

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2014/60



## ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

|  |  |
|--|--|
| <b>Šifra programa</b>  | P2-0167  |
| <b>Naslov programa</b>   | Energetsko strojništvo                             |
| <b>Vodja programa</b>  | 9286 Brane Širok                                   |
| <b>Obseg raziskovalnih ur</b>  | 23229  |
| <b>Cenovni razred</b>  | B  |
| <b>Trajanje programa</b>   | 01.2009 - 12.2013                                  |
| <b>Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)</b> | 782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo |
| <b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>  | 2 TEHNIKA<br>2.03 Energetika                       |
| <b>Družbeno-ekonomski cilj</b>   | 05. Energija                                       |
| <b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>   | 2 Tehniške in tehnološke vede<br>2.03 Mehanika     |

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

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

SLO

Osnovni cilj raziskovalnega programa je bil raziskovanje kompleksnega fizikalnega in tehničnega ozadja energijskih pretvorb na področju energetskega strojništva in na področju trajnostnega upravljanja z energijo. Osnova multidisciplinarnega dela programa Energetsko strojništvo je temeljila na razvoju inovativnih temeljnih in aplikativnih znanstvenih doprinosov ter njihove implementacije v gospodarstvu in/ali v družbeno koristnih projektih. V skladu z zastavljenimi cilji so bile raziskovalne aktivnosti programa Energetsko strojništvo usmerjene v raziskovalna področja, ki so aktualna in predstavljajo lokalne in globalne raziskovalne izzive, hkrati pa so bile tudi raziskave na temeljnih področjih praviloma usmerjene v iskanje in doseganje rešitev konkretnih tehničnih problemov v industrijskem okolju.

Raziskave v okviru programa Energetsko strojništvo so se izvajale v treh med

seboj povezanih raziskovalnih skupinah: Laboratoriju za vodne in turbinske stroje (LVTS), Laboratoriju za toplotne batne stroje (LTBS) in Laboratoriju za termoenergetiko (LTE). Multidisciplinarna raziskovalna vsebina in podobne raziskovalne metode, ki so bile uporabljene, združujejo laboratorije v učinkovit raziskovalni program, za katerega so poleg znanstvenih raziskovalnih dosežkov značilni tudi doseženi aplikativni rezultati v slovenskem in mednarodnem prostoru. Realizacija programskega dela se odraža v treh celovitih medsebojno povezanih sklopih: ***Inovativni simulacijski modeli, Inovativne eksperimentalne metode in izboljšanje učinkovitosti naprav in sistemov ter zmanjšanje izpustov onesnažil***. Seveda pa je raziskovalno delo RP potekalo tudi na drugih specifičnih področjih, ki so pomembna bodisi zgolj iz raziskovalnega ali pa zgolj iz aplikativnega področja in na katerih smo tudi dosegli odmevne inovativne rezultate.

ANG

Main objective of the research programme Power Engineering was oriented towards research of complex physical and technological phenomena related to energy conversion in the field of power engineering and sustainable energy management. Multidisciplinary research activity of the research programme was aimed at the development of innovative basic and applied scientific contributions and their implementation into industrial and/or socially beneficial projects. In accordance with these objectives research activity focused on timely and challenging research topics, which are to a large extent aimed at providing innovative basic finding that solve actual challenges in the industries and thus directly contribute to higher added values of products.

Research activity of the research programme Power Engineering was executed in three interrelated research groups: Laboratory for water and turbine machines (LVTS), Laboratory for internal combustion engines (LTBS) and Laboratory for heat and power (LTE). Multidisciplinary research area and cross use of research methods interrelated research activity of research groups into a successful research programme featuring multiple original basic and applied scientific contributions being of national and global relevance. Research activities of the research programme were organized in three interrelated Work Packages: ***Innovative simulation models, Innovative experimental methods, and Enhanced efficiency of devices and systems and reduced emissions of pollutants***. Certainly research activities of the research programme covered also many others specific areas, which feature either high scientific or high applied significance.

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

SLO

-**Prvi skop** je obsegal razvoj ***Inovativnih simulacijskih modelov*** na *detajlni* in *sistemski* ravni, in je ključnega pomena za raziskave in razvoj inovativnih in/ali učinkovitejših ter trajnejših izdelkov. Omogoča učinkovito virtualno podporo od določitve sistema, razvoja in optimizacije komponent sistema ter podporo pri aktivnostih vključevanja strojne opreme v simulacijske zanke (Hardware-in-the-Loop - HiL). V ta sklop spada ***Modeliranje kavitacije in kavitacijske erozije***, kjer so bili razviti numerični modeli za napoved

temperaturnih učinkov kavitacije in kavitacijske erozije. Rezultati so bili uporabljeni tudi pri razvoju novih kavitacijskih generatorjev na področju procesiranja komunalnih vod in vod, ki so obremenjene z zdravilnimi učinkovinami. Na področju **Sistemskih simulacij vozil** smo v sodelovanju z globalnim vodilnim ponudnikom simulacijskih orodij za pogonske sklope vozil razvili inovativen pristop za modeliranje dinamičnih interakcij med različnimi domenami v pogonskih sistemih vozil. V primerjavi z dosedanjimi pristopi omogoča inovativen pristop časovne razklopitve domen, ki temelji na uporabi različnih integracijskih korakov specifičnih za posamezne domene znotraj matrike celotnega modeliranega sistema in konsistentni izmenjavi tokov med posameznimi domenami, doseganje bistveno boljšega razmerja med natančnostjo, visoko stopnjo napovedovalnosti in računskim časom modela (Točka 4.2 tega poročila). Razvili smo tudi inovativno metodologijo, ki odpira možnosti za uporabo fizikalno osnovanih modelov za simulacijo motorjev v HiL aplikacijah (Točka 5.2 tega poročila). Na področju simulacij gorivnih celic smo razvili inovativen računsko učinkovit hibriden 3D analitično-numeričen pristop za modeliranje transporta snovi v gorivnih celicah s protonsko izmenjalno membrano (Točka 4.1 tega poročila), ki so ga recenzenti v prestižni reviji Journal of Power Sources označili kot »znaten doprinos na področju modeliranja gorivnih celic«.

-**Drugi sklop** je obsegal **Inovativne eksperimentalne metode**, kjer je bilo v okviru programa razvito vizualizacijsko orodje ADMflow. Metoda temelji na adveksijsko-difuzijskem zakonu in omogoča eksperimentalno modeliranje hitrostnih polj na različnih časovnih in krajevnih skalah. Opravljeni so bili prvi koraki analiz transportnih pojavov na različnih pretočnih enofaznih in dvofaznih sistemih. Metoda je bila tudi že uporabljena na področju diagnostike procesa razvlaknjenja kamene volne in modeliranja na področju hidroenergetskih sistemov.

-**Tretji sklop** je obsegal aktivnosti na področju **Izboljšanja učinkovitosti naprav in sistemov ter zmanjšanja izpustov onesnažil**. Vidnejši doprinosi so bili doseženi na področju **Izrabe domačih virov energije** in **Inovativnih goriv za motorje z notranjim zgorevanjem**. Na področju **Izrabe domačih virov energije** so bile raziskave usmerjene v naprave in postopke za pridobivanje mehanskega dela in s tem manjšanja energetske odvisnosti države. To so postopki uplinjanja in utekočinjanja biomase z namenom tvorbe inovativnih goriv za široko dostopna energetska postrojenja kot so plinske turbine in motorji z notranjim zgorevanjem. V okviru numeričnih raziskav je bil izdelan model membranskega reaktorja za konverzijo CO z vodno paro (WGSMR – WaterGasShift Membrane Reactor) v IGCC energetskem postrojenju z zajemom CO<sub>2</sub>. Opravljena je bila tudi obsežna analiza integracije manjših kogeneracijskih postrojenj z uplinjevalniki lesne biomase pri sistemu razpršene oskrbe. Na področju **Inovativnih goriv za motorje z notranjim zgorevanjem** smo kot prvi na svetu vzpostavili uspešno notranje zgorevanje inovativnega biogoriva, pridobljenega iz lignocelulozne biomase utekočinjene v večfunkcionalnih alkoholih, kar ima bistven pomen pri preboju tega tipa goriva zaradi nižjih proizvodnih stroškov in privlačnejših okoljevarstvenih značilnosti. Ker se fizikalno-kemične lastnosti inovativnega goriva bistveno razlikuje od vseh konvencionalnih goriv in tudi od do sedaj preizkušanih formulacij alternativnih goriv, je dosežek v tehničnem smislu zelo velikega pomena, saj so mnoge tehnične rešitve prenosljive tudi na druga inovativna nekonvencionalna goriva.

