem metod za njihovo uporabo v praksi. Za izboljšanje poslovanja podjetij in njihovega zniževanja negativnih vplivov na okolje, smo razvili splošno sistematično orodje, s katerim je mogoče dobiti fleksibilne, okolju prijazne rešitve z izboljšanim dobičkom. Na primeru podjetja Perutnina Ptuj smo z integracijo obnovljivih virov energije dobili energetsko (iz vidika električne energije) samozadostno podjetje v vseh letnih časih.

Za zagotavljanje izpolnjevanja ciljev za leto 2020 glede obnovljive energije na nivoju Slovenije oz. vsake posamezne članice EU in tudi znotraj celotne EU smo razvili splošno orodje, s katerim je mogoče optimirati celotno dobavno omrežje biogoriv in drugih obnovljivih goriv ob upoštevanju nihanja in dinamičnosti razpoložljivih virov in celotne proizvodnje. Orodje lahko pomembno pomaga pri odločanju glede načrtovanja optimalne proizvodnje obnovljivih virov energije.

Na področju procesne integracije in intenzifikacije smo razvili splošen postopek in orodje za optimalno identifikacijo modifikacij in integracijo znotraj industrijskih kompleksov in celotnih območij. Orodje se je izkazalo kot zelo obetajoče in veliko naprednejše od trenutno obstoječih komercialnih in akademskih orodij te vrste ter predstavlja pomembno novost v svetu. Razvili smo splošno orodje za izboljšanje energetske učinkovitosti in učinkovitosti rabe virov znotraj obstoječih industrijskih kompleksov in celotnih območij. Z razvitim orodjem lahko tudi identificiramo vire odpadne toplote za daljinsko ogrevanje. Orodje je primerno za različne vrste industrij, ki obratujejo pod fiksnimi in spremenljivimi obratovalnimi pogoji. Preizkušeno je bilo na primeru obstoječe rafinerije nafte in izkazalo se je kot odlično. Če bi aplicirali to orodje v slovenskih podjetjih, bi le-ta postala konkurenčnejša in bolj trajnostna, saj bi lahko optimalno zmanjšala porabo zunanjega goriva in po možnosti odvečno toploto uporabila za daljinsko ogrevanje.

Globalni premik procesne industrije v smeri trajnostnega razvoja med drugim zahteva uporabo inovativnih in fleksibilnih procesov, ki dolgoročno zagotavljajo družbenemu okolju prijazne in dostopne produkte z zelenimi lastnostmi. Naše raziskave so bile namenjene predvsem industrijski aplikaciji znanstvenih raziskav na interdisciplinarnem področju biotehnologije in reakcijske ter procesne tehnike. V času trajanja programa smo reševali različne procesne probleme in vključevali trajnostne koncepte v slovensko procesno industrijo. Razvijali smo nove (bio)reakcijske poti, modelirali nepoznane reakcijske mehanizme in eksperimentalno optimirali kompleksne homogene in heterogene (bio)kemijske sisteme v različnih agregatnih stanjih. Poseben poudarek smo namenili fermentacijskim tehnikam mlekarstva, načrtovanju tehnologij čiščenja odpadnih voda papirne industrije, razvoju biorazgradljivih lepil lesne industrije ter načrtovanju končnih lastnosti novih produktov (porazdelitev velikosti zrn, kristalni

polimorfizem) industrije emajlov.

Razvoj okolju prijaznih formulacij v industriji pridobivanja energentov je novost in njena uspešna implementacija prispeva k ugledu Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo v Mariboru in ostalih raziskovalnih organizacij, s katerimi smo sodelovali. Prav tako ta tehnologija prispeva k prepoznavnosti slovenske znanosti. Na podlagi razvite tehnologije smo pridobili tržni projekt za nemško podjetje BASF SE, Ludwigshafen.

V Sloveniji se na področju čiščenja vod omenja kot ključni problematika povečevanje količine nitratov v vodotokih zaradi pronicanja gnojil iz kmetijskih površin. Z raziskavami smo pokazali, kako je mogoče cenovno ugodno izvesti denitrifikacijo vod v skladu z Uredbo o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov.

ANG

We have dealt with the systematic development and improvements of methods in order to be useful for practical problems. For the improvement of operations within companies and reduction of their negative impacts on the environment, we developed a general systematic tool using which it is possible to obtain flexible environmentally-friendly solutions with improved profits. On a case of Perutnina Ptuj we demonstrated that it could become an energy self-sufficient company in terms of electricity in all the seasons by integration of renewable energy sources.

