



**Univerza v Mariboru**

*Fakulteta za strojništvo*

**POROČILO**  
**O RAZISKOVALNI DEJAVNOSTI**  
**za leto 2010**

# POROČILO O RAZISKOVALNI DEJAVNOSTI 2010

**Izdala:** UM – FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

**Uredili:** red. prof. dr. Jože BALIČ  
Janko ZIERER, univ. dipl. ekon., inž. str.  
Dani Zimšek, dipl.inž.

**Pregledal:** red. prof. dr. Niko SAMEC

**Tisk:** TISKARNA TEHNIŠKIH FAKULTET

**Naklada:** 30 tiskanih izvodov  
50 DVD  
Dostopno na: <http://www.fs.uni-mb.si/>

**ISSN:** 1408 - 5445

## VSEBINA

1. UVOD	4
2. ORGANIZACIJSKA STRUKTURA FAKULTETE ZA STROJNIŠTVO	6
3. DOKTORATI, MAGISTERIJI IN SPECIALIZACIJE V LETU 2010	7
4. LETNA POROČILA O REZULTATIH RAZISKOVALNIH PROGRAMOV V LETU 2010	11
5. ZAKLJUČNA POROČILA O REZULTATIH RAZISKOVALNIH PROJEKTOV	135
6. LETNA POROČILA O REZULTATIH RAZISKOVALNIH PROJEKTOV V LETU 2010	215
7. MEDNARODNI PROJEKTI V LETU 2010	267

# UVOD

V poročilu o znanstveno – raziskovalni dejavnosti v letu 2010, so povzeti najpomembnejši dosežki raziskovalcev Fakultete za strojništvo, ki potrjujejo trajno usmeritev fakultete k izboljšanju kakovosti raziskovalnega dela.

Znanstveno raziskovalno delo beleži rast v smislu kakovosti in obsegu raziskovalnih programov in projektov.

Na nacionalnem nivoju smo v letu 2010 izvajali :

- 9 projektov v okviru financiranja raziskovalnih programov
- 1 temeljni raziskovalni projekt
- 13 aplikativnih raziskovalnih projektov
- 1 podoktorski raziskovalni projekt.

Za sodelovanjem z gospodarstvom in industrijskimi partnerji velja, da delimo usodo strojne, procesne ,energetske in tekstilno predelovalne industrije.

Pozitivni trend je predvsem pri skupnih aplikativnih projektih, kjer gospodarstvo nastopa kot naročnik, izvajalec in sofinancer. V preteklem letu smo stopnjevali raziskovalno aktivnost pri raziskavah in razvoju novih tehnologij in izdelkov.

Podpisanih je bilo več neposrednih pogodb z gospodarstvom.

Fakulteta nadaljuje z kvalitetnim usposabljanjem mladih raziskovalcev tako za obnovo lastnega pedagoško – raziskovalnega potenciala, kakor tudi pri usposabljanju mladih raziskovalcev iz gospodarske sfere.

V letu 2010 je na naši fakulteti uspešno zaključilo podiplomsko usposabljanje 8 doktorjev znanosti, 14 magistrov in 9 podiplomskih študentov specialističnega študija.

Na področju sodelovanja v mednarodnem prostoru :

Fakulteta za strojništvo aktivno sodeluje v mednarodnih projektih s številnimi programi ter projekti in sicer :

- 7. Okvirni program EU s 4. Projekti
- Projektov EUREKA je bilo 9

- Ostalih mednarodnih projektov ( Era NET, MATERA PLUS, Leonardo da Vinci, Tempus, Cost ) je bilo izvedenih 9
- Mednarodno gospodarsko in teritorialno sodelovanje na 4 projektih
- Mednarodno akademsko sodelovanje na 7 projektih
- Bilateralno sodelovanje na 10 projektih

Vsi omenjeni rezultati so vidni in ovrednoteni v bogati bibliografiji sodelavcev naše fakultete (Cobiss, Sicris).

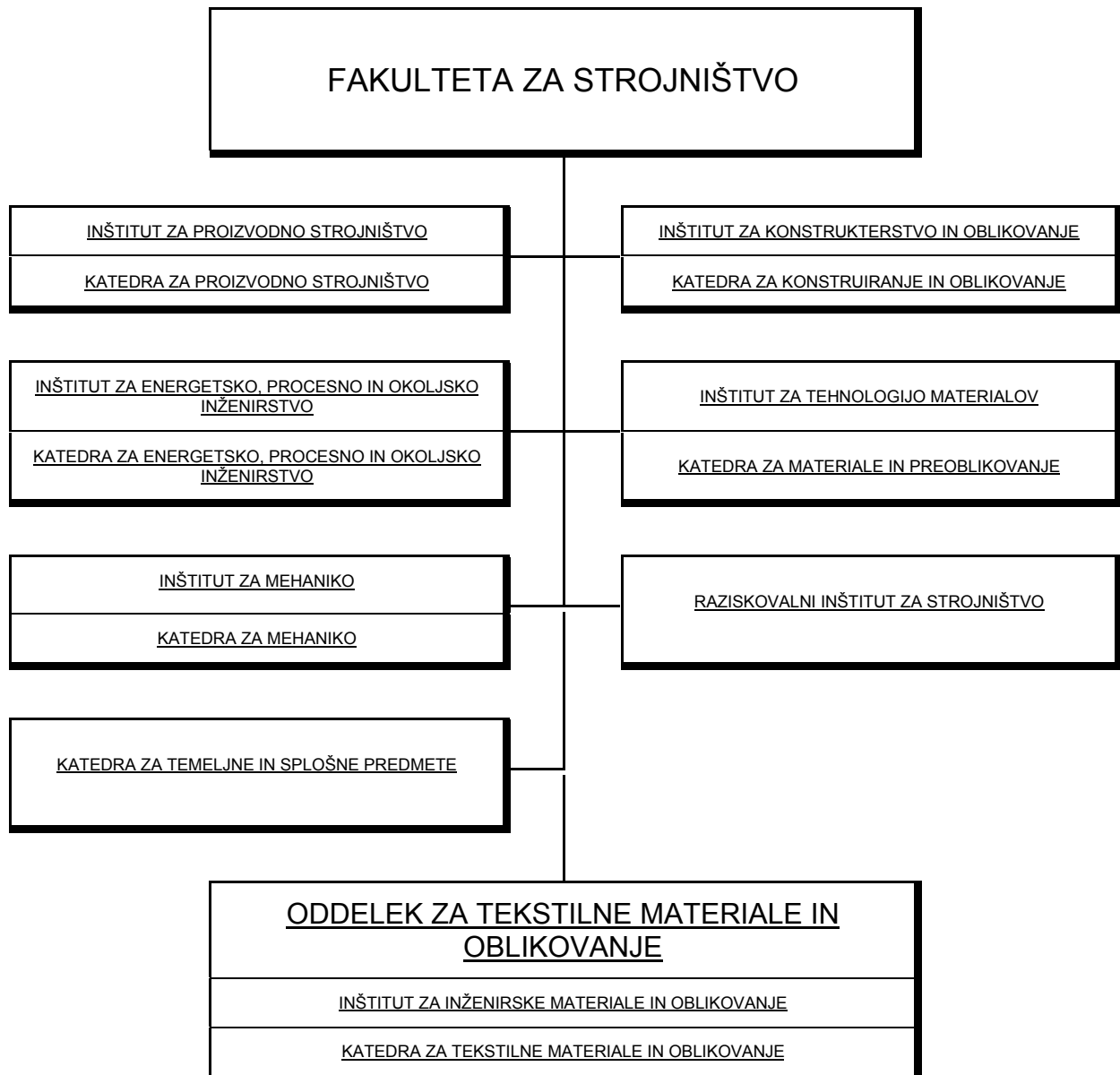
Žal pa moramo poudariti, da finančno stanje ne omogoča akumulacije sredstev za nabavo prepotrebne raziskovalne opreme. V preteklih obdobjih smo v okviru raziskovalnih paketov ARRS, lastnim vložkom in sofinanciranjem gospodarstva tehnološko »luknjo« še krpali, danes pa lastna sredstva ne zadoščajo, da bi sledili trendu razvoja in izpeljali nekaj pomembnih investicij.

Ob zaključku bi radi poudarili, da so kvalitetni in mednarodno primerljivi rezultati posledica zavzetega dela zaposlenih sodelavcev naše fakultete na vseh nivojih zaupanega poslanstva, ter dobra podlaga za naše delo v prihodnje.

Prodekan za raziskovalno  
dejavnost:  
red. prof. dr. Jože Balič

Dekan  
Fakultete za strojništvo:  
red. prof. dr. Niko Samec

# ORGANIZACIJSKA STRUKTURA FAKULTETE ZA STROJNIŠTVO



**DOKTORATI, MAGISTERIJI IN SPECIALIZACIJE V  
LETU 2010**

## **DOKTORATI:**

### **1. BAUMAN MAJA**

POVRŠINSKA MODIFIKACIJA NANOFILTRACIJSKIH MEMBRAN Z ALKOKSISILANI ZA ODSTRANJEVANJE IONOV TEŽKIH KOVIN

Mentorica: prof. dr. LOBNIK ALEKSANDRA

Somentor: prof.dr. ROŠ MILENKO

### **2. BOŽIČ MOJCA**

OKSIDOREDUKTAZNI ENCIMI KOT ALTERNATIVA KLASIČNI REDUKCIJI V PROCESIH BARVANJA Z INDIGOIDNIMI BARVILI

Mentor: prof. dr. GÜBITZ GEORG

Somentorica:izr. prof. dr. KOKOL VANJA

### **3. JAUŠOVEC DARJA**

VPLIV PROTIMIKROBNE OBDELAVE NA BIORAZGRADLJIVOST CELULOZNIH TEKSTILNIH SUBSTRATOV

Mentorica:izr. prof. dr. VONČINA BOJANA

Somentorica: prof. dr. MAJGEN LE  
MARECHAL ALENKA

### **4. POTOČNIK ROK**

STATIČNA NOSILNOST IN ŽIVLJENJSKA DOBA VELIKIH AKSIALNIH DVOREDNIH KROGLIČNIH LEŽAJEV

Mentor: prof. dr. GLODEŽ SREČKO

Somentor: prof. dr. FLAŠKER JOŽE

### **5. TASIČ TADEJ**

INTEGRACIJA LASERSKEGA INTERFEROMETRA IN KOORDINATNE MERILNE NAPRAVE V MERILNI SISTEM ZA MERJENJE DIMENZIJ

Mentor:izr. prof. dr. AČKO BOJAN

### **6. VALENTAN BOGDAN**

RAZVOJ MODELA ZA OCENO ZAHTEVNOSTI OBLIKE IZDELKA IN UPORABO V SLOJEVITIH TEHNOLOGIJAH

Mentor: prof. dr. BALIČ JOŽE

Somentor:izr. prof. dr. DRSTVENŠEK IGOR

### **7. GRUJIĆ DRAGANA**

VPLIV SNOVNIH LASTNOSTI TKANIN NA TOPLOTNO FIZIOLOŠKO UDOBJE OBLAČIL

Mentorica: prof. dr. GERŠAK JELKA

Somentor: prof. dr. RISTIĆ MIHAILO

### **8. HRIBERNIK SILVO**

ŠTUDIJ PREDOBDELAVE IN OPLAŠČANJA REGENERIRANIH CELULOZNIH VLAKEN Z NANO DELCI

Mentorica: prof. dr. SFILIGOJ SMOLE MAJDA

Somentorica: prof. dr. STANA KLEINSCHEK KARIN



## **MAGISTERIJI:**

### **1. BERK FRANC**

ZASTEKLITEV LETEČEGA PEPELA IZ SEŽIGA KOMUNALNIH ODPADKOV

Mentor: izr. prof. dr. ZUPANIČ FRANC

Somentor: prof. dr. SAMEC NIKO

### **2. BOTAK ZLATKO**

INTEGRIRANI MODEL INTELIGENTNEGA CNC PROGRAMIRANJA IN IZBIRE REZALNEGA ORODJA

Mentor: prof. dr. BALIČ JOŽE

Somentor: prof. dr. ČUŠ FRANCI

### **3. DREN DEJAN**

UPRAVLJANJE ZANESLJIVOSTI HLADILNIH APARATOV

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: izr. prof. dr. AČKO BOJAN

### **4. HORVAN ALJOŠA**

AVTOMATIZACIJA PROGRAMIRANJA V CAM SISTEMIH Z UPORABO TEHNOLOŠKIH GRADNIKOV IN BAZE PRAVIL

Mentor: prof. dr. BALIČ JOŽE

### **5. LESJAK POLONCA**

OZONIRANJE MODELNIH OBARVANIH VOD Z DOLOČEVANJEM RAZGRADNIH PRODUKTOV OKSAZINSKEGA BARVILA

Mentorica: prof. dr. LOBNIK ALEKSANDRA

Somentor: doc. dr. KOLAR MITJA

### **6. LESKOVAR MATEJ**

MODEL PROJEKTNEGA INŽENIRINGA RAZVOJA SOFTVERA IN OPTIMIRANJE POSLOVNIH PROCESOV PRI NAPREDNEM VZDRŽEVANJU OBJEKTOV

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: prof. dr. BALIČ JOŽE

### **7. MLADENOVIĆ VLADAN**

RAZVOJ, IZDELAVA IN UPRAVLJANJE Z VISKO ZAHTEVNIMI IZDELKI NOVE GENERACIJE MOTORJEV V AVTOMOBILSKI INDUSTRIJI

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: prof. dr. BALIČ JOŽE

### **8. PUC MIRAN**

TEHNOLOGIJA PREOBLIKOVANJA VISOKOTRDNOSTNE PLOČEVINE V VROČEM

Mentor: izr. prof. dr. PAHOLE IVAN

Somentor: prof. dr. BALIČ JOŽE

### **9. ROJKO DEJAN**

MODEL STRATEŠKE POSTAVITVE POSLOVNO PROIZVODNEGA SISTEMA

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: izr. prof. dr. BUCHMEISTER BORUT

### **10. ŠTUMBERGER RENATA**

MODEL PRETOKA MATERIALA V PROIZVODNJI

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: izr. prof. dr. BUCHMEISTER BORUT

### **11. ZAJŠEK PRIMOŽ**

MODEL STRATEŠKE POSTAVITVE RAZVOJA V MALEM PROIZVODNEM PODJETJU

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: izr. prof. dr. BUCHMEISTER BORUT

### **12. ZUPANC MAJA**

PRIPRAVA TEKSTILNIH SUBSTRATOV ZA SELEKTIVNO FILTRIRANJE FENOLA IZ ODPADNIH VOD

Mentorica: izr. prof. dr. VONČINA BOJANA

**13. JOVAN MELITA**

VPLIV POROZOSTI NETKANIH TEKSTILIJ ZA GOSPODINJSKE KRPE NA NJIHOVE UPORABNE LASTNOSTI

Mentorica: izr. prof. dr. DOBNIK DUBROVSKI POLONA    Somentorica: izr. prof. dr. VONČINA BOJANA