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

SLO

Zastavljeni cilji programa so bili v celoti doseženi, izpolnili pa smo tudi dodatne

cilje na novih področjih, ki so se odprla med izvajanjem programa. Kvantitativno se to odraža v velikem številu člankov v vrhunski znanstveni literaturi, patentih in patentnih prijavih ter mnogih uspešnih implementacijah znanstvenih rezultatov v gospodarstvu (A1: 19,02 [število točk: A1: 5705; A': 2534; A'': 516] in A3: 48,34). V nadaljevanju podajamo pomembnejše doprinose na področjih aktivnosti programa, uspešnost realizacije in potrditev ustreznosti hipotez in ciljev pa dokazujemo z navedbami referenc **izvirnih znanstvenih člankov, patentnih prijav in patentov** s povezavo na COBISS ID:

### 1. *Inovativni simulacijski modeli*

- Izdelava numeričnih in fenomenoloških modelov kavitacijske erozije, katerih izsledki so bili uporabljeni pri oblikovanju pretočnih kanalov kavitacijskega generatorja ([12741915](#), [12534555](#), [11477531](#), [11600411](#))
- Razvoj splošnih sistemskih simulacijskih orodij za modeliranje pogonskih sistemov vozil ([12946459](#), [12123675](#), [12805915](#))
- Razvoj namenskih simulacijskih orodij za modeliranje in analizo energijskih tokov v hibridnih pogonskih sistemih vozil ([12782363](#), [11782939](#), [11450907](#), [10954523](#), [11100699](#))
- Razvoj inovativnega fizikalno osnovanega sistemskega simulacijskega modela gorivnih celic ([12841499](#))

### 2. *Inovativne eksperimentalne metode*

- Razvoj eksperimentalne – vizualizacijske metode za analizo tokovnih struktur na področju dinamike fluidov in področju hidroenergetskih sistemov ([11402267](#), [12192795](#), [12106523](#))
- Razvoj metode merjenja toka taline v proizvodnem procesu kamene volne ([11999003](#), [12792859](#)).

### 3. *Izboljšanje učinkovitosti naprav in sistemov ter zmanjšanje izpustov onesnažil*

- Razvoj termodinamske zasnove tlačno polnjenega letalskega Dizelskega motorja, ki je pripravljen za serijsko proizvodnjo ([12370203](#))
- Analiza inovativnih tehnologij in topologij sistemov za tlačno polnjenje motorjev ([11964187](#))
- Analiza porabe goriva in izpustov onesnažil večgorivnih motorjev med realno vožnjo vozil v prometu ([12154395](#))
- Numerična analiza dinamike plinov v izpušnem sistemu motorja z notranjim zgorevanjem ([12106779](#), [11009307](#))
- Optimiranje zgorevalnih procesov za zmanjševanje emisij onesnažil velikih termoenergetskih objektov ([11008795](#), [12669211](#))
- Razvoj inovativnih modelov uplinjanja trdnih goriv in procesiranja sinteznih plinov v energetskih sistemih ([12162587](#), [12317723](#))

- Premierna vzpostavitev uspešnega notranjega zgorevanja inovativnega biogoriva, pridobljenega iz lignocelulozne biomase utekočinjene v večfunkcionalnih alkoholih ([12403483](#), [35799557](#))

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

Na programu ni bilo značilnih sprememb in odstopanj od planiranega raziskovalnega dela!

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

|    |              | Znanstveni dosežek |   |
|----|--------------|--------------------|---|
| 1. | COBISS ID    | 12841499           | Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | <i>SLO</i>         | Računsko učinkovit hibriden 3D analitično-numeričen pristop za modeliranje transporta snovi v gorivnih celicah s protonsko izmenjalno membrano  |
|    |              | <i>ANG</i>         | A computationally efficient hybrid 3D analytic-numerical approach for modelling species transport in a proton exchange membrane fuel cell   |
|    | Opis         | <i>SLO</i>         | V članku je predstavljen inovativen hidriden analitično-numeričen pristop za modeliranje transporta snovi v gorivnih celicah, ki je primeren za uporabo v sistemskih simulacijah. Inovativnost pristopa izhaja iz sklopitve 1D numeričnega modela toka vzdolž kanala in 2D analitične rešitve koncentracijskega polja v smeri pravokotno na kanal, kar privede do 3D popisa koncentracijskega polja. Rezultati hibridnega analitično-numeričnega modela izotermne gorivne celice z enostavno geometrijo so bili primerjani z rezultati pridobljenimi s profesionalnim 3D CFD programskim paketom. Primerjava potrjuje zelo dobro ujemanje rezultatov inovativnega modela in rezultatov 3D CFD paketa, hkrati pa je za inovativni model značilna računski zahtevnost primerljiva z 1D modeli. Takšna računski zahtevnost modela izhaja iz analitičnega popisa koncentracijskega polja v dveh dimenzijah, ki sta pravokotni na kanal, in tako omogoča uporabo modela v sistemskih simulacijah vozil. Članek vsebuje zelo obsežen dodatek, ki podaja celotno matematično izpeljavo enačb inovativnega analitično-numeričnega modela. |
|    |              | <i>ANG</i>         | This paper presents an innovative hybrid analytic-numerical approach to modelling species transport in fuel cells suitable for application on the system level. The core principle of this modelling approach is taking 1D numerical model for gas-flow and superimposing onto it a 2D analytic solution for concentration distribution in the plane perpendicular to the gas-flow together giving a 3D information on species concentration in the fuel cell. A hybrid analytic numerical model of a simple geometry isothermal fuel cell is presented and comparatively evaluated by benchmarking it against a professional full 3D CFD simulation tool. This evaluation shows very close agreement with the benchmarking 3D CFD simulation and computational times comparable to 1D models. This computational efficiency originates in the models analytic nature in the other two dimensions making it suitable for system level application. The paper features an extensive appendix with a comprehensive detailed mathematical derivation of the hybrid analytic-numerical model.   |
|    | Objavljeno v |                    | Elsevier Sequoia; Journal of power sources; 2013; Ilustr., Vol. 236; str. 321-340; Impact Factor: 4.675; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.368; A': 1; WoS: HQ, ID; Avtorji / Authors: Tavčar Gregor, Ktrašnik Tomaž   |
|    | Tipologija   |                    | 1.01 Izvirni znanstveni članek  |
| 2. | COBISS ID    | 26582055           | Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | <i>SLO</i>         | Odstranjevanje zdravilnih učinkovin iz odpadnih voda s pomočjo bioloških  |

|            |              |   |
|------------|--------------|---|
|            |              | procesov, hidrodinamske kavitacije in UV sevanja.   |
|            | ANG          | Removal of pharmaceuticals from wastewater by biological processes, hydrodynamic cavitation and UV treatment  |
| Opis       | SLO          | <p>Da bi izboljšali proces odstranjevanja zdravilnih učinkovin smo preučili različne konvencionalne in alternativne možnosti čiščenja odpadnih voda. Testirali smo učinkovitost dveh različnih bioloških procesov v laboratorijskem okolju: suspenzija aktivnega blata in rast pritrjene biomase, kombinacijo hidrodinamske kavitacije in vodikovega peroksida ter UV sevanje. V okviru raziskave smo preučevali odstranjevanje petih zdravilnih učinkovin: ibuprofen, naproksen, ketoproksen, karbamazepin in diklofenak ter aktivni metabolit za uravnavanje lipidov v krvi, klorofibrinska kislina.</p> <p>Kombinacija hidrodinamske kavitacije in vodikovega peroksida je bila podrobneje raziskana za izboljšanje odstranjevanja zdravilnih učinkovin. Izbrani so bili optimalni pogoji delovanja, kot so čas izpostavljenosti kavitaciji, količina dodanega peroksida in začetni tlak. Pri optimalnih pogojih so bili doseženi rezultati odstranitve izbranih zdravilnih učinkovin od 3 do 70%. Združitev biološkega postopka rasti pritrjene biomase, hidrodinamske kavitacije/vodikovega peroksida in UV sevanja, prinese odstranitev &gt; 90% klorofibrinske kisline in &gt;98% karbamazepina in diklofenaka, medtem ko se ostale zdravilne učinkovine odstranijo pod mejo zaznavnosti. Za ibuprofen, naproksen, ketoprofen in diklofenak je največji prispevek k odstranitvi prinesel biološki proces, za klofibrinsko kislino je bilo najbolj učinkovito UV sevanje, medtem ko je bil za karbamazepin enako učinkovit postopek hidrodinamske kavitacije z vodikovim peroksidom ali UV sevanje.</p> |
|            | ANG          | <p>To augment the removal of pharmaceuticals different conventional and alternative wastewater treatment processes and their combinations were investigated. We tested the efficiency of two distinct laboratory scale biological processes: suspended activated sludge and attached-growth biomass, a combined hydrodynamic cavitation–hydrogen peroxide process and UV treatment. Five pharmaceuticals were chosen including ibuprofen, naproxen, ketoprofen, carbamazepine and diclofenac, and an active metabolite of the lipid regulating agent clofibric acid.</p> <p>To enhance the removal of pharmaceuticals hydrodynamic cavitation with hydrogen peroxide process was evaluated and optimal conditions for removal were established regarding the duration of cavitation, amount of added hydrogen peroxide and initial pressure, all of which influence the efficiency of the process. Optimal parameters resulted in removal efficiencies between 3–70%. Coupling the attached-growth biomass biological treatment, hydrodynamic cavitation/hydrogen peroxide process and UV treatment resulted in removal efficiencies of &gt;90% for clofibric acid and &gt;98% for carbamazepine and diclofenac, while the remaining compounds were reduced to levels below the LOD. For ibuprofen, naproxen, ketoprofen and diclofenac the highest contribution to overall removal was attributed to biological treatment, for clofibric acid UV treatment was the most efficient, while for carbamazepine hydrodynamic cavitation/hydrogen peroxide process and UV treatment were equally efficient.</p>    |
|            | Objavljeno v |   |
| Tipologija |              | 1.01 Izvirni znanstveni članek  |
| 3.         | COBISS ID    | 12403483 Vir: COBISS.SI   |
|            | Naslov       | SLO Uporaba lesa, utekočinjenega v večfunkcionalnih alkoholih za pogon plinskih turbin  |