To ensure meeting of the objectives for the year 2020 regarding renewable energy at the level of Slovenia as well as each EU Member State and within entire EU we developed a general framework, by which it is possible to optimise entire supply network of biofuels and other renewable energy sources by considering fluctuations and dynamism of available resources and entire production. The tool can significantly help in decision-making regarding the design of optimal production of renewable energy sources.

In the field of process integration and intensification we developed a general tool for improvements of energy and resource efficiency within existing industrial complexes and Total Sites. With the help of the developed tool it is also possible to identify the sources of waste heat for district heating. The tool is suitable for any kind of industries that operate under fixed and variable operating conditions. The tool was tested on a case of existing oil refinery where it was proved to be an excellent tool. If this tool was used on the cases of Slovenian companies they would become more competitive and sustainable as they could optimally reduce the external fuel consumption and possibly use the identified excess waste heat for district heating.

The global shift in process industry towards sustainable development requires the use of innovative and flexible processes that provide long-term friendly and affordable products with target properties. Our studies were primarily intended for industrial application of scientific research in the interdisciplinary field of biotechnology, reaction and process engineering. During the program, we have solved various process problems and integrated sustainability concepts into Slovenian processing industry. We developed some new (bio) reaction paths, modelled unknown reaction mechanisms and experimental optimized complex homogeneous and heterogeneous (bio) chemical systems in different physical states. Particular emphasis was placed on the fermentation techniques in dairy industry, the design of wastewater treatment technologies in the paper industry, the development of biodegradable adhesives in wood industry and the design of the new products final properties (grain size distribution, crystal polymorphism) in enamel industries.

Low efficiency, negative impacts on the environment and non-profitable operation are the main shortcomings of outdated energy-chemical plants. In order to increase their added value, such processes can be modified for the production of new products by using the proposed retrofit technique.

Development of environmentally acceptable formulations for oilfield applications is novel and its successful implementation contribute to the reputation of the Faculty of Chemistry and Chemical Engineering at University of Maribor and other research institutions, with which we cooperate. Moreover, this also contributes to the scientific recognition of Slovenia. Based on the developed technology we were entrusted with an industrial project for the international German company BASF SE, Ludwigshafen.

The main issue on the water treatment field is the increasing concentration of nitrates in water sources due to intensive fertilization. The importance of efficient and economically accepted denitrification method is in accordance with the Decree of water protection from agriculture nitrate pollution.

**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	30
bolonjski program - II. stopnja	4
univerzitetni (stari) program	88

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

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
28402	Katja Zajšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19633	Ambrož Roter	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
30944	Lidija Čuček	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29572	Mihael Kasaš	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28471	Rozalija Drobež	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Aleksandra Vinder	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28778	Jure Strnad	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26217	Miloš Bogataj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Hon Loong Lam	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
25658	Marcel Ropotar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Majda Šmigoc	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Hela Tokoš	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Rebeka Lukman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
33252	Janja Križan Milić	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" 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	
28402	Katja Zajšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
28471	Rozalija Drobež	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
30944	Lidija Čuček	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29572	Mihael Kasaš	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	B - Družbene dejavnosti	
28778	Jure Strnad	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
25658	Marcel Ropotar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
26217	Miloš Bogataj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
33252	Janja Križan Milić	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	

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	Alberto Quaglia	C - študent - doktorand	1	
0	Elvis Ahmetović	D - podoktorand	7	
0	Ronan Jones	C - študent - doktorand	2	
0	Michael Short	C - študent - doktorand	2	
0	Dajana Kučić	C - študent - doktorand	4	
0	Zlaten Mujkić	A - raziskovalec/strokovnjak	3	
0	Tim Klasing	A - raziskovalec/strokovnjak	4	
0	Karolina Krupinska	A - raziskovalec/strokovnjak	5	
0	Edyta Pieczykolan	A - raziskovalec/strokovnjak	5	
0	Vasda Matuleviciute	A - raziskovalec/strokovnjak	4	
0	Natalija Witkowska	A - raziskovalec/strokovnjak	4	

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

**Naslov:** EU project FP7 ENER/FP7/296003/EFENIS 'Efficient Energy Integrated Solutions for Manufacturing Industries'  
 Koordinator na UM FKKT: Zdravko Kravanja

