

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/33



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	P2-0157
Naslov programa	Dinamični inteligentni in povezani tehnološki sistemi in naprave DIP-TSN Dynamic, Intelligent, and Integrated Technological Systems and Devices (DIP-TSN)
Vodja programa	4011 Jože Balič
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	30600
Cenovni razred	
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	795 Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
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

V raziskovalnem programu smo realizirali naslednje aktivnosti:

1) razvoj, vpeljevanje in uporaba najsodobnejše tehnologije za izdelavo izdelkov: npr. dodajalne izdelovalne tehnologije (LENS, selektivno lasersko sintranje), inteligentne robotske celice, napredne CNC-tehnologije,

2) razvoj in realizacija metodologije umetne inteligence za proučevanje in gradnjo inteligentnih strojev, naprav in izdelovalnih sistemov ter procesov (razvoj različnih sistemov strojnega učenja, vključno s sistemi za genetsko programiranje, genetske algoritme, umetne nevronske mreže, mehko logiko, skupinsko inteligenco oziroma roje delcev, metode gravitacijskega iskalnega algoritma in metode za večkriterijsko optimizacijo, npr. NSGA-II pristop).

3) implementacija razvitih tehnologij in metodologije v industrijska okolja.

4) področje vodenja obdelovalnih sistemov je obsegalo razvoj in izdelavo nadzornega sistema, ki bo s posrednim optimiranjem in digitalno adaptacijo rezalnih parametrov nadzoroval rezalno silo in ohranjal konstantno hrapavost obdelane površine med procesom frezanja. Izdelan nadzorni sistem v realnem času identificira obrabo oziroma poškodbe rezalnega roba in ustrezno korigirati nadaljnji proces obdelave. Izdelan je postopek inteligentnega modeliranja procesa odrezavanja, ki bo uporabljen pri izdelavi CNC-simulatorja frezanja. Namen je bil testirati stabilnost nadzornega sistema in uglasiti krmilne parametre. Učinkovitost izdelanega nadzornega sistema z vidika izboljšane kvalitete površine in manjše obrabe orodja je testirana v vodilni slovenski orodjarni.

5) Pri raziskavah, ki se nanašajo na področje energetske varčne, okolju prijazne hidravlične pogonske tehnike je bil poudarek na metodah on-line spremljanja stanja, prepoznavanju mehanizmov staranja ter spreminjanja fizikalno-kemijskih lastnosti različnih vrst hidravličnih tekočin ter njihovih medsebojnih vplivov, kot tudi iskanju novih hidravličnih tekočin s specifičnimi lastnostmi, ki odpravljajo probleme, vezane na danes uporabljane tekočine. Raziskave so vključevale tudi na daljinski on-line nadzor stanja hidravličnih naprav ter sodobnih konceptov zajemanja in ovrednotenja signalov, kot tudi razvoj energetske varčnih pogonskih sistemov.

6) Na področju preoblikovalnih postopkov je pojav novih materialov, kot so jekla s povišano trdnostjo, povzročil potrebo po novih prijemih in uvajanju novih tehnologij. Pomembnost simulacij in analiz preoblikovalnih postopkov je narasla skupaj z željo o napovedovanju končnega rezultata postopka. Zato je treba razširiti poznavanje postopkov, bolje je treba poznati obnašanje gradiv pri preoblikovanju. Visoke zahteve naročnikov glede merskih natančnosti in kakovosti površin na drugi strani, pa dajejo še dodatno potrebo po uporabi simulacij in napovedovanju rezultatov. V ta namen so na razpolago računalniška programska orodja, ki temeljijo na numeričnem računanju. Ta orodja pa dajo dobre napovedi le takrat, če vstavimo pravilne parametre in so ustrezno kalibrirana.

ANG

1) Development, introduction, and usage of cutting-edge technologies for manufacturing of products, e.g., additive manufacturing technologies (LENS, Selective Laser Sintering), intelligent robotic cells, advanced CNC-technologies,

2) Development of the methodology of the artificial intelligence for the studying, building, modelling and optimization of intelligent machines, devices, and manufacturing systems/processes (development and realization of various systems for machine learning including systems for genetic programming, genetic algorithms, artificial neural networks, fuzzy logic, swarm intelligence, gravitational search algorithm, and multi-objective optimization algorithms, e.g., NSGA-II approach).

3) Implementation of the developed technologies and methodology into the industrial environment.

4) In the field of adaptive control the research program involves the development and production of a monitoring system controlling the cutting force by off-line optimization and digital adaptation of cutting parameters and maintaining constant surface roughness throughout milling. The goal was to develop the optical tool condition monitoring system which can identify tool wear or cutting edge damage and correct the further machining process. Intelligent modelling of machining process to be used for the development of CNC milling simulator was developed. Efficiency of the proposed monitoring system demonstrated in improved surface quality and lower tool wear was tested in a leading Slovenian tool shop.

5) The research field of energy saving, environment friendly hydraulic drive technology. The focus was on the on-line condition monitoring methods and recognizing of the ageing

mechanisms as well the changing the physical-chemical properties of different types of hydraulic fluids and their interactions. Of particular importance is the search for new hydraulic fluids with specific physical-chemical properties that would eliminate the problems related to the fluids used today.

Researches include remote on-line condition monitoring of hydraulic machines and implementation the advanced concepts of signal acquisition and evaluation, as well the development of energy saving drive systems.

6) Occurrence of new materials as high strength steels caused the need for new approaches and for new technologies. Simulations and in-depth analyses of forming process have gained on importance together with need for prediction of process result. Therefore, the knowledge on processes have to be extended, together with the knowledge about properties of materials during the forming process. High demand from customers on dimensional accuracy and surface quality gives additional reason for usage of simulations for result prediction. For this reason, there are computer simulation tools, which are based on numerical computation. These simulations gives proper results only with correct input parameters and if they are calibrated.

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 raziskovalnega programa je potekala na naslednjih temeljnih, vendar povezanih raziskovalnih področjih, ki so:

- 1) modeliranje in programiranje inteligentnih strojev in naprav, inteligentno modeliranje,
- 2) optimiranje in vodenje obdelovalnih postopkov,
- 3) razvoj inteligentnih preoblikovalnih metod in postopkov,
- 4) razvoj slojevitih tehnologij,
- 5) vodenje inteligentnih robotskih obdelovalnih sistemov in
- 6) razvoj napredne, energetske varčne in okolju prijazne fluidne tehnike.

1) Modeliranje in programiranje inteligentnih strojev in naprav

Na krovnem področju raziskovalnega programa smo realizirali naslednje aktivnosti:

a) razvoj metodologije umetne inteligence za proučevanje in gradnjo inteligentnih strojev, naprav in izdelovalnih sistemov ter procesov (modeliranje in optimizacija CNC obdelovalnih postopkov s skupinsko inteligenco, evolucijskimi algoritmi in nevronskimi mrežami; samodejno programiranje CNC obdelovalnih strojev s pomočjo skupinske inteligence, evolucijskih algoritmov in umetnih nevronskih mrež)

b) razvoj, vpeljevanje in uporaba najsodobnejše tehnologije za izdelavo izdelkov (LENS in razvoj sistema za modeliranje in optimizacijo postopka laserskega nanašanja kovinskih prevlek v sodelovanju z EMO Orodjarna)

c) razvoj napredne CNC tehnologije in implementacija razvitih tehnologij in metodologije v industrijska okolja (razvoj sistema za optimizacijo razmeščanja strojev in naprav v obratu valjarne v železarni Store Steel z evolucijskimi algoritmi).

2) Inteligentno modeliranje, optimiranje in vodenje obdelovalnih postopkov

Pri izdelavi **inteligentnega adaptivnega sistema** vodenja visokohitrostnega frezanja s težko opredeljivo dinamiko so rezultati naslednji:

- a)** razvita je programska oprema za zajemanje rezalnih sil in hrapavosti površine;
- b)** s hibridnim modeliranjem je določena korelacija med signali maksimalnih rezalnih sil in hrapavostjo obdelane površine
- c)** izdelan je celovit postopek modeliranja procesa odrezavanja, ki je nato uporabljen pri izdelavi simulatorja CNC frezanja
- d)** s hibridnim modeliranjem procesa, PSO optimizacijo ter nevronske krmilne shemo je izgrajen kombiniran sistem za posredno optimiranje in adaptivno nastavljanje rezalnih parametrov
- e)** zasnovana je nevronska krmilna shema;
- f)** izdelana je PSO evolucijska strategije za dinamično optimiranje rezalnih parametrov
- g)** izdelan je hibridni ANfis model za izbiro frezal in napovedovanje priporočenih rezalnih parametrov. Razviti sistem vodenja je bil testiran v vodilni slovenski orodjarni.