|      |              |          |  |
|------|--------------|----------|--|
|      |              | ANG      | Wood, liquefied in polyhydroxy alcohols as a fuel for gas turbines   |
| Opis |              | SLO      | V prispevku je predstavljeno uspešno zgorevanje inovativnega lignoceluloznega biogoriva v turbinskem motorju z notranjim zgorevanjem. Inovativno gorivo je izdelano z utekočinjanjem lignoceluloznih materialov v prisotnosti večfunkcionalnih alkoholov in kislinskega katalizatorja. Postopek pridobivanja ima visok energijski izkoristek, visok izkoristek pretvorbe ter zahteva cenovno dostopno in tehnološko nezahtevno procesno opremo. Za potrebe raziskovalnega dela je bil razvit turbinski motor z notranjo zgorevalno komoro, nadtlačni gorivni sistem za temperaturno predpripravo goriva z vrtnično šobo ter regeneratorski izpušni sistem za doseganje visokih temperatur primarnega zraka. Rezultati raziskave obsegajo meritve koncentracij CO, THC, NOx ter neprosojnosti izpušnih plinov ob zgorevanju inovativnega goriva ter tudi dizelskega goriva za potrebe primerjalnih analiz. Poleg meritev so predstavljeni tudi verjetni mehanizmi tvorbe posameznih onesnažil ter predlogi za izboljšave na področju procesiranja inovativnega goriva in njegove uporabe v turbinskih motorjih. Rezultati raziskave nakazujejo na možnost uspešnega izkoriščanja goriva za potrebe proizvodnje električne in toplotne energije. Kljub temu, da so koncentracije CO in THC emisij v splošnem višje kot ob uporabi dizelskega goriva, se le-te intenzivno nižajo z višanjem temperature plinov pred vstopom v turbino ter z višanjem temperature predgretja goriva. Slednje je povezano z močno temperaturno odvisnostjo viskoznosti inovativnega goriva. Koncentracija NOx v izpušnih plinih je nizka ter je primerljiva s koncentracijo ob uporabi dizelskega goriva, medtem ko je neprosojnost izpušnih plinov zanemarljiva v obeh primerih. |
|      |              | ANG      | The paper reports foremost the results of a successful combustion of an innovative lignocellulosic biofuel in a gas turbine. The fuel was processed through liquefaction of lignocellulosic materials with polyhydroxy alcohols in an acid catalyzed reaction. The liquefaction process features: high efficiency, high liquid yields and inexpensive, easily available process equipment. For the purpose of this analysis the following were developed: an experimental gas turbine with internal combustion chamber, a preheated pressurized fuel supply system with swirl-air fuel injector and a heat exchanger to obtain high primary air temperatures. The paper gives results on the emissions of CO, THC, NOx and soot. For the purpose of benchmarking the turbine was also run on diesel fuel. The paper presents analyses of the underlying phenomena with which it aims to provide guidelines for improvements in the fuel processing and in the experimental equipment. It has been shown that direct utilization of this innovative lignocellulosic biofuel gives promising results. Although the CO and THC emissions are higher compared to the benchmark diesel results it has been shown that both emissions decrease with increased turbine inlet temperature and with the increased fuel preheat temperature, due to a very high viscosity of the fuel. It is additionally shown that NOx emissions are low and comparable to those of the diesel fuel, whereas soot emissions are very low for both fuels.   |
|      | Objavljeno v |          | Applied Science Publ.; Applied energy; 2012; Vol. 99; str. 40-49; Impact Factor: 4.781; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.598; A': 1; WoS: ID, II; Avtorji / Authors: Seljak Tine, Rodman Oprešnik Samuel, Kunaver Matjaž, Kutrašnik Tomaž  |
|      | Tipologija   |          | 1.01 Izvirni znanstveni članek   |
| 4.   | COBISS ID    | 13196827 | Vir: COBISS.SI   |
|      | Naslov       | SLO      | Termodinamski učinki med rastjo in kolapsom osamljenega kavitacijskega mehurčka  |
|      |              | ANG      | Thermodynamic effects during growth and collapse of a single cavitation bubble   |
|      |              |          |  |

|        |              |  |                |
|--------|--------------|--|----------------|
| Opis   | SLO          | <p>Raziskovali smo termodinamske učinke ob rasti in kolapsu osamljenega kavitacijskega mehurčka. Študija se osredotoča na temperaturna nihanja v kapljevini, ki obdaja mehurček. Eksperimente smo izvedene v valju, delno napolnjenim z vodo, pri sobni temperaturi in atmosferskem tlaku.</p> <p>Raziskovali smo tipične primere rasti mehurčka na različnih oddaljenostih od dna cilindra. Spodnja stena valja je bila izdelana iz safirja, ki je prozoren tako za vidno kot tudi za infrardečo svetlobo. Na ta način smo lahko hkrati merili temperaturo s hitro infrardečo kamero in spremljali dinamiko mehurčka z navadno hitro kamero. Izmerili smo padec temperature za 3K, ki je bil posnet v času rasti mehurčka, medtem ko je bil v času kolapsa zaznan temperaturni porast do 4K. Eksperimentalni rezultati se ujemajo z napovedmi modela termičnega zamika, ki temelji na predpostavki, da sta rast mehurčka in njegov kolaps posledica uparjanja in kondenzacije – da gre za prehajanje latentne toplote med kapljevino in paro. Študijo je financirala Evropska vesoljska agencija ESA.</p>   |                |
|        | ANG          | <p>The thermodynamic effects associated with the growth and collapse of a single cavitation bubble are investigated in the present paper by an experimental approach. The study focuses on the temperature variations in the liquid surrounding the bubble. Experiments are conducted in a cylinder partially filled with water at an ambient temperature and atmospheric pressure. The bubble growth results from the expansion of an initial air bubble, due to the pressure wave generated by a so-called tube-arrest method. Several locations of the bubble, at different distances from the bottom wall of the cylinder, are considered. The bottom wall is made of sapphire, which is transparent to both the visible and infrared light spectra which enables temperature measurements by a high-speed thermovision camera at a wavelength of 35 m. Water is opaque to the infrared light spectrum, hence only temperatures in the boundary layer and on the liquid vapour interface could be determined. A temperature decrease of 3 K was recorded during the bubble growth while an increase up to 4 K was detected during the collapse. Experimental results are compared to the predictions of the thermal delay model based on the assumption that the bubble growth and collapse are due to phase changes only. In this approach, the temperature variations are related to the latent heat exchanges during the vapourization and condensation processes. On the basis of these results, the respective effects of phase change and air dilatation/compression in the bubble dynamics are discussed.</p> |                |
|        | Objavljeno v | <p>Cambridge University Press; Journal of Fluid Mechanics; 2013; Vol. 736; str. 44-66; Impact Factor: 2.183; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.369; A': 1; WoS: PU, UF; Avtorji / Authors: Dular Matevž, Coutier-Delgosha Olivier</p>   |                |
|        | Tipologija   | <p>1.01 Izvirni znanstveni članek</p>  |                |
| 5.     | COBISS ID    | 12988187   | Vir: COBISS.SI |
| Naslov | SLO          | <p>Nov način reguliranja samozadostnega energetskega sistema z uporabo matrike stanja sistema</p>  |                |
|        | ANG          | <p>A novel approach to the regulation of a self-sufficient energy system using a system-state matrix</p>   |                |
| Opis   | SLO          | <p>Članek obravnava optimalno vodenje obratovanja samozadostnega energetskega omrežja. Na začetku je predstavljena regulacija optimalnega sistema za preskrbo z energijo. Delo je osredotočeno na teoretičen popis delovanja sistema z uporabo matrike stanj sistema in ustreznih seznamov obratovalnih pravil in aktivnosti. V drugem koraku je bil postavljen dinamičen matematičen model sistema, sestavljenega iz porabnika energije, proizvodnih kapacitet (fotovoltaična elektrarna in motor z notranjim zgorevanjem), hranilnika energije (baterija) in regulacijskega sistema. V tretjem koraku so bila preko vrste simulacij z različnimi nastavitvami regulacije sistema določena obratovalna pravila, ki</p>  |                |



|              |     |  |
|--------------|-----|--|
|              |     | zagotavljajo stabilno in učinkovito preskrbo z energijo. Na koncu so predstavljeni še rezultati z ustreznimi grafičnimi prikazi in podane smernice za nadaljnje delo.  |
|              | ANG | In this paper we consider the optimal operating regulation of a self-sufficient energy network. To begin with we discuss the regulation of an optimised energy-supply system. Our task was initially focused on a theoretical description of the system-state matrix approach with a corresponding list of operating rules and actions. Secondly, a dynamic mathematical model consisting of the consumer, the energy-production facilities (a photovoltaic power plant and an internal combustion engine), the energy-saving capacities (a battery) and the regulation was set up. Thirdly, during the simulations with various regulation settings an optimised system of operating rules was set up to achieve a stable and rational supply of energy. Finally, the results, appropriate diagrams and guidelines for future work are presented. |
| Objavljeno v |     | Butterworth Scientific; International journal of electrical power & energy systems; 2013; Vol. 53; str. 893-899; Impact Factor: 3.432; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.432; A': 1; WoS: IQ; Avtorji / Authors: Drobnič Boštjan, Pirc Andrej, Mori Mitja, Sekavčnik Mihael   |
| Tipologija   |     | 1.01 Izvirni znanstveni članek   |

