

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/53



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

## 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	L2-2110
<b>Naslov projekta</b>	Integrirani Diagnostični Sistem za Pogonske sklope
<b>Vodja projekta</b>	812 Jožef Vižintin
<b>Tip projekta</b>	L Aplikativni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	9300
<b>Cenovni razred</b>	B
<b>Trajanje projekta</b>	05.2009 - 04.2012
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	106 Institut "Jožef Stefan"
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.11 Konstruiranje 2.11.02 Specialna konstrukcijska znanja
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	2.03
<b>- Veda</b>	2 Tehniške in tehnološke vede
<b>- Področje</b>	2.03 Mehanika

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>2</sup>

SLO

Cilj projekta je bil raziskava koncepta in razvoj funkcionalno celovitega prototipa sistema za sprotni nadzor mehanskih pogonov. Motiv za projekt je v pomanjkanju platform, ki bi bile uporabne na širokem naboru industrijske opreme. Komercialne rešitve so v glavnem specializirane za konkretne sklope in so omejene zgolj na diagnostiko stanja (brez prognostike). Dodatna slabost je (a) visoka cena, (b) uporaba omejenega nabora diagnostičnih tehnik (največ analize vibracij ali

pa analize obrabnih delcev), ter (c) v nekaterih primerih ne zmorejo natančne lokalizacije poškodbe in ocene njenega obsega. Glavne funkcionalne zahteve projekta so bile razviti prototip, ki (i) ima sposobnost sprotnega zaznavanja in lokalizacije poškodb, (ii) lahko napoveduje preostalo življenjsko dobo pogona, (iii) je robusten na motnje in variabilne obratovalne režime, (iv) je enostaven za implementacijo in integracijo s procesnim informacijskim sistemom. V tem izrazito aplikativno naravnem projektu smo uspeli razviti vrsto modulov materialne in programske opreme, ki skupaj tvorijo integrirani diagnostični sistem. Razvili smo in preizkusili prvo verzijo platforme, ki omogoča brezžično komunikacijo s centralnim diagnostičnim in prognostičnim procesorjem. Platforma je odprla nepričakovane možnosti nadaljnega razvoja v smeri komercialnega prototipa. Po drugi strani smo raziskali in preizkusili nove algoritme za diagnostiko in prognostiko, ki predstavljajo prispevek k temu aktualnemu raziskovalnemu področju. Več vabljenih predavanj priča o pozoru, ki ga je delo pritegnilo s strani raziskovalne srenje.

ANG

The aim of the project was to research the concept and come up with the design of prototype of an integrated system for on-line condition monitoring of industrial drives. The project was motivated by lack of general-purpose platforms which could be applicable to a broad range of industrial asset. The available commercial solutions are still mainly tailored for the particular classes of drives and are usually limited to fault diagnosis (without prognosis). Some additional weaknesses extend to: (a) high prices, (b) utilization of a restricted set of diagnostic techniques (mainly analysis of vibrations or oil analysis) and (c) in some cases limited capability of fault localization. The main functional requirements of the project concern (i) the ability to timely detect, isolate and identify incipient faults, (ii) the ability to predict the residual life time of the drive, (iii) insensitivity to the variable operating conditions and external disturbances, (iv) easy implementation and integration with the process information system. The emphasis of the project was on applied research dedicated to a number of HW and SW modules which make integral part of the integrated diagnostic system. The first version of the platform allows for wireless communication with the central diagnostic and prognostic processor. The platform opened new unexpected opportunities for further research and development towards commercial prototypes. Part of the project activities were directed towards research and design of novel diagnostic and prognostic algorithms which contribute new ideas to this vibrant research area. Several invited talks were delivered by the members of the project staff, indicating interest that the underlying work attracted.

#### 4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>3</sup>

Ker je vsebina projekta izrazito multidisciplinarna, je bilo potrebno izvajanje opraviti v okviru večih delovnih sklopov.

**1. Analiza potreb.** V začetni fazi projekta smo se osredotočili na profiliranje funkcionalnih zahtev, analizo potreb in stanja v svetu ter konceptualno zasnovo bodočega sistema. V okviru tega dela se je pokazala izrazita potreba po dobro opremljenem preizkuševališču za testiranje in vrednotenje razvitih algoritmov. Za ta namen smo dogradili laboratorijsko preizkuševališče za simulacijo poškodb na pogonskih sistemih. Le-to smo dodatno opremili s senzorji za merjenje signalov vibracij, zvoka in kontaktnih temperatur na vseh ključnih mestih pogonskega sistema. Dogradili smo sistem za zbiranje podatkov, ki sproti računa značilke in skrbi za arhiviranje podatkov. Rezultate poskusov smo uredili v bazo, ki je služila kot benchmark za nadaljnje analize.

**2. Načrtovanje novih postopkov diagnostike in prognostike.** Obsežnejši del projekta se je nanašal na načrtovanje novih postopkov za diagnostiko in prognostiko. Dela so potekala na naslednjih podsklopih:

(i) Razvoj novih modulov za spremljanje triboloških parametrov olja, saj le-ti znatno vplivajo na proces diagnostike in prognostike, zlasti v primeru zobniških prenosnikov.

(ii) Raziskava novih možnosti za zaznavanje montažnih napak na podlagi analize vibracij. Gre za pomembne praktične probleme, do katerih pogosto prihaja pri montaži in ponovnih zagonih rotacijskih strojev in pogonov. Teza dela je, da je potrebno po remontu ali ob vsakem ponovnem zagonu naprave najprej določiti referenčno stanje naprave. Referenčno stanje se v praksi opravlja z merilnimi uricami in laserjem. Težava pri uporabi teh postopkov je v tem, da je potrebno stroj

med meritvijo ustaviti. Namen dela je bil določiti značilke za montažne napake, ki so najbolj pogoste v praksi in sicer neuravnoteženost, ne-centričnost, kotna in paralelna ne-soosnost, poševna namestitvev elementov in zvitost gredi. S postopki, ki smo jih izdelali je mogoče vse našete montažne napake zaznati takoj po zagonu stroja ali naprave ne da bi stroj ustavili.

(iii) Razvoj postopkov za diagnostiko okvar v *nestacionarnih* obratovalnih pogojih. V večini primerov so namreč mehanski pogoni podvrženi spremenljivim hitrostim vrtenja in bremenom. Težave pri detekciji napak nastanejo v primerih, ko meritve hitrosti in bremena niso na voljo. Uporabniki se običajno izogibajo nameščanju tovrstnih senzorjev zato, da bi znižali stroške investicije. Naš pristop k problemu detekcije napak temelji na entropiji koeficientov valčne transformacije.

(iv) Razvoj postopkov za napovedovanje življenjske dobe stroja ali pogona na podlagi matematičnega modela procesa obrabe kontaktnih površin. Začetna faza raziskav je temeljila na lineariziranih modelih, potem pa na nelinearnih dinamičnih sistemih.