3) Razvoj inteligentnih preoblikovalnih metod in postopkov

- a) izvedena je bila raziskava **preoblikovalnih lastnosti visoko trdnostnih pločevin** (v vročem in hladnem), določanje tehnoloških parametrov procesa in konstrukcije preoblikovalnih orodij
- b) pri preoblikovanju v hladnem so bile izvedene raziskave za napovedovanje torzijskega elastičnega izravnaveja pri globokem vleku (izdelan model za preizkušanje in ovrednotenje)
- c) za upogibanje pločevin s povišano trdnostjo s postopkom upogibanja v dveh stopnjah je bilo izdelano testno orodje, opravljeni preizkusi in analiza rezultatov
- d) razvit je bil inteligentni sistem za napovedovanje tehnoloških parametrov. Izdelan je sistematičen zbir rezultatov preizkusov
- e) izvedene so bile tudi raziskave za določanja optimalnih materialov za aktivne dele izsekovalnih orodij

4) Razvoj slojevitih tehnologij

- a) Razvili smo metodo za **ugotavljanje hitrosti in natančnosti** naprav za dodajalno izdelavo (3D tiskalniki). Natančnost in hitrost nista odvisni samo od tehnoloških parametrov, pač pa predvsem od geometrijskih značilnosti izdelka
- b) Na njeni osnovi smo razvili metodo za določanje skrčkov in zamikov laserskega žarka pri izdelavi izdelkov z laserskim sintranjem. Obe ugotovitvi predstavljata novost na področju dodajalnih tehnologij
- c) Rezultati raziskave so pokazali, da lahko z uporabo **prostorskih struktur** izničimo, značilno tehnološko anizotropijo dodajalnih tehnologij, pri čemer morajo premeri nosilcev prostorske strukture znašati med 3 do 8 kratnikom premera laserskega žarka, ki ga uporabimo za njihovo izdelavo
- d) Na **medicinskem področju** smo razvili tri nove operativne pristope na ortopedskem področju. Proučili smo endoprotetične operacije v območju kolena, kolka in ramena ter razvili poseben medicinski pripomoček, narejen po meri pacienta. Za območje hrbtenice smo razvili posebna vodila za vstavljanje pedikularnih vijakov. Vsi pripomočki so bili klinično preizkušeni.

5) Vodenje inteligentnih robotskih obdelovalnih sistemov

Na področju implementacije robotov v proizvodno okolje so bile raziskave usmerjene v iskanje primernega parametra za vrednotenje sposobnost robota ali skupine robotov za opravljanje predpisanih tehnoloških nalog. Kot najbolj obetaven se je izkazal parameter, ki preko instalirane moči izračuna gibljivost. Parameter je dimenzijsko invarianten in fizikalno konsistenten glede na različne fizikalne enote za merjenje premih in kotnih hitrosti, saj omogoča upoštevanje vseh prostostnih stopenj mehanizma, kar v primeru uporabe indeksa gibljivosti po Yoshikawi ni mogoče.

6) Razvoj napredne, energetske varčne in okolju prijazne fluidne tehnike

Rezultati raziskav s tega področja so vpeti v svetovne tokove raziskav, na kar kažejo številne objave v uglednih mednarodnih revijah z visokim faktorjem vpliva in citati. Poseben pomen za znanost predstavljajo raziskave vezane na poznavanje mehanizmov spreminjanja stanja različnih vrst hidravličnih tekočin in njihovih medsebojnih vplivov. Se zlasti pomembno je iskanje novih hidravličnih tekočin s posebnimi fizikalno kemijskimi lastnostmi, ki odpravljajo probleme, vezane na danes uporabljane tekočine. Rezultati raziskovalnega dela na tem področju so:

- a) razvoj daljinskega online nadzor stanja hidravličnih tekočin;
- b) uvajanje novih hidravličnih tekočin;
- c) razvoj sodobnih konceptov zajemanja in ovrednotenja signalov;
- d) razvoj energetske varčnih komponent in sistemov.

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

SLO

Program je bil v celoti realiziran, kot sledi (na nekaterih podpodročjih so bili cilji tudi preseženi):
Razvoj novih inteligentnih metod na področju proizvodnega strojništva implementacija rezultatov v industrijo (cilj: inovativen dvig tehnološkega nivoja SLO podjetij v EU) s predavanji na partnerskih ustanovah v tujini (cilj znanstveno in strokovno sodelovanje z

mednarodnimi inštitucijami) in vključevanje raziskovalnih dosežkov v dodiplomske in podiplomske študijske programe.

Podrobnejše je stopnja realizacije navedena, kot sledi:

1) Realizacija je bila odlična. Razvili, preizkusili in vpeljali smo nove postopke za modeliranje in optimiranje tehnoloških sistemov, kot s o n p r . večkriterijska optimizacija tehnoloških sistemov, izvirni algoritem za nedominirano sortiranje in gravitacijski iskalni algoritem. Največji del omenjenih rezultatov smo potrdili tudi v industrijski praksi (EMO Orodjarna in Store Steel).

2) Najpomembnejših realizirani cilji: optimizacija hidravličnih komponent stiskalnice, inteligenten adaptiven sistem vodenja VH frezanja, modeliranje odrezovalnih postopkov, implementacijo inteligentnega sistema za korekcijo rezalnih parametrov v industrijo

3) Na tem področju posebej izstopa raziskava torzijskega elastičnega izravnavevanja pri preoblikovanju visokotrdnostne pločevine. Rezultati raziskav so bili potrjeni s praktičnimi preizkusi.

Postopek upogibanja v dveh stopnjah je bil raziskan do te mere, da je primeren za uporabo v praksi, postavljena je bila tudi metodologija za določanje tehnoloških parametrov za različne materiale in geometrije.

4) Vsi zastavljeni cilji so bili realizirani. Osnovne postavljene hipoteze, ki predstavljajo pomemben prispevek znanosti so bile potrjene; Na natančnost in hitrost dodatne izdelave pomembno vpliva geometrijska zapletenost izdelka.

Uporaba pacientu prilagojenih vodil pomembno poveča zanesljivost operativnega posega in s tem podaljša uporabno dobo vstavljene proteze.

5) Izvedena je bila analiza gibljivosti industrijskega robota v delovnem prostoru in pripravljeno grafično orodje za vrednotenje posameznih položajev robota ter iskanje najprimernejšega podprostora za izvajanje tehnoloških operacij. Za Litostroj Ravne je bil zgrajen virtualni model servo gnane stiskalnice. Izvedena je bila simulacija, katere rezultati omogočajo izbiro pogonske verige, močnostne in krmilne opreme in dimenzioniranje nosilnih elementov stiskalnice.

6) Začrtane aktivnosti na področjih snovanja energetsko učinkovitejših, cenovno ugodnih in robustnih ter daljinsko nadzorovanih elektrohidravličnih pogonskih sistemov z vgrajeno online nadzorovalno funkcijo, ki omogočajo povečanje zanesljivosti delovanja ter nižje stroške vzdrževanja pogona, in nadzora stanja pogona in njegovih komponent, so bile v celoti realizirane. Dodatne raziskave lastnosti ionskih tekočin primernih za uporabo v hidravličnih sistemih, pa predstavlja presežek načrtovanih aktivnosti.