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

|    |                            |   |   |
|----|----------------------------|---|---|
|    | Družbeno-ekonomski dosežek |   |   |
| 1. | COBISS ID                  | 110200827   | Vir: vpis v poročilo  |
|    | Naslov                     | SLO   | Spletna stran : <a href="http://admflow.net/tiki-index.php">http://admflow.net/tiki-index.php</a>   |
|    |                            | ANG   | Web Site: <a href="http://admflow.net/tiki-index.php">http://admflow.net/tiki-index.php</a>   |
|    | Opis                       | SLO   | AMD-flow je programski paket, namenjen izračunavanju hitrostnega polja na podlagi časovnega zaporedja posnetkov toka fluida. Hitrostno polje se izračunava s pomočjo modela, ki je podoben optičnemu toku na podlagi advekcijsko-difuzijske enačbe. AMD-flow se uspešno uporablja pri številnih znanstvenih in industrijskih procesih; pri vizualizaciji toka na krilih, vbrizgavanju goriva v dizelski motor, razvlaknjenju kamene volne in kavitaciji, kjer je ključnega pomena merjenje brez stika ali posegov. AMD-flow nudi široko izbiro računskih pristopov, ki sega od računanja posameznih hitrostnih polj do njihove animacije in celo serijskega izračunavanja, kjer je mogoče želene parametre izračunavanja samodejno spreminjati.                         |
|    |                            | ANG   | ADM-flow is a software package developed for velocity field calculation from a time series of flow images. Velocity field is calculated using a model similar to optical flow that is based on the advection-diffusion equation. ADM-flow has so far been successfully used on a number of scientific and industrial processes, including airfoil flow visualization, diesel engine fuel injection, mineral wool fiberization and cavitation, where using a non-contact, non intrusive measurement method is of key importance. ADMflow offers a wide choice of calculation approaches, ranging from single velocity field calculation to velocity field animation and even batch calculation mode where the desired calculation parameters can be varied automatically |
|    | Šifra                      | F.06  | Razvoj novega izdelka   |
|    | Objavljeno v               | Zveza strojnih inženirjev in tehnikov Slovenije [et al.] = Association of Mechanical Engineers and Technicians of Slovenia [et al.]; Strojniški vestnik; 2009; Vol. 55, no. 4; str. 215-223; Impact Factor: 0.533; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.969; WoS: IU; |   |

|    |              |   |   |
|----|--------------|---|---|
|    |              | Avtorji / Authors: Bajcar Tom, Širok Brane, Eberlinc Matjaž                 |   |
|    | Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek  |   |
| 2. | COBISS ID    | 12344859  | Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | SLO   | Cruise - Model tlačnega polnjenja motorjev  |
|    |              | ANG   | Cruise - turbocharged engine  |
|    | Opis         | SLO   | Raziskovalci raziskovalnega programa smo ključno prispevali k razvoju fizikalno osnovanega modela za simulacijo motorjev z notranjim zgorevanjem v realnem času, ki izpolnjuje tudi vse zahteve, pogojevane z uporabo modela med preizkušanjem v realnem času z vključevanjem strojne opreme v simulacijsko zanko (HiL – Hardware-in-the-Loop). Ena izmed ključnih uporab takšnega modela je virtualna podpora razvoja realnih motorskih krmilnih enot motorjev, ki zadoščajo najstrožjim okoljevarstvenim standardom, na HiL sistemih, kjer realen motor nadomešča fizikalno osnovan simulacijski model z visoko stopnjo napovedovalnosti. Model je bil razvit v sodelovanju z vodilnim ponudnikom simulacijskih orodij za pogonske sklope vozil AVL List in so ga naznanil kot: »SUCCESS OF COLLABORATION – ENGINE RT MODEL ON HIL ... Running a crankangle resolved filling & emptying approach for gas exchange together with a crank angle resolved cylinder is unique worldwide.« vir: <a href="https://www.avl.com/web/ast/success-of-collaboration-engine-rt-model-on-hil">https://www.avl.com/web/ast/success-of-collaboration-engine-rt-model-on-hil</a> . Drugi širok spekter uporabe takšnih modelov obsega zgodnji virtualni razvoj izdelka, saj so pri razvoju sodobnih pogonskih agregatov vozil neobhodno potrebni sistemski simulacijski modeli, ki omogočajo učinkovito raziskovanje prostora možnih rešitev. |
|    |              | ANG   | Researchers of the Research Programme have significantly contributed to the development of a physically based full real-time capable engine software, which fulfills all requirements posed by the application on HiL (Hardware-in-the-Loop) systems. One of the main applications of such a tool is development of real electronic control units of modern engines aimed at fulfilling the strictest emission limitations on HiL systems, where real engine is emulated by a physically based engine model that features high level of predictability. The model was developed in collaboration with a leading vendor of powertrain simulation tools AVL List that announced this tool as: »SUCCESS OF COLLABORATION – ENGINE RT MODEL ON HIL ... Running a crankangle resolved filling & emptying approach for gas exchange together with a crank angle resolved cylinder is unique worldwide.« source: <a href="https://www.avl.com/web/ast/success-of-collaboration-engine-rt-model-on-hil">https://www.avl.com/web/ast/success-of-collaboration-engine-rt-model-on-hil</a> . Another board application area of such tools is support in the early virtual development stage of the powertrain, as this stage heavily relies on application of advanced system level tools that make possible efficient exploration of the design space.  |
|    | Šifra        | F.10  | Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije  |
|    | Objavljeno v | Fakulteta za strojništvo; 2012; 15 str.; Avtorji / Authors: Katrašnik Tomaž |   |
|    | Tipologija   | 2.13 Elaborat, predstudija, študija   |   |
| 3. | COBISS ID    | 11810331  | Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | SLO   | Vizualizacija   |
|    |              | ANG   | Visualisation   |
|    | Opis         | SLO   | Vabljen predavanje vizualizacija je namenjeno pregledu merilne metode za uporabo v različnih strojniškin in naravioslovnih primerih. Vizualizacija je predstavljena na različnih primerih kot so obtekanje teles, tok v strojih in napravah, okrog živih bitij kot so meduze in krošnje dreves itd. Metoda je predstavljena horizontalno kot povezovalni člen različnim metodam analize in eksperimentalnega modeliranja.   |
|    |              |   | Invited lecture visualization is intended to overview the measurement   |

|    |              |  |  |
|----|--------------|--|--|
|    |              | ANG  | method for use in various mechanical engineering and nature science examples. Visualization is shown how it is used for examples like flow around bodies, inside machines and equipment and around live beings like meduses and tree canopies, The method is assessed in a horizontal approach, like a bridge between various methods and for analysis and experimental modeling   |
|    | Šifra        | B.04   | Vabljen predavanje   |
|    | Objavljeno v | ŠIROK, Brane. Vizualizacija : vabljen predavanje na Lanzhou Polytechnical College, 2. 7. 2010, Lanzhou, Kitajska. Lanzhou, 2010. [COBISS.SI-ID 11810331]<br>Lanzhou Polytechnic College, 1 Gongjiaping East Road, Qilihe District, 730050 Lanzhou, Gansu province, China |  |
|    | Tipologija   | 3.14   | Predavanje na tuji univerzi  |
| 4. | COBISS ID    | 12364059   | Vir: COBISS.SI   |
|    | Naslov       | SLO  | Določitev toplote in električne energije proizvedene iz premoga, lesne biomase, zemeljskega plina in tekočih goriv, določitev porab goriv in določitev električne energije proizvedene v soproizvodnji v Termoelektrarni Toplarni Ljubljana  |
|    |              | ANG  | Fuel share determination in heat and power production from coal, biomass, natural gas and liquid fuels, fuel consumption determination and the determination of combined power production in Ljubljana's Heat and Power Plant.   |
|    | Opis         | SLO  | Ljubljanska toplarna uporablja štiri vrste goriv: premog, lesno biomaso, zemeljski plin in za zagone tekoče gorivo. Kombinirana proizvodnja električne energije in toplote se izvaja s parno premogovo tehnologijo in kombiniranim plinsko parnim procesom v soproizvodnji ali pa kot ločena proizvodnja v vršni kotlarni iz tekočih goriv. Delo definira postopek izračuna za določitev deleža posameznega goriva v oddanih produktih toplarne.   |
|    |              | ANG  | Ljubljana's heat and power plant uses four types of fuels: coal, biomass, natural gas and liquid fuels for starting. The combined heat and power production is performed with steam-coal technology and with combined gas cycle. Heat peak power can be covered with peak boilers fueled by liquid fuels. The report defines the method for fuel share calculation in the cast products.   |
|    | Šifra        | F.02   | Pridobitev novih znanstvenih spoznanj  |
|    | Objavljeno v | Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za termoenergetiko; 2012; 33 f.; Avtorji / Authors: Senegačnik Andrej, Kuštrin Igor  |  |
|    | Tipologija   | 2.12   | Končno poročilo o rezultatih raziskav  |
| 5. | COBISS ID    | 12958491   | Vir: vpis v poročilo   |
|    | Naslov       | SLO  | Postopek žganja apnenca in obročna jaškasta peč za izvajanje postopka  |
|    |              | ANG  | Method of the calcination of limestone and the ring shaft furnace for it's performing  |
|    | Opis         | SLO  | Izum obravnava predelavo obročne jaškaste peči za žganje apna na kombinirano kurjavo in postopek žganja apna s tako predelano pečjo. Peči se dogradijo ločena zunanja predkurišča oz. uplinjevalniki lesne biomase . Izum omogoča uporabo lesnih sekancev v njihovi izvorni obliki in ni potrebno dodatno sušenje in mletje. Lesni sekanci se v predkurišču uplinijo in delno zgorijo. Pri tem v predkurišču nastane gorljiv lesni plin, ki se po dodatnem kanalu uvede v obstoječo zgorevalno komoro, kjer nato popolnoma zgori. Predkurišče in dovodna cev lesnega plina sta toplotno izolirana. Lesni plin se tako ne ohlaja. Sistem predkurišča in dovodne cevi je adiabatni sistem kar zagotavlja, da se kalorična notranja energija lesa v celoti izkoristi in prenese v obstoječo zgorevalno komoro. Skupna |

