

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/48



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

Šifra programa	P2-0266
Naslov programa	Management izdelovalnih Tehnologij za trajnostni razvoj Management of Sustainable Manufacturing Technologies
Vodja programa	6883 Janez Kopač
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	20975
Cenovni razred	
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo 2716 Inovacijsko - razvojni inštitut Univerze v Ljubljani 7097 Univerza na Primorskem, Fakulteta za management
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.10 Proizvodne tehnologije in sistemi
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.03 Mehanika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

Glavna ideja projekta temelji na izboljšanju obstoječih in razvoj novih modernih obdelovalnih procesov in tehnologij ter njihova industrijska aplikacija, na podlagi analitičnega prediktivnega modeliranja za izboljšanje a) vpliva na okolje, b) izrabe energije, c) varnosti osebja, d) zdravje

osebja, e) potratnosti in f) proizvodnih stroškov, preko principov trajnostnega razvoja. Projekt omogoča veliko priložnost preučevanja hitro naraščajoče pomembnosti trajnostnega razvoja obdelovalnih postopkov. Vse večja politična in socialna zahteva po naravi prijazni družbi skupaj z nastajajočo globalno zakonodajo vpliva na način kako se energija, materiali, kemikalije in izdelki proizvajajo, uporabljajo in kasneje odstranijo oz. uničijo.

Uporaba konvencionalnih hladilno mazalnih tekočin pri obdelavi kovin in drugih materialov povzroča različne okoljske probleme. Glavni cilj projekta bo razviti in raziskati nove tehnološke pristope k hlajenju in mazanju pri tehnologijah odrezavanja. Analizirani bodo najsodobnejši načini, t.i. odrezavanje s kriogenim hladilnim medijem, visokotlačno dovajanje hladilno-mazalnega sredstva, itd., ki so predmet raziskav tudi v tujini. Predlagane rešitve bodo vodile k zmanjšanju ali celo odstranitvi okolju škodljivih hladilno mazalnih sredstev, izboljšani obstojnosti orodja in kakovosti obdelane površine. Predvidevamo tudi, kar bomo pokazali z raziskavami in meritvami, da je poraba energije pri teh načinih hlajenja in mazanja za odrezavanje znatno manjša. To pa je tudi naslednji element doprinosa k okolju prijazni proizvodnji in korak bližje globalnemu trajnostnemu razvoju.

ANG

The main project idea is related to the enhancement of current methodologies and developing new machining processes/technologies and their industrial application, based on analytical predictive models for enhanced a) environmental impact, b) energy consumption, c) safety, d) personal health, e) waste management and f) manufacturing costs, by employing the sustainability principles.

The project will provide a major opportunity to consider the rapidly increasing importance of sustainable manufacturing. The increasing political and social demand for a more sustainable society, coupled with emerging global legislation is affecting the way in which energy, materials, chemicals and products are manufactured, used and subsequently disposed.

The use of conventional coolants and lubricants at the machining of metals and other materials causes different environmental problems. The main objective of the project will be research and development of new technological approaches to lubricooling of cutting technologies. The advanced methods, which will be analyzed, are so called cooling with cryogenic medium and machining with high pressure jet assistance, and are subject of research also in foreign countries. Proposed solutions will lead to reduction or even absence of harmful to the environment lubricooling medium, extended tool life and better product surface finish. We anticipate, and we will present it by the researches and with measurements, that the energy consumption with such lubricooling techniques for cutting considerably lower. This is another element of contribution to clean manufacturing on the way to global sustainability.

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)²

SLO

Realizacija programa je predstavljena s posameznimi največjimi dosežki po posameznih letih: 2009:

1. Postavitev eksperimentalnega mesta za kriogeno odrezavanje z upoštevanjem specifičnosti in zahtev kriogenega medija (utekočinjen dušik) CRYO.
2. Postavitev eksperimentalnega mesta za visokotlačno odrezavanje HPC z upoštevanjem specifičnosti in zahtev pritiskov HMT do 2000 bar.
3. Prve raziskave in rezultati na obeh zgoraj omenjenih trajnostnih tehnologijah so bili osnova za objavo člankov v mednarodnih revijah in na uglednih konferencah, obenem pa postali baza za študijsko gradivo pri predavanjih študentom višjih letnikov.

2010:

1. Izvedena je bila eksperimentalna analiza trajnostnih odrezovalnih procesov (CRYO in HPC) s postavitvijo prediktivnih modelov procesa na težko obdelovalni niklovi zlitini (Inconel 718).
2. Analiziran so ekonomski in družbeni vplivi ter vpliv obravnavanih odrezovalnih tehnologij na okolje. Izvedena je primerjalna analiza življenjskega ciklusa (LCA) za CRYO in HPC.
3. Na osnovi inovacij rezultatov sta bili vloženi dve evropski patentni prijavi inovacij na temo kriogenega odrezavanja: I. Cutting Tool Holder Arrangement, Authors: F. Pusavec, J.Kopac; II. System and Method for Delivery of Liquid Cryogenic Fluid to Machining Tools, Authors: F. Pusavec, J. Kopac), in bili naslednje leto potrjeni.

4. Mednarodna konferenca SLIM2010 (Sustainable Life In Manufacturing) Isparta. Turcija soorganizacija s turškim partnerjem v bilateralni sodelavi, ki še poteka vsako leto in je bila leta 2013 četrty izpeljana v Sloveniji.

5. Mednarodna konferenca RPDM Hiter razvoj in izdelava je bila konferenca o konceptih in tehnologijah za podporo hitremu razvoju ter izdelavi prototipov in končnih izdelkov, organizatorji Fakulteta za strojništvo, Ljubljana in IRI, UniLj.

2011:

Potekala je nadgradnja, okarakteriziracija in dopolnitev modelov procesov kriogenega in visokotlačnega odrezavanja, ki predstavljata trajnostni alternative konvencionalnim odrezovalnim procesom:

1. Analiza vpliva kriogenega odrezavanja na stabilnost odrezovalnih procesov, (v sodelovanju z univerzo iz Kentuckyja, ZDA)
2. Analiza energetske potratnosti alternativnih odrezovalnih procesov,
3. Modeliranje procesa odrezavanja z asistenco visokotlačnega curka, (v sodelovanju z nemškim proizvajalcem visokotlačnih črpalk, Hammelmann GmbH),
4. Analiza vpliva kriogenega odrezavanja na integriteto obdelane površine, (v sodelovanju z ENISE, Francija),
5. Razvoj in prototipno testiranje nove generacije hladilno mazalnih sredstev na bazi nano cev, (v sodelovanju z IJS)
6. Zasnova eksperimentalnega mesta za analizo mazalnega in hladilnega vpliva CRYO in HPC.
7. Sodelovanje z industrijo:
 - ASCOMETAL, Francija; Analiza možnosti izboljšanja performanc obdelave ležajnega jekla 100Cr6,
 - UNIOR d.d. strojna oprema; za eventualno implementacijo CRYO ali HPC načina mazanja v njihove produkte, namenske stroje za nemško tržišče;
 - TITAN Kamnik d.d.; za eventualno implementacijo CRYO ali HPC načina mazanja v njihovo proizvodnjo;
 - ISTRABENZ plini; partner na Eureka projektu SUSCRYMAC, kot dobavitelj tekočega dušika.