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

SLO

Sprememb ni bilo.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	16252694	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Programiranje CNC rezkalnih strojev z uporabo optimizacije z rojem delcev ANG Programming of CNC milling machines using particle swarm optimization	
	Opis	SLO V raziskavi je bil zasnovan in izveden sistem za avtomatsko programiranje CNC rezkalnih strojev z uporabo optimizacije z rojem delcev (PSO). V raziskavi je vsak individualni delec v roju predstavljal možen NC program. Uporabili smo predstavitev obdelovalnega prostora s pomočjo vokslov in Bresenhamov algoritem rasterizacije obdelovalnih rezov. Optimizacija s PSO je bila izvedena na obdelovalnem področju, ki je bilo vokselizirano. Razviti sistem samodejno najde NC program z optimalno obdelovalno strategijo, ki zajema optimalno izbiro orodja, najkrajšo pot delovnih in hitrih gibov in minimizacijo izdelovalnega časa. Na ta način se zmanjšajo	

			izdelovalni stroški in poveča produktivnost. Za potrditev rezultatov smo uporabili testne obdelovance in 2.5D rezkalne strategije. Predlagan inteligentni sistem je univerzalen in ga lahko prilagodimo tudi za ostale CNCstroje.
		ANG	This paper proposes a system for the automatic programming of a CNC milling machine by particle swarm optimization (PSO). In the presented research, each individual swarm particle presents a possible NC programme. Voxel representation of machining area was used. Bresenham's algorithm was implemented, for the rasterisation of the cuts. Optimisation with PSO was carried out within avoxelised machining area. The system automatically finds the NC programme for optimal machining. The NC programme guarantees an optimal selection of tools, the shortest possible work and rapid motions, and minimisation of the manufacturing time. Thus, achieving a reduction in machining costs and increased productivity. Testing using test work-pieces and 2.5 D milling confirmed the efficiency of the proposed approach. The proposed intelligent system is easily adaptable for programming other types of CNC machines, by PSO.
	Objavljeno v		Marcel Dekker; Materials and manufacturing processes; 2013; Vol. 28, iss. 7; str. 811-815; Impact Factor: 1.486; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.326; WoS: IK, PM; Avtorji / Authors: Klančnik Simon, Brezočnik Miran, Balič Jože, Karabegović Isak
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	2.	COBISS ID	17680662 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Modeliranje postopka struženja z gravitacijskim iskalnim algoritmom
		ANG	Modelling of a Turning Process Using the Gravitational Search Algorithm
	Opis	SLO	V članku je opisano modeliranje postopka struženja z gravitacijskim iskalnim algoritmom (GSA). GSA je optimizacijski algoritem, ki temelji na Newtonovem univerzalnem gravitacijskem zakonu in interakciji masnih delcev pod vplivom gravitacije. Da bi lahko zadovoljivo opisali proces struženja, smo izbrali tri vhodne spremenljivke: obdelovalno hitrost, podajanje in globino reza. Vhodne spremenljivke vplivajo na tri odvisne izhodne spremenljivke, ki so v našem primeru bile glavna rezalna sila, hrapavost površine in življenjska doba orodja. Vrednosti neodvisnih in odvisnih spremenljivk, ki smo jih dobili z meritvami, smo uporabili za bazo znanja za optimizacijo z metodo GSA. V raziskavi smo GSA uporabili za optimizacijo številčnih koeficientov predhodno določenih polinomskih modelov, ki opisujejo proučevane izhodne spremenljivke. Natančnost dobljenih modelov za napovedovanje smo dokazali s pomočjo testnih vrednosti spremenljivk, ki niso bile vključene v fazo učenja. Dokazali smo, da so dobljeni rezultati primerljivi z rezultati, ki jih dobimo z drugimi optimizacijskimi postopki, npr. s postopkom optimizacije z rojem delcev (PSO), vendar pa je bil čas optimizacije z metodo GSA v nekaterih primerih občutno krajši.
		ANG	This paper proposes the modelling of a turning process using a gravitational search algorithm (GSA). GSA is an optimization algorithm based on Newton's law of universal gravitation and mass interactions. In order to sufficiently describe the turning process, at least three independent variables are required: cutting speed, feed-rate, and cutting depth. Independent variables have impacts on dependent variables, which were in our case cutting force, surface roughness, and tool-life. The values of independent and dependent variables obtained by measurements serve as a knowledge database for feeding the GSA optimization process. During our research the GSA was used for optimizing the numerical coefficients of predefined polynomial models for describing the observed output variables. The accuracies of the obtained prediction models were proved by means of a testing data set that was excluded from the training data. The research

			showed that the obtained results were comparable with the other optimization algorithms such as particle swarm optimization (PSO). However, the optimization time required for GSA optimization was, in certain cases, significantly shorter.
	Objavljeno v		DAAAM International Vienna; International journal of simulation modelling; 2014; Vol. 13, iss. 1; str. 30-41; Impact Factor: 2.125; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.345; A': 1; WoS: IJ, IK; Avtorji / Authors: Hrelja Marko, Klančnik Simon, Balič Jože, Brezočnik Miran
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	14723350	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba umetne inteligence pri modeliranju in adaptivni regulaciji sil pri frezanju
		ANG	Modeling and adaptive force control of milling by using artificial techniques
	Opis	SLO	V prispevku je prikazana uporaba združevanja metod nevronske mreže, mehke logike in PSO evolucijske strategije pri modeliranju in adaptivnem vodenju procesa oblikovnega frezanja. S hibridnim modeliranjem procesa, offline optimizacijo ter usmerjeno nevronske krmilne sheme (UNKS) je izgrajen kombiniran sistem za posredno optimiranje in adaptivno nastavljanje rezalnih parametrov. To je adaptivni sistem vodenja, ki z digitalno adaptacijo rezalnih parametrov nadzoruje rezalno silo in ohranja konstantno hrapavost obdelane površine med frezanjem. Na ta način kompenzira vse motnje procesa odrezavanja: obrabo orodja, nehomogenost obdelovanega materiala, vibracije, drdranje itd. Osnovni princip vodenja je izveden s krmilno shemo (UNKS), ki jo sestavljata dva nevronska identifikatorja dinamike procesa in primarni regulator. Simulator CNC frezanja testira stabilnost sistema in uglaši parametre krmilne sheme. Izdelan je celovit postopek hibridnega modeliranja procesa odrezavanja, ki ga uporabimo pri izdelavi simulatorja CNC frezanja. Eksperimentalni rezultati potrjujejo, da je sistem frezanja z zasnovanim krmiljem robusten in stabilen. Učinkovitost frezanja s predlaganim sistemom vodenja je za 27% večja, kot pri tradicionalnem sistemu CNC frezanja.
		ANG	The contribution discusses the use of combining the methods of neural networks, fuzzy logic and PSO evolutionary strategy in modeling and adaptively controlling the process of ball-end milling. On the basis of the hybrid process modeling, off-line optimization and feed-forward neural control scheme (UNKS) the combined system for off-line optimization and adaptive adjustment of cutting parameters is built. This is an adaptive control system controlling the cutting force and maintaining constant roughness of the surface being milled by digital adaptation of cutting parameters. In this way it compensates all disturbances during the cutting process: tool wear, non-homogeneity of the workpiece material, vibrations, chatter, etc. The basic control principle is based on the control scheme (UNKS) consisting of two neural identifiers of the process dynamics and primary regulator. An overall procedure of hybrid modeling of cutting process used for creating the CNC milling simulator has been prepared. The experimental results show that not only does the milling system with the design controller have high robustness, and global stability, but also the machining efficiency of the milling system with the adaptive controller is 27% higher than for traditional CNC milling system.
	Objavljeno v		Kluwer Academic Publishers; Journal of intelligent manufacturing; 2012; Vol. 23, no. 5; str. 1805-1815; Impact Factor: 1.278; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.159; WoS: EP, IK; Avtorji / Authors: Župerl Uroš, Čuš Franc, Reibenschuh Marko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