|              |  |   |
|--------------|--|---|
|              |  | <p>energijska in masna bilanca peči mora ostati enaka. Na ta način so zagotovljeni ustrezni tehnološki parametri za žganje apna v peči. Delež nadomestitve fosilnih goriv z lesnimi sekanci je odvisen od vlažnosti sekancev in se giblje med 40 % in 60 %. S souporabo lesnih sekancev se bistveno znižajo proizvodni stroški apna. Lesni sekanci so bistveno cenejši kot fosilna goriva in niso obremenjena z dajatvami za CO<sub>2</sub>. Po izumu je bila tudi že uspešno predelana ena peč, ki uspešno obratuje. Ker je izum ekonomsko izredno zanimiv, je bila preko avstrijske multinacionalne družbe za proizvodnjo gradbenega materiala vložena prijava za evropski patent z zahtevano zaščito za vse evropske države.</p>   |
|              | ANG  | <p>The invention deals with remodeling of the annular shaft lime kiln on the combined heating and lime burning with such remodeled kiln. The separate external biomass prefurnaces or gasifiers are added to the kiln. The invention enables the use of wood chips in their original form and do not require additional wood chips drying and grinding. Wood chips are gasified in the prefurnace and a syngas is produced. Through the additional channel the syngas is introduced into the existing combustion chamber where burns completely. Prefurnace and the intake channel are thermally insulated. Syngas is not cooled. Prefurnace and the intake tube is adiabatic system which ensures that the calorific internal energy of wood is fully transferred to the existing combustion chamber. In a case of combined heating kiln's total energy and mass balances should remain the same. This way the appropriate technological parameters for lime burning are assured. The proportion of the replacement of fossil fuels with wood chips depends on the humidity of the wood chips and is between 40% and 60%. By sharing the wood chips significantly reduce the cost of production of lime. Wood chips are significantly cheaper than fossil fuels and are not burdened with the CO<sub>2</sub> tax. According to the invention one furnace has also been successfully processed and operates successfully. Since the invention is economically highly interesting, an Austrian multinational company for building materials applied a European patent application with the required protection for all European countries.</p> |
| Šifra        | F.09   | Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije  |
| Objavljeno v | MEDVED, Franc, SENEGAČNIK, Andrej. Verfahren zum Brennen von Kalk und Schatringofen zum Durchführen des Verfahrens. Wien: Europäisches Patentamt, 2013. 17 str., 3 str. pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 12958491] |   |
| Tipologija   | 2.23   | Patentna prijava  |

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

Univerzitetno priznanje:

prof.dr. Brane Širok, i.prof.dr. Matevž Dular, Martin Petkovšek, dr. Mojca Zupanc; Rektorjeva nagrada; za projekt: Rotacijski generator hidro dinamske kavitacije; za drugo mesto; Univerza v Ljubljani, 2014

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

### 9.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>2</sup>

SLO

Na področju razvoja simulacijskih modelov smo razvili inovativen fizikalno osnovan model za simulacijo motorjev z notranjim zgorevanjem v realnem času, ki omogoča uporabo modela med preizkušanjem v realnem času z vključevanjem strojne opreme v simulacijsko zanko (HiL – Hardware-in-the-Loop). Ta, v svetovnem merilu edinstven pristop, smo implementirali tudi v simulacijsko orodje za simulacijo dinamike vozil vodilnega ponudnika profesionalnih simulacijskih orodij AVL List GmbH. Inovativen modelski pristop je trenutno v postopku

patentne zaščite.

Na področju simulacijskih modelov gorivnih celic smo razvili inovativen hibriden 3D analitično-numerični pristop za modeliranje transporta snovi v gorivnih celicah, ki temelji na sklopitvi 1D numerične rešitve vzdolž kanala in 2D analitične rešitev v ravnini pravokotni na smer toka v kanalu. To je prvi razvit model, ki ima 3D resolucijo rezultatov ob 1D časovni zahtevnosti, hkrati pa omogoča modeliranje poljubne akumulacije mase vzdolž kanala. Za modeliranje PEM je bil razvit tudi inovativen fizikalno osnovan model transporta tekoče vode, za katerega je značilna zelo nizka računska zahtevnost in omogoča doseganje visoke natančnosti rezultatov tudi v delovnih režimih s prisotnostjo tekoče vode.

Na področju uporabe alternativnih goriv pridobljenih s postopkom Waste-to-energy smo prvi v svetovnem merilu vzpostavili uspešno notranje zgorevanje inovativnega goriva pridobljenega z utekočinjanjem lignoceluloznih odpadkov v večfunkcionalnih alkoholih. Izvirno delo članov projektne skupine je trenutno v postopku patentne zaščite.

Na področju modeliranja aktivnih energetskih omrežij s sistemi SPTe ter vodikovimi tehnologijami smo razvili izvirno t.i. »odločitveno metodo petih korakov«, ki omogoča reševanje splošnih problemov pri oskrbi porabnikov z električno energijo, toploto in vodikom v otočnih sistemih ali sistemih z velikim deležem OVE. Ob tem je bila razvita in matematično formulirana izvirna metoda upravljanja celotnega energetskega omrežja po matričnem načelu, katere uporabnost je bila preverjena na testnih primerih.

Na področju čiščenja odpadnih vod smo razvili in patentirali hidrodinamsko kavitacijo, ki funkcionalno združuje generiranje kavitacije na obodu rotorja in pretok vode skozi rotor turbočrpalke. Rešitev predstavlja na področju intenzivno razvijajočih tehnologij mehanskega procesiranja vode v različnih tehnoloških in okoljskih procesih originalno in konkurenčno rešitev. Na problemu odstranjevanja zdravilnih učinkovin smo preučili različne konvencionalne in alternativne možnosti čiščenja odpadnih voda. Testirali smo učinkovitost dveh različnih bioloških procesov v laboratorijskem okolju: suspenzija aktivnega blata in rast pritrjene biomase, kombinacijo hidrodinamske kavitacije in vodikovega peroksida ter UV sevanje. V okviru raziskave smo preučevali odstranjevanje petih zdravilnih učinkovin: ibuprofen, naproksen, ketoproksen, karbamazepin in diklofenak ter aktivni metabolit za uravnavanje lipidov v krvi, klorofibrinska kislina. V vseh navedenih primerih se je bila razvita kavitacijska metoda izredno učinkovita. Ob izpolnjevanju pogojev kontroliranega spremljanja kavitacije, ki temelji na poznavanju hidrodinamske kavitacije, se lahko metoda uporabi na širokem področju čiščenja odpadnih in pripravi tehnoloških vod.

V sklopu programa je bila razvita izvirna eksperimentalna metoda ADM-flow, ki je namenjena diagnostiki hitrostnih polj v dinamiki eno ali več faznih fluidov. V primerjavi s poznanimi metodami, kot je PIV metoda, temelji razvita metoda na advekcijsko-difuzijski enačbi, ki omogoča zvezno spremljanje hitrostnih polj. Z uvajanjem dodatnih konstitutcijskih relacij pa je bila metoda razširjena tudi na diagnostiko tlačnih porazdelitev v polju kavitacijskih struktur pri različnih primerih hidrodinamske kavitacije, kar predstavlja novost na področju eksperimentalnega modeliranja v dinamiki fluidov.

ANG

In the field of development of simulation models, an innovative physically based model for real-time simulations of internal combustion engines was developed. This model also complies with all requirements for execution on HiL (Hardware-in-the-Loop) platforms. This worldwide unique approach was also implemented in the professional software tool for modeling vehicle dynamics licensed by the major vendor of system level tools AVL List GmbH. Modeling framework is currently in the process of IP protection.

In the field of fuel cell modeling, a 3D hybrid analytic-numerical modeling framework for species transport in fuel cells was developed. The innovative idea behind the approach arises from coupling 1D numerical solution along the channel with 2D analytical solution in the plane perpendicular to the flow direction in the channel. This is the first model that features full 3D resolution and computational times characteristic for 1D models. Additionally, an innovative physically based liquid water transport model was developed for modeling PEMs. It is characterized by very low requirements on computational resources and enables achieving high accuracy of results in operating conditions with the presence of liquid water.

In the field of alternative waste-to-energy fuels, we have demonstrated foremost results of a successful combustion of an innovative biofuel produced by liquefying lignocellulosic waste in the multifunctional alcohols. Researches are authors of a European patent application.

In the field of modeling of smart-grids with CHP systems and hydrogen technologies, we have developed original "A decision-making method of five steps", which enables to solve general

problems of the energy (electricity and heat) and hydrogen supply in the island networks or systems with a large share of RES. It has been developed and mathematically formulated an original method for managing the entire energy network by matrix principle, the usefulness of which has been verified in test cases.

In the area of wastewater treatment we developed and patented a machine which combines functionality of a pump with a wastewater treatment function. Wastewater treatment is based on generation of hydrodynamic cavitation at the rotor edge. In the propulsive area of mechanical wastewater treatment our approach presents an original and competitive solution suitable for various technological and environmental processes.

As a part of our research we examined several conventional and alternative methods for treatment of wastewater, contaminated with active pharmaceutical substances. Five active components were chosen: clofibric acid, ibuprofen, naproxen, ketoprofen, carbamazepine and diclofenac. Also the effectiveness of two different biological processes (a suspension of activated sludge and growth of attached biomass) was tested in a laboratory environment. For this purpose several combinations of hydrodynamic cavitation, hydrogen peroxide and UV radiation were used. In all cases the developed cavitation method was found to be extremely effective. Considering appropriate conditions and operating parameters of hydrodynamic cavitation we believe that the method can be applied to a broad range of processes covering wastewater treatment and preparation of technological water.