2012:

Raziskave na področju trajnostnih tehnologij odrezavanja se nadaljuje; področje se razširi na končne obdelave in precizno odrezavanje. Raziskana in predstavljena je metodologija identifikacije problemov in inovacijskoposlovnih priložnosti ter koncept 'odprto inoviranje', kot transfer znanja do uporabnikov:

1. Analiza mazalnega učinka kriogenega medija v odrezovalnem procesu (v sodelovanju z ENISE, Francija),
2. Eksperimentalna analiza metode uporabe podhlajene MQL tehnologije v procesu struženja,
3. Združevanje tehnologij odrezavanja s tehnologijami dodajanja materiala po plasteh, (v sodelovanju z norveškim inštitutom SINTEF),
4. Dvomesечно usposabljanje MR v SINTEF, Norveška in enomesečno na IFT, TUW, Dunaj Avstrija
5. Metodologija sistemskega zaznavanja problemov/priložnosti in kreativnega iskanja rešitev,
6. Odprto inoviranje kot koncept ravnanja z razvojnimi in poslovnimi procesi; transfer znanja do industrijskih uporabnikov (IRI UniLj)
7. Industrijske aplikacije:
 - Analiza in izdelava diagnostičnega sistema povrtavanja cev, (Hidria AET – Tolmin)
 - Analiza možnosti izboljšanja performanc obdelave sintranega jekla za ventile v avtomobilskih motorjih z alternativnih kriogenim odrezavanjem (PCI, Francija)
 - Vpeljava CRYO sistema v podjetju TEI, Turčija

2013:

1. Raziskave mikrofrezanja grafitnih elektrod; področje precizne obdelave
2. Izobraževalni program za prakso; sestavljen je program za prenos znanja s področja trajnostnega razvoja obdelovalnih postopkov industriji.
3. Razvoj in izdelava prototipnega električnega kolesa; v sodelovanju z IFT, TUW je potekal razvoj trajnostnega vozila – električnega lesenega vozila; obdelava lesa z robotom.
4. V sklopu zgornjega projekta je izvedena dvomesечna izmenjava MR na TUW, Dunaj, A.
5. Zaključek raziskav s področja poliranja z abrazivnim medijem; rezultat je uspešni zagovor doktorata MR in prijava patenta: 'Priprave in postopki poliranja z abrazivnim tokom', Avtorji: Kenda Jani, Pušavec Franci, Kopač Janez.

6. Prijava slovenskega patenta: 'Senzorska izvedba za karakterizacijo kriogenih medijev', v sodelovanju z FE, UniLJ.
7. Izvedba dveh raziskav z IRI, UniLJ; prenos znanja z univerz v gospodarstvo in ocenjevanje tehnološke sposobnosti podjetij.
8. Razvoj kompetenc ustvarjalnosti v osnovni šoli; avtor raziskave: prof. dr. Borut Likar 2014:
 1. Zaključek raziskav na precizni visokohitrostni obdelavi z uspešnim zagovorom doktorata MR.
 2. Ustanovitev Ceepus mreže: 'Education for sustainable development in manufacturing'.
 3. Implementacija izobraževalnega programa za prakso v več slovenskih podjetjih

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

SLO

Realizacija programa raziskovalne skupine je v celoti izpolnjena. Trdimo lahko, da so zastavljeni cilji celo preseženi. Glavni cilj programa je bil okarakterizirati okolju in zdravju škodljive elementi obdelovalnih procesov in jih primerjati z novimi sprejemljivimi alternativami (manjša uporabe emulzij na oljni osnovi ali celo njihova eliminacija: kriogeno odrezovanje, "suho" odrezovanje, odrezovanje z majhnimi količinami emulzij, odrezovanje z emulzijami na vodni osnovi pod visokimi tlaki, itd.) na podlagi šestih glavnih vidikov trajnostnega razvoja: stroškov, vpliva na okolje, energetske varčnosti, razpolaganja z odpadki, varnosti in zdravja. Poleg predvidenih raziskav trajnostnega razvoja obdelovalnih postopkov za zmanjšanje negativnih vplivov obdelovalnih procesov na okolje s stališča odpadnih olj in emulzij (z uvedbo kriogenega in visokotlačnega odrezavanja) se je program razširil tudi na obdelavo z robotom, obdelavo v abrazivnem toku, precizno obdelavo grafita in hibridno obdelavo hitrega prototipiranja in odrezavanja. Te tehnologije kažejo velik potencial za zagotavljanje ideje trajnostnega razvoja tudi iz vidika produktivnosti. Fokus raziskovalnega programa je torej bil doseganje trajnostnih obdelovalnih procesov z inovativnimi obdelovanimi procesi, kjer je bil glavni cilj programa integracija razumnih konceptov trajnostnega razvoja v industrijske obdelovalne procese. To smo dosegli tako, da smo:

- razvili modele za apliciranje trajnostnega razvoja v obdelovalne procese, ki vključujejo različne dimenzije trajnostnega razvoja in testiranje z industrijskimi aplikacijami. To vključujejo: patentiranje, implementacijo, izobraževanje, itd.).
- zmanjšali negativni vpliv obdelovalnih procesov na okolje (privesti vire in sredstva v ponovno uporabo za zmanjšanje oz. eliminiranje nekaterih aktivnosti in tako zmanjšati stroške obdelovalnega procesa: energija, recikliranje oljnih in toksičnih odpadkov, itd).
- dosegli občutno zmanjšanje porabe hladilno mazalnih sredstev na bazi olj.
- uvedli adaptivni razvoj in hibridizacija postopkov obdelave (razvoj tehnologij, ki omogočajo apliciranje na različne obdelovalne procese za doseg boljše obdelovalnosti).
- dvignili idejo trajnostnega razvoja na znanstveno raven (objava člankov v SCI revijah, knjiga, raziskovalno sodelovanje s tujimi institucijami in izmenjavo doktorskih študentov).
- vključili koncepte trajnostnega razvoja v industrijo.
- predstavili idejo trajnostnega razvoja obdelovalnih procesov kot izobraževalno orodje (vključitev v študijske programe).

Celotni dosežki programa ne obsegajo le apliciranje idej trajnostnega razvoja, ampak določiti tudi trajnostne lastnosti končnih produktov (izdelka) za povečanje celotnega trajnostno razvojnega nivoja v očeh kupca, in eventualno zmanjšati stroške, kar še dodatno poveča potencial takih proizvodov na trgu (LCA analiza).

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014⁴

SLO

Ni bilo sprememb.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

	Znanstveni dosežek		
1.	COBISS ID	11119387	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Raziskava obdelovalnosti Inconela 718 z visokotlačno podprtim struženjem: eksperimentalna študija
		ANG	Investigation of machining performance in high-pressure jet assisted turning of Inconel 718
	Opis	SLO	V članku je predstavljena raziskava vpeljave visokotlačnega odrezavanja pri grobem struženju Inconela 718 z oploščeni karbidnimi trdinami. Na osnovi metodologije par orodjeobdelovanec so določena območja obdelovalnosti. Ocena zmogljivosti visokotlačnega odrezavanja je osnovana na metodologiji odzivnih površin, ki vsebuje načrtovanje eksperimentov in regresijsko modeliranje.
		ANG	This paper investigates the application of the high-pressure jet assistance (HPJA) in rough turning of Inconel 718 with coated carbide tools. The region of operability, which sets the boundaries of the process parameters, has been experimentally determined using the tool-material pair (TMP) methodology. The assessment of HPJA machining performance is based on response surface methodology (RSM), which integrates a design of experiment (DOE) and a regression modelling technique for fitting a model to experimental. This leads to a new insight into the influence of the cutting process on chip breakability, cutting forces, contact length, surface finish and tool temperature, which are the key machining performance measures.
	Objavljeno v		Pergamon; International journal of machine tools & manufacture; 2009; Vol. 49, iss. 14; str. 1114-1125; Impact Factor: 1.956; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.969; A': 1; WoS: IK, IU; Avtorji / Authors: Courbon Cedric, Kramar Davorin, Krajnik Peter, Pušavec Franci, Rech Joel, Kopač Janez
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	11150619	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Tranzicija do trajnostne proizvodnje - Prvi del: aplikacija na tehnologije odrezavanja
		ANG	Transitioning to sustainable production: application on machining technologies
	Opis	SLO	Članek v dveh delih predstavlja metode in sporna vprašanja na poti k doseganju trajnostnega razvoja na nivoju odrezovalnih tehnologij. Z namenom reševanja trenutnega sanja industrije na področju odrezovalnih procesov, članek predstavlja rešitve za doseganje trajnostne proizvodnje preko dveh alternativnih procesov odrezavanja: kriogeno odrezavanje in odrezavanje z visokotlačnim dovodom hladilno mazalnega sredstva.
		ANG	This two part paper presents general issues, methods and a case study for achieving production sustainability on a machining technology level. In order to tackle these issues, the paper promotes sustainable production via the alternative machining technologies, namely cryogenic and high pressure jet assisted machining that have a high potential to cut costs and improve competitiveness by reducing resource consumption and thus creating less waste. The general issues of sustainable technologies pointed out with a comparative case study life cycle assessment performed for alternative machining processes are covered in part I of the work, concluding that future of sustainable production is going to entail the use of alternative machining technologies to reduce consumption rates, environmental burdens, and health risks simultaneously, while increasing performances and profitability. As an upgrade to this part, overall cost evaluation is covered by a case study in part II of this work.