4.	COBISS ID		17247766	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Razvoj kombiniranega sistema posrednega optimiranja in adaptivnega vodenja visokohitrostnega frezanja s težko opredeljivo dinamiko	
		ANG	Development of the combined system for offline optimization and adaptive control of high speed milling with difficult dynamics.	
	Opis	SLO	Predstavljen je izjemni znanstveni dosežek programske skupine v letu 2012. Za izjemni znanstveni dosežek je izbran razvoj mehatronskega sistema posrednega optimiranja in adaptivnega vodenja visokohitrostnega frezanja. Rešitev problema izdelave transfernih orodij v orodjarnah je v uporabi inteligentnega sistema za korekcijo rezalnih parametrov.	
		ANG	Predstavljen je izjemni znanstveni dosežek programske skupine v letu 2012. Za izjemni znanstveni dosežek je izbran razvoj mehatronskega sistema posrednega optimiranja in adaptivnega vodenja visokohitrostnega frezanja. Rešitev problema izdelave transfernih orodij v orodjarnah je v uporabi inteligentnega sistema za korekcijo rezalnih parametrov.	
	Objavljeno v		Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije ARRS; Izjemni znanstveni dosežki 2012; 2013; Str. [35]; Avtorji / Authors: Župerl Uroš, Čuš Franc	
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID		75503873	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Funkcionalni razvoj izdelkov : napredna orodja in koncepti	
		ANG	Functional products development : advanced tools and concepts	
	Opis	SLO	V znanstveni monografiji avtorji poglobljeno obravnavajo področje proizvodnih sistemov in tehnologij v povezavi s področjem tekstilnih tehnologij, podrobneje področjem osebne zaščitne opreme. Predstavljena so izhodišča združevanja obeh področij, ki sta potrebni vzajemnega sodelovanja za razvoj funkcionalnih izdelkov za varovanje zdravja in zaščito ljudi. Izpostavljen je pomen prepletanja znanstvenih vsebin obeh področij za nadaljnje raziskovalne smernice in krepitev razvojnih strategij. Okoliščine, ki so privedle do prepletanja obeh znanstvenih ved segajo v področje osebne zaščitne opreme, podrobneje v razvoj merilnih in testnih orodij za njihovo načrtovanje. Na področju razvoja in optimizacije osebne zaščitne opreme avtorji raziskujejo že več let, nekateri modeli razvoja pa so rezultat večletnega dela na znanstveno raziskovalnem in razvojnem področju. Monografija zajema opis dejavnikov in parametrov, ki vplivajo na razvoj in načrtovanje osebne zaščitne opreme. Z vidika razvoja novega merilnega in testnega orodja, tj. razvoja toplotnega manikina pa obravnava opis metod inteligentne izdelave tega merilnega orodja. Monografija obsega 9 poglavij na 100 straneh.	
		ANG	The most important purpose of this book is to incorporate diverse tools and principles within the development stages of functional products. The book was prepared with the aim of providing researchers from different fields with the basic principles and essential knowledge related to protection under lifethreatening conditions by means of textile and clothing engineering and production technologies. Another purpose of this book is to stress the importance of attaining knowledge from different research areas or work fields. For example, the optimal protective clothing ensemble is an important factor for protection and for survival, both in terms of the time required for a successful outcome. Instead of testing each clothing ensemble on human subjects under various conditions, it is preferable to use a thermal manikin for testing and to carry out the simulations using existing numerical models. On the other hand, researchers are always challenged by the developments of appropriate testing and modelling tools. As a basis, we hope that	

		readers will be encouraged enough to evaluate, develop, and where necessary critique the functional products, no matter whether they were made according to the prescribed standards or not. When considering this, it is obvious that knowledge of this interdisciplinary field will increase, will stay connected, and only such a connection can result in the best functional products.
Objavljeno v	DAAAM International; 2014; II, 131 str.; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Zavec Pavlinič Daniela, Balič Jože, Ficko Mirko, Katalinić Branko	
Tipologija	2.01 Znanstvena monografija	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	2789115	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Optimizacija razmestitve strojev v valjarni z genetskimi algoritmi
		ANG	Genetic algorithm rolling mill layout optimization
	Opis	SLO	Štore Steel d.o.o. je fleksibilna mini jeklarna, specializirana za dobavo jekel v manjših serijah. Pred dvema letoma je bil izveden zagon nove konti proge s tehnično letno kapaciteto 250.000 ton. Nova konti valjarska proga, poleg povišane produktivnosti, omogoča bistveno višji nivo kakovosti valjancev, obenem pa s sodobnejšo avtomatizacijo tudi bistveno višji nivo zbiranja in prenosa informacij o izvršeni proizvodnji. Cilj raziskave je bil doseči optimalno razporeditev strojne opreme v obratu adjustaže in posledično transportnih poti glede na obstoječ proizvodni program. Za reševanje problema razvrščanja strojev je bila uporabljena ena izmed metod umetne inteligence, in sicer genetski algoritem. Pri raziskavi se nismo omejili na nobene prostorske omejitve. Dosegli smo optimalno razmestitev strojev, ki je bila od predhodne boljša za 58.1 %, vendar zaradi prostorskih, finančnih in praktičnih omejitev, smo na koncu izvedli razmestitev, ki je bila – glede na prejšnjo postavitev – učinkovitejša za 13.6 %.
		ANG	Štore Steel Ltd. is a small flexible steel plant in Slovenia. In 2010, the new continuous rolling mill, which has a technical capacity of 250,000 tons per year, was installed. The new continuous rolling mill, which entailed a corresponding reduction in space, required an urgent relocation of machinery. The genetic algorithm was used for the optimal rearranging of the machinery. Twodimensional or threedimensional representation of the machines without any kind of geometrical restrictions can be used in the proposed genetic algorithm. The layout efficiency after machinery relocation could be increased by 58.1%, but due to spatial, financial, and practical constraints, the layout efficiency is only 13.6 % higher.
	Šifra	F.04 Dvig tehnološke ravni	
	Objavljeno v	Marcel Dekker; Materials and manufacturing processes; 2013; Vol. 28, no. 7; str. 783-787; Impact Factor: 1.486; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.326; WoS: IK, PM; Avtorji / Authors: Kovačič Miha, Rožej Urban, Brezočnik Miran	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	15802390	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Programska oprema za samodejno programiranje CNC-rezkalnega stroja s pomočjo NSGA-II večkriterijske optimizacije in zvezne simulacije obdelave
			Program system for automatic programming of CNCmilling machine by

		ANG	NSGAII multiobjective optimization and continuous simulation of machining
	Opis	SLO	Programska oprema je namenjena samodejnemu programiranju CNC-rezkalnega stroja s pomočjo umetne inteligence. Razvita inteligenca je sposobna ne le delno, ampak v celoti reševati kompleksen problem samodejne priprave NC-programa obdelave. Sistem na podlagi CAD-modela izdelka samodejno, brez pomoči strokovnjaka, pripravi NC-program obdelave, in sicer tako, da je obdelava varna, pravilna, časovno učinkovita in hkrati zadosti določenim tehnološkim zahtevam obdelave. Inteligentni CAD/CAM-sistem za svoje delovanje uporablja NSGA-II večkriterijsko optimizacijo. Za namen evalviranja rešitev, ki jih predlaga umetna inteligenca, smo razvili zvezen model za simulacijo obdelave, ki deluje v okolju za računalniško podprto konstruiranje SolidWorks. Programska oprema je bila izdelana v okviru priprave doktorske disertacije: Simon Klančnik, Model inteligentnega CAD/CAM sistema za programiranje CNC obdelovalnih strojev, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.
		ANG	The software is designed for innovative automatic programming of the CNCmilling machine tool. Based on a CADmodel of the product, the software without any help of an expert, automatically prepares a NCprogram so that the machining is safe, accurate, time efficient and it fulfil the selected technological criteria. Advanced NSGAII multiobjective optimization is used. The system for evaluation of solutions uses a continuous simulation model which was implemented in the SolidWorks, however it is easily transferable to other CAD/CAM software tools
	Šifra		F.13 Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov
	Objavljeno v		Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za inteligentne obdelovalne sisteme; 2011; Avtorji / Authors: Klančnik Simon, Balič Jože, Brezočnik Miran
	Tipologija		2.21 Programska oprema
3.	COBISS ID	16105494	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Posredno optimiranje podajanja in nevronskega regulatorja rezalnih sil pri frezanju; Adaptivni nadzor obremenitve pri oblikovnem frezanju s pomočjo mehke logike;
		ANG	Off-line feedrate optimization and neural force control of milling process (12)
	Opis	SLO	Namen predavanj je seznaniti partnersko raziskovalno institucijo v Srbiji in potencialne partnerske orodjarne o delnih rezultatih naših raziskav na prijavljenem projektu. Glavni namen predavanj je bil predstaviti partnerjem razvit sistem nadzora orodja, ki je sposoben v realnem času identificirati obrabo oziroma poškodbe rezalnega orodja in ustrezno korigirati nadaljnji proces obdelave. To mu omogoča inovativna zgradba, ki se sestoji iz kombinacije sistema odločanja in sistema napovedovanja obrabe orodja. Glavna predpostavka raziskave je, da signali izmerjenih rezalnih sil vsebujejo največ uporabnih informacij o stanju orodja. Zato je uporabljena adaptivna nevronska inferenčna metoda, ki iz signalov izmerjenih rezalnih sil izlušči pomembne značilnosti o stanju orodja. V sistemu za spremljanje rezalnega orodja je uporabljena nevronska mreža in mehka logika kot sistem odločanja, ki identificira različne p oškodbe orodja na osnovi senzorskih meritev. Skupna napaka obdelave se z veliko natančnostjo napove in veliki meri eliminira z uporabo modula odklona frezala. Glavna omejitev raziskave je izdelati enosenzorski nadzorni sistem, ki je zanesljiv kot komercialni sistem, vendar mnogo cenejši, kot so večsenzorski sistemi.
			The goal of these lectures was to acquaint our partners' research institution and potential tool work shops in Serbia with partial research