**Naslov:** FP6 EINSTEIN Expert system for an Intelligent Supply of Thermal Energy in Industry, No. EIE07210, projekt v okviru programa Intelligent Energy Europe  
 Koordinator na UM FKKT: Peter Glavič

**Naslov:** FP6, TOSSIE Towards Sustainable Sugar Industry in Europe, No. 022944  
 Koordinator na UM FKKT: Peter Glavič

**Naslov:** FP6 PSIE - Postgraduate school of industrial ecology  
 Koordinator na UM FKKT: Peter Glavič

**Naslov:** CEEPUS mreža CIIISI0708021314  
 Chemistry and Chemical Engineering  
 Koordinator na UM FKKT: Zorka Novak Pintarič

**Naslov:** Erasmus Mundus, JoinEU See



Koordinator na UM FKKT: Zorka Novak Pintarič  
**Naslov:** Erasmus LLP

Koordinator na UM FKKT: Zorka Novak Pintarič  
**Naslov:** EU projekt VCSE (European Virtual Seminar on Sustainable Development). 6letni projekt, sodelujemo kot partnerji

Koordinator on UM FKKT: Majda Krajnc.  
**Naslov:** ECOHUB Informacijsko in izobraževalno ekovozlišče za podporo malim in srednje velikim podjetjem

Koordinator na UM FKKT: Damjan Krajnc  
**Naslov:** LOSAMEDCHEM: 2GMED09199

Koordinator na UM KKT: Peter Glavič  
**Naslov:** CMEPIUS Leonardo da Vinci: LDVPAR48/10, Trust In

Koordinator na UM KKT: Peter Glavič  
**Naslov:** Chemlog T&T, Central Europe Project

Koordinator na UM KKT: Peter Glavič  
**Naslov:** RECDEV (Innovative 3D training platform for recycling of waste electric and electronic devices), Leonardo da Vinci

Koordinator na UM FKKT: Peter Glavič  
**Naslov:** Naslov: TRUST IN, Leonardo da Vincipartnership

Koordinator na UM FKKT: Peter Glavič  
**Naslov:** UE4SDUniversity  
Educators for Sustainable Development , ERASMUS

Koordinator na UM FKKT: Peter Glavič  
**Naslov:** TREO, Training on Resource Efficiency and Optimization, Leonardo da Vinci

Koordinator na UM FKKT: Peter Glavič  
**Raziskovalni projekt:** Cooperation in the research project Competitive Programme for Rated Researchers 2013, "Bioetanol Optimizatin Project", National Research Foundation, s prof. Duncan Frazerjem iz Univerze v Cape Townu, Južnoafriška republika

Koordinator na UM FKKT: Zdravko Kravanja  
**Bilateralni projekt:** SlovenijaSrbija, BIRS/1213020: Automatic fotochemic aparatus withelectrochemic generator for in situ water disinfection  
Nosilca: Simonič M., Tomislav Trišović (Srbija).

**Bilateralni projekt:** Slovenija Ukrajina, BIUA/1112007: Development of technology for reuse of raw materials from waste waters enriched with nickel  
Nosilca: Simonič Marjana, Kochetov Genadii (Ukrajina).

**Bilateralni projekt:** SlovenijaZDA s prof. Ignacio E. Grossmann, CMU, Pittsburgh, ZDA  
Nosilec: Zdravko Kravanja

**Bilateralni projekt:** Slovenija Madžarska, s prof. Jiri J. Klemešem, Panonian University, Veszprem  
Nosilec: Peter Glavič

**Bilateralni projekt:** Slovenija Bosna in Hercegovina  
Nosilec: Zdravko Kravanja

**Raziskovalni projekt:** SCOPES 20132016, Computer Aided Process Engineering applied to energy, water, and waste reduction during process design and operation", Scientific Cooperation between Eastern Europe and Switzerland, Competitive, s prof. Francoise Marechalom, Univerza v Lucernu

Koordinator na UM FKKT: Zdravko Kravanja  
**Raziskovalni projekt:** Competitive Programme for Rated Researchers 2012, CPR20110701000019924" s prof. Duncan Frazerjem, Univerza v Cape Townu, Južnoafriška republika.