As another part of the program the ADM-flow method was developed. This experimental method is used to diagnose velocity fields of single or multiphase flows. Contrary to other available methods (e.g., PIV) the originality of the ADM-flow method comes from its base which is the advection-diffusion equation which enables continuous monitoring of velocity fields. By introducing additional constitutional relationships the functionality of the method was extended to diagnose pressure distribution in the case of hydrodynamic cavitation. This represents a novelty in experimental modeling of fluid dynamics.

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

SLO

Raziskovalno delo v okviru programa ima posreden in neposreden vpliv na razvoj Slovenije. Pri neposrednem vplivu na razvoj Slovenije je ključnega pomena vizija programske skupine, ki temelji na razvoju inovativnih temeljnih in aplikativnih znanstvenih doprinosov ter njihovi implementaciji v gospodarstvu in/ali v družbeno koristnih projektih. Dosledno izpolnjevanje zastavljene vizije potrjuje zelo učinkovita implementacija znanstvenih rezultatov v gospodarstvu, ki se na eni strani odraža v zelo visoki oceni A3 (48,34 v letu 2013 in 44,11 v času pisanja tega poročila; več kot 75% odstotkov ocene A3 doprinese A32 - sredstva po pogodbah z gospodarstvom) in na drugi strani v velikem številu implementiranih znanstvenih doprinosov, ki povečujejo ali imajo potencial povečevati dodano vrednost izdelkov slovenske industrije. Programska skupina sodeluje z večino pomembnih podjetji na področju strojništva in sorodnih ved v slovenskem prostoru, hkrati pa je programska skupina vpeta tudi v mnoge neposredne projekte s tujimi podjetji. V nadaljevanju je zaradi omejitve prostora podan zgolj izbor projektov s slovenskimi podjetji:

-Kolektor d.o.o.- Razvita hidrodinamska kavitacijska metoda bo vključena v proizvodni program podjetja.

-Hidria d.o.o.- a) Trajno sodelovanje na področju razvoja novih družin aksialnih ventilatorjev z usmeritvami v zmanjšanje turbulentnega hrupa. V okviru tega raziskovalnega dela so bile razvite eksperimentalne metode, ki tvorijo osnovo za opremo ADMflow, ki je bila razvita med trajanjem programa. b) Raziskave na področju krmiljenja zgorevanja v motorjih z notranjim zgorevanjem v zaprti zanki, ki omogoča izboljšanje izkoristka in okoljske sprejemljivosti motorjev, hkrati pa povečuje dodano vrednost izdelkov podjetja.

-Plinovodi d.o.o. Raziskovalna skupina je glavni raziskovalni partner na področju razvoja programske opreme za napovedovanje rizika na slovenskem plinovodnem sistemu. Razvita programska oprema je primerna tudi za trženje na svetovnem tržišču.

-Gorenje d.o.o.- Sodelovanje zajema celotno področje razvoja pralno sušilnih strojev, toplotnih črpalk in hladilnikov, ki je tesno povezano z razvojno-raziskovalnim delom programske skupine.

-Turboinštitut d.o.o. trajno sodelovanje na področju eksperimentalnega modeliranja in na področju izvajanja specifičnih storitev na področju merjenja hidrodinamskih karakteristik na različnih časovnih in krajevnih skalah.

-TEŠ, d.o.o. in Energetika Ljubljana, d.o.o. Trajno sodelovanje s programsko skupino na

področju izvajanja meritev izkoristkov postrojenja ali posameznih podsklopov, numeričnih analiz energijskih in masnih bilanc ter optimizacije procesov.

-NEK, d.o.o. Trajno sodelovanje s programsko skupino na področju pooblaščenega nadzora remontnih del in izvajanja meritev izkoristkov postrojenja ali posameznih podsklopov, numeričnih analiz energijskih in masnih bilanc ter optimizacije procesov.

-Alstom, Boiler Deutschland, GmbH, Podružnica v Slovenij, Programska skupina izvaja zagonskih meritve glavne tehnološke opreme.

-LPP d.o.o. Sodelovanje na projektih za zmanjšanje izpustov onesnažil mestnega prometa.

-GGP d.o.o. Sodelovanje na projektih trajnostne rabe lignoceluloznih odpadkov za pridobivanje električne energije in toplote s ciljem razvoja kogeneracijskega postrojenja, ki uporablja inovativno sonaravno gorivo.

Posreden vpliv na razvoj Slovenije izhaja iz uspešne integracije raziskovalnega dela v dodiplomske in podiplomske izobraževalne programe (v obdobju 2009 – 2014 71 diplom in 5 magisterijev in 7 doktoratov) . Z ozirom na razvojne trende prilagajamo izobraževalne programe tako, da so kadri usposobljeni za konkuriranje na globalnem trgu tudi ob delovanju v lokalnem okolju. Hkrati pa programska skupina v obliki diplomskih, magistrskih in doktorskih del študente neposredno usmerja v reševanje dejanskih visokotehnoloških problemov v gospodarstvu, kar omogoča visoko usposobljenost kadrov ob zaposlitvi v gospodarstvu.

ANG

Our Research Programme (RP) has significant direct and indirect impact on the economic, scientific and social development of Republic of Slovenia. Direct impact arises from the RP vision based on the development of innovative (basic and applied) scientific contributions and their implementation into industrial and socially beneficial projects. Fulfillment of our vision has been confirmed through very efficient implementation of scientific contributions in industrial projects, which is proven first by a very high A3 score of the RP (48,34 in 2013 and 44,11 at the time of submission of this report; more than 75% of the A3 score contributes A32 – income through the direct contracts with the industry) and secondly by a large number of implemented scientific contributions that increase or have significant potential to increase product added value of our Slovenian industrial partners. Through RP our research group was able to cooperated with vast majority of Slovenian companies from the field of mechanical engineering and related fields. Moreover, we cooperated with many foreign companies on the basis of direct contracts. Below some of our Slovene partners are listed:

-Kolektor d.o.o.- Developed hydrodynamic cavitation method will be included in the production portfolio of the company.

-Hidria d.o.o.- a) Continuous cooperation on development of new families of axial ventilators with the focus on reduced emission of noise. Experimental methods that were developed in the framework of this cooperation form the basis for the tool based on the ADM-flow method. b) Research in the area of closed-loop combustion control of internal combustion engines aimed at enhancing efficiency and environmental sustainability of engines with the objective to increase the added value of the product portfolio of the company.

-Plinovodi d.o.o. We are driving main development of models and software tools for risk assessment in Slovene natural gas pipeline network. Software tools developed within this cooperation are ready for worldwide marketing.

-Gorenje d.o.o.- Cooperation comprises entire development process of washing and drying machines, heat pumps and refrigerators.

-Turboinštitut d.o.o. Cooperation comprises experimental modeling and specific field services related to hydrodynamic measurements over a broad range of temporal and spatial scales.

-TEŠ d.o.o. and Energetika Ljubljana d.o.o. Continuous cooperation of the program group in the area of performance tests of the power plant and system components, numerical analyzes of heat- and mass balances and process optimization.

-NEK d.o.o. Continuous cooperation of the program group in the authorized control during maintenance works and performance tests of the power plant and system components, numerical analyzes of heat- and mass balances and process optimization.

-Alstom Boiler Deutschland GmbH, a subsidiary in Slovenia Program group performs technical advisory services for commissioning of the main technological equipment.

-LPP d.o.o. Cooperation on the projects for reducing exhaust emission of the city transport.

-GGP d.o.o. Cooperation on the projects in the field of sustainable use of lignocellulosic waste for generation of electric energy and heat aimed at development of the cogeneration plant utilizing innovative environmentally friendly fuel.

Indirect impact on the economic, scientific and social development of Republic of Slovenia originates from successful integration of research activities into the undergraduate and graduate courses (from 2009 until 2014: 71 Undergraduate theses, 5 Master theses and 7 PhD theses). Curricula are upgraded to enhance global completeness of the students and thus of their domestic and foreign employers. Moreover, through Undergraduate, Master and PhD theses, students directly solve highly technological problems from the industry. This significantly increases their qualifications and employment options in the industry.

## 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2013<sup>11</sup>

### 10.1. Diplome<sup>12</sup>

| vrsta usposabljanja             | število diplom |
|---------------------------------|----------------|
| bolonjski program - I. stopnja  | 0              |
| bolonjski program - II. stopnja | 3              |
| univerzitetni (stari) program   | 68             |

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

| Šifra raziskovalca | Ime in priimek  | Mag.                             | Dr.                              | MR                       |  |
|--------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--|
| 22241              | Lovrenc Novak   | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| 23369              | Mitja Mori      | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| 24248              | Tine Ogorevc    | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| 27661              | Matjaž Eberlinc | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| 27669              | Gregor Alič     | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| 29923              | Gašper Benedik  | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| 28611              | Aljaž Osterman  | <input type="radio"/>            | <input checked="" type="radio"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| 15485              | LENART MARĐETKO | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="checkbox"/> |  |
| 35067              | Tadej Auer      | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="checkbox"/> |  |
| 31725              | Peter Čas       | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="checkbox"/> |  |
| 22276              | Vlado Schweiger | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/>            | <input type="checkbox"/> |  |
| 22275              | Peter Mežnar    | <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       |  |
|--------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|--|
| 27661              | Matjaž Eberlinc | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | C - Gospodarstvo |  |
| 29923              | Gašper Benedik  | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | C - Gospodarstvo |  |
| 27669              | Gregor Alič     | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | C - Gospodarstvo |  |



|       |              |   |   |                  |
|-------|--------------|---|---|------------------|
| 24248 | Tine Ogorevc |  |  | C - Gospodarstvo |
|-------|--------------|---|---|------------------|