**3. Načrtovanje DPP prototipa.** Vsebinski sklop se nanaša na razvoj prototipa naprave za sprotni nadzor mehanskih pogonov, tako imenovani Diagnostični in Prognostični Procesor (DPP). Gre za izvedbeno najbolj zahtevno fazo projekta. Glavni namen naprave je zagotavljanje pravočasne lokalizacije poškodbe in zanesljive napovedi obratovalne dobe na mehanskih pogonih. Sistem DPP je zasnovan tako, da omogoča priklop široke palete senzorjev. Omogoča zajem nekaterih standardnih signalov, kot so tok pogonskega motorja in napetost, vibracije in akustične meritve. Poleg tega ima tudi nekaj splošno namenskih vhodov, na katere je možno priklopiti signale iz senzorjev za analizo parametrov olja, temperature okolja, vlage ipd.

**4. Konfiguracijsko okolje.** Drugo verzijo DPP smo podprli s konfiguracijskim okoljem v Matlab/Simulinku. Opravljena je bila analiza koncepta in možnosti za realizacijo podporne knjižnice modulov.

### Rezultati in učinki raziskovalnega projekta

Na področju analize mazalnega olja smo razvili integriran senzorski sistem za sprotno spremljanje viskoznosti olja, vode v olju, porabo aditivov v olju in obrabnih delcev v olju po velikosti, številu in obliki. Razvili smo dva prototipa sistema in sicer enega za spremljanje reduktorskih olj in drugega za spremljanje hidravličnih olj. Oba sistema delujeta popolnoma neodvisno. Posneti podatki se stalno zajemajo in shranjujejo v podatkovno bazo s programskim paketom, ki je bil razvit v CTD/IJS.

Kar zadeva odkrivanja montažnih napak, realizirane so bile značilke na podlagi Fourierjeva spektra vibracijskih signalov. Dobljeni rezultati kažejo, da značilke, ki jih računamo iz signala vibracij podajajo zelo dobro informacijo o stanju pogonskega sklopa. Na ta način predstavljajo koristno dopolnilo obstoječim laserskim sistemom, kar je pomemben rezultat. Obenem pa jih je mogoče uporabiti v diagnostičnem sistemu za avtomatsko nastavljanje izhodiščnega stanja pogonskega sistema pred nadaljevanjem spremljanja sistema.

Na področju diagnostike v nestacionarnih razmerah smo načrtali več algoritmov, ki uporabljajo značilke na podlagi ciklostacionarnosti signalov za kvazi-stacionarne režime obratovanja rotacijskih strojev. Izkazuje se, da so za močno nestacionarne pogoje tovrstni pristopi manj primerni. Zato smo predlagali nov pristop k analizi nestacionarnih vibracij na podlagi analize porazdelitve ovojnice. Statistična analiza ovojnice je bila izvedena s pomočjo valčne transformacije. Spremembe v porazdelitvi ovojnice smo opazovali s pomočjo Renyi entropije in  $\alpha$ -Jensen razdalje. Značilke so bili dovolj občutljive na spremembe stanja mehanskega pogona in hkrati so bili dovolj robustni na spremembe obratovalnih pogojev.

Z uporabo entropije koeficientov valčne transformacije poskušamo zaobiti problem natančnega merjenja obratovalnih pogojev in s tem ustvarili vektor značilk, ki je občutljiv le na spremembe v stanju stroja ne glede na obratovalne pogoje.

Na podlagi sprotnega učenja iz vibracijskih značilk so tovrstni modeli sposobni napovedovati trende v gibanju značilk in posredno uporabno dobo stroja. Predlagali smo nov pristop k ocenjevanju obsega poškodb in napovedovanju preostale življenjske dobe mehanskih pogonov. Razvoj poškodb smo modelirali kot nelinearni dinamični sistem, ki ga lahko uporabimo za

napovedovanje poškodb v prihodnosti. Razvili smo tudi postopek za ocenjevanje parametrov matematičnega modela, ki je računsko učinkovit in zato primeren za uporabo v realnih napravah. Algoritem smo preizkusili za napovedovanje preostale življenjske dobe reduktorja iz posnetega signala vibracij.

Razviti algoritmi v Matlabu predstavljajo sestavni del tim. DPE, ki je zamišljen za hitro prototipno preizkušanje diagnostičnih in prognostičnih algoritmov.

Razvili smo napravi za sprotno spremljanje lastnosti hidravličnega in reduktorskega olja ter delcev v olju. Napravi sta konstruirani in izdelani v obliki prototipa. Razvit je tudi potreben algoritem za zajem, avtomatsko spreminjanje parametrov olja in delcev v olju, in analizo zajetih signalov. Delovanje algoritma za zaznavanje odstopanj od referenčnih vrednosti oz. za zaznavanje prehodnih pojavov je sestavni del naprave za spremljanje stanja olja in delcev v olju. Osnovna naloga algoritma je, da primerja vrednost trenutne meritve z referenčnim stanjem in ob prevelikem odstopanju to ustrezno signalizira. Algoritem temelji na metodi Cusum (Cumulative Sum).

Razvili smo dva prototipa sistema DPP. Zasnovan je tako, da omogoča priklop široke palete senzorjev. Omogoča zajem nekaterih standardnih signalov, kot so tok pogonskega motorja in napetost, vibracije in akustične meritve. Poleg tega ima tudi nekaj splošno namenskih vhodov, na katere je možno priklopiti signale iz senzorjev za analizo parametrov olja, temperature okolja, vlage ipd. Za digitalizacijo predpripravljenih senzorskih signalov so uporabljeni natančni  $\Delta\Sigma$  A/D pretvorniki. Ta tip pretvornikov temelji na principih prevzorčenja, preoblikovanja kvantitacijskega šuma ter digitalnega filtriranja in decimacije.  $\Delta\Sigma$  A/D pretvorniki omogočajo pretvorbo signalov z zelo visoko razločljivostjo in velikim dinamičnim obsegom.

Na podlagi izkušenj prvega prototipa smo razvili novi prototip, ki temelji na uporabi Atmelovega mikrokrmilnika ATXMEGA32A4. Za brezžično povezovanje smo izbrali modul ETRX2 proizvajalca Telegesis, ki podpira ZigBee tehnologijo. Posodobljena verzija je energetsko bolj učinkovita in omogoča uporabo različnih komunikacijskih protokolov. Naprava deluje kot točka združevanja nizko cenovnih in energetsko učinkovitih mikrosenzorjev vibracij, temperature in električnega toka. Strojna oprema je kompaktna, nizkocenovna in energetsko učinkovita. Posledično, je izdelani sistem preprost in poceni za namestitev ter sposoben dolgotrajnega avtonomnega delovanja. Na sami napravi se izvajajo naloge osnovnega zajemanja podatkov, zlivanja informacij in proces izpeljave značilk. Preračunane podatke se posredujejo naprej v osrednjo zbiralno točko.