**14. MEŠKO KSAVER**

ŠTUDIJA OJAČITVE INJEKCIJSKO STISKANEGA KOMPOZITA S TEKSTURIRANIMI PA 6.6 MULTIFILAMENTI

Mentorica: prof. dr. SFILIGOJ SMOLE MAJDA    Somentorica: izr. prof. dr. VONČINA BOJANA

**SPECIALIZACIJE:**

**1. BREZNIKAR IGOR**

NOVA METODA VODENJA V NAROČNIŠKI PROIZVODNJI

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: prof. dr. BALIČ JOŽE

**2. KOLMAN ROBERT**

INFORMACIJSKI SISTEM NAČRTOVANJA IN VODENJA STORITEV

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: izr. prof. dr. BUCHMEISTER BORUT

**3. KURENT METOD**

DALJINSKO OGREVANJE MESTA TRBOVLJE

Mentor: prof. dr. KROPE JURIJ

**4. MESNER DUŠAN**

OBLIKOVANJE DELOVNIH MEST OB MONTAŽNI LINIJI ZA SESTAVO HLADILNO ZAMRZOVALNIH APARATOV

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: izr. prof. dr. BUCHMEISTER BORUT

**5. PLEVNIK ADRIJAN**

OPTIMIZACIJA IZDELAVE PEDALNEGA SKLOPA

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: izr. prof. dr. BUCHMEISTER BORUT

**6. RAKOVIČ ENES**

HUMANIZACIJA IN AVTOMATIZACIJA DELA V SEKTORJU ZA DEKORIRANJE STEKLENIH IZDELKOV

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: izr. prof. dr. BUCHMEISTER BORUT

**7. SEVČNIKAR PETER**

IZBOR TEHNOLOGIJE ZA PROIZVODNJO VISOKO CENOVNEGA HLADILNO ZAMRZOVALNEGA APARATA

Mentor: prof. dr. POLAJNAR ANDREJ

Somentor: prof. dr. BALIČ JOŽE

**8. SKERBIŠ DARKO**

OBDELAVA ORODJA ZA EKSTRUZIJO ALUMINIJA VEČJEGA FORMATA

Mentor: prof. dr. ČUŠ FRANCI

Somentor: izr. prof. dr. PAHOLE IVAN

**9. SKERBIŠ MILAN**

POSODOBITEV MONTAŽNEGA SISTEMA ZA SESTAVO RELEJEV

Mentor: izr. prof. dr. BREZOČNIK MIRAN

Somentor: prof. dr. BALIČ JOŽE

***LETNA POROČILA O REZULTATIH RAZISKOVALNIH  
PROGRAMOV V LETU 2010***

# LETNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA V LETU 2010

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	
Naslov programa	Dinamični inteligentni in povezani tehnološki sistemi in naprave DIP-TSN
Vodja programa	
Obseg raziskovalnih ur	skupaj: _____ od tega v letu 2010: _____
Cenovni razred	
Trajanje programa	-
Izvajalci programa (raziskovalne organizacije in/ali koncesionarji)	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Družbeno-ekonomski cilj	Industrijska proizvodnja in tehnologija

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

Šifra	
Naziv	

### 2. Povzetek<sup>2</sup>

SLO

V letu 2010 se je realizacija programa nadaljevala na naslednjih temeljnih, vendar povezanih raziskovalnih področjih, ki so: modeliranje in programiranje inteligentnih strojev in naprav, napredno inteligentno optimiranje obdelovalnih postopkov in rezalnih pogojev, razvoj inteligentnih preoblikovalnih metod in postopkov, vodenje inteligentnih robotskih obdelovalnih sistemov in razvoj napredne, energetske varčne in okolju prijazne fluidne tehnike.

Na področju **razvoja inteligentnih strojev in naprav** smo se največ ukvarjali z razvojem in implementacijo tehnik umetne inteligence za modeliranje, programiranje in vodenje različnih obdelovalnih strojev, robotov in naprav. Razvite so bile metode za gradnjo inteligentnih strojev in naprav, za večkriterijsko analizo optimizacije izdelovalnih sistemov in procesov (struženja, rezkanja, robotskih sistemov, strežnih sistemov, gradnje objektov pri dodajalnih tehnologijah) in za modeliranje in uporabo inteligentnega načrtovalnega okolja robotskih celic. Nadaljevali smo raziskave na področju optimizacije

simultane obdelave z več roboti z metodami umetne inteligence in razvoja napredne robotske celice za struženje in rezkanje prototipov večjih dimenzij.

Na področju razvoja **intelligentnih preoblikovalnih sistemov** smo nadaljevali z raziskavami preoblikovanja visokotrdnostne pločevine in raziskavami inkrementalnega preoblikovanja pločevine. Raziskava upogibanja pločevin po metodi traktrix je bila izvedena z namenom upogibanja pločevine za kot 90 stopinj v dveh korakih, brez potrebe po stranskih ali vrtljivih pestičih.

Na področju **dodajalnih tehnologij** smo nadaljevali z razvojem metode za ovrednotenje hitrosti sistemov za dodajalno izdelavo in predvsem z njenim testiranjem. Razvoj dodajalnih tehnologij je bil v preteklem letu usmerjen tudi v raziskave poliamidnih materialov za lasersko sintranje. Raziskave smo izpeljali v mednarodni skupini in tako poskrbeli za njihovo odmevnost in aplikativnost.

V okviru raziskav na **področju oljne hidravlike** so se nadaljevale aktivnosti na področjih snovanja energetsko učinkovitejših, cenovno ugodnih in robustnih ter daljinsko nadzorovanih elektrohidravličnih pogonskih sistemov z vgrajeno on-line nadzorovalno (Condition Monitoring) funkcijo, ki omogočajo povečanje zanesljivosti delovanja ter nižje stroške vzdrževanja pogona, in nadzora stanja pogona in njegovih komponent.

Na področju **Intelligentnega modeliranja odrezovalnih postopkov** so bile aktivnosti osredotočene predvsem na nadaljnji razvoj CNC-krmilne enote z možnostjo učenja na osnovi nevronske mreže, na razvoj in izdelavo intelligentnih adaptivnih avtonomnih sistemov vodenja za visoko-hitrostno freziranje s težko opredeljivo dinamiko in na modeliranje in optimizacija odrezovalnih postopkov z evolucijskimi algoritmi.

ANG

The realization of research programme for year 2010 was carried out in this basic (but integrated) fields: modeling and programming of intelligent machines and devices, advanced intelligent optimization of machining procedures, developing of intelligent forming methods, intelligent control of manufacturing robots and advanced, environmental friendly power fluid technology.

In the field of **intelligent manufacturing machines and systems** the following research has been carried out:

- development of artificial intelligence methods for building intelligent machines and systems
- research in the field of multi-criteria optimization of manufacturing systems and processes (turning, milling, robotic systems, feeding systems, object building in additive technologies),
- development and realization of intelligent systems assuring optimization of robot position in working area with respect to mobility of robotic mechanism
- development and realization of intelligent system for optimization of robot welding application.

In the field of **Intelligent metal forming systems** development of incremental sheet metal forming and advanced computer-aided simulation was carried out in order to find behavior of high-straight steel. Research in bending of sheet metal using the traktrix method was also carried out.

Development in the field of **Layered technologies** in the previous year was predominantly aimed into the research of Polyamide materials for laser sintering. The research showed that the mechanical properties strongly depend on the energy induced into the part in time of processing and that they do not depend on the humidity of the bulk material. Research in custom made manufacturing, medical applications and home appliances using layered technologies was carried out.

In **Advanced hydraulic systems** several research activities in different areas have continued, with emphasis on designing energy-efficient, cost-effective, robust, remote controlled electro-hydraulic drive systems with integrated on-line monitoring (Condition Monitoring) functions, which can increase reliability and lower maintenance costs of

such drive systems. In the area of special component design, the objective was to transfer knowledge from virtual design onto the specific fluid power components (e.g. ECG nozzle).

Research in **Intelligent modelling of cutting processes and condition** was focused mainly on the further development of CNC-control unit with the possibility of training based on neural networks, development and realization of intelligent adaptive autonomous control systems for high-speed milling with difficult definable dynamics and modelling and optimization of metal cutting processes with evolution algorithms (genetic algorithms, genetic programming), neural networks, and swarm intelligence (e.g., PSO optimisation and ant-colony optimization algorithm).

### 3. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>3</sup>

#### 3.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>4</sup>

SLO

Rezultati raziskav s področja raziskovalnega dela programske skupine so na vseh podpodročjih (modeliranje in programiranje inteligentnih strojev in naprav, napredno inteligentno optimiranje obdelovalnih postopkov in rezalnih pogojev, razvoj inteligentnih preoblikovalnih metod in postopkov, vodenje inteligentnih robotskih obdelovalnih sistemov in razvoj napredne, energetsko varčne in okolju prijazne fluidne tehnike) 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 predstavlja povezovanje zahtevnih tehnoloških sistemov (robotskih sistemov, CNC sistemov, sistemov preoblikovanja, izdelovalnih postopkov, hitre izdelave prototipov) z najsodobnejšimi metodami umetne inteligence (npr. evolucijskimi algoritmi, inteligenco rojev) v enoten sistem. Tako je možno učinkovito modeliranje, optimiranje, krmiljenje in nadzor najrazličnejših tehnoloških sistemov in procesov (robotov, obdelovanih strojev, robotskih obdelovalnih celic, oskrbe obdelovalnih strojev, krmiljenje visokoregálnih avtomatskih skladišč, itd.) na enoten, splošen in uporabniško prijazen način.

Zaradi vse strožjih zahtev glede varnosti potnikov in nizke porabe goriva se v avtomobilski industriji hitro večja uporaba novih visoko trdnostnih jeklenih pločevin, kar pa povzroči zmanjšanje preoblikovalnosti in povečanja občutljivosti na elastično izravnavanje. Rezultati raziskav tako pripomorejo k enoličnemu določanju tehnoloških parametrov pri izdelavi preoblikovalnih orodij.

Raziskave na področju uvajanja dodajalne izdelave v industrijsko okolje so se nadaljevale na področju hitre izdelave prototipov za zahtevne izdelke in na področju izdelave medicinskih vsadkov, narejenih po meri človeka.

Z raziskavami na področju vodenja procesov freziranja s hibridnim modeliranjem na izviren način dokazujemo, da so signali maksimalnih rezalnih sil v korelaciji s hrapavostjo obdelane površine. Izdelana, dopolnjena in testirana merilna veriga za merjenje rezalnih veličin skupaj z razvito programska oprema za zajemanje je iz znanstvenega vidika zelo aktualna, saj predstavlja najsodobnejšo tehnologijo za razvoj samodejno vodenih obdelovalnih sistemov.

ANG

Our results on the all sub-fields (modeling and programming of intelligent machines and devices, advanced intelligent optimization of machining procedures, developing of intelligent forming methods, intelligent control of manufacturing robots and advanced, environmental friendly power fluid technology) are in the frame of world cutting edge research and meet a wide response in the international scientific community. The results are published in the top ranking international scientific journals (in the field of manufacturing) and are cited many times. A special meaning for the sciences represents the integration of complicated technological systems (robot systems, CNC systems, forming systems, manufacturing processes, rapid prototyping systems) with the state-of-the-art artificial intelligence methods (e.g., evolutionary algorithms, swarm intelligence) what is one of the key points of our research. This integration is designed for effective modeling, optimization, control and supervision of technological systems and processes (robots, CNC machine tools, robots manufacturing cells, production logistics, control of storage equipments, etc.) in universal, user friendly way.

Because of high requirements about safety of passengers and low fuel consumption the automotive industry uses new high strength steel sheets more and more often. That is a

challenge for the tool producers. Higher strength of new sheets materials are connected with lower forming capabilities and higher sensitivity on elastic levelling. Solutions for forming problems derived for standard steels often give no satisfactory results. This is important for hot forming. The results of investigations will help to determine the technological parameters for production of forming tools.

Research in the field of Additive Manufacturing is continuing on Rapid Prototyping for industry use and on Rapid prototyping for medical use.

Research achievements in the field of fluid energy technology are fully fit in the development activities carried out by the world famous institutes or researchers in this field of engineering. Domestic achievements of research work do not only follow "global trends" but are a scientific contribution to actual (current) problems.

By researches in the field of control of milling process hybrid modelling was proving in an original way that the signals of maximum cutting forces are in correlation with the roughness of the machined surface. The completed measuring equipment and developed software for data acquisition of cutting quantities is up-to-date from scientific standpoint because it presented the most modern technology for development of modern unmanned machining systems.

### 3.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>5</sup>

SLO

Z dosedanjimi rezultati dela programske skupine (2009-2010) omogočamo dvig tehnološke ravni slovenskega gospodarstva. Skrajšali smo čas od zasnove izdelka do lansiranja izdelka na trg ter večjo dodano vrednost. Z razvojem novih tehnologij in metod smo zagotovili okoljsko prijazno proizvodno. Najpomembnejši prispevki:

- Z razvojem inteligentne večnamenske robotske celice omogočamo prenos našega znanja do tistih, ki želijo višjo stopnjo avtomatizacije v svojih podjetjih.
- Z razvojem robotiziranega rezkanja bomo omogočili uporabnikom izdelovati prototipe večjih dimenzij. Razvita tehnologija je prav tako uporabna za ohranjanje kulturne dediščine (npr. izdelava replik umetnin).

Rezultati raziskav na področju preoblikovanja bodo uporabni pri konstruiranju in izdelavi preoblikovalnih orodij za visoko trdnostna jekla v hladnem in vročem stanju. Gre za relativno novo tehnologijo. Orodjarne bodo lahko konkurenčne tudi za konkuriranje in osvajanje orodij za nove materiale.

Raziskave na področju dodajalnih tehnologij so privedle do njihovega uvajanja na različna področja znanosti in tehnologije. V preteklem letu je metoda predoperativnega načrtovanja in izdelave kranioplastičnih vsadkov, ki smo jo razvili v okviru PS, prešla v splošno klinično rabo na nevrokirurškem oddelku UKC Maribor. V teku so raziskave in klinični primeri za uvedbo podobne metode na področje obrazne kirurgije, ki potekajo v sodelovanju s kliniko za maksilofacialno kirurgijo UKC Ljubljana.

Vsebina raziskovalnih dosežkov na področju fluidne tehnike predstavlja za Slovenijo tehnološko enakovredno partnerstvo z raziskovalnimi skupinami v tujih državah, možnosti mednarodnega povezovanja, konkurenčnosti, predstavitev teh dosežkov v mednarodnih revijah pa postavlja slovenske raziskovalne dosežke ob bok veliko razvitejšim deželam, z mnogo boljšimi raziskovalnimi in materialnimi možnostmi. Predstavlja »izvoz« domačega znanja.