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 1.1.2009-31.12.2013

| Šifra raziskovalca | Ime in priimek  | Sodelovanje v programski skupini | Število mesecev |
|--------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|
| 35646              | Benjamin Bizjan | A -                              | 12              |
| 33516              | Tine Seljak     | A -                              | 10              |

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 1.1.2009-31.12.2013 z vsebinsko obrazložitvijo porabe dodeljenih sredstev iz naslova dodatnega letnega sofinanciranja mednarodnega sodelovanja na podlagi pozivov za EU vpetost.<sup>15</sup>

SLO

1. 7.OP: CIVITAS ELAN Mobilising citizens for vital cities Ljubljana - Gent - Zagreb - Brno – Porto: nosilec Tomaž Katrašnik (Sredstva dodatnega letnega sofinanciranja raziskovalnega programa smo porabili za amortizacijo merilne opreme ter za nakup potrošnih merilnih pripomočkov)
2. 7.OP: ASTERICS: Ageing and efficiency Simulation & TESTING under Real world conditions for Innovative electric vehicle Components and Systems: nosilec Tomaž Katrašnik (Sredstva dodatnega letnega sofinanciranja raziskovalnega programa smo porabili za amortizacijo računalniške opreme ter za prijavo na nove projekte)
3. Sodelovanje z AVL List GmbH, Gradec, Avstrija: razvoj in izdelava profesionalnega napovedovalnega simulacijskega orodja za systemske simulacije motorjev z notranjim zgorevanjem in drugih pogonskih sistemov vozil v realnem času: nosilec Tomaž Katrašnik
4. Projekt EUREKA – MASASN št.pogodbe: 3211-10-000039 z naslovom: »Modular system for adjustable spraying and navigation in orchards and greenhouses« (2010-2012): nosilec Marko Hočevar
5. EU FP7: Intelligent sensing and manipulation for sustainable production and harvesting of high value crops, clever robots for crops – CROPS (2010-2014): nosilec Marko Hočevar (S sredstvi dodatnega letnega sofinanciranja raziskovalnega programa smo predelali pršilnik, ki je bil razvit v okviru projekta MSASN EUREKA. Del sredstev smo namenili tudi za amortizacijo merilne in računalniške opreme)
6. EU projekt ESA: Cavitation in thermosensible fluids – CATHEF, ESA (2011-2015): nosilec Matevž Dular
7. EU projekt CORNET: Optimized COMPOUNDS - Application of Computational Fluid Dynamics for co-rotating Twin-Screw-Extruders to achieve optimized thermoplastic materials (2010-2012):

nosilec Matevž Dular

*8. EU FP7 Projekt FluMaBack - Fluid Management component improvement for Back up fuel cell systems (2012-2015): nosilec Mihael Sekavčnik (S sredstvi dodatnega letnega sofinanciranja raziskovalnega programa smo kupili merilno opremo, del sredstev pa smo namenili tudi za nakup potrošnih merilnih pripomočkov)*

#### **14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki v so obdobju trajanja raziskovalnega programa (1. 1. 2009 – 31. 12. 2013), potekali izven financiranja ARRS<sup>16</sup>**

SLO

1. Sodelovanje z Gozdnim gospodarstvom Postojna: raziskave možnosti uporabe utekočinjenega lesa kot obnovljivega energetskega vira za ko- in tri-generacijo. Zaradi naravnih danosti Slovenije, ki je v veliki meri prekrita z gozdovi, lahko les zopet predstavlja pomemben samozadosten obnovljiv energetski vir.
2. Sodelovanje s Centrom odličnosti PoliMat: uporaba utekočinjenega lesa kot goriva za turbinske motorje. Določitev potrebnih ukrepov, ki bodo omogočali uporabo utekočinjenega lesa kot goriva za plinske turbine, bo omogočila širšo uporabo omenjenega obnovljivega goriva.
3. Sodelovanje s podjetjem Pipistrel: optimizacija izpušnega sistema enovaljnega dvotaktnega motorja, ki se uporablja kot pogonski agregat na jadralnem letalu Apis. Kombinacija meritev in numeričnih simulacij bo rezultirala v izpušnem sistemu, ki bo izboljšal zmogljivosti motorja.
4. Kompetenčni center: KC-SURE – »Napredni sistemi učinkovite rabe energije«  
V okviru kompetenčnega centra sta bila izvedene razvoj nove generacije pralnih strojev, z vgradnjo toplotne črpalke in razvoj nove družine aksialnih ventilatorjev. V obeh primerih so bile uporabljeni rezultati raziskovalnega dela programa.
5. Center odličnosti nizkooglične tehnologije (CO NOT) 07.12.2009 do 30.11.2013. V okviru centra odličnosti potekajo raziskave na področju vodikove tehnologije – celostno načrtovanje sistemov s PEM gorilnimi celicami in elektrolizerjem.

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

SLO

Rezultati raziskovalnega dela v okviru programa in spremljajočih aplikativnih projektov se poleg oblikovanj novih znanj jasno odražajo tudi v njihovi implementaciji v gospodarstvu. Ti so omogočili razvoj novih izdelkov, širjenje obstoječih trgov in povečanje dodane vrednosti izdelkov projektnih partnerjev.

##### G.02.01 razširitev ponudbe novih izdelkov

Programska skupina je v sodelovanju s partnerji iz gospodarstva razvila naslednje produkte:

- Sušilni stroj A+++ in nov hladilnik brez sreženja za ameriški trg, Gorenje, d.o.o..
- Aksialni ventilator nove zunanje enote toplotne črpalke Gorenje, Hidria.
- Kavitacijski generator v inovativni tehnologiji čiščenja odpadnih vod z metodo hidrodinamske kavitacije, Sinabit-Kolektor.

- Inovativno simulacijsko orodje za simulacijo pogonskih sistemov vozil BOOST RT, AVL List.
- Termodinamska zasnova tlačno polnjenega letalskega Dizelskega motorja, ki je pripravljen za serijsko proizvodnjo, Austro Engine GmbH.
- Merilni sistem za sočasno merjenje masnega toka prašnih delcev premoga na osnovi tribo-električnega efekta, TE-TOL, TEŠ.
- Sistem uplinjevalnikov lesnih sekancev za uporabo na obročnih jaškastih pečeh za žganje apna, IGM Zagorje (Wietersdorfer Gruppe).
- Hidrodinamični prenosnik moči s cenutripetalno črpalko za obratovanje v multiplikatorskem režimu, Envita,d.o.o..

#### G.02.02 širitev obstoječih trgov

Z uvajanjem programske opreme ADMflow na področje diagnostike natoka taline na rotirajoče diske v proizvodnji kamene volne so se pojavile prve možnosti neposrednega trženja metode na EU trgih, Rusiji in Kitajski. Značilno za navedeno diagnostično opremo je povečana dodana vrednost na zaposlenega in trajno povezovanje s problematiko na področju. Raziskave raziskovalcev raziskovalnega programa v okviru projekta CIVITAS ELAN in projektov drugimi slovenskimi partnerji so ključno doprinesle k širitvi trga uporabe CNG v cestnem prometu, kar znatno doprinese k zmanjšanju izpusta delcev in CO<sub>2</sub>.

#### G.02.05 razširitev področja dejavnosti

Tako uvajanje hidrodinamske kavitacije na področju čiščenja odpadnih vod, kot tudi uvajanje programske opreme ADMflow ima za posledico širjenje dejavnosti programske skupine na interdisciplinarna področja različnih ved. Raziskave na področju razvoja novih pametnih pršilnikov, ki se izvajajo v okviru EU projekti odpirajo nove možnosti nanosa pesticidov v agroživilstvu. Raziskave na področju procesiranja trdih goriv, bio- in sinteznih plinov odpirajo vstop na področje kombiniranih krožnih procesov s sekvenciranjem CO<sub>2</sub> in vodikovih tehnologij in kompleksnih energetskih sistemov z velikim deležem OVE za trajnostno oskrbo z energijo.

#### G.02.06 večja konkurenčna sposobnost

S celovitim in obsežnim raziskovalnim delom, ki je bilo izvedeno v okviru raziskovalnega programa smo v veliki meri doprinesli k večji konkurenčni sposobnosti na slovenskem in EU trgih, saj so rezultati raziskav ključno doprinesli k hitrejšemu in cenejšemu razvoju kvalitetnejših in bolj zanesljivih izdelkov.

### 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 type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE |
| potrebni finančni vložek                              |  |
| ocena potrebne infrastrukture in opreme <sup>18</sup> |  |

## 17. Izjemni dosežek v 2013<sup>19</sup>

### 17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Zasnovani hibridni 3D analitično-numerični model gorivnih celic (predstavljen v doktorski disertaciji, dveh objavljenih člankih in enem, ki je trenutno še v recenziji) je, po vseh znanih podatkih, računsko najhitrejši model gorivne celice s polno 3D razločljivostjo. Model temelji na inovativnem in računsko učinkovitem pristopu k modeliranju elektrokemijskih reakcij in transporta snovi v gorivnih celicah. Transport snovi je popisan s sklopitvijo 1D numerične rešitve za tok plina vzdolž kanala in 2D analitične rešitve difuzijske enačbe v ravnini pravokotni na smer toka plina v kanalu, pri čemer ta 2D rešitev zajema tudi rešitev enačb elektrokemijskih reakcij. Posebna odlika modela je sposobnost popisa transporta tekoče vode v gorivni celici. Rezultati doseženi s tovrstnim modelom gorivne celice enostavne topologije so po natančnosti in prostorski razločljivosti primerljivi z detajlnimi 3D CFD modeli in to ob dva do tri velikostne rede krajših računskih časih.