### **Uporaba rezultatov**

Rezultate raziskav smo posredno ali neposredno uporabili na različne načine:

- Vse algoritme smo testirali na laboratorijskem preizkuševališču pri čemer so predvsem koristni bili teki na življenjsko dobo. Pri tem so poškodbe nastajale po naravni poti kar je mnogo bolj dragoceno kot pa umetno kreirane poškodbe.
- Napravo za analizo olja smo testirali v laboratorijskih pogojih. V teku je implementacija na pogonski sklop v tovarni Litostroj.
- Algoritmi, ki temeljijo na analizi ciklostacionarnosti in spektralnega kurtosisa smo uporabili na analizi nezadostnega mazanja ležajev pri motorjih z elektronsko komutacijo.
- Algoritem na diagnostiko ležajev na podlagi spektralnega kurtosisa smo uporabili za diagnostiko ležajev EC motorja v okviru prototipa HVAC sistema.
- Diagnostične in prognostične algoritme smo uporabili na tim. benchmark problemih v okviru PHM konferenc. V letu 2012 so se člani projektnega tima uvrstili na drugo mesto po kakovosti doseženih rezultatov na področju prognostike ležajev.
- Skupaj s podjetjem Kalmer smo razvili in montirali sistem za stalno spremljanje stanja delovanja pogonskega in vlečnega sistema na gondolski žičnici na Veliki planini.
- V tovarni AKRAPOVIČ smo svetovali pri uvajanju celovitega sistema vzdrževanja.
- V Krki Novo mesto je izveden monitoring sistem za spremljanje delovanja avtomatskih

regalnih dvigal.

- Algoritme za sprotno identifikacijo montažnih napak smo uporabili pri novem stroju in na stroju takoj po opravljenem vzdrževalnem posegu na laboratorijskem sistemu.
- Na podlagi verzij DPP razvitih v projektu, se je razvoj le-teh nadaljeval v smeri bolj učinkovitih verzij, ki gredo skozi prve implementacije v industriji.

### Sodelovanje s tujimi partnerji

Člani projektne skupine so sodelovali pri soorganizaciji dvoletne evropske konference o Tribologiji – ECOTRIB 2009 skupaj z mednarodnimi partnerji. Člani programske skupine smo imeli razvejano sodelovanje z vrsto tujih partnerjev. Aktivnosti so potekale v okviru COST projekta IntelliCIS ki je namenjen vodenju in nadzoru velikih infrastrukturnih sistemov. V okviru Eurostars projekta PROBASENSOR smo sodelovali pri diagnostiki sensorja v procesu hladnega valjanja. V okviru FP7 projekta *FluMaBack* člani projektne skupine sodelujejo pri diagnostiki puhala.

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

Zastavljeni ciljev projekta so bili razviti prototip sistema, ki bo zmožgal

- sprotno zaznavanje in lokalizacijo poškodb,
- napovedovanje preostale življenjske dobe pogona,
- robustnost na motnje iz okolja in variabilne obratovalne režime,
- enostavno implementacija in integracija s procesnim informacijskim sistemom.

Ocenjujemo, da smo cilje praktično v celoti dosegli. Delna izjema je integracija z informacijskim sistemom, ki se je izkazala za nepričakovano trd oreh. Za popolno realizacijo tega cilja je bilo treba vključiti strokovnjake s področja informacijskih tehnologij, kar je postal predmet drugega razvojnega projekta. Poleg napovedanih ciljev smo realizirali tudi dodatne cilje, ki so se pokazali tekom izvajanja projekta. Predvsem gre za diagnostiko montažnih napak oziroma analizo referenčnega (nultege) stanja stroja s pomočjo analize vibracijskih signalov. Gre za novo neplanirano pridobitev projekta, ki je za prakso zelo relevantna.

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>5</sup>

Delo na projektu je v vseh osnovnih vsebinskih postavkah potekal v skladu s predlogom tako, da ni bilo bistvenih sprememb programa. Dodatna dela glede analize nultege stanja smo zaključili zaradi njihove praktične relevantnosti.

Iz projektne skupine sta bila dva raziskovalca brisana in vključena dva nova raziskovalca, ki sta se s svojim raziskovalnim delom aktivno vključila v projektno skupino raziskovalnega projekta. Njuna vključitev je bila potrebna za realizacijo in zaključek raziskovalnega projekta.

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	25338151	Vir: COBISS.SI
	Naslov	Napovedovanje življenjske dobe zobnikov	
		ANG	Model-based prognostics of gear health using stochastic non-linear dynamical models
	Opis	SLO	Nelinearni stohastični dinamični sistemi v prostoru stanja se lahko uporabijo za modeliranje dinamike napak. Predvsem v slučajih ko stanja sistema niso neposredno merljiva in vse potrebne informacije jih dobimo z analizo izhodnih podatkov. V tem prispevku uporabljamo iterativno proceduro za izračun Maximum-Likelihood ocene parametrov modela, na

		podlagi Expectation-Maximization metode ter z uporabo unscented Kalmanovega filtra za oceno sistemskih stanj. Algoritam smo uporabili za napovedovanje preostale življenske dobe eno-stopenjskega reduktorskega sistema.
	ANG	The dynamics of damage propagation can be modeled as a nonlinear stochastic dynamical state-space process, where system states are not directly accessible and all information about them has to be inferred from the output data. The paper employs an iterative procedure for calculating the Maximum-Likelihood estimate of model parameters, based on the Expectation- Maximization algorithm together with the unscented Kalman filter for estimation of system states. The algorithm has been used to predict the remaining useful life of a single-stage gearbox system.
Objavljeno v		British Institute of Non-Destructive Testing; International journal of condition monitoring; 2011; Vol. 1, no. 2; str. 67-78; Avtorji / Authors: Gašperin Matej, Juričić Đani, Boškoski Pavle, Vižintin Jože
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	23786791   Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Prognostika stanja zobnikov na podlagi naključnih dinamičnih modelov
		ANG Model-based prognostics of gear health using stochastic dynamical models
	Opis	SLO Gre za nov statistični pristop za napovedovanje časa, ob katerem bo poškodba na mehanskem zobniku dosegla kritično velikost. Iz merjenega signala vibracij na osi reduktorja izračunamo numerično vrednost značilke, ki jo modeliramo z linearnim dinamičnim modelom v prostoru stanj. S simulacijo modela lahko napovemo gibanje značilke v prihodnosti ter ocenimo čas, ko bo ta dosegla kritično vrednost. Ključni novosti postopka sta uporaba modela v prostoru stanj, ki povezuje dejanski obseg poškodbe in numerično vrednost značilke in uporaba postopka Expectation-Maximization za sprotno učenje modela.
		ANG A novel statistical approach is developed in order to estimate the time in which an operating gear will achieve the critical stage. The approach relies on measured vibration signals. From these signals features are extracted first and then their evolution over time is predicted. This is done owing to the dynamic model that relates hidden degradation phenomena with measured outputs. The Expectation-Maximization algorithm is used to estimate the parameters of the underlying state-space model on-line. Time to reach safety alarm threshold is determined by estimating the distribution of remaining useful life using the estimated linear model.
Objavljeno v		Academic Press; Mechanical systems and signal processing; 2011; Vol. 25, no. 2; str. 537-548; Impact Factor: 1.824;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.056; A': 1; WoS: IU; Avtorji / Authors: Gašperin Matej, Juričić Đani, Boškoski Pavle, Vižintin Jože
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	25505063   Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Detekcija napak na ležajih z aplikacijo na tekmovanju PHM
		ANG Bearing fault detection with application to PHM data challenge
	Opis	SLO Delo se nanaša na aplikacijo algoritmov za detekcijo mehanskih napak na mehanskih strojih. Glavni izziv v predloženih podatkih je bil pomanjkanje zgodovinskih potekov ter referenčnega stanja stroja. Z uporabo zelo občutljivih metod za obdelavo signalov predloženi algoritem je bil učinkovit pri zaznavanju poškodovanih ležajev.
		A fault detection algorithm applicable for mechanical drives is developed. Traditionally, fault detection process is done by comparing the observed machine state with a set of historical data represent-ing the fault-free