		ANG	results on this project. The main purpose of this lecture was to present partners the developed monitoring system that can detect tool breakage in real time by using a combination of decision system and tool wear estimator. The principal presumption was that force signals contain the most useful information for determining the tool condition. Therefore the adaptive neural inference method is used to extract the features of tool states from cutting force signals. A neural network is used in tool condition monitoring as a decision making system to discriminate different malfunction states from measured signals. The overall machining error is predicted with very high accuracy by using the deflection module and a large percentage of it is eliminated through the proposed error compensation process. The fundamental limitation of research was to develop a singlesensor monitoring system, reliable as commercially available system, but much cheaper than multisensor approach.
	Šifra	B.05	Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
	Objavljeno v	2012; Avtorji / Authors: Župerl Uroš	
	Tipologija	3.14 Predavanje na tuji univerzi	
4.	COBISS ID	16095254	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Implementacija Condition monitoring – CM enote za online nadzor hidravličnega mineralnega olja v podjetju IMPOL
		ANG	Operation and accuracy of particle counters for on-line condition monitoring of hydraulic oils
	Opis	SLO	Za namene spremljanja stanja hidravličnega mineralnega olja, je bila v vodilnih slovenskih podjetjih implementirana online CM enota za spremljanje najpomembnejših fizikalno kemijskih lastnosti mineralnih olj in težko vnetljive hidravlične tekočine– viskoznosti, dielektrične konstante, prevodnosti, vlage v olju, ki sproti podajajo informacije o stanju olja in njegovih spremembah. V podjetju IMPOL je bila CM enota implementirana v krmilje in nadzorni sistem Alekstrudorja, namenjenega izdelavi najzahtevnejših izdelkov primernih za avtomobilsko industrijo in ostale branže.
		ANG	Real-time monitoring of oil contamination in hydraulic system is one of the most effective measures of prevention and early diagnosis for system failures. Contaminants such as particles, moisture, soot, fuel, and process fluids are commonly found in industrial lubricants and hydraulic fluids. However, particle contamination is typically recognized as the most destructive to the oil and machine. Paper presents operation principle of today's on-line particle counters and reports about their accuracy levels. Report is based on experimental research where 4 different cost-effective on-line particle counters were compared to a sophisticated laboratory-based particle counter.
	Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
	Objavljeno v	Croatian Association for PLM; Conference proceedings; 2012; [7] str.; Avtorji / Authors: Tič Vito, Lovrec Darko, Edler Jörg	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
5.	COBISS ID	13066518	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Evropsko univerzitetno združenje (EUA)
		ANG	European University Association (EUA) and institutional evaluation programme
	Opis	SLO	V okviru združenja je bil prezentiran sistem institucionalne evalvacije univerzitetnih programov na primeru Fakultete za strojništvo, Maribor
			In the frame of European University Association the paper was

	ANG	presented about institutional evaluation case study Faculty of Mechanical Engineering, Maribor.
Šifra	D.03	Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih
Objavljeno v	2009; Avtorji / Authors: Balič Jože	
Tipologija	3.14	Predavanje na tuji univerzi

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine²

Med druge pomembne dosežke štejemo:

- Razširitev raziskav spremljanja stanja hidravličnih tekočin še na področje turbinskih olj, tako na tistih na mineralni kot tistih na sintetični bazi, kjer so rezultati raziskav aplicirani na hidravličnih napravah hidroelektrarn Dravske verige in švicarskega proizvajalca bio-maziv,
- Zasnovno lastnega testa za testiranje vzdržljivosti maziv na mineralni in sintetični osnovi – t.i. LaOH suhi termični test vzdržljivosti (LaOH – Laboratorij za oljno hidravliko,
- Pionirske raziskave primernosti uporabe ionskih maziv, ne samo kot tehnična maziva, temveč kot hidravlična tekočina. Te raziskave so potekale v okviru mednarodnega projekta H.O.P.E (sodelujoči partnerji iz Avstrije, Nemčije in Slovenije).
- Projektiranje in načrtovanje izdelave preoblikovalnega stroja za tehnologijo obdelave koncev tankostenskih cevi za stavbno kleparstvo.
- Pomemben rezultat je integracija raziskovalnih dosežkov v pedagoški proces in seznanjanje študentov o aktualnih raziskavah. V raziskave programske skupine je bil vključen doktorski kandidat, ki je v letu 2013 zagovarjal disertacijo.
- Pri raziskavah pridobljeno znanje in izkušnje smo uporabili pri konkretnih industrijskih projektih testiranja mehatronskih sistemov, orodij in obdelovalnosti materialov v Emo orodjarni d.o.o.
- Dva člana programske skupine sta na svetovni lestvici objav s področja evolucijskih metod na 27 oziroma na 136 mestu med več kot 8200 raziskovalci z vsega sveta.
- Katedra za proizvodno strojništvo izdaja mednarodno znanstveno revijo APEM (Advances in Production Engineering & Management), <http://apem-journal.org/>, ki je bila v letih 2013-2014 temeljito prenovljena. Uvrščena je v številne mednarodne bibliografske baze

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Iz doseženih rezultatov (rešitev) je razvidno, da so dosežki iz znanstvenega vidika zelo napredni, saj vključujejo razvoj in uporabo najsodobnejše tehnologije za proizvodnjo izdelkov (npr. dodajalne izdelovalne tehnologije, laserske tehnologije, napredne CNC-stroje in periferne naprave, inteligentne robotske celice, sodelujoče robote) in za nadzor kompleksnih obdelovalnih sistemov. Tem tehnologijam namenjajo veliko finančnih sredstev tudi najbolj uveljavljene mednarodne raziskovalne inštitucije in napredna podjetja.

Program naše raziskovalne skupine pa je bil tudi z metodološkega vidika znanstveno zelo napreden, saj je vključeval razvoj in uporabo naprednih metod za modeliranje in optimizacijo sistemov/procesov, predvsem s pristopi umetne inteligence, vključno z umetnimi nevronske mrežami (ANN), različnimi metodami evolucijskih algoritmov (genetsko programiranje - GP, genetski algoritmi - GA), inteligenco rojev (optimizacija z rojem delcev - PSO, optimizacij s kolonijo čebel - ABC, optimizacija s kolonijo mravelj - ACO, gravitacijski iskalni algoritem - GSA), mehko logiko, hibridnimi metodami ter tudi evolucijskimi metodami, ki omogočajo večkriterijsko optimizacijo (npr. NSGA-II algoritem). Del naših raziskav pa je bil tudi izrazito interdisciplinarno naravnano: npr. povezovanje dodajalnih tehnologij in medicine (razvoj biozdružljivih in ortopedskih vsadkov s pomočjo dodajalnih izdelovalnih tehnologij).

Naš znanstveni dosežek vidimo tudi v razvoju optično-elektronskega nadzornega sistema procesa frezanja, ki bo na podlagi vizualne kontrole procesa in meritev sil prilagajal rezalne

parametre med obdelavo. Glasovno upravljanje in inteligentni nadzor nad strojem bo omogočal optimiranje, alarmiranje in zaustavitev procesa pri nenormalnih razmerah delovanja. Z izdelavo simulatorja bo na izviren način dokazano, da je preko več-zančne kompenzacije rezalnih parametrov mogoče nadzirati kvaliteto površine, stanje orodja in zagotavljati optimalne odrezavanje. Simulator za testiranje algoritmov vodenja bo skupaj z razvito programsko opremo iz znanstvenega vidika aktualen, saj predstavlja najsodobnejšo tehnologijo pri razvoju avtonomnih obdelovalnih sistemov.