Koordinator na UM FKKT: Zdravko Kravanja  
**Raziskovalni projekt:** Razvoj mešanic v kislinah pri povišani temperaturi: mednarodni industrijski projekt za BASF SE, Ludwigshafen, Nemčija  
Nosilec: Matjaž Finšgar

**Raziskovalni projekt:** RAzvoj novih materialov iz recikliranih komponent izcednih kompostnih voda, v okviru OP RČV 2007-2013 (marec do september 2014)  
Nosilki: Marjana Simonič in Lidija Fras Zemljič

**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

Sodelovanje z industrijo preko pogodb in projektov

**Naslov:** Projektna izhodišča za nadgradnjo čistilne naprave reverzne osmoze – analiza fizikalno kemičnih postopkov čiščenja izcedne odpadne vode (Simbio d.o.o, Celje)

Nosilec: Marjana Simonič

**Naslov:** Optimizacija obstoječe in načrtovanje nove naprave za čiščenja odpadnih oljnih emulzij (EkoInženiring d.o.o., Ravne na Koroškem)

Nosilec: Kravanja Zdravko

**Naslov:** Experimental determination of heat effects during different pharmaceutical reactions and Risk analysis (Lek d.d., Sandoz company, Mengeš). Študije potekajo že 6 let.

Nosilec: Andreja Goršek

**Naslov:** Putting into practice Total Site energy management v sklopu EU projekta ENER/FP7/296003/EFENIS 'Efficient Energy Integrated Solutions for Manufacturing Industries – EFENIS' (IPLOMSpA), Busalla, Italija

Nosilec: Kravanja Zdravko

**Naslov:** Študija pridobivanja bioetanola iz odpadne vode papirne industrije (Goričane, Tovarna papirja Medvode d.d.)

Nosilec: Andreja Goršek

**Naslov:** Določitev procesnih parametrov maksimalne proizvodnje eksopolisaharida kefirana v kefirnih zrnih med fermentacijo v polnomastnem kravjem mleku (Mlekarna Krepko, Kele&Kele d.o.o., Logatec)

Nosilec: Andreja Goršek

**Naslov:** Optimiranje bioprocenih pogojev proizvodnje kefirnih zrn v ekološko pridelanem mleku (Mlekarna Krepko, Kele&Kele d.o.o., Logatec)

Nosilec: Andreja Goršek

**Naslov:** Industrijski projekt: Vodarna Brest [COBISS.SIID 14249238]

Nosilec: Marjana Simonič

**Naslov:** Industrijski projekt: Ecolab [COBISS.SIID14651158]

Nosilec: Marjana Simonič

**Naslov:** Posvetovanja Slovenski kemijski dnevi 2009 - 2014 (Slovensko kemijsko društvo)

**Naslov:** Mnenje o razželezenju vode za pripravo hladilne vode (Lek d.d.Lendava)

Nosilec: Marjana Simonič

**Naslov:** Poročilo o dezinfekciji bazenske vode s pretočno elektrolizo (Aquaterm)

Nosilec: Marjana Simonič

**Naslov:** Ciljni raziskovalni program "Konkurenčnost Slovenije 2006-2013":

Razvoj strateških scenarijev in optimalnih struktur trajnostne proizvodnje biogoriv v Sloveniji", Šifra:V40489.

Nosilec: Peter Glavič

**Naslov:** Posvetovanje URE in OVE 2009

Nosilec: Peter Glavič

**Naslov:** Razvoj in optimizacija postopkov za razvoj novih farmacevtskih učinkovin v sklopu projektov, ki jih opravlja mladi raziskovalec iz gospodarstva Lek d.d., Mengeš Jure Strnad

**Naslov:** Optimizacija porabe procesne vode in pogonskih sredstev v procesu proizvodnje piva (doktorska disertacija) (Pivovarna Laško)

**Naslov:** Projekt razvoja bolonjskih programov kemije, kemijske tehnologije in tehnike (naročnik: MVZT in EU)

**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

a) Elaborat o možnosti razgradnje škroba iz odpadne vode Tovarne papirja Medvode do uporabnega produkta s tržno vrednostjo je v firmi trenutna alternativa čistilni napravi.

b) Tehnološki proces taljenja frit se bo v Emo frite v bližnji prihodnosti zamenjal z ekonomsko ugodnejšo atomizacijo.

c) Rezultati raziskav proučevanja fermentacije mleka s kefirnimi zrnji in proizvodnje kefirana iz

kefirnih zrn se bodo v mlekarni Kele&Kele uporabili za razširitev asortimenta kefirja in nekaterih drugih fermentiranih mlečnih izdelkov. S tem bodo na tržišču kupcem ponujeni novi simbiotični mlečni izdelki z izboljšanimi terapevtskimi in reološkimi lastnostmi.