		ANG	state. However, such historical data are rarely available. We resolved this problem by applying highly sensitive signal processing methods. The obtained results confirmed that the proposed approach was quite effective in for detection of damaged bearings.
	Objavljeno v		The Prognostics and Health Management Society; International journal of prognostics and health management; 2011; Vol. 2, no. 1; str. 003-1-003-10; Avtorji / Authors: Boškoski Pavle, Urevc Anton
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	26487591	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Sistem za sprotno analizo olja
		ANG	A system for automated online oil analysis
	Opis	SLO	Razvili smo mobilno enoto za sprotno spremljanje stanja olja in detekcijo sprememb v opazovanih lastnostih olja in količini obrabnih delcev. Uporabniški vmesnik kontrolira operacijo enote in prikazuje podatke. Delovanje mobilne enote je bilo preverjeno na laboratorijski zobniški testni napravi, kjer smo z namerno kontaminacijo olja v reduktorju simulirali spremembe v stanju olja.
		ANG	A mobile standalone unit for continuous monitoring of lubricating oil properties has been developed. A user-interface controls the operation of the unit and displays data that are obtained. The operation of the unit was experimentally tested on a laboratory gear test-rig, where contamination of gearbox oil was performed to simulate changes in oil state.
	Objavljeno v		British Institute of Non-Destructive Testing; Insight; 2012; Vol. 54, no. 8; str. 428-432; Impact Factor: 0.571; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.894; WoS: OA, QF; Avtorji / Authors: Peršin Gabrijel, Salgueiro José, Vižintin Jože, Juričić Đani
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	10967579	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Vzdrževanje s pomočjo inteligentnega diagnostičnega sistema
		ANG	Maintenance with intelligent diagnostic system
	Opis	SLO	V vabljenem predavanju je predstavljen koncept ter osnovne funkcionalne zahteve integriranega diagnostični sistema, ki smo ga zgradili v okviru projekta. Gre za platformo, ki omogoča kontinuirano spremljanje stanja strojev in naprav. Le-ta predstavlja osnovo za uvajanje v prakso tehnologijo vzdrževanja po stanju namesto preventivnega vzdrževanja po planu.
		ANG	The invited lecture describes the concept and main functional requirements of the integrated diagnostic system which has been developed during the project. It provides platform for on-line condition monitoring of machines and devices. The underlying technology paves the floor to wider application of condition based maintenance instead of traditional less effective periodic maintenance.
	Objavljeno v		2nd European Conference on Tribology, Pisa, Italy, June 7-10, 2009. ECOTRIB 2009 : proceedings of the 2nd European Conference on Tribology, Pisa, Italy, June 7-10, 2009. Pisa: Edizioni ETS, 2009, str. 835-842, ilustr.
	Tipologija		1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)

### 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>2</sup>

Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	10983963   Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Laboratorijsko preizkuševališče za validacijo diagnostičnih in prognozičnih postopkov
	ANG	A laboratory test bed for validation of diagnostic and prognostic algorithms
Opis	SLO	Preizkuševališče je bilo razvito za študij diagnostičnega sistema za pogonske sisteme. Sestavljeno je iz pogonskega stroja, prenosnika moči, generatorja in regulacijske naprave. Na preizkuševališču so nameščeni senzorji za stalno spremljanje delovnih parametrov, temeperatur, signalov vibracij in zvoka ter parametrov olja.
	ANG	Test rig was developed for study Intelligent diagnostics system used for Power transmission systems. Test rig consist of power motor, power gear transmission, generator and system for power regulation. On the elements of the test rig are placed sensors for working parameters, temperatures, signal vibrations and acoustics and oil parameters acquisition.
Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa	
Objavljeno v	Comadit; CM 2009 and MFPT 2009; 2009; Str. 489-496; Avtorji / Authors: Vižintin Jože, Urevc Anton, Suhač Blaž, Juričić Đani, Boškoski Pavle	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
2.	COBISS ID	24646951   Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Prototip diagnostičnega in prognozičnega procesorja
	ANG	A prototype of a diagnostic and prognostic processor
Opis	SLO	V okviru raziskav na področju detekcije in diagnostike okvar smo razvili funkcionalno celovit in cenovno učinkovit prototip naprave za sprotni nadzor mehanskih pogonov, tako imenovani Diagnostični in Prognozični Procesor (DPP). Glavni namen naprave je uvedba diagnostike in pravočasne lokalizacija vzroka poškodbe na mehanskih pogonih starejše generacije, ki sami še nimajo vgrajene lastnega diagnostičnega sistema. DPP bo tako omogočal učinkovitejše in proaktivno vzdrževanje ter cenejše vzdrževalne posege.
	ANG	In the field of fault detection and identification we have developed broadly applicable and cost effective prototype vo on-line condition monitoring of mechanical drives, the so-called Diagnostic and Prognostic Processor (DPP). The main goal of this device is the introduction of diagnostics and early fault localization on mechanical drives of older generation, which operate without any embedded diagnostics system. DPP will enable more efficient and proactive maintenance as well as cheaper maintenance actions.
Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa	
Objavljeno v	2011; Avtorji / Authors: Svetek Aleš, Petrovčič Janko, Musizza Bojan, Černe Stanislav, Štrubelj Miroslav, Boškoski Pavle, Juričić Đani	
Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija	
3.	COBISS ID	11656731   Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	On line sistem za spremljanje stanja olja
	ANG	On-line system for oil condition monitoring
		Tradicionalne laboratorijske metode analize olja so drage in časovno