Rezultati raziskav s področja energetske varčne in okolju prijazne hidravlične pogonske tehnike so vpeti v svetovne tokove raziskav, na kar kažejo številne objave v uglednih mednarodnih revijah z visokim faktorjem vpliva in številnimi citati. Poseben pomen za znanost predstavljajo raziskave vezane na poznavanje mehanizmov spreminjanja stanja različnih vrst hidravličnih tekočin in njihovih medsebojnih vplivov. Še zlasti pomembno je iskanje novih hidravličnih tekočin s posebnimi fizikalno kemijskimi lastnostmi, ki odpravljajo probleme, vezane na danes uporabljane tekočine in s tem ostati v konici oz. ospredju razvoja na svojem raziskovalnem segmentu, v mednarodnem merilu.

ANG

The results (solutions) obtained during execution of our programme showed that they have high scientific meaning because they include development and the usage the state-of-the-art technologies for manufacturing of products (e.g., additive manufacturing technologies, laser technologies, advanced CNC-machines and peripheral devices, intelligent robotic cells, cooperative robots) and for the control of complex manufacturing systems. Also the more international established research institutions and the advanced enterprises devote a lot of financial means for development of such advanced technologies.

Our research programme was also oriented towards development and the usage of the state-of-the-art methodology for modelling and optimization of systems/processes mostly with some of the artificial intelligence approaches including artificial neural networks (ANN), different evolutionary algorithms (genetic programming - GP, genetic algorithms - GA), swarm intelligence (particle swarm optimization - PSO, artificial bee colony algorithm - ABC, ant colony optimization - ACO, gravitational search algorithm - GSA), fuzzy logic, hybrid methods, and approaches for multi-objective optimization (e.g., NSGA-II algorithm). A part of our research has a strong interdisciplinary character as it integrates advanced solutions in the fields of additive manufacturing technologies and the medical applications (e.g., development of biocompatible and orthopedic implants by the additive manufacturing technologies).

Our scientific achievement can be seen in the development of opto-electronic control system of the milling process, which will adapt cutting parameters during machining based on the visual process control and measurement of forces. Voice control and intelligent machine control will enable optimizing, alarming and stopping of the process in case of abnormal operating conditions. By making the simulator we will prove in an original way that it is possible with multi-loop compensation of cutting parameters monitoring the quality of machined surface, tool condition and ensuring optimal machining. Simulator for testing the control algorithms will be in conjunction with developed software important from a scientific perspective, since it represents the most advanced technology for the development of autonomous manufacturing systems.

The research results in the field of hydraulic power technology are a part of global research achievements, as evidenced by numerous publications in reputable international journals with high impact factor and number of citations. Of special importance are research activities related to understanding the ageing mechanisms of different types of hydraulic fluids and their interactions. Of particular importance is the search for new hydraulic fluids with specific physico-chemical properties that would eliminate the problems related to the fluids used today, and thus remain at the forefront of research and development in its research field,

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Dosežene rešitve imajo naslednji družbeni in ekonomski vpliv:

- Sodelujočim slovenskim podjetjem smo dvignili tehnološko raven, skrajšali čas od zasnove izdelka do plasiranja na trg, racionalizirali proizvodne stroške in zagotovili okoljsko prijazno proizvodnjo,
- Dvig tehnoloških temeljev slovenske družbe in izboljšanje življenjske ravni prebivalstva,
- Premik v postindustrijsko družbo, ki temelji na visokih tehnologijah in znanju (informacijska družba, družba znanja, itd.),
- Povečevanje prepoznavnosti in ugleda Slovenije z intenziviranjem mednarodnega znanstvenega in gospodarskega sodelovanja (programska skupina sodeluje z več kot petdesetimi vrhunskimi mednarodnimi univerzami, podjetji, inštituti in združenji),
- Intenziviranje pretoka kadrov in znanja prek številnih mednarodnih oblik sodelovanja (projekti, programi, mednarodna izmenjava znanstvenikov, učiteljev, študentov) in s tem zmanjšanje razkoraka med domačim znanjem in znanjem v gospodarsko najbolj razvitih državah,
- Udeležba na mednarodnih znanstvenih konferencah je okrepila mednarodno sodelovanje,
- Naša programska skupina je prirediteljica mednarodnih znanstvenih konferenc in delavnic s področja dodajalnih tehnologij: v Sloveniji smo tako gostili mednarodno priznane znanstvenike in na ta način pospešiti razširjanje znanja,
- Mednarodna znanstvena revija, ki jo izdajamo četrletno, povečuje ugled fakultete, univerze in države.

ANG

The solutions achieved have the following social and economic impact:

- Increase of the technological level of the collaborative Slovenian companies, shortening of the time-to-market, rationalization of production costs, and achievement of the environment-friendly production were reached,
- Increase of the technological level of the Slovenian society and the improvement of the life quality index,
- Shift towards post-industrial society based on high technologies and knowledge (information society, society of knowledge, etc.),
- Increase of recognition and reputation of Slovenia in the world through the international scientific and economic collaboration (our programme group collaborate with more than 50 top-ranked international universities, companies, institutes and associations),
- International exchange of researches, lectures, and students through various projects and programmes decreased the gap between the domestic knowledge and the knowledge in the world's more developed countries,
- Participation on international scientific conferences and symposiums intensified international collaboration,
- Our programme group organized international scientific conferences and workshops in the field of additive manufacturing technologies; thus internationally-recognized researches visited Slovenia which intensified dissemination of knowledge,
- The international scientific journal published quarterly by our institution increases the reputation of the faculty, university and the state of Slovenia.

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	132
bolonjski program - II. stopnja	22
univerzitetni (stari) program	106

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
-------	----------------	------	-----	----	--

raziskovalca					
28416	Simon Brezovnik	☐	☒	☒	
32714	Zoran Lestan	☐	☒	☒	
33257	Marko Hrelja	☐	☒	☒	
36088	Vito Tič	☐	☒	☒	
30939	Marko Reibenschuh	☐	☒	☒	
0	Tadej Tašner 92129	☐	☒	☐	
32137	Jernej Šenveter	☐	☒	☒	
0	Afrim Gjelij	☐	☒	☐	
29571	Simon Klančnik	☐	☒	☒	
27555	Bogdan Valentan	☐	☒	☒	
24335	Boštjan Vaupotič	☐	☒	☒	
26248	Tomaž Brajlj	☐	☒	☐	
28960	Robert Rošer	☒	☐	☐	
32355	Aljoša Horvan	☒	☐	☐	
0	Botak Zlatko	☒	☐	☐	
0	Starič Andrej	☒	☐	☐	
23885	Boštjan Slapnik	☒	☐	☐	
0	Kamnik Matjaž	☒	☐	☐	
0	Zver Andrejka	☒	☐	☐	
0	Husak Ermin	☒	☐	☐	
28684	Miran Puc	☒	☐	☐	
31317	Peter Sever	☐	☒	☐	
0	Kristina Semi	☒	☐	☐	
0	Ermin Husak	☐	☒	☐	
32715	Mihael Deželak	☒	☐	☐	

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	
27555	Bogdan Valentan	☐	☒	E - Tujina	
29571	Simon Klančnik	☐	☒	A - raziskovalni zavodi	
24335	Boštjan Vaupotič	☐	☒	C - Gospodarstvo	
27829	Tomaž Kostanjevec	☐	☒	C - Gospodarstvo	
26248	Tomaž Brajlj	☐	☒	A - raziskovalni zavodi	
32137	Jernej Šenveter	☐	☒	F - Drugo	
36088	Vito Tič	☐	☒	C - Gospodarstvo	

28416	Simon Brezovnik	☐	☒	C - Gospodarstvo	
28960	Robert Rošer	☒	☐	C - Gospodarstvo	
32355	Aljoša Horvan	☒	☐	C - Gospodarstvo	
23885	Boštjan Slapnik	☒	☐	C - Gospodarstvo	
28684	Miran Puc	☒	☐	E - Tujina	
30939	Marko Reibenschuh	☐	☒	E - Tujina	
31317	Peter Sever	☐	☒	C - Gospodarstvo	
32714	Zoran Lestan	☐	☒	C - Gospodarstvo	
33257	Marko Hrelja	☐	☒	F - Drugo	
32715	Mihael Deželak	☐	☒	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 1.1.2009-31.12.2014