	Objavljeno v		Elsevier; Journal of cleaner production; 2010; Vol. 18, iss. 2; str. 174-184; Impact Factor: 2.425; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.886; A': 1; WoS: IH, JA; Avtorji / Authors: Pušavec Franci, Krajnik Peter, Kopač Janez
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID		11827739 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv kriogenega odrezavanja na stabilnost procesa struženja
		ANG	The influence of cryogenic cooling on process stability in turning operations
	Opis	SLO	Delo predstavlja rezultate raziskave o vplivu kriogenega odrezavanja na stabilnost procesa struženja. Z uporabo metod entropije informacije so definirani stabilnostni diagrami procesa, ki določajo območja samovzbujajočih vibracij (drdranja), na podlagi merjenih rezalnih sil. Ugotovljeno je, da kriogeno odrezavanje v primerjavi s konvencionalnim poveča stabilnostno območje procesa. Kot doprinos, delo dokazuje povečanje stabilnosti procesa pri kriogenem odrezavanju na račun majših specifičnih rezalnih sil, kar je bilo dokazano s postavitvijo modelov za njihov izračun.
		ANG	This paper presents results of the influence of cryogenic machining on the process stability. The stability diagrams are obtained experimentally using the coarse-grained entropy rate estimator for chatter detection from measured cutting forces. In comparison with conventional machining, enlarged stability windows are observed for the case of cryogenic machining. Based on the defined specific force models in turning operations, it is shown that a higher machining stability is achievable in cryogenic machining due to the reduction of specific cutting force components, in comparison with dry machining.
	Objavljeno v		Technische Rundschau; Hallwag Verlag; Colibri; Elsevier; CIRP annals; 2011; Vol. 60, iss. 1; str. 101-104; Impact Factor: 1.708; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.993; A': 1; WoS: IJ, IK; Avtorji / Authors: Pušavec Franci, Govekar Edvard, Kopač Janez, Jawahir I.S.
4.	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS ID		12316187 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Obdelava poroznega volframa pod kriogenimi razmerami
		ANG	Porous tungsten machining under cryogenic conditions
	Opis	SLO	Eksperimentalna študija se osredotoča na visoko zmogljivo kriogeno obdelavo poroznega volframa, ki se uvršča kot težko obdelovalni materiala, kjer je kakovost obdelane površine s poroznostjo eden od najpomembnejših ciljev. Za doseganje potrebne poroznosti in hrapavosti so bili izbrani optimalni obdelovalni parametri in orodja, kot tudi kriogena metoda, kot alternativa konvencionalnim obdelavam. Za oceno se pore na obdelane površine posamično analizira s SEM. Različne vrste orodje (karbid, keramika, polikristalni diamant in kubični borov nitrid) so analizirane v tej študiji. Določena povezava med izvedbenimi ukrepi in rezalnih parametrov, vključno z orodjem za razred, je bil razvit za doseg zahtevanih ukrepov uspešnosti. Hrapavost površine, poroznosti, orodja obrabo in rezalne sile se merijo in analizirajo. Uspešnosti, ki temelji na več ciljev optimizacije model razvit na osnovi genetskih algoritmov (GA) in se uporablja za napovedovanje optimalnih rezalnih parametrov za doseganje boljše učinkovitosti obdelave.
			This experimental study focuses on high performance cryogenic machining of porous tungsten, which is classified as a difficult-to-machine material, where the quality of the machined surface porosity is one of the most

		ANG	important objectives. For achieving the required postmachining porosity and surface roughness, the optimum machining parameters and tool grade, as well as cryogenic machining method, an alternative to conventional machining, were chosen. For smearing evaluation, pores on the machined surface are individually analyzed from SEM pictures. Different tool grades (uncoated carbide, ceramic, polycrystalline diamond and cubic boron nitride) are analyzed in this study. A precise correlation between the performance measures and the machining parameters, including tool grade, is developed to achieve the required performance measures. Surface roughness, porosity, tool-wear and cutting forces are measured and analyzed. A performance-based multi-objective optimization model is developed based on genetic algorithms (GA) and is used to predict the optimal cutting parameters for achieving improved machining performance.
	Objavljeno v		MPR Publishing Services Ltd.; International journal of refractory & hard metals; 2012; Vol. 35; str. 84-89; Impact Factor: 1.858; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.8; A': 1; WoS: PM, PZ; Avtorji / Authors: Pušavec Franci
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	12859163	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Karakterizacija trenja in toplotnega prehoda na kontaktu orodje obdelovanec pri odrezovalnem procesu
		ANG	Characterisation of friction and heat partition coefficients at the tool-work material interface in cutting
	Opis	SLO	Pri modeliranju in simuliranju odrezovalnih procesov je potrebno nadgraditi razumevanje tornih razmer na kontaktu orodja z obdelovancem. To delo predstavlja metodo za hitro identifikacijo tornih in toplotnih razmer na podlagi na novo razvitega specialnega tribometra. Razvit tribometer je sposoben simulirati širok spekter kontaktnih tlakov in hitrosti, ki sovpadajo z realnimi razmerami pri procesu odrezavanja. Metoda je aplicirana na različne materiale obdelovancev in hladilno mazalnih sredstev. Nadgrajeno z analitično obravnavo rezultatov, pa metoda predstavlja izboljšan način modeliranja odrezovalnih procesov predvsem z vidika napovedovanja toplotnih razmer v rezalni coni.
		ANG	The development of cutting simulation still requires an improvement in the understanding of the frictional phenomena at the tool-work material interface. This paper introduces a method for a fast identification of friction and heat partition models, based on a special tribometer able to simulate wide ranges of contact pressures and sliding velocities, similar to those occurring along the tool-work material interface in cutting. The method is applied for a wide spectrum of work materials and lubrication conditions. Combined with an analytical post-treatment, this set-up provides a modelling of the frictional behaviour that may improve significantly thermal aspects in cutting simulations.
	Objavljeno v		Technische Rundschau; Hallwag Verlag; Colibri; Elsevier; CIRP annals; 2013; Vol. 62, iss. 1; str. 79-82; Impact Factor: 2.541; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.345; A': 1; WoS: IJ, IK; Avtorji / Authors: Rech Joël, Arrazola P. J., Claudin C., Courbon Cedric, Pušavec Franci, Kopač Janez
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek

1.	COBISS ID		10974235	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Eksperimentalna analiza trajnosti pri obdelavi Inconela 718	
		ANG	Experimental analysis of sustainability in machining of Inconel 718	
	Opis	SLO	V delu so predstavljena trajnostna načela obdelovalnih postopkov. Ocenjene sta dva trajnostni alternativni: kriogeno in visokotlačno odrezavanje in primerjano s klasičnim odrezavanjem. Mere trajnostne učinkovitosti se nanašajo na vpliv na okolje, porabo energije, varnost, zdravje, upravljanje z odpadki in stroški. Ocena trajnosti je podprta z eksperimenti izvedenimi na Ni-zlitini (inconel 718). Prikazano je, da alternativni nudita stroškovno sprejemljiv način izboljšave ekonomske, okoljske in socialne učinkovitosti.	
		ANG	Manufacturing industry is under increasing pressure of global competition, stricter environmental legislation and supply-chain demand for improved sustainability performance. The latter can be achieved through changes in products, processes, and systems. In this work, sustainability in machining processes is under the scope. Two sustainable alternatives are evaluated: cryogenic machining and high pressure assisted machining in comparison to conventional machining. The sustainability performance measures refer to environmental impact, energy consumption, safety, personal health, waste management and costs. The sustainability evaluation is supported with machining experiments on high-temperature Ni-alloy (Inconel 718). It is shown that sustainable machining alternatives offer a cost-effective route to improve the economic, environmental and social performance in comparison to conventional machining.	
	Šifra		B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v		CIRP]; Sustainable development of manufacturing systems; 2009; [7] str.; Avtorji / Authors: Pušavec Franci, Kramar Davorin, Kenda Jani, Krajnik Peter, Kopač Janez	
	Tipologija		1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
2.	COBISS ID		11380763	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Modeliranje in karakterizacija trajnostnega kriogenega odrezavanja	
		ANG	Modeling and characterization of sustainable cryogenic machining	
	Opis	SLO	Rdeca nit doktorskega dela je implementacija vidikov trajnostnega razvoja v odrezovalne procese. Delo predstavlja razširjeno karakterizacijo trajnostnega kriogenega odrezavanja kot potencialna alternativa zmanjšanja stroškov proizvodnje, povečanja performanc in povečanje konkurenčne prednosti procesa preko zmanjšanja količinskega materialnega razvoj z izcrpavanjem naravnih virov in onesnaževanjem okolja. Predstavljene so podrobnosti kriogenih fluidov in njihov doprinos v odrezovalnih procesih v primerjavi s konvencionalnimi fluidi na oljni osnovi.	
		ANG	In the thesis sustainability in machining processes is under the scope. This dissertation disseminates work related to sustainable cryogenic machining that has a high potential to cut production costs, raise the performances, and improve competitiveness by reducing resource consumption and creating less waste. The details about cryogenic fluids and their use in machining processes as an alternative to oilbased emulsions are presented.	
	Šifra		D.09	Mentorstvo doktorandom
	Objavljeno v		[F. Pušavec]; 2010; XXIV, 185 str.; Avtorji / Authors: Pušavec Franci	
	Tipologija		2.08	Doktorska disertacija
3.	COBISS ID		257664512	Vir: COBISS.SI

	Naslov	SLO	Konferenca SLIM 2011 Trajnostno življenje v obdelovalnosti	
		ANG	Conference SLIM 2011 Sustainable Life in Manufacturing	
	Opis	SLO	Septembra 2011 je bila organizirana mednarodna konferenca MIT&SLIM 2011 kot soorganizacija naše programske skupine (prof. J. Kopac) s turškim projektnim partnerjem Sulyman Demirel University (prof. O. Colak).	
		ANG	In september 2011 it has been organized international conference MIT&SLIM 2011 in so organization of our research group (prof. J. Kopac) with Turkish project partner Sulyman Demirel University (prof. O. Colak).	
	Šifra		B.01 Organizator znanstvenega srečanja	
	Objavljeno v		TAVO, Slovene Society for Abrasive Water Jet Technology; 2011; 361 str.; Avtorji / Authors: Junkar Mihael, Kopač Janez, Levy Paul R., Colak Oguz	
	Tipologija		2.31 Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci	
4.	COBISS ID		261082624	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Sposobnost vzdržnosti sodobnih obdelovanih procesov: evalvacija kriogenega odrezavanja.	
		ANG	Sustain ability of modern metal cutting processes	
	Opis	SLO	Prva znanstvena monografija s področja trajnosti odrezovalnih procesov in inovativnega kriogenega odrezavanja. Delo pojasnjuje in prikazuje, kako in zakaj je mogoče obdelovalnostne karakteristike izboljšati z uporabo/dovodom kriogenega fluida v rezalno cono. Kljub temu, da v osnovi kriogeno odrezavanje ni novo, njegove prednosti v industriji niso v celoti izkoriščene. Eden od razlogov za to je zelo majhen vir informacij, ki bi pojasnjevali kaj je to, kako deluje in zakaj deluje. Drugi razlog pa leži v dejstvu osredotočenosti le na ekonomski faktor, brez vključevanja okoljskega in zdravstvenega vidika. Na splošno, knjiga podrobno predstavlja tehnologijo kriogenega odrezavanja in njegove visoke potenciale pri zamenjavi problematičnih konvencionalnih obdelovalnih procesov in s temi izpolnjevati vse stebre trajnosti.	
		ANG	First scientific research book from the field of sustainability in manufacturing processes, focused on innovative cryogenic machining process. Works explains and shows how and why machining performance can be increase by application of cryogenic fluid to the cutting zone. While cryogenic machining is not a new process, its benefits have not been fully exploited by industry. One reason for this is very few source information that explain what it is, how it works and why it works. And the second reason lies in placing importance of economics over environment and health. Overall, the book is pointing out that the cryogenic machining technology has a high potential to overcome position of problematic conventional machining processes, fulfilling all the sustainability pillars.	
	Šifra		F.09 Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Objavljeno v		PROFIDTP; 2012; XII, 283 str.; Avtorji / Authors: Pušavec Franci, Kopač Janez	
	Tipologija		2.01 Znanstvena monografija	
5.	COBISS ID		12287259	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Sistem in metoda dovoda utekočinjenega kriogenga fluida v rezalno cono	
		ANG	System and method for delivery of liquid cryogenic fluid to machining tools	
			Razvit in patentiran je bil dovod utekočinjene faze dušika v rezalno cono. Drug doprinos, ki to omogoča je na novo razvit aktivni ločevalnik	

Opis	SLO	faze, ki loči plinasto od tekoče faze. Preferirana kapljevinasta faza je uporabljena za rezalni proces, plinasta pa za izolacijo in zagotavljanje inertne atmosfere. Patent je komercialno zanimiv in objavljen na spletu.
	ANG	Developed and patented has been delivery of liquid phase cryogenic liquid to the cutting zone. Additionally, this is provided with developed special active phase separator that separate gas from liquid phase. The liquid phase is then used for the delivery to the cutting zone, while gas phase is used as insulation and provider of inert atmosphere. Patent is interesting for industry and available on web.
Šifra	F.32	Mednarodni patent
Objavljeno v	European Patent Office; 2012; 13 f.; A'': 1; A': 1; Avtorji / Authors: Pušavec Franci, Kopač Janez	
Tipologija	2.24	Patent

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine²

Patentna prijava

1. KENDA, Jani, PUŠAVEC, Franci, KOPAČ, Janez. Arrangements and methods for abrasive flow machining. Ljubljana: Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo, Urad RS za intelektualno lastnino, 2013. 16 f., 5 f. pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 13043995]
2. PUŠAVEC, Franci, ALJANČIČ, Uroš, KOPAČ, Janez, AMON, Slavko. Senzorska izvedba za karakterizacijo kriogenih medijev. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, 2013. 13 str., 4 str. pril., ilustr. [COBISS.SI-ID 13228059]