Prispevek izvedenih raziskav na področju inteligentnega vodenja strojev in naprav je za gospodarstvo zelo pomemben, saj se sistemi adaptivnega vodenja razvijajo za konkretne stroje. Z uspešno realizacijo zastavljenih idej so se znatno izboljšale lastnosti obstoječih obdelovalnih sistemov. Glavni učinki raziskav za kovinsko predelovalno industrijo oziroma za slovenske orodjarne so: manjši stroški obdelave, krajši časi obdelave, manjša obraba orodij, preprečitev poškodb in loma orodja, večja avtomatizacija procesa, večja robustnost in stabilnost sistema vodenja, manjša potreba po konstantnem nadzoru operaterja, visoko kvalitetna proizvodnja z minimalnim izmetom, možnost daljinskega vodenja procesa odrezavanja, možnost prenosa aplikacije na različne stroje in postopke obdelave in nadgradnja obstoječih CNC strojev v industrijskem okolju.

ANG

With the existing results (form years 2009 to 2010) the increase of the technological level of Slovenian economy has been achieved. According to the presented results the time-to-marked has been shortened and added value has been increased. By the development of new technologies and methods an environment friendly production is assured. The most important contributions:

- By development of intelligent multipurpose robotic cell, the transfer of our knowledge to those who want to have a higher level of production automation is achieved.
- By development of robotized milling, the consumers will be able to manufacture very large

prototypes. The proposed technology is also convenient for preserving of cultural heritage (e.g., manufacture of masterpiece replicas).

The research results in the field of forming will be used for designing and production of forming tools for forming high-strength steels in cold and hot. It is a new technology. The tool producer will be competitive and able to produce tools for new materials.

Recent research of additive manufacturing lead to their implementation in various fields of science and technology. In the last year methods of preoperative planning and manufacturing of cranial implants, developed in the frame of the Programme group, have been passed to the general clinical use in the neuro surgical department of Maribor University Clinical Centre. The similar research is going on in the field of Maxillofacial surgical praxis in cooperation with Maxillofacial Surgical Clinic at Ljubljana University Clinical Centre.

The content of research achievements in the field of fluid technology represents the technological equivalent partnership of Slovenia with research groups in foreign countries, international networking opportunities and competitiveness. Presentation of achievements in international journals shows that the Slovenian research achievements can be compared with much more developed countries with much better research and material possibilities.

The contribution of realized researches in the field of intelligent control for economy is very important, since the adaptive control systems are developing for concrete machines. By successful materialization of ideas the properties of the existing manufacturing systems were considerably improved. The principal research effects for the metal-processing industry and/or for the Slovene tool-making shops are: shorter manufacturing times, lower manufacturing costs, smaller tool wear, automation of the process, greater robustness and process stability, relief to programmer and operator, high-quality production with minimum defects, possibility of process remote control, possibility of application transfer to different machines and machining processes and upgrading of existing CNC machine tools in production environment.

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### 4. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega programa<sup>6</sup>

V letu 2010 se je realizacija programa nadaljevala na naslednjih temeljnih, vendar povezanih raziskovalnih področjih, ki so: modeliranje in programiranje inteligentnih strojev in naprav, napredno inteligentno optimiranje obdelovalnih postopkov in rezalnih pogojev, razvoj inteligentnih preoblikovalnih metod in postopkov, vodenje inteligentnih robotskih obdelovalnih sistemov in razvoj napredne, energetske varčne in okolju prijazne fluidne tehnike.

#### **Hipoteza:**

Delo je potekalo skladno s postavljeno hipotezo, da je možno različne obdelovalne sisteme, posluževalne sisteme in procese modelirati, optimirati, programirati in voditi z metodami umetne inteligence. Pri tem mora imeti razviti inteligentni sistem splošno veljavno uporabnost na vseh omenjenih področjih.

#### **Inteligentni stroji in naprave**

Na področju inteligentnih proizvodnih strojev in sistemov smo v preteklem letu izvedli naslednje raziskave:

- študij in razvoj metod umetne inteligence za gradnjo inteligentnih strojev in sistemov (poudarek je bil na študiju algoritmov inteligence rojev, evolucijskih algoritmov, mehke logike in hibridnih metodah),
- preliminarne raziskave na področju večkriterijske optimizacije izdelovalnih sistemov in procesov (struženja, rezkanja, robotskih sistemov, strežnih sistemov, gradnje objektov pri dodajalnih tehnologijah)
- nadaljevanje razvoja inteligentnega načrtovalnega okolja robotskih celic (namestitev robota, delovno okolje, izogibanje singularnim točkam, analiza zmožnosti opravljanja določenih delovnih gibov)
- razvoj in izvedba inteligentnega sistema, ki omogoča optimalno namestitev robota v delovni prostor glede na gibljivost robotskega mehanizma (uporabili smo različne algoritme inteligence rojev delcev),
- razvoj in izvedba optimizacije gibanja robotskega mehanizma pri aplikaciji robotskega



varjenja ( po postopku MAG ali TIG) z različnimi metodami umetne inteligence (uporabljeni sta bili metodi evolucijskih algoritmov in algoritem inteligence rojev delcev),

- nadaljevanje razvoja napredne robotske celice za struženje in rezkanje prototipov večjih dimenzij ter izvedba testnih obdelav

- raziskave na področju analize izdelovalnosti obdelovanca glede na mesto vpetja z metodami umetne inteligence,

- raziskave na področju optimizacije simultane obdelave z več roboti z metodami umetne inteligence,

- raziskave pri nanašanju kovinskih prevlek na različne materiale s tehnologijo LENS in analiza možnosti optimiranja postopka z umetno inteligence.

### **Inteligentni preoblikovalni sistemi**

Na področju razvoja inteligentnih preoblikovalnih sistemov smo nadaljevali z raziskavami preoblikovanja visokotrnostne pločevine (predvsem za potrebe avtomobilske industrije) in raziskavami inkrementalnega preoblikovanja pločevine. Nadaljevali smo z izvajanjem zahtevnih računalniških simulacij obnašanja visoko trdnostne pločevine med preoblikovanjem in po njem in primerjave med posameznimi programskimi orodji glede na natančnost rezultatov, možnost vpliva na programski paket z vhodnimi parametri (material pločevine, oblika orodja, mazanje ...) in dostopnost programske opreme (cena, uporabniška prijaznost, natančnost, hitrost izvajanja). Izdelan je bil sistematičen zbir rezultatov simulacij in preizkusov.

Za raziskave inkrementalnega preoblikovanja je bila izvedena konstrukcija vpenjalne priprave, orodja za preoblikovanje in priprave na prilagoditev obstoječega 4-osnega rezkalnega centra za inkrementalno preoblikovanje. Opravljene so bile tudi poizvedbe za nabavo programske opreme, ki omogoča simulacije inkrementalnega preoblikovanja. Ker je takšna programska oprema trenutno še nedosegljiva in v razvojni fazi, bo potrebno v nadaljevanju raziskati možnost uporabe inteligentnih metod za modeliranje in programiranje inkrementalnega preoblikovanja pločevine.

Raziskava upogibanja pločevin po metodi traktrix je bila izvedena z namenom upogibanja pločevine za kot 90 stopinj v dveh korakih, brez potrebe po stranskih ali vrtljivih pestičih. Po računalniških simulacijah je bilo ugotovljeno, da uporaba krivulje traktrix na upogibnem robu ne vpliva bistveno na razmere pri upogibanju. Zato je bila tudi predlagana sprememba naziva v dvostopenjsko upogibanje. Izvedena je bila tudi napredna simulacija in verifikacija v simulacijskem okolju Ansys. Rezultati so verificirali metodo tudi pri uporabi visokotrnostnih pločevin. Trenutno je v teku konstrukcija testnega orodja za dvostopenjsko upogibanje z nastavljivimi elementi. Prilagodljivo orodje bo omogočalo testiranje in verificiranje večjega števila vplivnih parametrov.

Za področje preoblikovanja je bila izvedena tudi raziskava preoblikovalnih lastnosti visoko trdnostnih pločevin in določanje tehnoloških parametrov za konstrukcijo preoblikovalnih orodij. V zadnjem obdobju je bilo izvedeno napovedovanje elastičnega izravnavanja pločevine pri postopkih upogibanja in globokega vlečenja. Raziskave so usmerjene izključno v področje visokotrnostnih pločevin. Podatki za te materiale so še vedno dokaj skromni oziroma ne dajejo prave slike dejanskega stanja.

Izvedeni so bili dejanski preizkusi elastičnega izravnavanja in izdelan je bil matematični model napovedovanja. Pri napovedovanju so bile uporabljene metode genetskega programiranja

Pri visokohitrostnem izsekovanju rondic iz aluminija, je bila izvedena raziskava v smeri povečanja izkoriščenosti traku iz aluminij manganovih zlitin. S postopki numeričnih izračunov, je bil izdelan model določanja minimalne razdalje med izsekanimi rondicami. Rezultati prispevajo k prihranku časa in energije pri proizvodnji rondic.

### **Področje dodajalnih tehnologij**

Na področju dodajalnih tehnologij (Rapid Prototyping, Rapid Manufacturing) je bila v preteklem letu razvita nova metoda za ovrednotenje hitrosti sistemov za dodajalno izdelavo. V tem letu smo nadaljevali z razvojem metode in predvsem z njenim testiranjem, da bi potrdili postavljeno hipotezo, da je hitrost dodajalnih naprav odvisna predvsem od napolnjenosti oziroma izkoriščenosti delovnega prostora naprave in da višina izdelkov ne vpliva na skupno izdelovalno hitrost, če hitrost opišemo kot proizvedeno prostornino izdelka na enoto časa. S testiranjem je potrjeno, da geometrijska zahtevnost do neke mere vpliva na izkoriščenost prostora saj vsebujejo zahtevni izdelki veliko praznih prostorov, ki jih ni mogoče napolniti z drugimi izdelki, da bi povečali izkoriščenost prostora. Nova metoda tako upošteva oblikovno zahtevnost izdelka kot pomemben dejavnik proizvodne hitrosti dodajalnih naprav kar predstavlja edinstven pristop k ovrednotenju njihove hitrosti za kar ji je bil podeljen tudi slovenski patent.

Razvoj dodajalnih tehnologij je bil v preteklem letu usmerjen tudi v raziskave poliamidnih materialov za lasersko sintranje. Raziskave smo izpeljali v mednarodni skupini in tako poskrbeli za njihovo odmevnost in aplikativnost. Izkazalo se je, da so mehanske lastnosti materiala močno odvisne od vnosa energije v material med postopkom sintranja in relativno neodvisne od vlažnosti materiala. Opazen pa je vpliv vlažnosti na mehanske lastnosti izdelka v smeri nalaganja slojev. Izsledki so bili predstavljeni na mednarodni konferenci o dodajalnih tehnologijah, kjer so pozeli veliko zanimanje.

Izdelava izdelkov po meri.

Poleg medicine je trg izdelkov za osebno rabo zelo nagnjen k individualiziranim izdelkom. V ta namen je bil izveden pilotski projekt izdelave električnih stikalnih elementov (stikala in vtičnice) po meri za znanega naročnika. Projekt je pokazal stroškovno vzdržnost, kar je bilo kvalitativno in kvantitativno dokazano z anketnim vprašalnikom, ki je bil razposlan na 423 naslovov doma in v tujini. Iz 55 domačih in 43 tujih odzivov je analiza pokazala na relevantnost projekt in veliko aplikativno vrednost raziskave. Rezultati so bili predstavljeni na mednarodni konferenci o dodajalnih tehnologijah.

Razvoj in uporaba dodajalnih tehnologij pri medicinskih aplikacijah.

Po uspešni implementaciji dodajalnih tehnologij na področje kranioplastičnih in maksilofacialnih posegov, se je skupina usmerila še na področje ortopedskih operacij, kjer potekajo raziskave na področju izdelave resekcijskih vodil. Izdelani so bili prototipi vodil za vstavljanje pedikularnih vijakov za fiksacijo vretenc v ledvenem delu hrbtenice (področje L5S1).

### **Področje napredne oljne hidravlike**

V okviru raziskav na področju oljne hidravlike so se nadaljevale aktivnosti na področjih snovanja energetske učinkovitejših, cenovno ugodnih in robustnih ter daljinsko nadzorovanih elektrohidravličnih pogonskih sistemov z vgrajeno on-line nadzorovalno (Condition Monitoring) funkcijo, ki omogočajo povečanje zanesljivosti delovanja ter nižje stroške vzdrževanja pogona, in nadzora stanja pogona in njegovih komponent.

Na področju gradnje namenskih komponent je bil cilj prenesti spoznanja virtualnega snovanja na specifične komponente fluidne tehnike (npr. EKG šobe), na področju nadzora komponent, pa je bil realiziran cilj zgraditi in uvesti v industrijo nadzorni sistem za on-line spremljanje stanja hidravličnih tekočin s poudarkom na zajemanju, ovrednotenju in poobdelavi podatkov

### **Inteligentno modeliranje odrezovalnih postopkov**

Planirane aktivnosti so bile osredotočene predvsem na področje odrezovalnih postopkov in področje inteligentnih proizvodnih strojev in naprav. Aktivnosti so podane v naslednjih točkah:

- Nadaljnji razvoj CNC-krmilne enote z možnostjo učenja na osnovi nevronske mreže.
- Razvoj in izdelava inteligentnih adaptivnih avtonomnih sistemov vodenja za visoko-

hitrostno frezanje s težko opredeljivo dinamiko.

- Modeliranje in optimizacija odrezovalnih postopkov z evolucijskimi algoritmi (npr. genetskimi algoritmi, genetskim programiranjem), nevronskimi mrežami in metodami inteligence rojev (npr. PSO optimizacija in optimizacija z algoritmom, ki posnema kolonijo mravelj).

- Optimizacija hidravličnih komponent za stiskalnice za doseganje večje kakovosti izdelkov in za zmanjšanje neugodnih vplivov na okolje.

b)

V nadaljevanju so povzeti kronološko najpomembnejši realizirani cilji in ugotovitve v letu 2010, ki so v skladu s planiranimi vsebinami in cilji.