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
1163	Milan Kambič	B - uveljavljeni raziskovalec	30	
31317	Peter Sever	A - raziskovalec/strokovnjak	06	
0	Tašner Tadej	A - raziskovalec/strokovnjak	30	
0	Ermin Husak	A - raziskovalec/strokovnjak	01	
28665	Melita Jovan	A - raziskovalec/strokovnjak	10	
0	Mehmed Mahmić	B - uveljavljeni raziskovalec	3	
0	Afrim Jelaj	A - raziskovalec/strokovnjak	12	

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

Projekt: Magistrski študij in vseživljensko učenje na področju obvladovanja življenjskega cikla izdelka; Nosilec projekta: prof. dr. Franci Čuš.
Bilateralni projekt Slovenija Bosna in Hercegovina (BiBa/ 1213016), "Razvoj in uporaba sodobnih tehnologij in metod za izdelavo izdelkov", 20122013, nosilec projekta M. Brezočnik

Project: Networking and modelling of development skills of small and medium sized enterprises. Bilateralni projekt; Številka projekta: Slovenija – Hrvaška; BIHR/ 0910004; Duration of project: 20092010; Project manager: F. Čuš.
The project «CESLA Crossborder implementation of environmentally friendly ultralight vehicles in Slovenia and Austria» was intended to encourage the development of the market and the use of ultralight vehicles in the SlovenianAustrian border area (coordinator I. Drstvenšek).
Continuing professional development (CPD) accreditation good practice framework for EU employers of engineers and technicians: final report, Lifelong Learning programme, Leonardo da Vinci Transfer of Innovation, (Lifelong learning programme). [COBISS.SIID 16628246]; Lifelong Learning Programme, 20072013, No. LLP/Ldv/TOI/2010/IRL – 502, koordinator: Gotlih, K. at all.:
ReMOULD: Usposabljanje starejše populacije za delo z industrijskimi orodji; (Leonardo Transfer of Innovation) 20122014 University of Gent, koordinator za Slovenijo: J. Balič
Projekt
H.O.P.E. Razvoj ionskih tekočin; Partnerji: Hawe, Olma, Prionic, Univerza v Mariboru, coordinator D. Lovrec
Projekt SLOAR »Umetna inteligenca v inženjerskih sistemih« 20122014, nosilec projekta v SLO: Jože Balič

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

SLO

Projekt s podjetjem IMPOL: struženje aluminijastih palic različnih premerov in določevanje rezalnih pogojev, pri katerih se tvorijo najbolj ugodni odrezki; Nosilec: F. Čuš

Projekt s podjetjem EMO orodjarna d.o.o Celje: Analiza uvajanja visokohitrostnih obdelav za orodja večjih dimenzij; Nosilec: prof. F. Čuš
Poročilo o rezultatih raziskovalnega programa za obdobje 20092014 Poročilo: ARRSRPROGVP2014/

Projekt s podjetjem EMO orodjarna d.o.o Celje: Izdelava začetnih raziskav in načrta testiranj orodij za projekt Bsuper; F. Čuš

Projekt s podjetjem EMO orodjarna d.o.o Celje: Razvoj postopkov optimizacije modernih procesov odrezavanja za potrebe orodjarne EMO : Nosilec projekta: F. Čuš pogodbi št.: P101IKO19/ 2010JF.

Projekt: Analiza obremenitev izsekovalnih orodij za izdelavo rondelic iz aluminija; "Talum" Kidričevo: I. Pahole

Projekt: Razvoj in izdelava naprave za preizkušanje ostrine robov na otroških igračah Naročnik: Sveučilište u Zagrebu: I. Pahole

Projekt: Izdelava opreme za merjenje kinetične energije na otroških igračah Naročnik: Zavod za javno zdravstvo "Dr. Andrija Štampar", Hrvaška

Izdelava zasnove, strukturne in vsebinske dispozicije prototipne servo stiskalnice 6300kN. Pogodba št. 02/2012; Fakulteta za strojništvo in Litostroj Ravne;

Razvoj novih, namenskih aluminijastih polizdelkov za zahtevne aplikacije in napredne tehnologije njihovega ekstrudiranja – INOPROAL, Kaldera d.o.o.

Naslov industrijskega projekta: Razvoj in uporaba programske opreme za modeliranje in optimizacijo proizvodnega postopka nanašanja materiala s pomočjo laserja;

Podjetje: EMO Orodjarna

Določitev mejnih vrednosti uporabe mineralnega in biološko razgradljivega olja za obratovanje agregatov na DEM M CP : projekt DEM 20122013:
Laboratorij za oljno hidravliko,

Določitev mejnih vrednosti uporabe mineralnega in biološko razgradljivega olja za obratovanje agregatov na DEM : testiranje in analiziranje olja Mobil DTE Heavy Medium : projekt DEM 2012 : Laboratorij za oljno hidravliko,

Projekt InoProAl : končno poročilo za naročnika. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za oljno hidravliko, 2011

Raziskovanje, razvoj in testiranje šobe za ustvarjanje podtlaka v EKG elektrodi : poročilo projekta. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za oljno hidravliko,

15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov raziskovalnega programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)¹²

SLO

Večina naših raziskovalnih rezultatov in dosežkov je bila vpeljana v industrijska okolja (v celoti ali pa delno), kar je razvidno tudi prek uspešnega sodelovanja z industrijskimi partnerji, npr. sodelovanje s podjetjem EMO Orodjarna v Celju (razvoj in optimizacija postopka laserskega nanašanja praškastega materiala na osnovi dodajalne izdelovalne tehnologije LENS), sodelovanje z železarno Štore v Štorah (optimizacija razporeditve strojne opreme v obratu Valjarna). Poleg tega pa so se nekateri člani naše raziskovalne skupine (mladi raziskovalci) zaposlili v nekaterih najboljših slovenskih podjetjih in podjetjih v Evropski zvezi (npr. v Gorenju, Velenju in v podjetju P & P Anlagentechnik GmbH, Brodingberg), kjer pridobljeno znanje s pridom uporabljajo. Ne glede na dejstvo, da naša raziskovalna skupina razvija napredne tehnološke in metodološke rešitve, je prenos tehnoloških rešitev in znanja iz univerze v industrijska okolja bil zelo visok in uspešen.

USTANOVLJEN SPINOFF

2009 je bilo v Podjetniškem inkubatorju Univerze v Mariboru, z namenom trženja storitvene dejavnosti razvoja izdelkov, aktivirano SPINOFF PODJETJE Ortotip (soustanovitelj Igor Drstvenšek, član programske skupine P20157). Podjetje je pridobilo zagonska sredstva podjetniškega sklada in je začelo s trženjem svojih uslug na slovenskem in tujih trgih.

Konkurenčna prednost razvitega sistema adaptivnega vodenja obdelovalnih sistemov je v njegovi modularni zgradbi in enostavni, stroškovno ugodni integraciji na obstoječe stroje. Tehnološka zrelost rezultatov programa za implementacijo v prakso je na tako visokem nivoju, da smo pričeli s fazo uvajanja kompletnega mehatronskega sistema na trg (modelirni sistem, merilni sistem, optimizacijski modul, komunikacijski modul, regulacijski sistem, nadzorni sistem). Ciljno usmerjen del trga vidimo prav v slovenskih orodjarnah, kjer bi z implementacijo razvitega sistema uspeli povečati učinkovitost obstoječih obdelovalnih strojev in s tem tudi njihovo dodano vrednost za 40%. Z vodilno slovensko orodjarno testiramo sistem vodenja visoko-hitrostnega frezanja v realnem proizvodnem procesu. Pričeli smo z finim uglaševanjem krmilnih komponent in testiranjem rezalnih orodij, ki so ključnega pomena pri uvajanju adaptivnih nadzornih sistemov.