Patent

1. PUŠAVEC, Franci, KOPAČ, Janez. Cutting tool holder arrangement : EP2353779 (B1) 20120125. [Geneva]: European Patent Office, 2012. 10 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 12287515]
2. PUŠAVEC, Franci, KOPAČ, Janez. System and method for delivery of liquid cryogenic fluid to machining tools : EP2347855 (B1), 20120516. [Geneva]: European Patent Office, 2012. 13 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 12287259]
3. LIKAR, Borut. Zibka z motornim zibalom : patent št. SI23492 (A), 20120430. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2012. 7 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 4380119]
4. LIKAR, Borut. Naprava za preprečevanje nabiranja fekalij na notranjih površinah WC školjke in zmanjšanje izhajanja vonjav iz lete: patent : SI 23033 (A), 20101029. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2010. 14 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 3831767]

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Proizvodnja predstavlja enega izmed ključnih stebrov slovenskega gospodarstva. Z vidika trenutne marginalne splošne gospodarske rasti, je nadaljnji razvoj znanosti na področju proizvodnih tehnologij pomemben, zlasti za nadaljevanje temeljnih (in aplikativnih) raziskav. Inovativnost, temelječa na znanstveni odličnosti, predstavlja ključni element trajne konkurenčnosti gospodarstva. Visok nivo zvedenih raziskav programske skupine je pripravil dober temelj za nadaljevanje tehnoloških inovacij, ki so kritične za razvoj znanosti tako v slovenskem, kot tudi v mednarodnem prostoru. Raziskovalna skupina je s preteklim program tako uspešno združila znanost (preko znanstvenikov) na prekrivajočih se interdisciplinarnih področjih proizvodnih tehnologij, kot tudi na področjih menedžmenta inovacij in tehnologij, ter v preteklem obdobju izkazala izrazit doprinos k razvoju znanosti s področja (razvoj novih tehnologij, izobraževalnih programov, znanstvenih publikacij, mednarodnih patentov, sodelav z mednarodnimi raziskovalnimi organizacijami, industrijo, itd.). Objave znanstvenih rezultatov ter mednarodne inovacije/patenti ostajajo bistven element

diseminacije ter ogledalo razvoja znanosti. Programska skupina je s svojim delom ohranila izjemno profiliran (nadpovprečno uspešen) in preverljiv portfelj objav v mednarodno recenziranih revijah. Objavljeni originalni znanstveni prispevki so uravnoteženi in se nanašajo tako na temeljne raziskave kot aplikativne raziskave za specifične industrijske aplikacije. Objave na področjih predlaganih štirih raziskovalnih domen – napredni postopki obdelave, tehnologije in učinkovita raba virov, inženiring kakovosti za proizvodnjo in proizvodnja osredotočena ljudem – predstavljajo dobro citirane znanstvene prispevke raziskovalne skupine. Ti rezultati niso pomembni le za razvoj znanosti – njihova vsebina je direktno povezana tudi z nacionalno strategijo za razvoj gospodarstva, kot tudi z ostalimi iniciativami tehnološkega razvoja Evropske Unije (npr. tovarne prihodnosti). V končni fazi je potrebno poudariti še prispevek teh visoko kakovostnih znanstvenih objav k dvigu kakovosti Univerze v Ljubljani v mednarodnih primerjalnih študijah kot tudi k slovenski znanosti v splošnem. Glavni rezultati raziskav so pričakovani v raziskovalni domeni naprednih postopkov obdelave. Tekom raziskovalnega programa so bili ti postopki, razviti s pomočjo inženiringa kakovosti za proizvodnjo, laboratorijsko verificirani, kot tudi testirani v proizvodnih kapacitetah naših industrijskih partnerjev. Tovrstni učinki znanosti so v tem kontekstu zlasti značilni z vidika povečanja produktivnosti, ki je ključno za večjo učinkovitost slovenskega gospodarstva. Poleg tega so bili izbrani postopki obdelave nadgrajeni z elementi učinkovite rabe virov in vključitvijo človeških faktorjev, ki prispevajo k inkrementalnemu razvoju znanosti. Aplikacije znanstvenih dosežkov v slovenski industriji so svojevrsten katalizator nadaljnjega razvoja znanosti, povečanja zaupanja v znanost in s tem izboljšanja sodelovanja med slovensko raziskovalno in industrijsko sfero, ki je še vedno šibko. V končni fazi rezultati dokazujejo možnosti po končni uporabi naših naprednih tehnologij in tako izrabi rezultatov znanosti in zamenjave konvencionalnih postopkov obdelave z naprednimi. Ta zamenjava je omogočena in je bistvena za dvig inovativnosti, večjo konkurenčnost in gospodarsko rast v Sloveniji. Tekom zadnjih let se je tudi profilirala predstavitev našega raziskovalnega dela ter število objav znotraj mednarodne akademije proizvodnega strojništva (CIRP) s sedežem v Parizu. Raziskovalna skupina smatra pomembnost CIRP-a kot bistveno za nadaljnji razvoj/promocijo znanosti in prepoznavnost slovenske znanosti v mednarodnem prostoru; kot tudi za postavitve visokih standardov za cilje raziskav in primerjavo z mednarodno znanstveno odličnostjo.

ANG

Production is one of the key pillars of the Slovenian economy. In view of the current marginal overall economic growth, the further development of science in the field of production technologies is important, especially for the continuation of the fundamental and applied research. Innovation, based on scientific excellence, is a key element of sustainable economic competitiveness. High level of conducted researches in program group has prepared a good foundation for continued technological innovations, which are critical for the development of science in Slovenian, as well as in the international arena. The research team from the previous program so successfully combined science in overlapping interdisciplinary areas of manufacturing technologies, as well as in the areas of innovation management and technology, as well as in the previous period proved a distinctive contribution to the development of science in the field (development of new technologies, educational programs, scientific publications and international patents, cooperation with international research organizations, industry, etc.). The publications of scientific results and international innovations/patents remain an essential element of dissemination and mirror of the science development. Research group has maintained with its work to an extremely shaped and verifiable portfolio of publications in international peer-reviewed journals. Published original scientific contributions are balanced and relate to both basic research and applied research for specific industrial applications. Articles in the areas proposed four research domains - advanced processing technology and efficient use of resources, engineering, quality manufacturing and production focused people - representing good cited scientific contributions of the research group. These results are not only important for the development of science - their content is directly linked with the national strategy for the development of the economy, as well as with other initiatives, technological development of the EU. Finally, further contribution of high-quality scientific publications should be noted which raise the quality of the Uni-Lj in international comparative studies, as well as to the Slovenian science in general. The main research results are expected in the research domain of advanced processing. Over the course of the research program those procedures were developed with the help of quality engineering, laboratory verified, as well as tested in the production capacities of our industrial

partners. Such effects of science are in this context particular characteristic in terms of the increase in productivity, which is a key to greater efficiency of the Slovenian economy. In addition, the selected machining processes were upgraded with elements of resource efficiency and the integration of human factors that contribute to the incremental development of science. Applications of scientific achievements in Slovenian industry have a unique catalyst for further development of science, increase confidence in science and thereby improve the cooperation between the Slovenian research and industrial sphere, which is still weak. Ultimately, the results demonstrate the possibility of the end-use of our advanced technologies and thus exploit the results of science and the replacement of conventional processing with advanced. This replacement is enabled and is essential to increase innovation, enhance competitiveness and economic growth in SLO.