1. Pri izdelavi inteligentnega samoučljivega sistema vodenja za visoko-hitrostno frezanje s težko opredeljivo dinamiko so izvedene naslednje aktivnosti:

V merilno verigo je vključena nova USB kartica za zajemanje podatkov. Kartica zdaj omogoča dovolj veliko hitrost vzorčenja (450kS/s) tudi pri velikih rezalnih hitrostih in malih premerih orodij; Izvedena je primerjava zmogljivosti obeh kartic; Dokončan in preizkušen je eksperimentalni model; Zasnovana je procedura izdelave nevronskega modela rezalnih sil; Izvedena je priprava podatkov za učenje in testiranje nevronske mreže; Vhodni parametri (rezalnih parametrov) in izmerjene rezalne sile so bile združene v podatkovno matriko; Izvedena je normalizacija podatkov v matriki, razčlenitev matrike na vhodno-izhodni vektor nevronske mreže, razdelitev vhodno-izhodnega vektorja na niza za učenje in testiranje nevronske mreže; Zasnovana je simulacijska metoda za določitev optimalnih parametrov učenja nevronske mreže; Izbrana je optimalna arhitektura nevronske mreže in optimalni parametri učenja nevronske mreže; Uspešno je končan postopek učenja in testiranja nevronske mreže; Izdelan in preizkušen je nevronski model rezalnih sil; Izdelana je analiza rezultatov nevronskega modela in grafična primerjava napovedanih in izmerjenih rezalnih sil; Nevronski model rezalne dinamike je vključen v CNC simulator procesa frezanja; Zaključuje se faza izdelave modula za vzpostavitev komunikacije: sistem vodenja-CNC-krmilje stroja FAGOR 8040-M; Izbrana je bila serijska komunikacija med CNC krmiljem stroja in sistemom vodenja na PC-ju. S tri žičnim null modem kablom je bila izdelana fizična povezava; Konfigurirana so bila varata na obeh straneh serijske povezave; Zasnovan je bil protokol pošiljanja telegrama; Vzpostavljena je hierarhija podrejeni in nadrejeni računalnik. Izdelana je procedura spreminjanja hierarhije; Definirane so časovne sekvence pošiljanja telegrama; Izdelana je metoda za odkrivanja napak pri prenosu telegrama; Sprogramirana je CRC-16 kontrolna koda za odkrivanje napak prenosa, ki najde napako v 17 bitnem telegramu z 99,99% verjetnostjo; V telegram sta integrirani DNCFRO in DNCSSO funkciji CNC krmilja. S preizkusi smo uspeli vzpostaviti komunikacijo, prevzeti nadzor nad krmiljem stroja in nato vzpostaviti začetno stanje. Testirali smo več-ciklični način vzpostavljanja komunikacije. V fazi izdelave je grafični vmesnik za vzpostavljanje komunikacije; Izdelan je blok diagram grafičnega vmesnika. V fazi izdelave je nadzorno-upravljalna maska nadzorne plošče; Izveden je eksperimentalni postopek snemanja prehodne funkcije podajalnega servo-pogona z ball-bar merilnim sistemom. Za določitev prehodne funkcije so izvedene naslednji koraki: kalibriranje merilnika, izvedba testa, prenos podatkov v datoteko, izračun parcialnih podajalnih hitrosti v prehodnem pojavu in izris prehodnega pojava. Na osnovi prehodne funkcije je izdelana prenosna funkcija sistema, ki je podana z členom 2.reda;

V 2. periodi je izvedena nadaljnja dinamična analiza hidravličnega sistema 55MN stiskalnice v proizvodnji aluminija. Zaradi zagotavljanja nemotene proizvodnje je bilo potrebno izvajati analizo med samim procesom na rednih delovnih nalogih. Na osnovi dinamične analize sistema in računalniških simulacijah sistema so se uglasile hidravlične komponente postrojenja tako, da so se v obsegu 4% dodatno zmanjšali negativni vplivi sistema na okolico. Z eksperimentiranjem smo uspeli zmanjšati vplive na okolje do te mere, da so izpolnjeni pogoji korektivnega ukrepa KU – 1471, ki je bil formiran na

podlagi pritožbe javnosti. V ta namen so uporabljene najnovejše računalniške metode dinamičnega optimiranja in simuliranja hidravličnih sistemov in prenos teh rezultatov na obstoječi sistem iztiskovanja AI-izdelkov. Izvedene so še naslednje aktivnosti: modeliranje posameznih hidravličnih komponent in izdelava celotnega modela sistema, iskanje optimalnih nastavitev simulacije, simuliranje sistema in statistična analiza rezultatov simulacij. Zajete so bile vse motnje procesa iztiskavanja, ki vplivajo na gibanje recipienta.

## 5. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>7</sup>

Cilji za leto 2010 so bili v celoti realizirani skladno s planom. Na področju inteligentnih proizvodnih strojev in sistemov so bile uspešno testirane v prejšnjem letu razvite inteligentne metode za vodenje obdelovalnih sistemov (3-osni laboratorijski koordinatni vrtno-frezalni stroj in 4-osni industrijski obdelovalni center). Aplikacije so bile testirane tudi na industrijski robotizirani obdelovalni celica večjih dimenzij.

Na področju raziskav inteligentnih preoblikovalnih sistemov se realizacija kaže v uspešnem razvoju in uporabi naprednih programskih orodij za simuliranje preoblikovanja za pločevinske izdelke na povsem praktičnih primerih.

Na področju slojevitih tehnologij je bila dokončana in testirana metoda ovrednotenja geometrijske zahtevnosti izdelkov, ki sedaj v povezavi z metodo za ugotavljanje hitrosti omogoča hitro izbiro najprimernejše metode za proizvodnjo določenega izdelka. Izdelana je bila vrsta posebnih izdelkov, glede na specifične zahteve naročnika (medicinski vsadki, prototipi izdelkov).

V tem letu smo tudi začeli z razvojem nove generacije inteligentnih manikinov, ki se uporabljajo za testiranje v različnih, človeku neprijaznih okoljih. To predstavlja presežek plana v tem letu.

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>8</sup>

Program se je v letu 2010 dopolnil z začetim razvojem nove generacije inteligentnih manikinov, ki se uporabljajo za testiranje v različnih, človeku neprijaznih okoljih. To predstavlja presežek plana v tem letu. Zaradi tega se je sestava programske skupine povečala za enega doktorja in enega tehnika.

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>9</sup>

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<p><i>SLO</i> Inteligentno modeliranje layouta v prilagodljivih obdelovalnih sistemih</p> <p><i>ANG</i> Intelligent design of an unconstrained layout for a flexible manufacturing system</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> V prispevku je opisan pristop, ki odpravlja običajne omejitve pri oblikovanju prilagodljivega obdelovalnega sistema; iskanje najboljše rešitve je prepuščena izključno umetni inteligenci. Predstavljeni sistem je sestavljen iz podsistema za kreacijo in podsistema za evaluacijo. Evaluacija rešitev uporablja inteligentno iskanje najkrajših poti v sistemu. Sistem se je izkazal za inovativnega, ker išče najboljšo obliko z ozirom na namen in ne uporablja poenostavitev, ki jih uporablja človek.</p>

		<p>ANG</p> <p>The research removes common constraints regarding the design of layout of flexible manufacturing system, and the subsequent search for a good solution is left solely to artificial intelligence. The proposed system is composed of a creative subsystem and a subsystem for evaluating layouts. Evaluation of solution quality is made using intelligent search of the shortest travel paths within the layout. This system has proved to be innovative since it proposes very good solutions which are oriented to the main task of the system and are not simplified because of human limitations.</p>
	Objavljeno v	FICKO, Mirko, BREZOVNIK, Simon, KLANČNIK, Simon, BALIČ, Jože, BREZOČNIK, Miran, PAHOLE, Ivo Neurocomputing (Amst.). [Print ed.], Jan. 2010, vol. 73, iss. 4/6, str. 639-647, doi: 10.1016/j.neucom.2009.06.019, IF=1.44
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
2.	Naslov	<p>SLO</p> <p>Intelligentno napovedovanje frezalnih strategij z uporabo nevronske mreže</p> <p>ANG</p> <p>Intelligent prediction of milling strategy using neural networks.</p>
	Opis	<p>SLO</p> <p>V članku je opisana uporaba umetnih nevronske mreže za napovedovanje frezalnih strategij, glede na postavljene tehnološke omejitve. V opisanem primeru je bila to najboljša kvaliteta obdelane površine. Opisana je metoda določanja in klasifikacije oblikovnih gradnikov iz 3D modela izdelka. Testiranja kažejo, daje uporaba NN učinkovita.</p> <p>ANG</p> <p>In this paper we present how with Artificial Neural Network (ANN) the prediction of milling tool-path strategy could be made, according to set technological aim. In our case the best possible surface quality of machined surface was taken as the primary technological aim. This paper shows how feature extraction from 3D CAD model and classification with self-organization neural network are done. The experimental results presented in this paper suggest that the prediction of milling strategy with self organization neural network (SOM) is effective.</p>
	Objavljeno v	KLANČNIK, Simon, BALIČ, Jože, ČUŠ, Franc; Control Cybern., 2010, vol. 39, no. 1, str. 9-22. IF=0.378
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	<p>SLO</p> <p>Nevronski sistem vodenja za zagotavljanje konstantne rezalne sile med procesom oblikovnega frezanja.</p> <p>ANG</p> <p>Neural control strategy of constant cutting force system in end milling</p>
	Opis	<p>SLO</p> <p>V članku je prikazana uporaba strategije nevronske adaptivne regulacije rezalnih sil pri operacijah visoko-hitrostnega frezanja. Cilj članka je predstaviti zanesljiv, robusten nevronski regulator, ki z prilagajanjem podajanja preprečuje prekomerno obrabo, lom orodja in vzdržuje veliko stopnjo odvzemanja materiala.</p> <p>ANG</p> <p>This paper discusses the application of neural adaptive control strategy to the problem of cutting force control in high speed end milling operations. The purpose of the paper is to present a reliable, robust neural controller aimed at adaptively adjusting feed-rate to prevent excessive tool wear, tool breakage and maintain a high chip removal rate.</p>
	Objavljeno v	ZUPERL, Uroš, ČUŠ, Franc, REIBENSCHUH, Marko., Robot. comput.-integr. Manuf, 2010, ] IF=1.687
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	<p>SLO</p> <p>Modeliranje in adaptivna regulacija rezalnih sil pri frezanju z uporabo tehnik umetne inteligence.</p> <p>ANG</p> <p>Modelling and adaptive force control of milling by using artificial techniques</p>
	Opis	<p>SLO</p> <p>Za povečanje produktivnosti je izdelan samoučljiv sistem vodenja procesa frezanja. Sistem vodenja sestavljajo nevronski identifikator procesa in mehki zaprto-zančni krmilni modul. Z izdelanim sistemom smo uspeli zmanjšati obdelovalne čase, podaljšati življenjsko dobo orodja in izboljšali učinkovitost odrezavanja. Prednost sistema je, da ne potrebuje predhodnega znanja o regulacijskih zankah stroja in dinamični procesa. Ima možnost paralelnega procesiranja, samo-učenja in obdelave velikega števila s senzorji pridobljenih informacij.</p> <p>ANG</p> <p>Based on proposed control system which consists of neural network dynamics model of the process and fuzzy feedback control module. The developed control system can reduce the machining time, protect the cutting</p>

		ANG	tool, and increase the cutting efficiency. The main advantage of this approach is that the use of an adaptive learning control of milling processes does not require a priori knowledge about the servo-loops and the milling process dynamics. It has the capability of parallel processing, the utilization of a large amount of sensory information, on-line learning, etc
	Objavljeno v		ZUPERL, Uroš, ČUŠ, Franc, REIBENSCHUH, Marko.. J. intell. manuf., 2010.
	Tipologija		Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		
5.	Naslov	SLO	Določanje hitrosti in natančnosti dodajalnih tehnologij
		ANG	Speed and accuracy evaluation of additive manufacturing machines.
	Opis	SLO	Članek opisuje razvito univerzalno metodo za določanje hitrosti in natančnosti naprav za dodajalne tehnologije. Opisane so vse trenutno dosegljive naprave. Na osnovi tega so definirani vplivni faktorji, ki vplivajo na izdelek med izdelavo. Zasnovan je bil tudi testni izdelek, ki se ga uporablja za določanje hitrosti in natančnosti naprav.
		ANG	The purpose of this paper is to establish a general method for achievable speed and accuracy evaluation of additive manufacturing (AM) machines and an objective comparison among them. First, a general schematic is defined that enables description of all currently available AM machines. This schematic is used to define two influential factors describing certain parts' properties regarding the machines' yield during manufacturing. A test part is defined, that will enable testing the influence of these factors on the speed and accuracy of manufacturing.
	Objavljeno v		BRAJLIH, Tomaž, VALENTAN, Bogdan, BALIČ, Jože, DRSTVENŠEK, Igor. Rapid prototyping j., 2010, vol. 17, iss. 1, str. 64-75, IF=0.622
	Tipologija		Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		

## 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati programske skupine<sup>10</sup>

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO	BALIČ, Jože Prilagodljivi in inteligentni obdelovalni sistemi ter računalniško integrirana proizvodnja.
		ANG	Flexible and intelligent manufacturing system and computer integrated manufacturing
	Opis	SLO	Priročnik obsega področja materialov od kovin, keramike do polimerov in slojev, s katerimi oplemenitimo površine visoko obremenjenih izdelkov. Tehnološka poglavja obravnavajo procese odnašanja, oblikovanja, spajanja in rezanja, nanašanja slojev, nekonvencionalnih ter toplotnih obdelav materialov. Opisana so področja proizvodne metrologije, strege in montaže, izdelovalnih sistemov ter znanja za uspešno vodenje proizvodnje. Priročnik o modernem proizvodnem inženirstvu bo pomagal strokovnjakom v neposrednem industrijskem okolju in študirajočim, da dobijo dodatne informacije.
		ANG	This reference book describes the field of materials (metals, ceramics', and polymers'), technological processes (forming, cutting, welding, join, unconventional procedures, thermal treating, production technology, manipulation, assembly and production management). It is a useful literature for engineers in the industry as well as for students
	Šifra		Dvig tehnološke ravni
	Objavljeno v		V: KUZMAN, Karl (ur.), Moderno proizvodno inženirstvo : [priročnik]. Grosuplje: Grafis trade, 2010, str. 1041-1135, Priročnik, leksikon
	Tipologija		Enciklopedija, slovar, leksikon, priročnik, atlas, zemljevid
	COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO	Izdelava izdelkov s tehnologijo LENS
		ANG	Manufacturing of product by LENS technology
	Opis	SLO	V prispevku predstavljamo razvojno-raziskovalno delo na področju ene izmed najbolj obetavnih dodajalnih tehnologij – LENS, ki ima zelo široko možnost uporabe, npr. za neposredno slojevito izdelavo izdelkov za različne namene, popravljanje poškodovanih izdelkov, nanašanje kovinskih prevlek.