	Opis	SLO	potratne, toda z razvojem mikroprocesorskih sistemov je mogoče avtomatizirati analizo večine osnovnih lastnosti olja. V tem prispevku je predstavljena mobilna enota za sprotno spremljanje stanja olja in detekcija sprememb v opazovanih lastnostih olja in količini obrabnih delcev. Uporabniški vmesnik kontrolira operacijo enote in prikazuje podatke. Delovanje mobilne enote je bilo preverjeno na laboratorijski zobniški testni napravi, kjer smo z namerno kontaminacijo olja v reduktorju simulirali spremembe v stanju olja.
		ANG	Traditional laboratory oil analysis is often expensive and time consuming activity, however microprocessor based systems are available nowadays, to automate the analysis of the most fundamental lubricating oil properties. This study covers the design of a mobile standalone unit for continuous monitoring of lubricating oil properties. A user-interface controls the operation of the unit and displays data that are obtained. The operation of the unit was experimentally tested on a laboratory gear test-rig, where contamination of gearbox oil was performed to simulate changes in oil state.
	Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa	
	Objavljeno v	Slovensko društvo za tribologijo = Slovenian Society for Tribology; Zbornik predavanj Posvetovanja o tribologiji, mazivih in alternativnih gorivih; 2010; Str. 259-267; Avtorji / Authors: Peršin Gabrijel, Urevc Anton, Kržan Boris, Vižintin Jože	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
4.	COBISS ID	12560155	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Diagnostična in prognostična platforma za avtomatsko spremljanje stanja opreme
		ANG	Diagnostic and prognostic platform for automated condition monitoring
	Opis	SLO	Razvit je prototip diagnostične in prognostične platforme, ki temelji na senzorskem omrežju. Osnova je pametno vozlišče, ki je sposobno zbirati signale iz lokalnih senzorjev, lokalno shranjevati poteke, le-te tudi lokalno obdelati s sodobnimi postopki ter rezultate brezžično poslati na oddaljen strežnik. Pametno vozlišče je možno konfigurirati in rekonfigurirati na daljavo.
		ANG	A prototype of a diagnostic and prognostic platform based on sensory network has been developed. It builds on the smart node which acquires signals from local sensors, performs feature extraction by various signal processing methods and deliver the results to the server via wireless communication. It is possible to configure and reconfigure the smart node remotely.
	Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa	
Objavljeno v	Slovensko društvo za tribologijo = Slovenian Society for Tribology; Zbornik predavanj Posvetovanja o tribologiji, hladilno mazalnih sredstvih in tehnični diagnostiki; 2012; Str. 55-65; Avtorji / Authors: Juričič Dani, Boškoski Pavle, Ivanovič Matic, Petrovčič Janko, Musizza Bojan, Gašperin Matej, Vižintin Jože		
Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)		
5.	COBISS ID	10959131	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Druga Evropska konferenca o Tribologiji
		ANG	2nd European Conference on Tribology - ECOTRIB 2009
			Soorganizacija dvoletne evropske conference o Tribologiji – ECOTRIB 2009, ki se je je udeležilo preko 150 raziskovalcev s celega sveta. Konferenco je prvič leta 2007 organiziral Center za tribologijo in tehnično diagnostiko pod

Opis	SLO	vodstvom prof. Vižintina. V letu 2009 je konferenca v soorganizaciji treh skupin, Centra za tribologijo in tehnično diagnostiko, Italijanskega društva za tribologijo in Avstrijskega društva za tribologijo potekala v Italiji.
	ANG	Co-organization of ECOTRIB 2009 conference, biennial European conference on Tribology primarily focused on the economy and industrial landscape of central and southern Europe attended by more than 150 participants. Conference was first organized in 2007 by prof. Vizintin from Centre for Tribology and Technical Diagnostics. In 2009 it was co-organized in Italy by three groups: Slovenian Society for Tribology, led by Centre for Tribology and technical diagnostics, Italian Tribology Association and Austrian Tribology Society.
Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja	
Objavljeno v	Edizioni ETS; 2009; 2 zv. ([XXVIII], 1082 str.); Avtorji / Authors: Ciulli Enrico, Vižintin Jože	
Tipologija	2.31 Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci	

## 9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>8</sup>

Projektna skupina deluje zelo uspešno tudi izven programa projekta. Za magistrski študijski program po Bolonjskem načinu smo uspeli pripraviti poseben študij Terotehnologija, to je nauk o tehnikah in tehnologijah obvarovanja, vzdrževanja in popravil tehničnih naprav. Študenti, ki se bodo vpisali na ta program bodo postali magistri na področju tehnične diagnostike.

V letu 2010 smo na Fakulteti za strojništvo, Center za tribologijo in tehnično diagnostiko odprli Računalniško učilnico za Terotehnologijo s pomočjo donatorjev podjetje Tref, do.o.o, Zagorje ob Savi, Task d.o.o., Ljubljana in Fredi Ravnik s.p., Ankaran. Učilnica se uporablja za poučevanje študentov na Visoko strokovnem študiju, Univerzitetnem študiju in podiplomskem študiju pri predmetih Tehnična diagnostika, Vzdrževanje letal, Poškodbe in tehnična diagnostika.

Opravili smo poseg na gondolski žičnici na Veliki planini, ki je bila zaustavljena, ker ni imela sistema za stalno spremljanje. Skupaj s podjetjem Kalmer smo razvili in montirali sistem za stalno spremljanje stanja delovanja pogonskega in vlečnega sistema.

V tovarni AKRAPOVIČ uvajamo celovit sistem vzdrževanja.

V Krki Novo mesto je izveden monitoring sistem za spremljanje delovanja avtomatskih regalnih dvigal.

Opravili smo razvoj algoritma za sprotno indentifikacijo montažnih napak pri novem stroju in na stroju takoj po opravljenem vzdrževalnem posegu.

## 10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>9</sup>

### 10.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>10</sup>

SLO

Kljub temu, da je projekt bil zastavljen izrazito aplikativno, smo poglobili temeljna znanja na področju uporabe postopkov obdelave signalov za potrebe diagnostike napak in napovedovanja preostale življenjske dobe elementov pogonskih sistemov. Rezultati raziskav projektne skupine pomenijo prispevek k aktualni, toda relativno manj obdelani problematiki dagnostike v nestacioarnih režimih. Poseben prispevek predstavljajo doprinosi na področju prognostike mehanskih pogonov. Njihova vrednost se kaže tudi v eksperimentalni potrditvi na laboratorijskem sistemu. Interes znanstvene srenje se kaže skozi vabljen predavanja, ki so jih sodelavci imeli zadnja 2 leta na večih mednarodnih konferencah.

ANG

In spite of application oriented research, the project team generated important new results related to signal processing for the purpose of diagnostics and prognostics. The achieved theoretical results represent contribution to the highly perspective research context of nonstationary operating conditions. Particularly notable are contributions to the prognostics of mechanical drives. Their potential is demonstrated clearly through experimental evaluation on test rigs. Published results have obviously triggered interest in the community, which reflects in invitations for several invited talks at the international conferences.