Over the past years presentation of our research work has also profiled and the number of publications within the International Academy of production engineering (CIRP). The research team considered the importance of the CIRP as essential for the further development/promotion of science and recognition of Slovenian science in the international arena; as well as for setting high standards for research purposes and to comparison with the international scientific excellence.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Proizvodni sektor sestoji večinoma iz malih in srednjih podjetij (MSP) in predstavlja enega izmed največjih delov slovenskega gospodarstva glede na delež bruto domačega proizvoda (BDP), ki znaša okoli 25%. Proizvodnja zaposluje tudi največji delež ljudi, medtem ko strojna oprema in proizvodni izdelki zagotavljajo največ izvoza. Inovativnost temelječa na tehnološki odličnosti je ključna za ohranjanje konkurenčnosti gospodarstva in rast visoko kvalificiranih delovnih mest. Le napredki na področju znanosti in razvoja novih tehnologij omogočajo slovenski industriji ostati konkurenčni na izredno zahtevnem trgu.

Vloga proizvodnih tehnologij, kot odgovor na iskanje rešitev za izzive povečanja gospodarske rasti in ustvarjanja novih delovnih mest, je nesporna. Kot omenjeno, proizvodnja še vedno kaže znake rasti, kljub splošni stagnaciji gospodarstva - napredek v proizvodnji je torej ključen za dvig rasti BDP na 3.5% do leta 2020, kar je osnovni cilj slovenskega razvoja. Doseganje socialnih učinkov se nanaša predvsem na visoko zaposljivost diplomantov proizvodnega strojništva, kar je prav tako izjema glede na vse težjo zaposljivost mladih ljudi. Proizvodnja ima torej svetlo prihodnost – dosežena z napredkom proizvodnih tehnologij, katere omogočajo pretvorbo inovativnih idej v nove proizvode, ki ustvarjajo rast gospodarstva in zagotavljajo visoko kvalificirane službe, kar je relevantno za trenutne družbene izzive. Napredne proizvodnje tehnologije imajo torej dvojno vlogo: zagotavljanje konkurenčnosti tehnologijam in proizvodom; z družbenimi, kot tudi ekonomskimi učinki. Ti cilji so bili v programu doseženi tudi s mentorstvi, kjer je »sproducirala« veliko število kakovostnih diplomantov, magistrantov in doktorantov proizvodnega strojništva.

Če analiziramo proizvodnjo v širši regijski perspektivi lahko ugotovimo, da je slovenska industrija kljub izgubi jugoslovanskega trga še vedno vodilno gospodarstvo v regiji – predvsem v proizvodnji specializiranih strojev in opreme ter proizvodnih tehnologij. Slovenska industrija je tudi uspešno opravila tranzicijo od težke industrije do visoko specializirane proizvodnje, katere rezultat so inovativni izdelki, kot so npr. kompleksna orodja ki predstavljajo velik del izvoza slovenskega orodjarstva v avtomobilsko industrijo. V tem raziskovalnem programu so bili doseženi in izpostavljeni ključni deli izzivov globalne proizvodnje – izzivi, ki so ključnega pomena za nadaljevanje družbeno-ekonomske blaginje v Sloveniji.

Gledano v celoti, doseganje potrebne transformacije proizvodnje zahteva koordinacijo raziskovalnih in inovacijskih dejavnosti, ki so bile v programu izvedene v okviru naslednjih raziskovalnih domen in podpornih tehnologij: napredni postopki obdelav in učinkovita raba virov, inženiring kakovosti za proizvodnjo, informacijsko-komunikacijske tehnologije za osredotočenje proizvodnje ljudem, visoko kvalificirana delovna sila, kot tudi modeliranje, simulacije ter napovedovanje učinkov na trajnostni razvoj.

Nazadnje rezultati poudarjajo, da družbeno-ekonomski učinki prav tako v celoti sovpadajo s Strategijo razvoja Slovenije do 2020: »Slovenija je konkurenčna družba znanja in inoviranja, ki ob spoštovanju okoljskih omejitev zagotavlja blagostanje svojih prebivalcev in postaja model moderne eko regije«. Razvoj mora temeljiti na izboljšanju učinkovitosti rabe vseh virov,

človeških, finančnih in naravnih, na inovativni in intenzivni uporabi informacijsko komunikacijskih in tehnologije, ter na ustrezni delitvi bremen in ugodnosti ob povečanju zaposlenosti. Tri glavna področja razvoja (spodaj) so v bila v veliki meri vključena v pretekli programa programske skupine in ostajajo cilj novega programa raziskovalne skupine:

- raziskave in razvoj ter inovacije
- zagon, rast in razvoj malih in srednjih podjetij
- zaposlovanje, izobraževanje, usposabljanje, znanje in kompetence

ANG

The manufacturing sector consists mostly of small and medium-sized enterprises (SMEs) and represents one of the biggest parts of the Slovenian economy as a share of gross domestic product (GDP), which is around 25%. Manufacturing employs the largest number of people, while the machinery and manufacturing products provide the most exports. Innovation based on technological excellence is a key to maintaining economic competitiveness and growth of high-skilled jobs. Only advances in science and development of new technologies allow Slovenian industry to remain competitive in a very demanding market.

The role of production technologies, in response to finding solutions to the challenges of increased economic growth and job creation, is indisputable. As mentioned above, the production is still showing signs of growth, despite the general stagnation of the economy - progress in manufacturing is critical to raise GDP growth to 3.5% in 2020, which is the basic objective of the Slovenian development. Achieving social impact relates primarily to the high employability of graduates in production engineering, which is also an exception in relation to all serious employability of young people. Production is therefore a bright future - reached with the progress of manufacturing technologies, which allow the conversion of innovative ideas into new products that create economic growth and provide highly skilled services, which is relevant to current societal challenges. Advanced production technologies therefore have a dual role: ensuring the competitiveness of technologies and products; with social as well as economic impacts. These goals were achieved in the program with mentoring, where a large number of quality graduates, masters and doctorates of production engineering were concluded their studies.

If the production of a broader regional perspective is analyzed, we can see that the Slovenian industry despite the loss of the Yugoslav market is still the leading economy in the region - mainly in the production of specialized machinery and equipment and production technologies. Slovenian industry has also successfully completed the transition from heavy industry to the highly specialized production, which results in innovative products, such as. complex tools which make up a large part of exports of Slovenian tool in the automotive industry. In this research program key parts of the global production challenges have been achieved and highlighted - challenges that are crucial to the continuation of the socio-economic well-being in Slovenia.

On the whole, achievements in the necessary transformation of production requires the coordination of research and innovation activities that have been in the program carried out under the four research domains and assistive technologies: advanced methods of processing and efficient use of resources, quality engineering, information and communication technology to concentrate production to the people, highly skilled workforce, as well as modeling, simulation and prediction of the effects on sustainable development.