### 17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Mednarodno patentiran izum "Rotacijski generator hidrodinamske kavitacije za čiščenje vode" je plod večletnih raziskav in razvoja. Temelji na enem ali več soosno nasprotno vrtečih rotorjev v zaprtem ohišju stroja. Posebnost izuma je sklopljenje črpalnega in čistilnega elementa stroja, kar se odraža v visoki energijski učinkovitosti. V specifično oblikovani reži med rotorjem in steno statorja (ali med več rotorji) prihaja do kavitacije s katero obdelujemo vodo, ki teče skozi pretočni trakt stroja. Intenzivnost kavitacije je pri konstantnih hidrodinamskih pogojih sistema pogojena z obliko reže in kinematiko rotorjev. Prototipno izvedbo stroja smo z uspehom preizkusili na problemih kot so razgradnja zdravilnih učinkovin, uničevanje bakterije Legionele, ter pri pospeševanju proizvodnje bioplina iz aktivnega blata.

## 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 JRO  
in/ali RO s koncesijo:*

in

*vodja raziskovalnega programa:*

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za  
strojništvo

Brane Širok

**ŽIG**

Kraj in datum:

**Oznaka prijave: ARRS-RPROG-ZP-2014/60**

<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. 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, to navedite. 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 tega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)
- <sup>6</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru tega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.
- Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.
- Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- <sup>7</sup> Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa (do oddaje zaključnega poročila) 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://sicris.izum.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)
- <sup>9</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)
- <sup>10</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)
- <sup>11</sup> Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1. 1. 2009 – 31. 12. 2013), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)
- <sup>12</sup> Vpišite število opravljenih diplom v času trajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)
- <sup>13</sup> Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času trajanja 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. 2013), ustrezno 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. Točko izpolnijo tudi izvajalci raziskovalnega programa, prejemniki sredstev iz naslova dodatnega letnega sofinanciranja raziskovalnega programa zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanja v projektih okvirnih programov Evropske unije). Izvajalec, ki je na podlagi pogodbe prejel sredstva iz navedenega naslova, vsebinsko opiše porabo prejetih sredstev za financiranje stroškov blaga in storitev ter amortizacije, nastalih pri izvajanju tega raziskovalnega programa. V primeru, da so bili v okviru raziskovalnega programa prejemniki sredstev različni izvajalci, vsak pripravi vsebinsko poročilo za svoj delež pogodbenih sredstev. Vodja raziskovalnega programa poskrbi, da je vsebinsko poročilo, ločeno za vsakega izvajalca, vključeno v navedeno točko poročila. 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 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, 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 2013 (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/2014 v1.00a

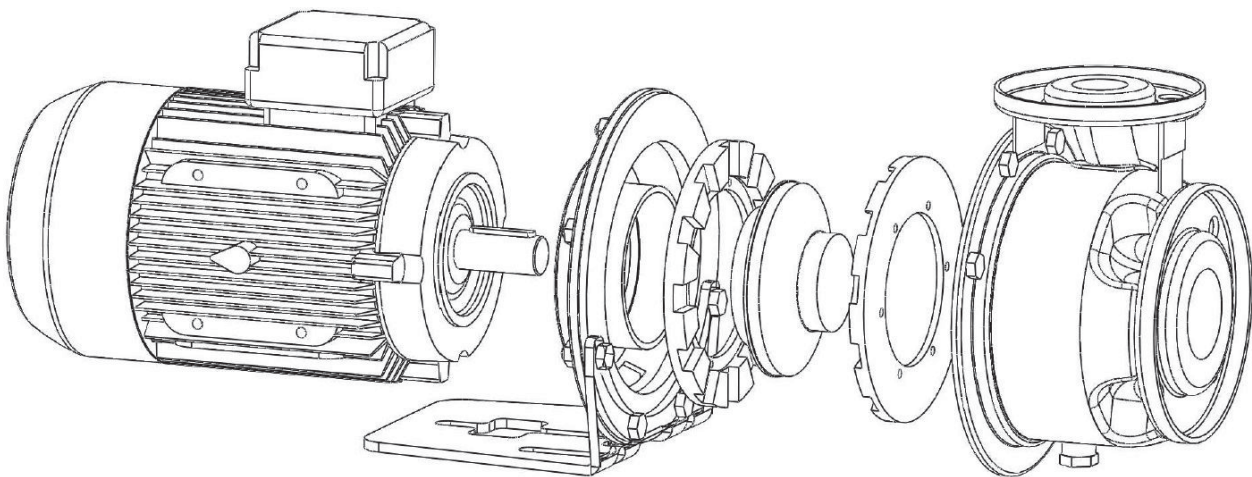
09-30-39-C4-CF-66-2D-4F-FF-59-A3-2D-18-7B-24-E2-64-2D-0C-85

## **Priloga 1**

Veda: Tehniške in tehnološke vede

Področje: Energetika 2.03

Dosežek 1: Izum "Rotacijski generator hidrodinamske kavitacije za čiščenje vode"



Mednarodno patentiran izum "Rotacijski generator hidrodinamske kavitacije za čiščenje vode" je plod večletnih raziskav in razvoja. Temelji na enem ali več soosno nasprotno vrtečih rotorjev v zaprtem ohišju stroja.

Posebnost izuma je sklopljenje črpalnega in čistilnega elementa stroja, kar se odraža v visoki energijski učinkovitosti. V specifično oblikovani reži med rotorjem in steno statorja (ali med več rotorji) prihaja do kavitacije s katero obdelujemo vodo, ki teče skozi pretočni trakt stroja.

Intenzivnost kavitacije je pri konstantnih hidrodinamskih pogojih sistema pogojena z obliko reže in kinematiko rotorjev.

Prototipno izvedbo stroja smo z uspehom preizkusili na problemih kot so razgradnja zdravilnih učinkovin, uničevanje bakterije Legionelle, ter pri pospeševanju proizvodnje bioplina iz aktivnega blata.

Vir: ŠIROK, Brane, DULAR, Matevž, PETKOVŠEK, Martin. Verfahren der Behandlung von Wasser durch Kavitation sowie Kavitiervorrichtung. München: Deutsches Patent- und Markenamt, 2013. 14, 5 f

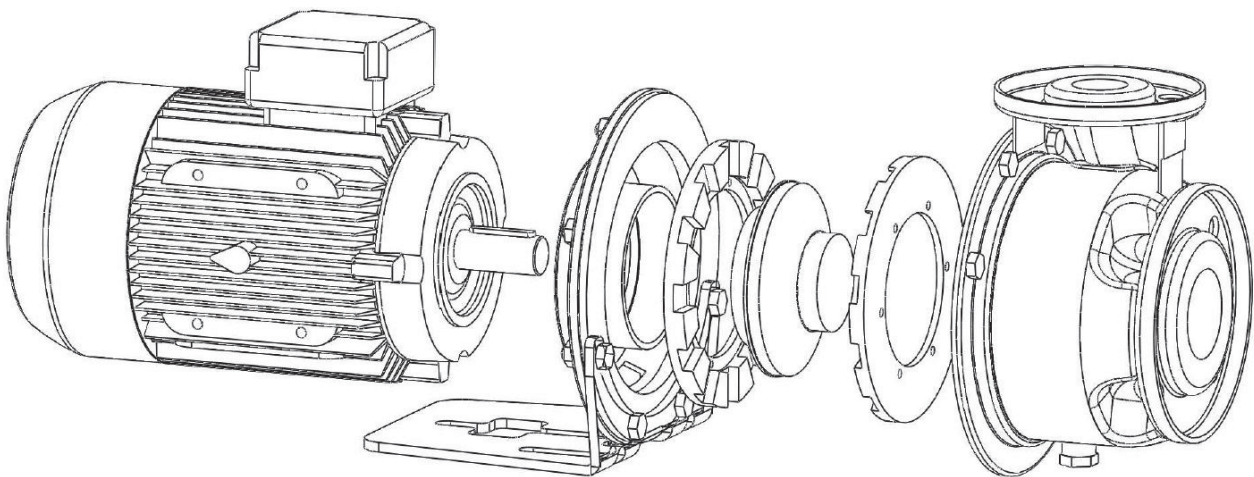


## **Priloga 2**

Veda: Tehniške in tehnološke vede

Področje: Energetika 2.03

Dosežek 1: Izum "Rotacijski generator hidrodinamske kavitacije za čiščenje vode"



Mednarodno patentiran izum "Rotacijski generator hidrodinamske kavitacije za čiščenje vode" je plod večletnih raziskav in razvoja. Temelji na enem ali več soosno nasprotno vrtečih rotorjev v zaprtem ohišju stroja.

Posebnost izuma je sklopljenje črpalnega in čistilnega elementa stroja, kar se odraža v visoki energijski učinkovitosti. V specifično oblikovani reži med rotorjem in steno statorja (ali med več rotorji) prihaja do kavitacije s katero obdelujemo vodo, ki teče skozi pretočni trakt stroja.

Intenzivnost kavitacije je pri konstantnih hidrodinamskih pogojih sistema pogojena z obliko reže in kinematiko rotorjev.

Prototipno izvedbo stroja smo z uspehom preizkusili na problemih kot so razgradnja zdravilnih učinkovin, uničevanje bakterije Legionelle, ter pri pospeševanju proizvodnje bioplina iz aktivnega blata.

Vir: ŠIROK, Brane, DULAR, Matevž, PETKOVŠEK, Martin. Verfahren der Behandlung von Wasser durch Kavitation sowie Kavitiervorrichtung. München: Deutsches Patent- und Markenamt, 2013. 14, 5 f