d) Kot rezultat naših raziskav je bila v zasebni objekt montirana elektroglavanska naprava.

e) Z lastnim modelom za sintezo dobavnih omrežij biomase in bioproductov je mogoče optimirati proizvodnjo in porabo biogoriv na regionalnem in kontinentalnem nivoju.

f) V podjetju EKO inženiring d.o.o. Ravne na Koroškem so na podlagi naših raziskav izbrali tehnologijo čiščenja odpadnih emulzij.

g) Za pripravo varnostne dokumentacije za nove reakcije se v Leku uporabljajo rezultati naših raziskav s področja kalorimetričnih študij, procesne varnosti in temperaturnih pobegov.

h) Rezultati raziskav pretvorbe klavničnih odpadkov in energijskih rastlin v bioplin so bili uporabljeni pri realizaciji obrata bioplinarne v podjetju Perutnina Ptuj.

i) Za Perutnino Ptuj smo izvajali optimizacijo preskrbovalne verige podjetja in energijske samooskrbe na osnovi obnovljivih virov.

j) V sklopu EU projekta FR7 EFENIS za pomembne evropske kemijske firme (IPLOM, Bayer, MOL) sodelujemo pri razvoju in uporabi metod procesne integracije za povečanje učinkovitosti rabe energije.

k) Naša študija kaže, da bi lahko v procesu proizvodnje metanola zvišali dodano vrednost, če bi v obstoječem procesu poleg metanola proizvajali tudi vodik.

l) Na osnovi naših raziskav so v obratu Pivovarne Laško z delom predlaganih ukrepov že zmanjšali specifično porabo vode na enoto produkta.

m) Rezultati dosedanjih raziskav na področju čiščenja vod kažejo, da so membranski postopki najprimernejša tehnologija za čiščenje odpadnih voda in njihovo ponovno uporabo.

n) Z razvito novo metodologijo za sintezo trajnostnih sistemov poleg obremenjevalnih upoštevano tudi razbremenjevalne učinke na okolje, kar omogoča generiranje bolj trajnostnih rešitev.

o) Z razvitim optimizacijskim orodjem TransGen lahko identificiramo možne modifikacije omrežij toplotnih prenosnikov za zmanjšanje porabe pogonskih sredstev ali za iskanje nizko temperaturnih virov za daljinsko ogrevanje.

**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	500.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme <sup>18</sup>	(simulator Aspen Plus, optimizer GAMS, Gabi za okoljske ocene), dva do trije osebni računalniki, zmogljiva delovna postaja, dodatno PAT orodje in nekaj osnovne prenosne analitske opreme.

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

**17.1. Izjemni znanstveni dosežek**

S prof. Ignaciom E. Grossmannom, Carnegie Mellon University, ZDA in dr. Marianom Martinom, University of Salamanca, Španija smo razvili MILP model za optimiranje regionalnih omrežij za proizvodnjo različnih virov biomase in za prvo, drugo in tretjo generacijo proizvodnje biogoriv. Dobljene rešitve so optimalne z ozirom na izbor surovin, trajnostno rabo virov brez pretvorbe hrane v energijo, izbor tehnologij, vmesnih in končnih produktov in zmanjšan ogljični odtis (COBISS.SI ID 17648150). Model smo uporabili na regionalnem in kontinentalnem nivoju EU (COBISS.SI ID 17135894, 17546774). Optimizacijski model EU vsebuje 1.150.000 enačb, 24.220.000 spremenljivk, od tega 27.900 binarnih. Reševali smo ga z modelirnim sistemom GAMS in solverjem GUROBI na serverju z 244 GB RAM. Ob podanih pogojih, bi lahko s proizvodnjo biogoriv v EU nadomestili skoraj 3/4

bencina in 1/4 dizla, kar je bistveno več kot je po Direktivi 2009/28/EC. Prihranki na kontinentalnem nivoju se merijo v milijardah €.

## 17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Izjemni znanstveni dosežek, naveden v prejšnji točki, je izjemen tudi iz družbenoekonomskega vidika.