Finally, the results highlight the socio-economic impacts also fully coincide with Slovenia's Development Strategy to 2020: "Slovenia is competitive society of knowledge and innovation, which, while respecting environmental limits ensures the well-being of its people and becoming a model of modern eco-region". The development must be based on improving the efficiency of the use of all resources, human, financial and natural, an innovative and intensive use of information communication and technology, and at the appropriate burden-sharing and benefits of an increase in employment. Three main areas of development (below) are largely been included in the previous program of the research group and remain objective of the new program:

- Research and Development and Innovation
- Start-up, growth and development of SMEs
- Employment, education, training, skills and competences

10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹¹

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	12
bolonjski program - II. stopnja	7
univerzitetni (stari) program	42

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
17076	Davorin Kramar	☐	☒	☐	
26559	Franci Pušavec	☐	☒	☒	
25977	Matej Balažič	☒	☐	☐	
0	Gregor Zelenšek	☒	☐	☐	
28653	Primož Kržič	☐	☒	☐	
0	Blaž Bajželj	☒	☐	☐	
29912	Uroš Pogačnik	☒	☐	☐	
30908	Jani Kenda	☐	☒	☒	
32088	Goran Mijušković	☐	☒	☒	
28686	Aleksander Janeš	☐	☒	☐	
0	Aleš Rodman	☒	☐	☐	
0	Marko Podbreznik	☒	☐	☐	
0	Boštjan Novak	☒	☐	☐	
0	Kristina Semi	☒	☐	☐	
0	Boris Čuk	☒	☐	☐	
0	Petra Kunc	☒	☐	☐	
0	Irena Kos	☒	☐	☐	
0	Stanislav Blagotinšek	☒	☐	☐	
30838	Marko Ropret	☐	☒	☒	
0	Igor Budak	☐	☒	☐	
32172	Peter Štrukelj	☐	☒	☒	

Legenda:

Mag. - Znanstveni magisterij**Dr.** - Doktorat znanosti**MR** - mladi raziskovalec**11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
26559	Franci Pušavec	☐	☒	D - Javni zavod	
30908	Jani Kenda	☐	☒	C - Gospodarstvo	
32088	Goran Mijušković	☐	☒	C - Gospodarstvo	
30838	Marko Ropret	☐	☒	A - raziskovalni zavodi	

32172	Peter Štrukelj			D - Javni zavod	
-------	----------------	---	---	-----------------	--

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	Oguz Colak	D - podoktorand	2	
0	Kadir Kiran	C - študent - doktorand	1	
0	Florian Dumont	C - študent - doktorand	1	
0	Fabien Thomas	C - študent - doktorand	3	
0	Halil Caliskan	C - študent - doktorand	3	
0	Branislav Sredanović	C - študent - doktorand	2	
0	Vincent Chaudiere	C - študent - doktorand	6	
0	Josip Cumin	C - študent - doktorand	3	
0	Veronika Kalinová	C - študent - doktorand	3	
0	Jaroslav Hejl	C - študent - doktorand	3	
0	Petr Pávek	C - študent - doktorand	3	
0	Baijens Jeroen	C - študent - doktorand	3	
0	Daniël Hendriks	C - študent - doktorand	3	
0	Lokman Yunlu	C - študent - doktorand	1	
0	Chaverot Damien	C - študent - doktorand	3	

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 1.1.2009-31.12.2014¹⁵

SLO

Programi EU:

- Construction of heavy duty punch grinding machine, E!4957PUNCHGRIND, 30Apr 2009 to 30Apr-2012 (Dr. Peter Krajnik, glavni raziskovalec).
- SusCryMac - Development of Sustainable & Innovative Cryogenic Machining Technology, E! 4550 PROFACTORY EU project, 01Feb2009 to 31Dec2011 (Prof. Dr. Janez Kopač, glavni raziskovalec, vodja projekta).
- KidsINNscience 20092013 Funding: EU commission; Dr. Boru Likar, glavni raziskovalec

- Improvement of Students' Internship in Serbia ISIS, 510985TEMPUS120101 RSTEMPUS-JPHES, 2010 (koordinator v SLO: Prof. Dr. Mirko Sokovic, FS, Ljubljana).
- Education and Training of Institutions in Quality Management and Metrology ETIQU, JEP_41120_2006, 20072009: (koordinator v SLO: Prof. Dr. Mirko Sokovic, FS, Ljubljana).
- Middle Eastern Partnership in Sustainable Engineering ME Eng, 517065TEMPUS1 20111SI-TEMPUSJPCR, 20112014 Koordinator: Prof. Janez Kopac, UniLjubljana.
- Experience Transfer Model ETM, Leonardo da Vinci program 20101SE1LEO05 04801, 2010-2012, Kontakt v SLO: Dr. Peter Krajnik,
- Zinno.eu DO innovation now! EU Leonardo da Vinci, Transfer of Innovation, 2013 2015, nosilec dr. Borut Likar

IRIS – Interests & Recruitment in Science, Collaborative project under FP 7 SIS 20081; so nosilec dr. Slavko Dolinšek,

CERIM – Central Europe Research to Innovation Models, project under thematic priority Facilitating innovation across Central Europe of Central Europe program, 20092011, nosilec dr. Slavko Dolinšek,

TARGET – Transformative, Adaptive, Responsive and engaging environment – Enlarged European Union, FP7ICT Project No. 258672; nosilec dr. Slavko Dolinšek,

iForest – Innovation on Forest Companies: Training tool for implementing innovation process in Forest Companies, Program/narocnik: LLP: Leonardo da Vinci – Transfer of Innovation (LdV – Prenos inovacij), Trajanje: 20102012, nosilec dr. Borut Likar

- CEEPUS III network CIIIRS0507011112 titled: "Research, Development and Education in Precision Machining", 20112012, (NetCoordinator: Prof. Dr. Pavel Kovac, FTN, University of Novi Sad, Serbia; Koordinator v SLO Prof. Dr. Janez Kopac).
- CEEPUS III network CIIISI0904011415 "Education for sustainable development in manufacturing", 20142016 (Koordinator: dr. Davorin Kramar)
- SHARTEC Izmenjava inovativnih proizvodnih tehnologij v obmejnih regijah, partner na projektu: dr. Borut Likar

Drugi programi:

- SLO-BRA bilateralni projekt BI-BR/11-13-003: "Advanced Materials Manufacturing for Automotive and Aeronautical Applications", 2011-2013, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopac).
- SLO-FR bilateralni projekt BI-FR/10-11-PROTEUS-002: "Sustainable Development and Characterization of Machining Processes", 2010-2011, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopac).
- SLO-TUR bilateralni projekt BI-TR/09-11-001: "Machining of the Aerospace Super alloys with High Pressure Jet Assisted Cooling/Lubrication Conditions", 2009-2011, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopac).
- SLO-ZDA bilateralni projekt BI-US/08-10-011: "Application of Sustainability Principles in Innovative Machining Processes for Improved Overall Performance", 2008-2010, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopac).
- SLO-ZDA bilateralni projekt BI-US/14-15-08: "Provide metrics, methodology and verification tools for machining processes to quantitatively assess energy and material consumption efficiency", 2014-2015, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopac).
- SLO-SRB bilateralni projekt BI-RS/12-13-010: "Artificial Intelligence Applications in Sustainable Development of Manufacturing Processes", 2012-2013, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopač).
- SLO-BIH bilateralni projekt BI-BA/12-13-001: "New Approach toward Universal Definition of Machinability in Machining", 2012-2013, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopac).
- SLO-BIH bilateralni projekt BI-BA/14-15-003: "New Approach toward Universal Definition of Machinability in Machining – Part2", 2014-2015, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopac).
- SLO-BIH bilateralni projekt BI-BA/10-11-002: "Sustainable Development and Characterization of Machining Processes and Analysis Of Machine Tool Dynamics", 2010-2011, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopac).
- SLO-HRV bilateralni projekt BI-HR/10-11-004: "Ecological Justification Of Application Of Advanced Cutting Processes", 2010-2011, (Koordinator: Prof. Dr. Janez Kopac).
- SLO-CG bilateralni projekt BI-CS/10-11-0: "Improvement of environmental management system using multi software – UNSISECO", 2010-2011, (Koordinator: Prof. Dr. Mirko Sokovic).
- SLO-CG bilateralni projekt BI-CS/14-15-011: "Influence of innovations and innovatory on improvements of business process performance", 2014-2015, (Koordinator: Dr. Davorin

Kramar).