## 10.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>11</sup>

SLO

Menimo, da doseženi rezultati projekta predstavljajo otipljiv potencial za nadaljnji razvoj gospodarstva. Konkretni rezultati projekta so v obliki prototipov, katerih razvoj se bo še naprej nadaljeval po možnosti do nivoja tržnega prototipa. Konkretni rezultati projekta, ki kažejo očitne potencialne koristi za uporabo so:

- Naprava za sprotno spremljanje lastnosti mazalnih olj in delcev v olju po velikosti in količini; čeprav je naprava bila preizkušena v laboratorijskih pogojih, jo je mogoče uporabiti na industrijskih pogonih (v teku je industrijska implementacija).
- Diagnostični in prognostični sistem za sprotno spremljanje poškodb na podlagi integracije različnih senzorjev (implementacija na dveh industrijskih objektih je v teku).
- DPP oziroma njegova inačiva tim. pametno vozlišče ponuja mnoge možnosti za implementacijo (konceptualna rešitev je bila implementirana na nadzoru obratovanja žičnice).
- Prenos znanja v prakso in organizacija izobraževanja vzdrževalcev v industriji, ki bodo neposredno odgovorni za vzpostavitev nove tehnologije vzdrževanja z uporabo diagnostično prognostičnega sistema.

Omenjeni rezultati imajo potencial tudi za sofinancerja saj znanja pridobljena v projektu predstavljajo pomembno komparativno prednost na trgu uslug. S tem bi lahko postala osrednji dejavnik pri posredovanju znanj v gospodarstvo, opravljanje neposrednih uslug prediktivnega vzdrževanja in širšem povezovanju z globalnimi akterji.

Vzdrževanje v Sloveniji je še vedno na zelo nizki tehnološki stopnji. Na eni strani je problem v tem, da ni v industriji ustreznih kadrov na drugi strani so vodstva mnogih podjetij še vedno globoko prepričana, da je vzdrževanje, tako kot razvoj, nujno zlo in strošek. Prototipne rešitve in potrditev koncepta v okviru projekta kažejo na to, da obstajajo realne možnosti za vpeljavo integriranih diagnostičnih sistemov v industrijsko prakso doma. Zahvaljujoč brezžičnim omrežjem se je nabor možnih aplikacij še povečal. S prenosom podatkov na centralni strežnik, kjer se lahko opravlja diagnostika in prognostika, se odpira možnost realizacije diagnostičnega centra, ki bi skrbel za sproti nadzor stanja opreme v podjetjih, s čemer bi se elegantno in ob minimalnih stroških rešil problem pomanjkanja specialistov na področju. Tako bi se prediktivnemu vzdrževanju na steržaj odprla vrata v mnoga podjetja tako doma kot v bližjem evropskem prostoru.

ANG

It is believed that the project results bring evident potentials for the economic progress of Slovenian companies. The actual project results are in the form of prototypes whose development is going further towards market prototypes. The particular project results of direct benefit for the Slovenian companies are the following:

- system for on-line monitoring and trending of oil parameters as well as distribution of wear particles; although the system has been mainly tested in laboratory conditions, it can be mounted to the industrial drives (implementation is under way).
- diagnostic and prognostic system for condition monitoring based on integration of different sensors (implementation on two industrial case studies is under way)
- DPP, or better its successive version labeled as smart node offer obvious opportunities for direct implementation (a version of conceptual solution has been successfully implemented on a cable car in one of Slovenia ski resort)
- essential for the overall context is transfer of knowledge obtained in the project in various

forms to maintenance people in industry which are expected to play active role in anticipated modernisation of the maintenance strategies.

Results reached in the project are of significant importance for the industrial partner that has been supporting the project. Indeed, new HW and SW solutions as well as new algorithms contribute to the increase of quality of its service. The results of the project bring opportunities to extend the quality and range of services on the market, which give chances to the company to become leader in the country in the process of diffusion of new maintenance solutions into industry.

Maintenance in Slovenia is still on relatively low technological level. One of the reasons is that there are no suitably trained staff qualified for implementation of new maintenance strategies. On top of that, many managers percept maintenance (as well as the development in general) as cost. Prototype solutions and proved concepts clearly indicate that there are possibilities to introduce integrated diagnostic systems in industry on a wide scale. Thanks to the applied wireless networks the range of eligible industrial processes becomes even wider. As at the end of the day the data are transferred to a central server, where all diagnostic and prognostic algorithms can be installed, one gets the possibility to monitors asset on a wide range of industries on one place. Such a "diagnostic center" is likely to sort the issue of lack of experts in the companies, hence opening the perspectives of adopting condition maintenance practices on the longer run in Slovenia and surrounding regions.

**11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!  
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni**

Cilj		
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.05</b>	<b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>

	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.14</b>	<b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.15</b>	<b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.16</b>	<b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.17</b>	<b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.18</b>	<b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
<b>F.19</b>	<b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
<b>F.20</b>	<b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.21</b>	<b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.22</b>	<b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

<b>F.23</b>	<b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.24</b>	<b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.25</b>	<b>Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.26</b>	<b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.27</b>	<b>Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.28</b>	<b>Priprava/organizacija razstave</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.29</b>	<b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.30</b>	<b>Strokovna ocena stanja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.31</b>	<b>Razvoj standardov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.32</b>	<b>Mednarodni patent</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.33</b>	<b>Patent v Sloveniji</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.34</b>	<b>Svetovalna dejavnost</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.35</b>	<b>Drugo</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>

**Komentar**


**12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**  
**Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
<b>G.01</b>	<b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička					



		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>					
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>					
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>					
<b>G.09.</b>	<b>Drugo:</b>					

**Komentar**

--

**13. Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>12</sup>**

	Sofinancer		
1.	Naziv	Kalmer d.o.o.	
	Naslov	Nasipi 49, 1420 Trbovlje	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja	110.324,40	EUR