		V prispevku je predstavljena tudi izdelava testnega izdelka s tehnologijo LENS. Nadaljnje raziskave bodo zajemale optimizacijo izdelovalnih parametrov za višjo natančnost grajenja, študijo mikrostrukture dobljenih izdelkov in testiranje njihovih mehanskih lastnosti.
	ANG	In the paper the research and development work on the field of LENS technology is presented. LENS is one of the most promising additive manufacturing technologies and has a great potential of use, e.g., for direct rapid manufacturing of product, repairing of damaged products, metal coating etc. In the paper the manufacturing of sample product is also carried out. The next research will be concentrated on the optimization of machining parameters for achieving better building accuracy, studying microstructure of the obtained products, and testing their mechanical properties.
Šifra		Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov
Objavljeno v		Izdelava izdelkov s tehnologijo LENS. V: PERME, Tomaž (ur.), ŠVETAK, Darko (ur.), BALIČ, Jože (ur.). Industrijski forum IRT, Portorož, 7.-8. junij 2010. Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma. Škofljica: Profidtp, 2010, str. 83-86.
Tipologija		Objavljeni povzetek strokovnega prispevka na konferenci
COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	SLO Gibljivost robotskih sistemov pri obdelovalnih procesih
		ANG Mobility of robotic systems in manufacturing processes
	Opis	SLO Bistven podatek, ki manjka v informacijah proizvajalcev, je gibljivost mehanizma, podana za vse točke delovnega prostora, ki jo opišemo s pojmom hitrostna anizotropija. Definirana je kot normalizirana dolžina najkrajše osi hitrostnega elipsoida, ki ga konstruiramo v vrhu robota (TCP). V delu je predstavljeno grafično okolje za 3D diskretno predstavitev delovnega prostora industrijskega robota z dodanim parametrom hitrostne anizotropije za vsako diskretno točko. Prednosti razvitega grafičnega okolja so predstavljene na primeru delovnega prostora komercialnega industrijskega robota.
		ANG The information about robot mobility is missing. To represent the behavior of the robot in the workspace, velocity anisotropy of the robot is introduced and defined as the normalized length of the shortest velocity ellipsoid axes which can be constructed in the tool centre point (TCP) for any position of robot. A graphical discrete representation of the 3D workspace with included velocity anisotropy is then performed. The advantages of the developed graphical representation are presented on a workspace example for a commercial industrial robot.
Šifra		Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov
Objavljeno v		Gibljivost robotskih sistemov pri obdelovalnih procesih. V: HERAKOVIČ, Niko (ur.), DEBEVEC, Mihael (ur.), ADROVIČ, Edo (ur.). Posvet Avtomatizacija strege in montaže 2010, Ljubljana, 18. 11. 2010. ASM '10. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2010, 5 str.
Tipologija		Objavljeni strokovni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		
4.	Naslov	SLO Implementacija Condition monitoring – CM enote za on-line nadzor hidravličnega mineralnega olja v podjetju REVOZ in IMPOL.
		ANG CM unit for on-line condition monitoring of mineral hydraulic oil in companies REVOZ and IMPOL.
	Opis	SLO Za namene spremljanja stanja hidravličnega mineralnega olja, je bila v vodilnih slovenskih podjetjih implementirana on-line CM enota za spremljanje najpomembnejših fizikalno kemijskih lastnosti mineralnih olj – 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 Al-ekstrudorja, namenjenega izdelavi najzahtevnejših izdelkov primernih za avtomobilsko industrijo in ostale branže.
		ANG CM unit for on-line condition monitoring of mineral hydraulic oil in companies REVOZ and IMPOL. An on-line CM unit was implemented in the leading Slovenian companies to monitor the most important physical and chemical properties of mineral oils - viscosity, dielectric constant, conductivity, relative humidity in oil ... which constantly provides information on oil condition and its change.

	Šifra	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
	Objavljeno v	Avtonomni inteligentni sistem za oddaljeno spremljanje stanja hidravličnih olj = Autonomous Intelligent on-line condition monitoring system for hydraulic oils. V: OREL, Mojca (ur.). Mednarodna konferenca InfoKomTeh 2010, Ljubljana 27. oktober 2010 = International Conference InfoKomTeh 2010, 27th October 2010. Nova vizija tehnologij prihodnosti. Ljubljana: Evropska svetovalnica, 2010, str. 135-151, ilustr.
	Tipologija	Objavljeni strokovni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	<i>SLO</i> Določanje oblike orodja s 3-D skeniranjem <i>ANG</i> Evaluation and exploitation of a tool shape acquired by the 3D scanning process
	Opis	<i>SLO</i> Prikazan je postopek zajemanja geometrije preoblikovalnega orodja. Pri končnem preizkušanju je potrebno izvesti korekcije geometrije preoblikovalnega orodja. Zaradi težko merljivih veličin se ne da popolnoma določiti geometrije aktivnih delov preoblikovalnega orodja. Pri preizkušanju se izvedejo korekcije, dodelave. Po korekcijah in dodelavah se geometrija spremeni. Članek opisuje kako priti do dejanske geometrije aktivnih delov preoblikovalnega orodja. Uporabljene so najnovejše metode vzratnega inženirstva. Model je tudi še preizkušen v praksi in potrjen uspešno. <i>ANG</i> In the article a procedure how to capture the real geometry of the forming tool is shown. Corrections of the geometry must be carried out at the final test of the forming tool. Geometrical data of active elements of the forming tool cannot be determined exactly because of the difficulties at measuring of quantities. Afterwards the geometry is different from the previous designed. The article explains how to obtain the real geometry of the active parts of the forming tool. The newest methods of reverse engineering are used. The method has been successfully applied in the praxis.
	Šifra	Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
	Objavljeno v	V: The Sixth International Symposium about Forming and Design in Mechanical Engineering, KOD 2010, 29-30 September 2010, Palić, Serbia. KOD 2010 : proceedings. Novi Sad: Faculty of Technical Sciences, 2010, str. 129-132.
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)
	COBISS.SI-ID	

## 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>11</sup>

Dva člana programske skupine sta na svetovni lestvici objav s področja evolucijskih metod na 20 oziroma na 91 mestu med več kot 5200 raziskovalci z vsega sveta.  
<http://www.cs.bham.ac.uk/~wbl/biblio/gp-html/index.html>

Industrijski forum IRT, PERME, Tomaž (ur.), ŠVETAK, Darko (ur.), BALIČ, Jože (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma. Škofljica: Profidtp, 2010. XII, 291 str., ilustr. ISBN 978-961-92659-1-8. [COBISS.SI-ID 251214080]

Advances in production engineering & management. Balič, Jože (glavni urednik 2006-2011). Maribor: Fakulteta za strojništvo, Inštitut za proizvodno strojništvo

Journal of intelligent & robotic systems. Balič, Jože (član uredniškega odbora 2010, 2011). Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, 1988-

Journal of production engineering. Balič, Jože (član uredniškega odbora 2010, 2011). Novi Sad: Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering

Ljevarstvo. Balič, Jože (član uredniškega odbora 1997-2011). Zagreb: Savez ljevača Hrvatske, Strojniški vestnik. Balič, Jože (član uredniškega sveta 2008, 2009, 2010). Ljubljana: Zveza strojnih inženirjev in tehnikov Slovenije [et al.]: = Association of Mechanical Engineers and Technicians of Slovenia [et al.], 1955-. ISSN 0039-2480. [COBISS.SI-ID 762116]

Patentna prijava: BREZOVNIK, Simon, BALIČ, Jože. Vezje za merjenje trajanja vbrzganja goriva : patentna prijava št. P-201000431 z dne 08. 12. 2010. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2010. [4] str. [COBISS.SI-ID 14649878]

Vabljen predavanje na konferenci brez natisa

BALIČ, Jože, ČUŠ, Franc. PLM and production system as multilevel complex structure : lecture, presented at the PLM Meeting (MAS-PLM TEMPUS JP Project), Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, Split, Croatia, July 02, 2010. Split, 2010.

[COBISS.SI-ID 14350358]



## 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov<sup>12</sup>

Vrsta izobraževanja	Število mentorstev	Od tega mladih raziskovalcev
- znanstveni magisterij		
- doktorat znanosti		
<b>Skupaj:</b>		

## 11. Zaposlitev vzgojenih kadrov po usposabljanju

Organizacija zaposlitve	Število doktorjev znanosti	Število magistrov znanosti
- univerze in javni raziskovalni zavodi		
- gospodarstvo		
- javna uprava		
- drugo		
<b>Skupaj:</b>		

## 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca

Sodelovanje v programski skupini	Število
- raziskovalci-razvijalci iz podjetij	
- uveljavljeni raziskovalci iz tujine	
- podoktorandi iz tujine	
- študenti, doktorandi iz tujine	
<b>Skupaj:</b>	

## 13. Vključenost v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v letu 2010<sup>13</sup>

3 letni projekt čezmejnega sodelovanja med Slovenijo in Avstrijo, na področju rabe ultralahkih vozil - »CESLA - Cross-border implementation of environmentally friendly ultra-light vehicles in Slovenia and Austria« Člani programske skupine so dejavno vključeni v projekt na področju raziskav, razvoja in izdelave prototipa ultralahkega vozila za urbana okolja.

Projekt Tempus; Številka projekta: 144959-TEMPUS-2008-IT-JPCR; Trajanje projekta: 15.1.2009 do 14.1.2012; Nosilec projekta: prof.dr. Franci Čuš; Naslov projekta: Master Studies and Continuing Education Network for Product Lifecycle Management with Sustainable Production.

Implementation and utilization of e-learning systems in study area of production engineering in Central European Region. CII-RO-0202-01-0809. Glavni koordinator mreže: Nicolae Ungureanu, Univerza v Baie Mare, Romunija. Lokalni koordinator: Mirko Ficko

Bilateralni projekt; Številka projekta: Slovenija – Hrvaška; BI-HR/09-10-004; Trajanje projekta: 1.1.2009 do 31.12.2010; Nosilec projekta: prof.dr. Franci Čuš; Naslov projekta:

Mreženje in modeliranje razvojnih sposobnosti malih in srednje velikih podjetij.

V okviru skupine aktivno delujejo 4 CEEPUS mreže za izmenjavo študentov in učiteljev, med katerimi mrežo SI-0206 tudi koordiniramo:

PL-0007 Geometrical Product Specification

RO-0013 Teaching and Research of Environment-oriented Technologies in Manufacturing

RO-0202 e-Learning systems in production engineering

SI-0206 Applications of Rapid manufacturing in Biomechanical Fields

Lifelong Learning Programme, 2007 – 2013, Agreement No. LLP/Ldv/TOI/2010/IRL – 502, Irska, Portugalska, Romunija, Slovaška, Slovenija.

#### **14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v letu 2010 potekali izven financiranja ARRS<sup>14</sup>**

Vpliv oblike rondice na tehnološke parametre pri izsekovanju : končno poročilo projekta. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Inštitut za proizvodno strojništvo, Laboratorij za inteligentne obdelovalne sisteme, Laboratorij za prilagodljive obdelovalne sisteme, 2010. 43 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 14235670]

Projekt Inteligentni nadzor hidravličnega sistema IMPOL Slov. Bistrica -InoProAI IPS-80/2009-10-DL

Projekt Raziskovanje, razvoj in testiranje šobe za ustvarjanje podtlaka v EKG elektrodi IPS-18/2010-DL

Projekt: Aplikacija za modeliranje orodij za itztiskanje, INOPROAL – 2009-2011, Kaldera d.o.o., Sl. Bistrica, števil. pogodbe IPS/2009

#### **15. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanje v projektih okvirnih programov EU) v letu 2010<sup>15</sup>**

Dodatnega sofinanciranja ni bilo

#### **16. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010<sup>16</sup>**

Dodatnega sofinanciranja ni bilo

#### **17. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu v letu 2010<sup>17</sup>**

Dodatnega sofinanciranja ni bilo

#### **18. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi<sup>18</sup>**

Z dokončanjem razvoja sistema za modeliranje, programiranje, vodenje in nadzor inteligentnih strojev in sistemov (modeliranje in programiranje inteligentnih strojev in naprav, napredno inteligentno optimiranje obdelovalnih postopkov in rezalnih pogojev, razvoj inteligentnih preoblikovalnih metod in postopkov, vodenje inteligentnih robotskih obdelovalnih sistemov in razvoj napredne, energetske varčne in okolju prijazne fluidne tehnike) je mogoče že sedaj neposredno uporabiti v praksi (tako na laboratorijskem, kot na industrijskem nivoju). Rešitve so bile namreč preizkušene na realnih industrijskih robotih in realnih industrijskih CNC obdelovalnih strojih.

Omenjene rešitve oz. njihove izvedenke se lahko uporabijo v splošni strojni industriji (npr. izdelava večjih prototipov plovil, ohišij, lupin), pa tudi na področju ohranjanja kulturne dediščine (npr. izdelava replik spomenikov, kipov).

Razviti postopki in metode dodajalnih tehnologij pa so že uspešno uvedene v razvojne oddelke številnih podjetij in v klinično prakso UKC Maribor, za izdelavo vsadkov.

Razvita rešitev adaptivnega vodenja obdelovalnih sistemov omogoča on-line adaptacijo rezalnih parametrov. Ciljno usmerjen del trga vidimo prav v slovenskih orodjarnah, kjer bi z implementacijo razvitega sistema uspeli povečati učinkovitost in s tem tudi dodano vrednost obstoječih strojev. Konkurenčna prednost razvitega sistema je v njegovi enostavni zgradbi ter enostavni in hitri integraciji na stroj z minimalnimi stroški.

# LETNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA V LETU 2010

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

<b>Šifra programa</b>	
<b>Naslov programa</b>	Napredni koncepti menedžmenta proizvodnje in dimenzionalnega meroslovja
<b>Vodja programa</b>	
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	skupaj: _____ od tega v letu 2010: _____
<b>Cenovni razred</b>	
<b>Trajanje programa</b>	-
<b>Izvajalci programa (raziskovalne organizacije in/ali koncesionarji)</b>	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo Univerza v Mariboru, Ekonomsko-poslovna fakulteta
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	Industrijska proizvodnja in tehnologija

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	
<b>Naziv</b>	

### 2. Povzetek<sup>2</sup>

SLO

Raziskovalni program-Napredni koncepti menedžmenta proizvodnje in dimenzionalnega meroslovja-ostaja s svojimi vsebinami in rezultati za slovensko gospodarstvo izjemno pomemben program. Področje proizvodnega oziroma inženirskega menedžmenta kot izrazito interdisciplinarno področje je ključnega pomena za dvig inovativnosti v naših podjetjih, saj se ukvarja z razvojem novih izdelkov in storitev, organizacijskimi in tehničnimi inovacijami ter menedžmentom proizvodnje. Slovenska podjetja imajo ogromno rezerv pri organizaciji svojih tehniških in poslovnih procesov; znanja, ki jih bodo pridobila, pa bodo neposredno dvignila dodano vrednost njihovih izdelkov. Raziskovanje na interdisciplinarnih področjih, kjer prihaja do prekrivanja vsebin tehničnih in organizacijskih ved, omogoča večjo fleksibilnost pri prilagajanju spremembam v poslovnem okolju, zagotavlja celovito razumevanje delovanja proizvodnih sistemov, tako s statičnega kot dinamičnega vidika, in doseganje konkurenčne prednosti proizvodnih in tehnično usmerjenih storitvenih podjetij. Projektni menedžment postaja vodilno menedžersko orodje v podjetjih in drugih organizacijah. Le z dobro planiranimi in izvedenimi projekti lahko dvigamo konkurenčnost podjetij in celotnega gospodarstva, hkrati pa izvajamo strategije in črpamo denar iz evropskih skladov. V času prehoda v svet

nanotehnologij pa postaja tudi področje meroslovja eno izmed ključnih področij pri razvoju novih izdelkov in tehnologij. Dimenzionalna metrologija – v programu so tri glavna področja raziskav: vpeljava in uporaba primarnega etalona za dolžino (laserski etalon frekvence), kalibracije na koordinatnem merilnem stroju ob uporabi laserskega interferometra in akreditacija kalibracijskih postopkov ter razvoj in izdelava 3D etalonov in postopkov za kalibracijo optičnih skenirnih 3D merilnih naprav.