- Research on modern trends in strategic management with the use of special fields in function for Serbian economic competitive position; 2011-2014 (partner: dr. Borut Likar)
- KBB - Knowledge For Business In Border Regions; Bilateral SloveniaAustrija; 2010 (Koordinator: dr. Borut Likar) EnergyVillab - Energy Virtuous Living Lab, SLO-ITA cooperation, 2007-2013, project CB 118, Koordinator: dr. Slavko Dolinšek
- EURL3A - European Real Life Learning Lab Alliance, Knowledge Partnerships, EAC / S03 / 2012; Koordinator: dr. Slavko Dolinšek
- TRAPEE - Training personnel towards Energy Efficiency of the Buildings, LDVTOI03/13; Koordinator: dr. Slavko Dolinšek

14.Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009–31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS¹⁶

SLO

- Modeliranje procesa odrezavnja z asistenco visokotlačnega curka (Hammelmann GmbH; Nemčija); 2009; dr. Davorin Kramar
- Pridobitev podatkov in obdelava z vidika vzročno posledičnih povezav inovativnosti z varnostjo informacijskih sistemov (FRI) – 2009; dr. Borut Likar
- Kompetenčni model za področje splošnih informacijskih vsebin (FOV) – 2009; dr. Borut Likar
- PROSIS razvoj – organiziranje sistema za poročanje (PROTAL) – 2009; dr. Borut Likar
- Individualno svetovanje pri oblikovanju modela komercializacije IT produktov (ALIANSA) – 2009; dr. Borut Likar
- Svetovanje s področja komercializacije inovativno prebojnih proizvodov (VENTURI) – 2009; dr. Borut Likar
- Testna aplikacija intuitivnega razvojnega orodja rcg na problem razvoja portala za optimizacijo servisnih storitev (PRO Servis, d.o.o., JAPTI) – 2009/2010; dr. Borut Likar
- Pregled frezanja grafitnih elektrod (Kolektor Orodjarna d.o.o.) – 2010; dr. Janez Kopač
- Obdelava in FEM analiza procesa poliranja z abrazivnim tokom (AFM) (Kolektor Orodjarna d.o.o.) – 2010; dr. Janez Kopač
- Načini in možnosti za izvajanje kriogene obdelave v proizvodnji ključavnic (TITAN Kamnik) – 2010/2011; dr. Janez Kopač
- Razvoj in prototipno testiranje nove generacije hladilno mazalnih sredstev na bazi nano cevok (IJS) – 2010; dr. Janez Kopač
- Meritve karakteristik jermena za napenjanje G1553H (Goodyear) – 2010, dr. Franci Pušavec
- Analiza možnosti izboljšanja performanc obdelave ležajnega jekla 100Cr6 (ASCOMETAL, Francija) – 2010; dr. Janez Kopač
- Elektronska mikroplačila za področje igralništva (Voltan d.o.o., INO VAVČER 2010, JAPTI) – 2010; dr. Borut Likar
- Podpora srbski lesnopredelovalni industriji pri prodoru na mednarodni trg (Zavod Lesarski Grozd uradne razvojne pomoči R Slovenije) – 2010/2011; dr. Borut Likar
- Analiza in izdelava diagnostičnega sistema povrtavanja cevok (Hidria AET) – 2012; dr. Janez Kopač
- Analiza možnosti izboljšanja performanc obdelave sintranega jekla za ventile v avtomobilskih motorjih z alternativnih kriogenim odrezavanjem (PCI, Francija) – 2012; dr. Janez Kopač
- Vpeljava CRYO sistema v proizvodnjo (TEI, Turčija) – 2012; dr. Janez Kopač
- Svetovanje s področja inovacij (3K IT informacijske rešitve d.o.o.) – 2012; dr. Borut Likar
- Izdelava gradiva s področja zaščite intelektualne lastnine (3K IT informacijske rešitve d.o.o.) – 2012; dr. Borut Likar
- Izdelava analize trendov v izobraževanju (Ka Trade d.o.o.) – 2012; dr. Borut Likar
- Izvedba izobraževanja ter priprava osnov za nov študijski program (Ka Trade d.o.o.) – 2012; dr. Borut Likar
- Zibka z motornim zibalom (Inštitut za inovativnost in tehnologijo) – 2012; dr. Borut Likar
- Nova tehnologija za brušenje sestavljeni odmične gredi (SCANIA, Sweden) – 2013; dr. Peter Krajnik
- Preliminarna študija tvorbe odrezka pri operaciji razžagovanju komutatorjev na lamele

- (Kolektor, Idrija) – 2013; dr. Janez Kopač
- Študija problematike obstojnosti hladilno mazalne emulzije (DANFOS Trata), 2013; dr. Janez Kopač

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

SLO

Iz zgoraj navedenega je razvidno, da so skoraj vsi rezultati programa vezani na industrijsko aplikacijo. Vse inovacije so pripeljane do delujočih prototipov.

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	☒ DA ☐ NE
potrebni finančni vložek	505.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	V letu 2012 je bil izdelan poslovni načrt za ustanovitev spinoff podjetja v okviru sodelovanja z Ljubljanskim univerzitetnim inkubatorjem in bil predstavljen na natečaju za rektorjeve nagrade za inovacije UL. Potrebna infrastruktura je lahko v splošnem zadovoljena s tesnim sodelovanjem s to programsko skupino in pripadajočim Laboratorijem za odrezavanje, ki ima večino potrebne opreme.

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Člani programske skupine so izdali znanstveno monografijo v angleškem jeziku s področja odrezovalnih postopkov, ki je namenjena strokovnjakom v industriji ter tujim in domačim študentom:
 Avtorji: GLOBOČKI-LAKIČ, Gordana, KRAMAR, Davorin, KOPAČ, Janez
 Naslov: Metal cutting: theory and applications
 Ljubljana: Faculty of Mechanical Engineering, 2014. XIII, 221 str., ilustr. ISBN 978-99938-39-49-1. ISBN 978-961-6536-85-1. [COBISS.SI-ID 277173760]

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Za izvajanje sistematičnih analiz tehnološke sposobnosti podjetij smo razvili model in praktično uporabno orodje in konec leta 2013 ocenjevali tehnološko sposobnost slovenskih proizvodnih podjetij. Rezultati ocenjevanja kažejo, da obstajajo velike razlike med ocenjevanimi podjetji, da so podjetja v povprečju ocenjena s srednjo ali nizko stopnjo tehnološke sposobnosti ter da so ključni elementi tehnološke sposobnosti: strateško ravnanje s tehnologijami, tehnološki projekti s partnerji in izvajanje analiz tehnološkega okolja. Rezultati študije so predstavljeni v monografiji:
 Avtorji: ŠTRUKELJ, Peter, DOLINŠEK, Slavko
 Naslov: Model za ocenjevanje tehnološke sposobnosti podjetij
 Koper: Fakulteta za management, 2014. 103 str., ilustr., tabele. ISBN 978-961-266-171-7. <http://www.fm-kp.si/zalozba/ISBN/978-961-266-171-7.pdf>. [COBISS.SI-ID 277258752]

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 Ljubljani, Fakulteta za
strojništvo

Janez Kopač

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

8.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/48

¹ 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](#)

² 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](#)

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

⁴ 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](#)

⁵ 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](#)

⁶ 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](#)

⁷ 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](#)

⁸ 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](#)

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

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

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](#)

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

¹³ 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](#)

¹⁴ 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](#)

¹⁵ 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](#)

¹⁶ 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](#)

¹⁷ 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](#)

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

¹⁹ 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

6B-C9-BE-AA-37-42-E8-2E-43-A0-08-D7-5B-F5-F9-33-96-E0-C0-4C