		projekta je znašala:	
		Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25 %
		Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra
	1.	Prototip sistema za sprotno analizo parametrov olja	F.08
	2.	Prototip vozliščnega modula za integrirano diagnostiko sistemov	F.08
	3.	Predstavitev delovanja integriranega diagnostičnega sistema na sejmu	F.08
	4.	Postopek za prognozo življenjske dobe zobnikov na podlagi modelov	F.02
	5.	Postopek za diagnostiko in prognozo ležajev	F.02
Komentar	<p>Projektna skupina je načrtala in uspešno implementirala prototip integriranega diagnostičnega sistema, ki je zmožen kontinuiranega nadzora stanja industrijske opreme s poudarkom na rotacijskih pogonih. Pomemben del sistema je modul za nadzor stanja olja, ki ima velik pomen za prakso v primeru velikih pogonov in spremljanja hidravličnih olj. Za praktično aplikacijo sprotnega nadzora je vazen vozliščni modul, ki lokalno zbira in procesira podatke na kar značilke pošilja brezžično na strežnik. Za sofinancerja in aplikacije v industriji pa je zelo pomembna primerna cena, kar je bil eden od ciljev projekta. Doslej narejeni eksperimentalnih prototipi kažejo, da je ta zahteva v veliki meri dosežena, kar bo še bolj prišlo do izraza z dodatno optimizacijo in izpopolnitvijo prototipa. Prototipi so bili predstavljeni na razstavi v okviru Tehniškega posvetovanja vzdrževalcev Slovenije. Zaradi večanja zahtev po diagnostični zanesljivosti je Kalmer zelo zainteresiran za nove učinkovitejše postopke diagnostike komponent pogona. V tem smislu je projektna skupina predlagala nove postopke, preizkusi na laboratorijskem sistemu kažejo na praktične potenciale, čeprav njihova uporaba in nastavitve terjata specializirana znanja. Vgrajevanje funkcionalnih modulov za prognozo odpira dodatne nove možnosti za obogatitev storitvenih ponudb podjetja Kalmer, ki skrbi za vzdrževanje široke mreže industrijskih pogonov in obratov.</p>		
Ocena	<p>Kalmer d.o.o. je bil aktivno udeležen pri spremljanju izvajanja projekta tako, da je bil sproti obveščan o rezultatih projekta zahvaljujoč učinkovitem projektom vodenju in rednim projektnim sestankom. Sodelavci Kalmerja so tudi aktivno sodelovali pri verifikaciji referencnega (nultega) stanja pogonskega sklopa ter primerjavi rezultatov s posebno razvitim algoritmom za določitev le-tega na podlagi vibracijskih značilk. Ocenjujemo, da je Kalmer s sofinanciranjem projekta in aktivnim sodelovanjem postavil osnove za vpeljevanje najnovejših tehnologij prediktivnega vzdrževanja v industrijo v jugovzhodnem evropskem prostoru. Za Kalmer so posebno atraktivne rešitve in koncepti integriranega diagnostičnega sistema ter njihova aplikacija v obliki diagnostičnega storitvenega centra, kar je nekaj povsem novega v tem delu sveta.</p>		

#### 14. Izjemni dosežek v letu 2012<sup>13</sup>

##### 14.1. Izjemni znanstveni dosežek

Mehanski sistemi se s časom obrabljajo, kar vodi v nastanek večjih poškodb in posledično prekinitev obratovanja, drage servisne posege in krajšo življenjsko dobo sistemov. Navkljub precejšnjem obsegu raziskav v zadnjih desetih letih, ostaja sprotno ocenjevanje preostale življenjske dobe posameznih komponent izjemno težavno.

Vsebina dosežka so novi postopki za sprotno ocenjevanje in napovedovanje stanja naprave iz

merljivih signalov, ki temeljijo na sprotne učenju modelov. To smo dosegli s kombinacijo naprednih postopkov za ocenjevanje stanj in računanjem ocene neznanih parametrov modela na podlagi funkcije verjetja v obliki postopka oceni-maksimiziraj (ang- Expectation-Maximization (EM)) . Pomembna novost predlaganega pristopa je zmožnost sprotne učenja in avtomatskega prilagajanja modela v primeru sprememb v procesu, ki so lahko posledica spremembe obratovalnih pogojev ali drugih nepričakovanih dogodkov.

#### 14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Kot rezultat koncepta integriranega diagnostičnega sistema je bil razvit prototip diagnostične in prognostične platforme, ki temelji na nizkocenovnem senzorskem omrežju. Osnova je pametno vozlišče, ki je sposobno zbirati signale iz različnih lokalnih senzorjev, npr. senzorjev za parametre olja, vibracij, električnih veličin in drugo. Zbrani podatki se lokalno shranjujejo in lokalno obdelajo s sodobnimi postopki generiranja značilk. Rezultati se brezžično pošiljajo na oddaljen strežnik. Pametno vozlišče je možno konfigurirati in rekonfigurirati na daljavo. S tem se v znatni meri odpravijo pomanjkljivosti obstoječih sistemov za nadzor stanja, t.j. relativno visoka cena, omejen nabor priključenih senzorjev, zahtevno konfiguriranje. Sistem je uporaben za širok nabor strojev.

### 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 ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

#### Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
raziskovalne organizacije:*

in

*vodja raziskovalnega projekta:*

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za  
strojništvo

Jožef Vižintin

#### ŽIG

Kraj in datum:

#### Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/53

<sup>1</sup> Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

<sup>3</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>4</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

<sup>5</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v

zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>6</sup> Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

<sup>7</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

<sup>8</sup> Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>9</sup> Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>12</sup> Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

<sup>13</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). 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 priložitev/-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](#)

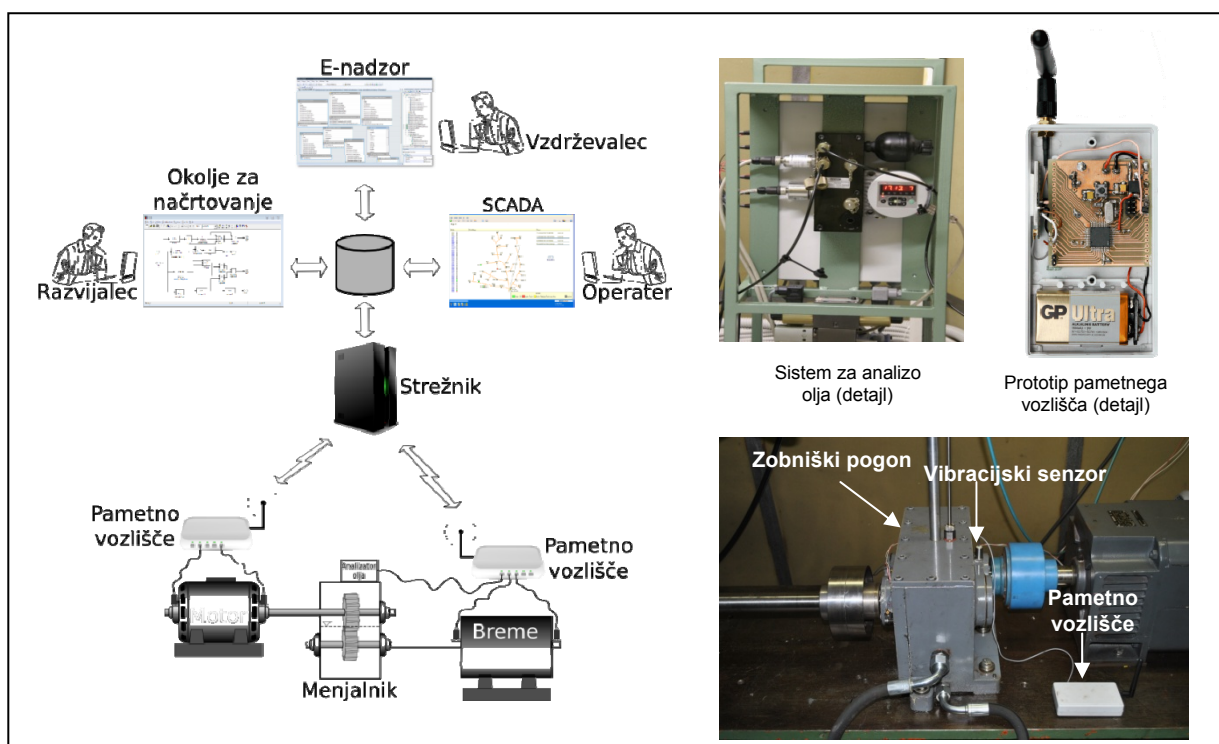
Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00  
B0-52-02-2A-BF-90-C8-94-8E-7C-46-41-55-46-58-DC-4E-48-C4-C7