ANG

Research programme Advanced concepts in production management and dimensional metrology is still with its content and results very important programme for Slovenian economy. The production management and industrial management as two extremely interdisciplinary areas are essential to raise innovation level in Slovenian companies, since both areas deal with new product and services development, technical and organisational innovation and management of production. Slovenian companies have many reserves in organising their technical and business processes. With the knowledge from production management area they will have the possibility to improve added value of their products. Research in the interdisciplinary area, where technical and organisation aspect intertwine, enables higher flexibility with adapting to changes in business environment, ensures holistic understanding of production systems performance from static and dynamic point of view, as well as achieving competitive advantage of manufacturing and technically oriented service companies. Project management is becoming prevalent managerial tool in companies and other organisations. Only with carefully planned and effectively implemented projects we will be able to improve companies' and national competitiveness level, implement strategies and raise money from European financial funds. At the same time we are approaching nanotechnology period, where metrology will have one of the leading roles in the development of new products and technologies. Dimensional metrology – the programme consists of three main research fields: introducing and applying primary standard of length (laser frequency standard), calibration on a coordinate measuring machine (CMM) by using laser interferometer and accreditation of calibration procedures, as well as development and production of 3D standards and procedures for calibrating optical 3D scanners.

### 3. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>3</sup>

#### 3.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>4</sup>

SLO

##### Proizvodni menedžment

Raziskovalne aktivnosti v okviru prijavljenega raziskovalnega programa so usmerjene k doseganju mednarodno primerljivih znanstveno raziskovalnih rezultatov. V znanosti se procesu specializacije znanj, pridruži proces integracije znanj. Proizvodni menedžment, kot podpodročje tehnične discipline se je v evolucijskem razvoju vedno bolj stapljal z menedžmentom. Proizvodni menedžment je zato mogoče identificirati kot področje, ki je nastalo s prepletanjem tehniških in organizacijskih ved. Integracija je nastala zaradi potrebe po razumevanju pojavov, ki nastajajo v razvojno in tehnološko intenzivnih proizvodnih podjetjih. V prihodnosti pričakujemo še močnejše prepletanje tehniških in organizacijskih znanj, saj se morajo inženirji zavedati pravega pomena inovacije – razvito idejo pretvoriti v komercialni posel. Obstaja večje število znanstvenih revij, ki integrirajo inženirsko-tehnična in organizacijska znanja in usmerjajo raziskovalno dejavnost raziskovalnega programa: Journal of Operations Management, International Journal of Operations & Production Management, Journal of Engineering and Technology Management, Journal of Product Innovation Management, Technovation in International Journal of Project Management. Obstoj naštetih znanstvenih revij dokazuje, da proizvodni menedžment predstavlja relevantno znanstveno področje, z lastnim konceptualnim znanjem in lastno znanstveno identiteto. Na področju projektnega menedžmenta bo glavni prispevek v tem, da se njegov razvoj prilagodi vrstam projektov in vsem relevantnim projektnim okoljem, upoštevajo nastanki, zagoni izvajanja in zaključevanje projektov ob hkratnem obvladovanju sprememb in rizikov ter aktualnih vplivov strateškega okolja, da se prilagodi vse kompleksnejšim proizvodnjam projektov ne samo v podjetjih, ampak tudi na nacionalno pomembnih področjih tako, da se upoštevajo strateške in druge usmeritve nacionalnega razvoja. Ustvarjanje in posredovanje novih znanj s področja delovanja skupine bo imelo največji pomen za nadaljnji razvoj znanosti, kar pa se bo apliciralo predvsem v okviru zagotavljanja učinkovitosti in s tem večje konkurenčnosti malih in srednjih proizvodnih podjetij v aktualnem poslovnem okolju. Na prevladujočem tehniškem področju (glede vsebine raziskav) ima raznolikost (pluralizem) drugačen značaj kot v humanistiki ali v družboslovju, ker temelj predstavitve in analize niso individualna spoznanja, ampak empirično ali matematično dokazljiva dejstva. Posebna odlika programske skupine je izdajanje

mednarodne znanstvene revije International Journal of Simulation Modelling, katere urednik je naš član. Izsledki raziskav naše skupine so že bili predstavljeni javnosti v znanstvenih revijah, pa tudi v znanstvenih monografijah, v prihodnosti glede na predvidene vsebine pričakujemo izrazit porast.

#### Dimenzionalna metrologija

Kalibracije laserske frekvence s pomočjo primarnega etalona v svetu sicer niso novost, so pa v domeni vrhunskih nacionalnih meroslovnih laboratorijev in le-ti pri omenjenih meritvah zaznavajo še vrsto neobvladanih vplivnih faktorjev. V Sloveniji predstavlja to področje znanstvenih raziskav povsem neobvladan segment, zato je pričakovan znanstven prispevek izjemno velik. Omogočil bo enakovredno meroslovno komunikacijo na primarnem nivoju v svetovnem meroslovnem prostoru, domačim uporabnikom laserskih meritev pa novo bazo znanja za obvladovanje merilne negotovosti in širjenje laserskih aplikacij na nova področja meritev. Pri integraciji laserskega interferometra in koordinatne merilne naprave v nov merilni sistem za kalibracije bo znanstven prispevek predvsem v tvorjenju novih matematičnih modelov za vrednotenje merilne negotovosti, ki pri nas še niso poznani, pa tudi v izdelavi algoritmov za sočasno zajemanje rezultatov v realnem času. Nova znanstvena spoznanja na osnovi obsežnega eksperimentalnega dela bodo omogočala širitev uporabnosti laserskih interferometrov in koordinatnih merilnih naprav.

ANG

#### Production management

Research activities within research programme aim at achieving internationally comparable scientific research results. In science a process of knowledge specialisation is more and more accompanied by the process of knowledge integration. Production management as a subarea of technical disciplines has during its evolution aligned with management science. Production management can be therefore identified as an area, that evolved when technical and managerial sciences interwind. Integration emerged as a result of the need to understand phenomenon that appear in R&D and technologically advanced manufacturing companies. In the future we can expect even stronger combinations of technical and organisational knowledge. The engineers have to be aware of the true meaning of innovation – how to transfer an idea into commercialised business. There is a larger set of scientific journals that cover the integration of engineering and organisational knowledge and direct the research activities of the proposed research programme: Journal of Operations Management, International Journal of Operations & Production Management, Journal of Engineering and Technology Management, Journal of Product Innovation Management, Technovation in International Journal of Project Management. The existence of mentioned journals proves that production management presents relevant scientific area with its own conceptual knowledge and scientific identity. Creation and transfer of new knowledge produced by the researcher of the programme will have a large importance for the further evolution of the science and that will be applicable in the frame of ensuring efficiency and higher competitiveness of SMEs. In the scope of dominating technical area (according to research content) the pluralism has a different meaning than in humanistics or sociology since the basis for analysis are not individual findings, but empirically or mathematically proven facts. A special superiority of the research programme is publishing of international scientific journal International Journal of Simulation Modelling. Results of our research have already been presented to public in scientific journals; scientific monographs and in the future we expect a significant rise of the publications.

#### Dimensional metrology

Calibration of laser frequency by primary standard is not a novelty in the measurement science, but only highest-ranked national metrology institutions are capable to performing it. Also they are still noticing a number of unmanaged influence factors in the calibration process. In Slovenia this field of scientific research is completely unpracticed, that is way a respected scientific achievements are extremely large. Equivalent metrological communication on the primary level will be possible in the global metrological community, while Slovenian users of laser measurements will gain new base of knowledge for diminishing the measurement uncertainty and widening the laser applications in new fields of use. By integration of laser interferometry with coordinate measuring machines new measurement system for calibrations will arise, where new mathematic models for measurement uncertainty evaluation will represent a scientific achievement. Such mathematic models are not known in Slovenia yet, also new algorithms for on-line and real-time data acquisition will be developed. New scientific knowledge based on extensive experimental work will enable widening of use of laser interferometer as well as coordinate measuring machines.

### 3.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>5</sup>

SLO

Programska skupina je edina v Sloveniji, ki združuje tehnično-tehnološka znanja v proizvodnem strojništvu z znanji s področja menedžmenta (proizvodnje), torej združuje strojno-tehnološka in poslovno-organizacijska znanja. Pri tem se navezuje na strateški in predvsem projektni management pri izvajanju strategij in projektov, ne samo povezanih s proizvodnjo, temveč širše s celovitim strateškim načrtovanjem v podjetjih in širšem okolju. Skupina tako opravlja edinstveno povezovalno, interdisciplinarno vlogo z izrazitim prispevkom k boljši konkurenčnosti proizvodnih podjetij, izkoriščanju poslovnih priložnosti ter trajnostnega razvoja Slovenije. Pomena raziskovalne skupine se zavedajo v slovenskih podjetjih in evropskih raziskovalnih ustanovah, s katerimi skupina uspešno sodeluje. Vključenost raziskovalcev z različnim strokovnim profilom je pogoj za optimalno izrabo možnosti sodobnih analitičnih in raziskovalnih metod ter vsebinsko interpretacijo raziskovalnih dognanj. Koncepti, ki bodo razviti v raziskovalnem programu, bodo ob teoretični ustreznosti (na osnovi raziskav v realnem poslovnem okolju) usmerjeni k aplikativnemu reševanju problemov v proizvodnih podjetjih. Tako bodo pripomogli k povečanju konkurenčnosti podjetij in prispevali h gradnji inovativnega, učinkovitega in na znanju temelječega gospodarstva z dolgoročno stabilno rastjo. Konkurenčnost slovenskih proizvodnih podjetij je v veliki meri odvisna od njihovih sposobnosti za integracijo naprednih proizvodnih tehnologij in upravljanje tehnološke baze in informacijskih tokov in pa predvsem uspešnega izvajanja investicijskih projektov zagotavljanja proizvodnje. Rezultati raziskav bodo pripomogli k razvoju znanja, ki bo omogočalo prenos razvojnih in tehnoloških dosežkov v konkurenčne prednosti in izkoriščanje poslovnih priložnosti. V prihodnosti bomo soočeni s pospešenimi spremembami in izzivi na različnih področjih delovanja. Podjetja, ki ne bodo zadostno vlagala v e-volucijo (koriščenje virtualnega okolja), dvig produktivnosti in inovacije, ne bodo med zmagovalci in bo močno ogrožen njihov obstoj. Uporaba ekološko naravnanih tehnologij, procesov in praks bo edina zagotovila novo – trajnostno naravnano gospodarstvo.

Tu se vidi vloga projektnega menedžmenta, saj postaja projektno izvajanje strategij v obliki učinkovite proizvodnje projektov nujnost v podjetjih in ostalih sferah, kar je ključnega pomena za črpanje evropskih sredstev, pripravo in izvedbo nacionalno pomembnih projektov, ki so zapisani tudi v nacionalni strategiji do leta 2023. Posebej je potrebno poudariti, da je prijavljen raziskovalni program temelj za razvoj interdisciplinarnega do- in podiplomskega študijskega programa Gospodarsko inženirstvo, ki ga v prenovljeni obliki po Bolonjskem sistemu izvajata Fakulteta za strojništvo in Ekonomsko-poslovna fakulteta.

Na področju meroslovja bodo rezultati raziskav – predvsem novi etaloni ter kalibracijske metode in postopki omogočili dvig mednarodne primerljivosti kalibracijskih rezultatov zelo pomembnih etalonov (posebej moramo izpostaviti primarni etalon, ki ga do sedaj še ni bilo) in merilnih sistemov, kar bo omogočilo boljšo integracijo slovenskega meroslovnega sistema v mednarodno meroslovno infrastrukturo. S povečanjem ugleda slovenskega meroslovja se seveda tudi slovenski industriji omogoči lažje mednarodno trgovanje predvsem na področju ugotavljanja skladnosti izdelkov. Širjenje in izboljšava etalonske baze bosta imeli za posledico izboljšanje industrijskih zmožnosti na področju geometrijsko zahtevnih proizvodov. Predvsem pomembno je to za naraščajoče število slovenskih dobaviteljev svetovni avtomobilski industriji.

ANG

The research programme is the only one in SLO that integrates technical-technological knowledge in production engineering with production management, therefore it combines mechanical engineering and business and organisational knowledge. As such it is fasten to the strategic management and especially project management for strategy and projects implementation, not only in connection with production but wider with holistic planning in companies and extensive environment. The research group performs a unique integrating, interdisciplinary role with results that contribute to increase of competitiveness of manufacturing companies, to taking advantage of business opportunities and sustainable development of Slovenia. Our companies are aware of the importance of the research programme, as well are foreign R&D institutions with which we have excellent partnerships. The inclusion of researchers with different professional and scientific background is a necessary condition for an optimum use of the modern analytical and research methods and interpretation of research findings. The concepts that will be developed will beside theoretical adequacy (research in real companies) focused on applicative solution finding in manufacturing companies. The research results will therefore contribute to increase of competitiveness of companies and foster building innovative, efficient and on knowledge-based economy with long term stable growth. Competitiveness of Slovenian manufacturing companies to a large extent depends on their capabilities to integrate advanced manufacturing technologies and manage technological data and information flows as well as successful implementation of investment projects for assuring production. The research results will help with building knowledge that will enable transfer of R&D and technological results in competitive advantage and seizing business opportunities. In the future we will be faced with changes and challenges in different spheres of operations. Companies not investing in e-volution (use of virtual environment), in higher productivity and innovations will not be between the winners and their survival will be

uncertain. Using ecological technologies, environmental-friendly processes and practices will give an assurance of new-sustainable oriented economy.

Here we can see the role of project management because the project oriented strategy implementation as a project production is becoming inevitably in companies and other environment. Project management competences are of crucial importance for acquiring European financial funds and for preparation and implementation important national projects, written in national strategy till the year 2023. We have to emphasise that the research programme is a basis for development of interdisciplinary study programme Industrial Management that is currently implemented according to Bologna process by Faculty of mechanical engineering and Faculty of Economics & Business.

In the field of measurement science, results of scientific work (especially new measurement standards and calibration methods in connection with primary measurement standard, not present in SLO until now) will enable rise of level of international comparability of calibration results and measurement systems. Better integration of Slovenian metrology system into global metrology infrastructure will be enabled. By higher reputation of Slovenian metrology also Slovenian industry will easier resolve matters in foreign trade, where product conformity is needed (e.g. CE-mark). Widening and enhancement of measurement standards base are going to enhance industrial capabilities in the field of highly geometrically pretentious products, what is of great importance for increasing number of SLO automotive industry suppliers, where demands of technical specification ISO TS 16949 and other standards in this branch, concerning reliable measurements protocols and documents as quality conformance proofs are very high.