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

☒ DA ☐ NE

podjetja	
potrebni finančni vložek	1.000.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	USTANOVLJEN SPIN OFF 2009 je bilo v Podjetniškem inkubatorju Univerze v Mariboru, z namenom trženja storitvene dejavnosti razvoja izdelkov, aktivirano SPINOFF PODJETJE Ortotip (soustanovitelj Igor Drstvenšek, član programske skupine P20157). Podjetje je pridobilo zagonska sredstva podjetniškega sklada in je začelo s trženjem svojih uslug na slovenskem in tujih trgih. NOVO podjetje: Izdelava pacientu prilagojenih šablon ima tržni potencial. Za realizacijo spinoff bi potrebovali delovne prostore cca 600 m2 (standardu ISO 13485) In 2009 a SPIN OFF COMPANY Ortotip has been activated in the Entrepreneurial Incubator of University of Maribor (cofounder Igor Drstvenšek, researcher in programme group P20157). It was aimed into sales of services in the field of new product development. NEW COMPANY: Production of patient specific guides has a great market potential. To realise a Spinoff company working places with area of 600 m2 would be needed and an investment of 1.000.000€

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Za izjemni znanstveni dosežek štejemo razviti optično-elektronski mehatronski sistem nadzora rezalnega orodja pri procesih frezanja. Izdelan nadzorni sistem v realnem času identificira obrabo oziroma poškodbe orodja in po potrebi korigira nadaljnji proces obdelave. To mu omogoča inovativna zgradba, ki se sestoji iz indirektna tehnike napovedovanja obrabe, vizualne identifikacije poškodb orodja in odločitvenega sistema. ANFIS metoda iz signalov izmerjenih rezalnih sil izlušči pomembne značilnosti o obrabi orodja. Podatki o obrabi se skupaj s signali elektro-optičnega vizualnega sistema posredujejo odločitvenemu istemu, ki generira ustrezne ukaze in jih posreduje CNC krmilju stroja.

S sistemom je dosežen cilj, to je izdelava eno-senzorskega nadzornega sistema, ki je zanesljiv in učinkovit kot so komercialni sistemi, vendar mnogo cenejši kot obstoječi več-senzorski pristopi

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Orodjarska industrija zahteva neprestane inovacije in rešitve z namenom zniževanja stroškov obdelave modernih gradientnih materialov, povečevanja produktivnosti in na osnovi tega naroča posodobitve obdelovalnih strojev, ki izpolnjujejo njihove zahteve. Z implementacijo optično-elektronskega nadzornega sistema v vodilno slovensko orodjarno smo v letu 2014 izpolnili zastavljene cilje iz gospodarstva ter tako na inovativni način pripomogli k dvigu tehnološkega nivoja slovenskega podjetja na evropskem tržišču. Z vključevanjem raziskovalnih dosežkov v podiplomske študijske programe smo poskrbeli za razvoj pedagoških vsebin in seznanjenost študentov z aktualnimi raziskavami v gospodarstvu.

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 papirni obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

Podpisi:

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

in

vodja raziskovalnega programa:

Univerza v Mariboru, Fakulteta za
strojništvo

Jože Balič

ŽIG

Kraj in datum:

Maribor

4.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/33

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](#)

¹¹ 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

BB-31-9A-5B-9F-40-A3-47-52-85-21-6B-AD-22-0C-42-BF-AA-82-C1

Priloga 1

TEHNIKA

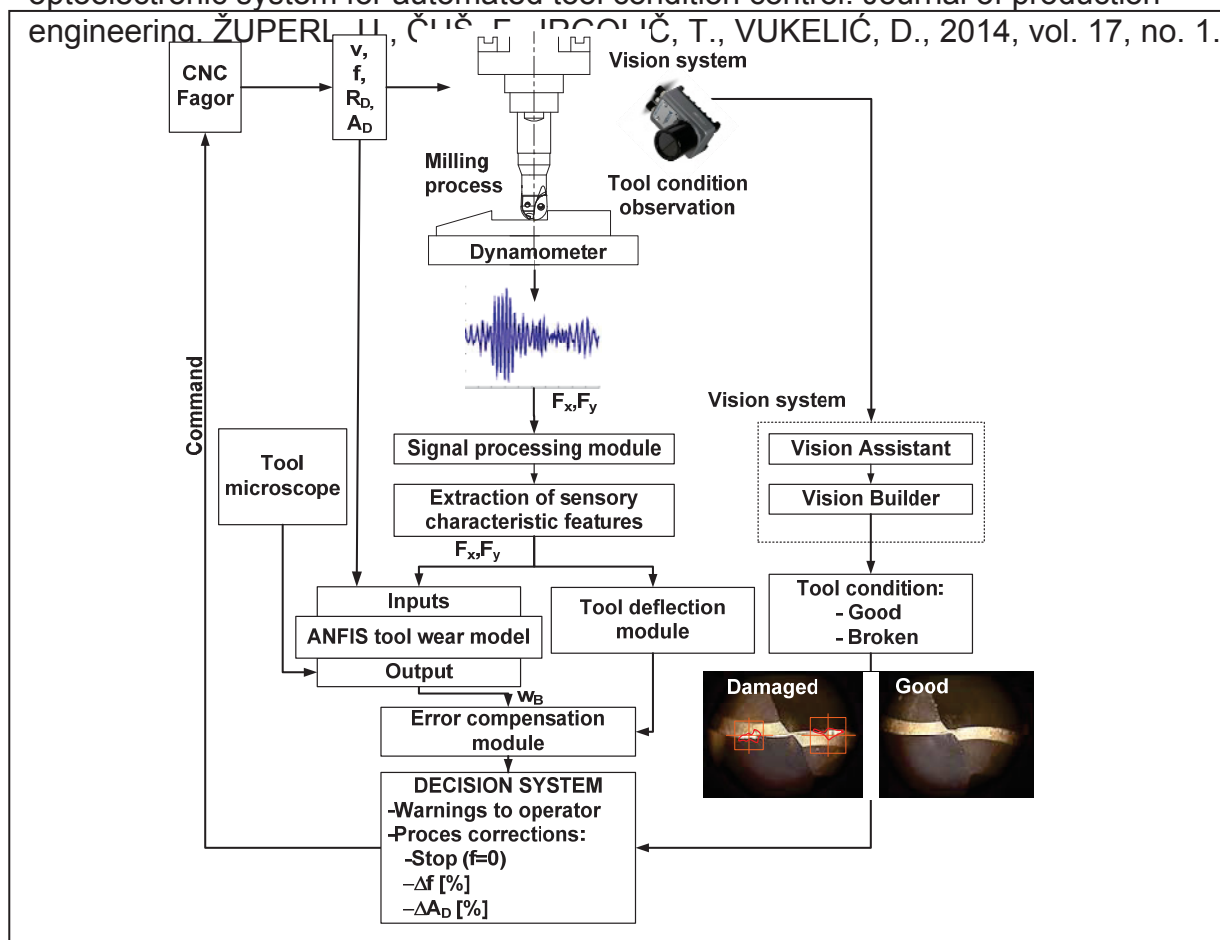
Področje: 2.10 – Proizvodne tehnologije in sistemi

IZJEMNI ZNANSTVENI DOSEŽEK

Dosežek 1: Optično-elektronski sistem nadzora rezalnega orodja pri

procesih frezanja. Vir:1. Indirect tool wear measuring technique combined with optoelectronic system for automated tool condition control. Journal of production

engineering. ŽUPERL II, ČIŠČIĆ, T., VUKELIĆ, D., 2014, vol. 17, no. 1.



Za izjemni znanstveni dosežek štejemo razviti optično-elektronski mehatronski sistem nadzora rezalnega orodja pri procesih frezanja. Izdelan nadzorni sistem v realnem času identificira obrabo oziroma poškodbe orodja in po potrebi korigira nadaljnji proces obdelave. To mu omogoča inovativna zgradba, ki se sestoji iz indirektna tehnika napovedovanja obrabe, vizualne identifikacije poškodb orodja in odločitvenega sistema. ANFIS metoda iz signalov izmerjenih rezalnih sil izlušči pomembne značilnosti o obrabi orodja. Podatki o obrabi se skupaj s signali elektro-optičnega vizualnega sistema posredujejo odločitvenemu sistemu, ki generira ustrezne ukaze in jih posreduje CNC krmilju stroja.

S sistemom je dosežen cilj, to je izdelava eno-senzorskega nadzornega sistema, ki je zanesljiv in učinkovit kot so komercialni sistemi, vendar mnogo cenejši kot obstoječi več-senzorski pristopi.