# TEHNIŠKE IN TEHNOLOŠKE VEDE

## Področje: 2.03 Mehanika

### Dosežek 1: Prototip integriranega diagnostičnega sistema

Vir: IVANOVIČ, Matic, BOŠKOSKI, Pavle, JURIČIĆ, Đani, VIŽINTIN, Jože. Sistem za sprotni nadzor stanja industrijskih pogonov. V: PERME, Tomaž (ur.), ŠVETAK, Darko (ur.). Industrijski forum IRT, Portorož, 11. in 12. junij 2012. Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma. Škofljica: Profidtp, 2012, str. 211-216, ilustr. [COBISS.SI-ID 12339227]



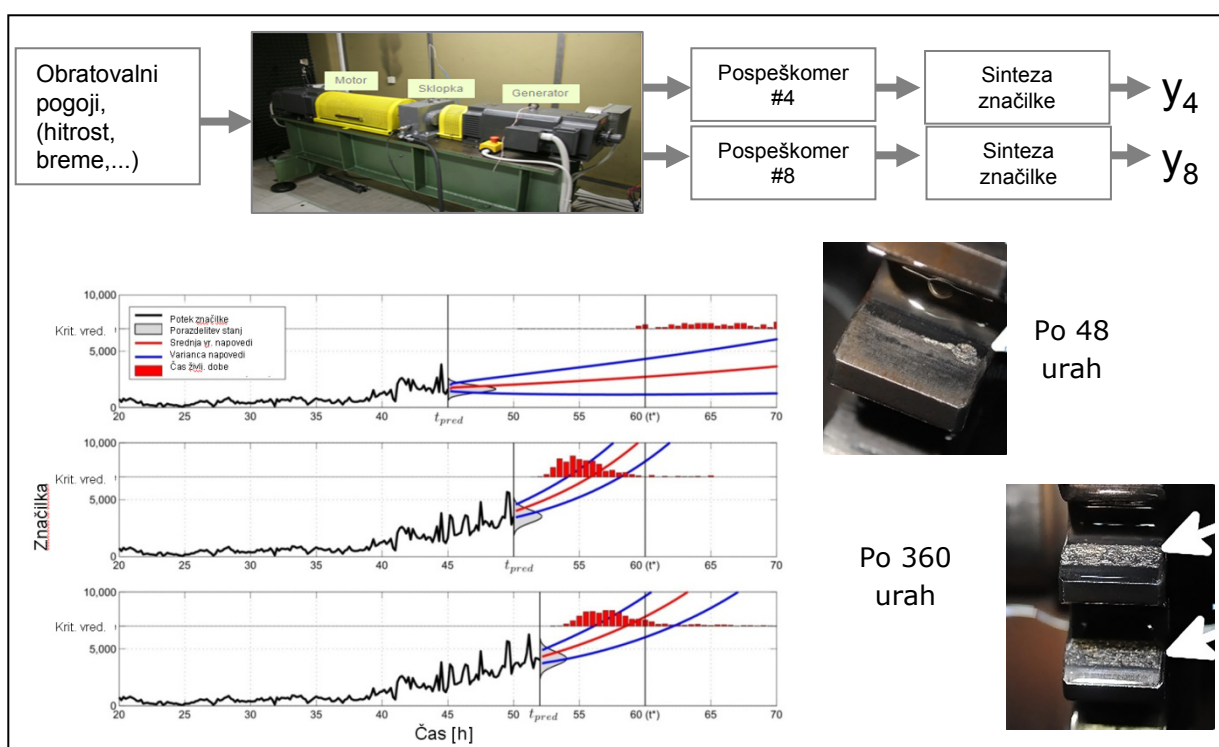
V okviru koncepta integriranega diagnostičnega sistema je bil razvit prototip diagnostične in prognostične platforme, ki temelji na nizkocenovnem senzorskem omrežju. Osnova je pametno vozlišče, ki je sposobno zbirati signale iz različnih lokalnih senzorjev, npr. senzorjev za parametre olja, vibracij, električnih veličin in drugo. Zbrani podatki se lokalno shranjujejo in lokalno obdelajo s sodobnimi postopki generiranja značilk. Rezultati se brezžično pošiljajo na oddaljen strežnik. Pametno vozlišče je možno konfigurirati in rekonfigurirati na daljavo. S tem se v znatni meri odpravijo pomanjkljivosti obstoječih sistemov za nadzor stanja, t.j. relativno visoka cena, omejen nabor priključenih senzorjev, zahtevno konfiguriranje. Sistem je uporaben za širok nabor strojev.

# TEHNIŠKE IN TEHNOLOŠKE VEDE

## Področje: 2.03 Mehanika

### Dosežek 1: Postopek za avtomatsko sprotno ocenjevanje preostale življenjske dobe mehanskih sistemov

Vir: GAŠPERIN, Matej, JURIČIĆ, Đani, BOŠKOSKI, Pavle, VIŽINTIN, Jože. Model-based prognostics of gear health using stochastic dynamical models. Mech. syst. signal process., 2011, vol. 25, no. 2, str. 537-548, doi: 10.1016/j.ymssp.2010.07.003. [COBISS.SI-ID 23786791]



Mehanski sistemi se s časom obrablajo, kar vodi v nastanek večjih poškodb in posledično prekinitev obratovanja, drage servisne posege in krajšo življenjsko dobo sistemov. Navkljub precejšnjem obsegu raziskav v zadnjih desetih letih, ostaja sprotno ocenjevanje preostale življenjske dobe posameznih komponent izjemno težavno.

Vsebina dosežka so novi postopki za sprotno ocenjevanje in napovedovanje stanja naprave iz merljivih signalov, ki temeljijo na sprotne učenju modelov. To smo dosegli s kombinacijo naprednih postopkov za ocenjevanje stanj in računanjem ocene neznanih parametrov modela na podlagi funkcije verjetja v obliki postopka oceni-maksimiziraj (ang- Expectation-Maximization (EM)) . Pomembna novost predlaganega pristopa je zmožnost sprotne učenja in avtomatskega prilagajanja modela v primeru sprememb v procesu, ki so lahko posledica spremembe obratovalnih pogojev ali drugih nepričakovanih dogodkov.