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### 4. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega programa<sup>6</sup>

Področje proizvodnega in projektnega menedžmenta:

1. Učinkovito upravljanje proizvodnih sistemov zahteva raziskave in študij sodobnih smernic razvoja – v ta namen smo izvedli raziskavo trendov, ki nam podaja osnovne značilnosti: poudarek je na razvoju trajnostnih oblik proizvodnje, kjer so ključni dejavniki varnost, zanesljivost, časovni in stroškovni prihranki, inovativnost, povečana korist in višja kakovost življenja. Popolna mrežna povezanost sistemov, njihova vse večja zapletenost in dinamična soodvisnost so dejstvo že danes in zahtevajo celostno obravnavo ter upoštevanje razvojnih sprememb in novih usmeritev na poti do nove dodane vrednosti, novih delovnih mest in splošne blaginje.
2. Vse krajši življenjski cikli izdelkov, eksponentna rast števila različic izdelkov in naraščajoči trend k posamični proizvodnji izdelkov (serija je en kos) sili proizvodne sisteme k uvedbi novih modelov načrtovanja in vodenja s poudarkom na prožnosti. V raziskavi smo obravnavali organizacijo proizvodnih sistemov, ki bo obvladovala tveganja, motnje in spremembe v poslovno-proizvodnem okolju (z uporabo modeliranih avtonomnih agentov, simulacije in inteligentnega adaptivnega nadzora).
3. Področje vitke proizvodnje je aktualno že več kot 30 let, vendar se v zadnjem času ponovno poudarja pomen teh konceptov, predvsem v povezavi z metodologijo 6 sigma. V svetu je celo uveljavljen izraz vitka 6 sigma. Kljub temu, da je bilo objavljenih že več poskusov oblikovanja kazalnikov, tipičnih za vitko proizvodnjo, tudi v najpomembnejših revijah iz področja menedžmenta proizvodnje, kot je *Journal of Operations Management*, še vedno ni enotnega modela, ki bi nedvoumno in celovito opisoval to področje. Na osnovi rezultatov analize, ki smo jo izvedli v slovenskih podjetjih bomo skušali oblikovati kazalnike, tipične za vitko proizvodnjo in tako prispevati k večji transparentnosti na tem področju. Na osnovi rezultatov raziskave o stanju vitke proizvodnje in 6 sigme smo izvedli obsežnejše analize z uporabo programskega paketa PASW Statistics 18. Raziskava je bila izvedena v letu 2010, v 72 slovenskih podjetjih iz področja predelovalne industrije. Rezultati raziskave v glavnem kažejo na to, da so posamezna orodja vitke proizvodnje prisotna v naših podjetjih. Vendar, glede na razpršenost odgovorov pri negativnih trditvah, ki so v vprašalniku v glavnem zato, da ohranjajo zbranost in pozornost anketiranja, koncept vitke proizvodnje v naših podjetjih še ni popolnoma sprejet oz. še ni prisoten v takšnem obsegu, da bi se njegovih prednosti in koristi zavedali vsi zaposleni.
4. V letu 2009 smo izvedli raziskavo o proizvodni dejavnosti v slovenskih proizvodnih podjetjih - izvedli smo obsežno anketo, kjer smo podjetja spraševali o značilnostih njihove proizvodnje (tehniški in organizacijski koncepti, selitev proizvodnje, razvoj



izdelkov, uvedba storitev, vezanih na izdelke ...). V letu 2010 smo analizirali rezultate ankete, izsledki so bili objavljeni v obliki JCR člankov, poglavij v znanstveni monografiji ter na konferencah. Z rezultati smo seznanili tudi podjetja, ki so sodelovala v anketi. Predvsem nas je zanimal odnos med tehničnimi inovacijami in organizacijskimi inovacijami (koncepti) v podjetju, vplivu obeh na inovativnost pri razvoju izdelkov ter na finančne kazalnike podjetja. Prav tako nas je zanimalo, kako inovacijski koncepti vplivajo na temeljne konkurenčne kriterije podjetja.

5. Pomemben segment dela naprednega koncepta menedžmenta proizvodnje je opredeliti in razviti tak izdelek in storitev, ki bo s svojo kakovostjo pomembno prispeval k njegovi konkurenčni prednosti. Zato napredni koncept menedžmenta proizvodnje zahteva neprestano spremljanje in merjenje pričakovane kakovosti izdelkov in storitev. Podnebne in okoljske spremembe, ki smo jim izpostavljeni v današnjem času, najverjetneje že vplivajo na pričakovano kakovost mnogih izdelkov in storitev. Ker je turizem ena od okolja najbolj odvisnih panog in ima nanj tudi močan vpliv, hkrati pa tudi ena od najbolj rastočih panog, smo raziskavo novih dimenzij kakovosti usmerili v proučevanje ekološke komponente kakovosti storitev v turizmu. Za potrebe raziskave te komponente smo razvili merilni instrument. S pomočjo tega instrumenta in podatkov iz vzorca (pričakovanja turistov različnih narodnosti o ekološki komponenti) smo ugotovili, da uporabniki že pričakujejo kakovost turističnih storitev z novo komponento, ki smo jo poimenovali z eko-komponenta. Rezultati strukturnega modela pa so pokazali, da je eko-komponenta sestavljena iz štirih dimenzij. Dobljeni rezultati prispevajo k oblikovanju novega koncepta kakovosti storitev, ki obstoječim petim dimenzijam (zanesljivost, zaupanje, fizični elementi, empatija, in odzivnost) dodaja še eko-komponento. Ugotovitev te raziskave je pomembna s teoretičnega vidika, saj dopolnjuje obstoječi SERVQUAL model za merjenje kakovosti storitev. Rezultati pa so pomembni tudi za slovensko gospodarstvo, saj so koristni za menedžerje v slovenskih hotelih pri razvoju novih storitev z ekološko komponento, saj ugotovitve temeljijo na pričakovanjih slovenskih kot tudi tujih turistov, ki obiskujejo slovenske in avstrijske hotele. Ne smemo pa prezreti pomena teh ugotovitev za proizvajalce hotelske opreme kot tudi arhitekto turističnih objektov. Raziskava je bila izvedena na Ekonomsko-poslovni fakulteti.
6. Raziskava značilnosti in delovanja ustvarjalnega okolja v inovacijskem procesu - raziskava je bila usmerjena v razvoj novih izdelkov ali storitev, ki smo ga označili kot inovacijski proces, v katerega je potrebno vključiti ustrezne metode inovacijskega menedžmenta. Pri tem smo upoštevali znane izsledke na področju oblikovanja tekstilnih materialov in raziskovali vpliv oblačila na fiziološko in psihološko počutje zaposlenega pri delu. Izvedene so bile meritve in toplotne obremenitve človeka ter merjenje zadovoljstva pri izvajanju aktivnosti. Tako smo dali poudarek na značilnosti in delovanje ustvarjalnega okolja in kot rezultat izdelali predlog navodil ustvarjalnega kreiranja idej. Raziskava je pomembno prispevala k oblikovanju koncepta razvoja novih izdelkov na osnovi več faznega modela in tako daje osnovo za nadaljnje vključevanje ustvarjalnosti v inovacijske procese. Pomemben prispevek k znanosti se kaže v povezavi strategije razvoja novih izdelkov ter ustvarjalnega okolja, kar bo mogoče koristno implementirati v različnih industrijskih okoljih, sam model pa bo v nadaljevanju izdelan kot nepogrešljivo orodje za inovativni preboj malih in srednje velikih podjetij.

#### Projektni menedžment:

1. Ob koncu leta 2010 smo pričeli snovati raziskavo o organizacijski in projektni zrelosti naših podjetij. V današnjem okolju postaja projektni način dela v podjetju prevladujoči menedžerski koncept. Spopad z izzivi poslovnega okolja in z aktualnimi težavami je možen zgolj s skrbno načrtovanimi projekti, ki jih je treba tudi učinkovito izvajati. Zato se raziskava osredotoči na učinkovitost in uspešnost izvedbe projektov v slovenskih podjetjih in na povezavo s strateškimi cilji. Zanimalo nas je, kako so podjetja pripravljena na izvedbo projektov, katere projekte izvajajo in predvsem, kako je učinkovitost izvedbe projektov povezana z organizacijsko zrelostjo podjetij (v smislu tehniških, organizacijskih, menedžerskih, strateških in drugih kompetenc podjetja).

#### Področje meroslovja:

1. Dokončana je bila mednarodna interkomparacije CCL-K11, iz končnega poročila pa je razvidno, da primarni etalon dolžine v LTM (slovenski nacionalni etalon) ustreza vsem zahtevam BIPM in da omogoča predpostavljeno merilno negotovost pri kalibraciji laserskih frekvenc na najvišjem meroslovnem nivoju (mise-en-pratique)
2. Izvedeni sta bili kalibraciji dveh laserskih interferometrov (LI HP in LI lasertex) kot preskusni aplikaciji primarnega etalona, ki pa sta hkrati tudi zagotovili sledljivost akreditiranih kalibracij z uporabo laserjev v LTM
3. Raziskana in potrjena je bila izračunana merilna negotovost in časovna stabilnost laserjev sekundarnega nivoja
4. Izdelan in validiran je bil postopek umerjanja razdalj, premerov in stopničastih meril

(interni postopek SOP 31) na integriranem sistemu KMN-LI, ovrednotena je bila merilna negotovost

5. Postopek SOP 31 je bil akreditiran

6. Izdelana sta bila etalona za kalibracijo optičnih trikoordinatnih merilnih naprav (tetraedra s štirimi tipalnimi elementi dveh različnih velikosti) – aktivnost je bila planirana za leto 2011

## 5. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>7</sup>

V okviru celovite raziskave Napredni koncepti menedžmenta proizvodnje in dimenzionalnega meroslovja smo si kot cilj postavili, kako se ti koncepti razvojno oblikujejo in hkrati tudi uvajajo v industrijsko okolje. Pri tem smo ugotovili s proučevanjem, da moramo razvoj in uvajanje teh konceptov povezati s strategijo poslovnega subjekta, z njeno projektno izvedbo, kar tvori projektno poslovanje, ki mora biti povezano z letnim planiranjem poslovanja nasploh.

Ocenjujemo, da smo cilje raziskave ne glede na sprotne zadane dopolnitve ciljev, zastavljene raziskovalne cilje dosegli in delno celo preseгли.

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>8</sup>

Ni bilo spremembe programa na področju proizvodnega menedžmenta ter projektnega menedžmenta.

Ni bilo spremembe programa na področju dimenzionalne metrologije.

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>9</sup>

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Primerjava merilnih metod za srednji premer navojnih kontrolnikov in analiza vplivov na merilne rezultate
		<i>ANG</i> Comparising measuring methods of pitch diameter of thread gauges and analysis of influences on the measurement results
	Opis	<i>SLO</i> Članek predstavlja izvirno znanstveno-razvojno delo na področju preciznega umerjanja navojnih kontrolnikov. Raziskava je bila usmerjena v vrednotenje uveljavljenih in alternativnih merilnih metod s stališča merilne negotovosti. Uporabljena je bila meroslovna baza Laboratorija za tehnološke meritve, ki temelji na primarni realizaciji veličine dolžina, ter analitične in eksperimentalne metode vrednotenja merilne negotovosti.
		<i>ANG</i> The article is presenting original scientific and development work in the field of precise thread gauge calibration. The research was focused into evaluation of conventional and alternative measuring methods from the aspect of measurement uncertainty. The metrology basis of the Laboratory for Production Measurement based on the primary realisation of quantity length as well as analytic and experimental uncertainty evaluation methods, were used.
	Objavljeno v	PRIMOŽIČ MERKAČ, Tadeja, AČKO, Bojan. Comparising measuring methods of pitch diameter of thread gauges and analysis of influences on the measurement results. Measurement. [Print ed.], Apr. 2010, vol. 43, iss. 3, str. 421-425, doi: 10.1016/j.measurement.2009.12.012. [COBISS.SI-ID 14106390], [JCR, WoS, št. citatov do 7. 4. 2011: 1, brez avtocitatov: 1, normirano št. citatov: 1] kategorija: 1A2 (Z1); upoštevana uvrstitev: SCI; tipologijo je verificiral OSICT točke: 41.14,
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i> Mišično – skeletne bolezni zahtevajo ergonomsko oblikovanje delovnega mesta šivilje
		Muscular-skeletal diseases require scientifically designed sewing

		ANG	workstations
Opis		SLO	V članku so predstavljeni rezultati raziskave ustreznosti delovnega mesta šivilje s stališča obremenitev in obremenjenosti delavke pri delu. Številne predhodne raziskave potrjujejo, da so delovni položaji še vedno največji problem v tekstilni industriji in ergonomsko oblikovano delovno mesto lahko bistveno zmanjša verjetnost bolečin v hrbtenici, vratu in zgornjih okončinah. V članku je podan primer ergonomsko oblikovanega delovnega mesta šivilje.
		ANG	The paper describes the adjustment of the sewing workstation with respect to working postures and workers' perceptions. Several studies confirmed that working postures are still a general problem in garment industry and ergonomically designed workstations can considerably reduce the high prevalence of musculoskeletal complaints affecting back, neck and upper extremities among sewing machine operators. Therefore, the main purpose of the paper is to formulate ergonomic designed sewing workstation.
Objavljeno v	POLAJNAR, Andrej, LEBER, Marjan, VUJICA-HERZOG, Nataša. Muscular-skeletal diseases require scientifically designed sewing workstations. Stroj. vestn., 2010, vol. 56, no. 1, str. 31-40. <a href="http://sl.svjme.eu/scripts/download.php?file=/data/upload/2010/01/4_2008_118_Polajnar_zl.pdf">http://sl.svjme.eu/scripts/download.php?file=/data/upload/2010/01/4_2008_118_Polajnar_zl.pdf</a> . [COBISS.SI-ID 13950486], [JCR, WoS, št. citatov do 6. 5. 2010: 0, brez avtocitatov: 0, normirano št. citatov: 0] kategorija: 1A3 (Z1); upoštevana uvrstitev: SCI; tipologijo je verificiral OSICD točke: 70.38		
Tipologija	Izvirni znanstveni članek		
COBISS.SI-ID			
3.	Naslov	SLO	Surfaktanti za znižanje tlačnih izgub v daljinskem ogrevanju
		ANG	Drag reducing surfactants for district heating
Opis		SLO	Članek predstavlja znanstveno-razvojno delo na področju upravljanja procesnih parametrov. Podaja pomembne vidike praktične uporabe, jedro prispevka pa je izvirni algoritem za ovrednotenje pretočne kapacitete ob izbranem aditivu: fizikalno-matematični model pretočnega profila upošteva viskoznostni učinek surfaktanta (temelječ na preciznih meritvah). Vključitev tega algoritma v računalniški program za dimenzionalne analize cevni omrežij omogoča iskanje ekonomsko optimalne rešitve.
		ANG	The article is presenting original scientific and development work in the field of managing process parameters. Important aspects for practical applications are given. The main contribution is the algorithm for evaluation of flow-capacity at a chosen additive: the physico-mathematical model for the flow profile includes the additive's viscosity effect (based on the precise measurements). Incorporating the algorithm into a computer program for pipe-network dimensional analysis enables searching of an economically optimal solution.
Objavljeno v	KROPE, Andrej, ČREPINŠEK-LIPUŠ, Lucija. Drag reducing surfactants for district heating. Appl. therm. eng.. [Print ed.], June 2010, vol 30, iss. 8/9, str. 833-838, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2009.12.012. [COBISS.SI-ID 13816086], [JCR, WoS, št. citatov do 7. 4. 2011: 2, brez avtocitatov: 2, normirano št. citatov: 2] kategorija: 1A1 (Z1); upoštevana uvrstitev: SCI; tipologijo je verificiral OSICN točke: 67.72		
Tipologija	Izvirni znanstveni članek		
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	Umerjanje navojnih kontrolnikov za industrijske aplikacije
		ANG	Thread gauge calibration for industrial applications
Opis		SLO	V prispevku je podana analiza možnosti umerjanja navojnih kontrolnikov v industriji in kalibracijskih laboratorijih. Osnovna parametra analize sta merilna negotovost in čas meritve. Upoštevani so bili vsi robni pogoji, vključno s pogoji merjenja, velikostjo kontrolnikov in vrsto navoja. Poudarek je bil na povečanju kalibracijskih zmogljivosti koordinatnih merilnih naprav.
		ANG	The article is presenting analysis of thread gauge calibration possibilities in industry and calibration laboratories. Basic analysis parameters were measurement uncertainty and measurement time. All boundary conditions were considered, including measurement conditions, gauge size and thread type. Special attention we payed to increasing calibration capabilities of coordinate measuring machines.
	PRIMOŽIČ MERKAC, Tadeja, AČKO, Bojan. Thread gauge calibration for industrial applications. Stroj. vestn., 2010, vol. 56, no. 10, str. 637-643.		