## 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:*

Univerza v Mariboru, Fakulteta za  
kemijo in kemijsko tehnologijo

Zdravko Kravanja

**ŽIG**

Kraj in datum:

MARIBOR

16.3.2015

### Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/118

<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> Upoštevajo 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](#)

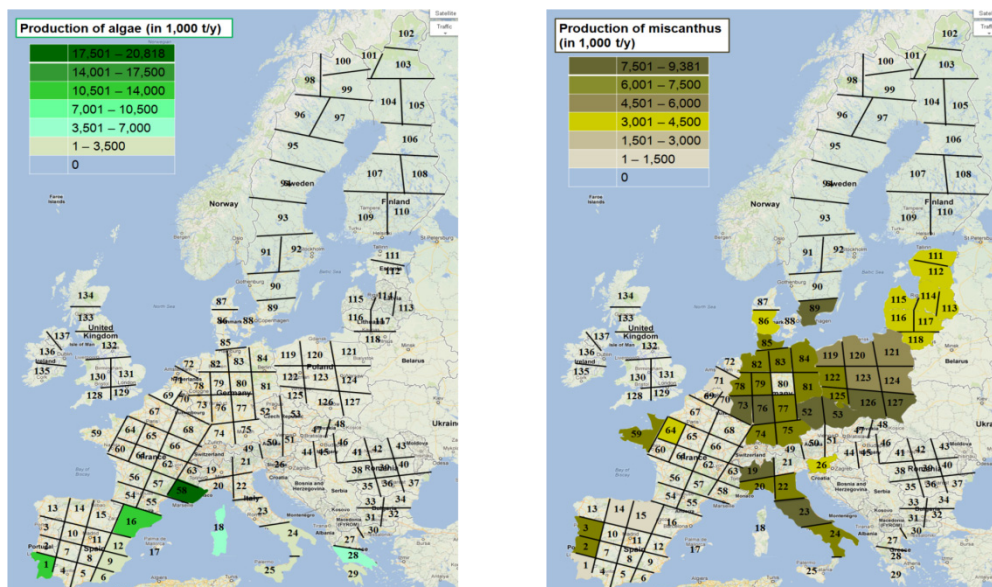
Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00b  
4E-4B-AF-16-73-41-2F-B1-6E-61-C0-CB-F6-90-6D-4D-0B-EB-7B-EE

## **Priloga 1**

# TEHNIŠKE IN TEHNOLOŠKE VEDE

Področje: 2.04 Kemijsko inženirstvo, Vir: COBISS.SI-ID 17648150,17135894, 17546774

Dosežek 1: Sinteza optimalno integriranih dobavnih omrežij biomase in bioproductov na kontinentalnem nivoju držav EU



Slika 1: Primer optimalne proizvodnje alg (levo) in miskantusa (desno) za proizvodnjo biogoriv, vir COBISS.SI-ID 17135894

Na področju sinteze celotnih trajnostnih (bio)kemijskih preskrbovalnih verig oz. omrežij smo s prof. Ignaciom E. Grossmannom iz Carnegie Mellon University, ZDA in dr. Marianom Martinom, University of Salamanca, Španija razvili splošni mešano-celoštevski linearni (MILP) model za optimiranje regionalnih omrežij za proizvodnjo različnih virov biomase in za prvo, drugo in tretjo generacijo proizvodnje biogoriv (bioetanol, biodizel, vodik, Fischer-Tropsch dizel in 'zeleni' bencin). Dobljene rešitve so optimalne z ozirom na izbor surovin, trajnostno rabo virov brez pretvorbe hrane v energijo, izbor tehnologij, vmesnih in končnih produktov in zmanjšan ogljični odtis (COBISS.SI ID 17648150). Model smo najprej uporabili na regionalnem nivoju in nato na kontinentalnem za države Evropske unije (COBISS.SI ID 17135894, 17546774). Optimizacijski model je izrednega obsega in kombinatoričnosti: 1.150.000 enačb, 24.220.000 spremenljivk, od tega 27.900 binarnih. Reševali smo ga z modelirnim sistemom GAMS in solverjem GUROBI na serverju z 244 GB RAM. Z ozirom na podane pogoje, bi lahko s proizvodnjo biogoriv v EU nadomestili skoraj 3/4 bencina in 1/4 dizla, kar je bistveno več kot je po Direktivi 2009/28/EC zahtevan vsaj 10 % delež transportnih goriv iz obnovljivih virov do leta 2020. Prihranki uporabe takega modela se na kontinentalnem nivoju merijo v milijardah €.