Objavljeno v	http://www.sv-jme.eu/scripts/download.php?file=/data/upload/2010/10/05_2010_036_Primozič_2k.pdf. [COBISS.SI-ID 14586646], [JCR, WoS, št. citatov do 8. 12. 2010: 0, brez avtocitatov: 0, normirano št. citatov: 0] kategorija: 1A3 (Z1); upoštevana	
Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID		
5. Naslov	<i>SLO</i>	Sodelovanje slovenskih proizvodnih podjetij
	<i>ANG</i>	Cooperation of European manufacturing companies.
Opis	<i>SLO</i>	To poglavje predstavlja obstoječe stanje na področju sodelovanja med evropskimi proizvodnimi podjetji. Izvedli smo raziskavo v šestih evropskih državah in povprašali njihova proizvodna podjetja z vsaj 20 zaposlenimi, kako sodelujejo z drugimi podjetji in institucijami na področju R&R aktivnosti, proizvodnje, prodaje, distribucije, izobraževanja in usposabljanje ipd. Drugi del analize je imel trojni namen - analiza: 1. sodelovanja glede na geografsko oddaljenost akterjev, 2. bilateralno sodelovanje ali mreženje več partnerjev, 3. formalnost sodelovanja.
	<i>ANG</i>	This manuscript presents the existing state of cooperation issues among European manufacturing firms. We have conducted a survey within several European countries and asked their manufacturing firms with at least 20 employees if they are keen to cooperate with other firms and other institutions in the field of R&D activities, production, sales, distribution, education and training etc. Second analysis had a threefold purpose - analysis of: 1. cooperation and geographical distances between actors, 2. bilateral agreements or networking, 3. formality of cooperation.
Objavljeno v	PALČIČ, Iztok, POLAJNAR, Andrej, BUCHMEISTER, Borut, LEBER, Marjan, VUJICA-HERZOG, Nataša. Cooperation of European manufacturing companies. V: KATALINIČ, Branko (ur.). DAAAM International scientific book 2010, (DAAAM International scientific book). Vienna: DAAAM International Publishing, 2010, str. 027-040. [COBISS.SI-ID 14746390]	
Tipologija	Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji	
COBISS.SI-ID		

## 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati programske skupine<sup>10</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1. Naslov	<i>SLO</i>	Projekt Razvoj izdelka in oblikovanje aerospace proizvodnih sistemov in procesov v družbi Veplas d.d.
	<i>ANG</i>	New product development project and project of designing aerospace production system and processes in company Veplas
Opis	<i>SLO</i>	Vzpostavitev sistema kontrole in prevzem vzorcev v serijsko proizvodnjo. Kot eksperimentalni razvoj je bila izvedena raziskava na področju oblikovanja sistemov in procesov kakovosti, v okviru industrijskega razvoja pa so bile izdelane smernice oblikovanja kakovosti in sistema kakovosti glede prevzema vzorcev. Ta del vsebuje dinamični model osvajanja izdelkov z uporabo metod inovacijskega menedžmenta ter predlog faznega modela prevzema novega izdelka v serijsko proizvodnjo. Predstavljena je metoda Kanban ter podana študija o primernosti uvedbe v aerospace proizvodnjo v Veplasu.
	<i>ANG</i>	Establishing a control system and takeover of samples into batch production. As an experimental development we have conducted a research in the field of system design and quality processes, within industrial development we have prepared guidelines for quality assurance and quality system of samples takeover. This part includes a dynamic model of product introduction with the use of innovation management and phase-based model of new product takeover into batch production. We presented the Kanban concept and prepared a feasibility study on introducing Kanban into aerospace production in Veplas.
Šifra	Razvoj novega izdelka	
Objavljeno v	LEBER, Marjan, POLAJNAR, Andrej, BUCHMEISTER, Borut, AČKO, Bojan, PALČIČ, Iztok, VEDENIK, Gregor, SAJE, Helena. Projekt Razvoj izdelka in oblikovanje aerospace proizvodnih sistemov in procesov v družbi Veplas d.d. poročilo št. 5, Vzpostavitev sistema kontrole in prevzem vzorcev v serijsko	

		proizvodnjo : javni razpis za "Neposredne spodbude za raziskovalno razvojne dejavnosti v podjetjih - projekti 2008" (št. JR 7/2008). Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2010. 104 str., graf. prikazi.
	Tipologija	Elaborat, predštudija, študija
	COBISS.SI-ID	
2.	Naslov	<i>SLO</i> sourednik mednarodne SCI revije <i>ANG</i> co-editor of international SCI journal
	Opis	<i>SLO</i> Izr. prof. dr. Borut Buchmeister je so-urednika znanstvene revije Strojniški vestnik, ki sodi v kategorijo JCR na področju strojništva. Strojniški vestnik objavlja teoretične in praktično usmerjene članke, ki obravnavajo vprašanja sodobne tehnologije (Energetika in procesno strojništvo, konstrukterstvo in gradnja strojev, proizvodno strojništvo, mehanika in materiali itn.). Obravnava dejavnosti, kakršne so: projektiranje, gradnja, obratovanje, varstvo okolja itn. na področju strojništva ali z njim tesno povezanih ved. Revija vsako leto izide 11-krat. <i>ANG</i> Prof. Dr. Borut Buchmeister is a co-editor in chief of international scientific journal with the title Journal of Mechanical Engineering, indexed in JCR category for mechanical engineering. This journal publishes theoretical and practical papers, dealing with questions about up-to-date technology (Energetics and process engineering, structures and machine construction, production engineering, mechanics and materials etc.) The most important topics are: projecting, constructing, operation, environment protection, etc. in the field of mechanical engineering and related sciences.
	Šifra	Uredništvo mednarodne revije
	Objavljeno v	Strojniški vestnik. Buchmeister, Borut (urednik 2009, 2010, 2011). Ljubljana: Zveza strojnih inženirjev in tehnikov Slovenije [et al.]: = Association of Mechanical Engineers and Technicians of Slovenia [et al.], 1955-. ISSN 0039-2480. [COBISS.SI-ID 762116]
	Tipologija	Sekundarno avtorstvo
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	<i>SLO</i> članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih <i>ANG</i> Membership in foreign/international committees
	Opis	<i>SLO</i> Izr. prof. dr. Bojan Ačko je kontaktna oseba za Republiko Slovenijo v Evropskem združenju nacionalnih metroloških inštitutov Euramet za veličino dolžina (TCL). Imenovan je s strani MVZT-MIRS (dodatne informacije na <a href="http://www.npl.co.uk/euromet/length/">http://www.npl.co.uk/euromet/length/</a> ter na <a href="http://www.mirs.gov.si/si/mednarodno_sodelovanje/clanstva/euromet/">http://www.mirs.gov.si/si/mednarodno_sodelovanje/clanstva/euromet/</a> ); dosežek je pomemben s stališča zagotavljanja mednarodne meroslovne sledljivosti, kar predstavlja za slovensko industrijo ekonomičen dostop do boljših merilnih zmogljivosti in dokazovanja kakovostnih karakteristik najzahtevnejših proizvodov v mednarodnem prostoru. <i>ANG</i> Prof. Bojan Ačko is a contact person for Republic of Slovenia in the European Association of National Metrology Institutes Euramet for quantity length (TCL). He is designated by MVZT-MIRS (additional information on <a href="http://www.npl.co.uk/euromet/length/">http://www.npl.co.uk/euromet/length/</a> end <a href="http://www.mirs.gov.si/si/mednarodno_sodelovanje/clanstva/euromet/">http://www.mirs.gov.si/si/mednarodno_sodelovanje/clanstva/euromet/</a> ). The achievement is important for assuring international traceability, which is opening the SLO industry an economic way of reaching better measurement capabilities and as a consequence proves of quality characteristics of most pretentious products in international market.
	Šifra	Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih
	Objavljeno v	ni objave
	Tipologija	Druga izvedena dela
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	<i>SLO</i> Objava kalibracijskih in merilnih zmogljivosti (CMC) v spletni bazi BIPM (Mednarodni urad za mere in uteži) <i>ANG</i> Publication of calibration and measurement capabilities (CMC) in the BIPM internet database
	Opis	<i>SLO</i> Laboratorij za tehnološke meritve je kot nosilec nacionalnega etalona za dolžino dobil pozitivno mednarodno ekspertno mnenje za proceduro SOP 32, na osnovi katerega je BIPM v svoji spletni bazi objavil tri nove kalibracijske in merilne zmogljivosti (CMC) za področje laserskega sevanja. Podlaga za

		objavo omenjenih CMC je bila tudi uspešna udeležba v ključni mednarodni medlaboratorijski primerjavi CCL-K11. Objava CMC ima ogromen vpliv na mednarodni meroslovni ugled Slovenije, hkrati pa omogoča uporabnikom meroslovnih storitev sledljivost na najvišji meroslovni ravni.
	ANG	Laboratory for Production Measurement as a holder of national standard of length has gained positive international expert opinion for the procedure SOP 32, which was the basis for publishing three calibration and measurement capabilities (CMCs) for the field of laser radiations in the BIPM internet database. Published CMCs have enormous influence on international reputation of Slovenia. In addition, it enables Slovene industry to get metrology traceability at the highest metrological level.
Šifra		Dvig tehnološke ravni
Objavljeno v		Spletna podatkovna baza BIPM: <a href="http://kcdb.bipm.org/AppendixC/L/SI/L_SI.pdf">http://kcdb.bipm.org/AppendixC/L/SI/L_SI.pdf</a> .
Tipologija		Elaborat, predštudija, študija
COBISS.SI-ID		
5.	Naslov	
	SLO	članstvo v Slovenskem združenju za projektni management
	ANG	membership in Slovenian Project Management Association
	Opis	
	SLO	Slovensko združenje za projektni management (ZPM) je neprofitna organizacija, ki je bila ustanovljena l. 1992, in je sprejeta v organizacijo IPMA (Mednarodno združenje za projektni menedžment). Je osrednje slovensko društvo, ki skrbi za razvoj stroke in promocijo projektnega menedžmenta v Sloveniji in širše. Člana našega raziskovalnega programa imata v ZPM vidno vlogo: podpredsednik ZPM (dr. Palčič) in članica strokovnega odbora ZPM (dr. Bastič).
	ANG	Slovenian Project Management Association (ZPM) is a non-profit organisation, established in 1992 and a member of International Project Management Association. ZPM is the main Slovenian organisation that develops and promotes project management profession in Slovenian and abroad. The members of our research programme have a significant role in ZPM: vice-president of ZPM (dr. Palcic) and a member of professional board (dr. Bastic).
Šifra		Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih
Objavljeno v		<a href="http://sl.zpm-si.com/">http://sl.zpm-si.com/</a>
Tipologija		Druga izvedena dela
COBISS.SI-ID		

## 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>11</sup>

Izr. prof. dr. Borut Buchmeister je glavni urednik mednarodne znanstvene revije International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM), ki izhaja na Dunaju 4-krat letno. Revija je vključena v pomembne mednarodne bibliografske baze in informacijske servise (SCOPUS, INSPEC, ProQuest-CSA, PASCAL, TEMA, GALE, EBSCO itd.), trenutno pa je še v evalvaciji za vključitev v Web of Science (SCI baza).

Doc. dr. Iztok Palčič je postal glavni urednik Projektne mreže Slovenije - znanstveno-strokovne revije s področja projektnega menedžmenta.

Doc. dr. Nataša Vujica Herzog je predsednik nadzornega odbora Društva za operativno odličnost.

Akreditacija postopkov kalibracije razdalj, premerov in stopničastih meril (objavljeno na spletni strani Slovenske akreditacije: <http://www.sa.gov.si/teksti-1/slo/katalog.htm>).

Prof. Majda Bastič je glavna in odgovorna urednica revije Naše gospodarstvo (indeksirana v mednarodnih bazah).

Prof. Majda Bastič je pomočnica urednika revije Central European Journal of Operations Research (indeksirana v JCR).

Prof. Majda Bastič je predstavnica Slovenije v The Association of European Operational Research Society (EURO) in v International Federation of Operational Research Society

(IFORS).

Več o drugih pomembnih rezultatih programske skupine lahko najdete še v točkah 13 in 14.

#### 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov<sup>12</sup>

Vrsta izobraževanja	Število mentorstev	Od tega mladih raziskovalcev
- znanstveni magisterij		
- doktorat znanosti		
<b>Skupaj:</b>		

#### 11. Zaposlitev vzgojenih kadrov po usposabljanju

Organizacija zaposlitve	Število doktorjev znanosti	Število magistrrov znanosti
- univerze in javni raziskovalni zavodi		
- gospodarstvo		
- javna uprava		
- drugo		
<b>Skupaj:</b>		

#### 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca

Sodelovanje v programski skupini	Število
- raziskovalci-razvijalci iz podjetij	
- uveljavljeni raziskovalci iz tujine	
- podoktorandi iz tujine	
- študenti, doktorandi iz tujine	
<b>Skupaj:</b>	

#### 13. Vključenost v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v letu 2010<sup>13</sup>

European Manufacturing Survey - raziskava o proizvodni dejavnosti v slovenskih in drugih evropskih proizvodnih podjetjih. Analiza rezultatov iz leta 2009, objava strokovnih člankov. Prvo mednarodno anketo o proizvodni dejavnosti v Evropi smo izvedli leta 2004, ponovili smo jo v letih 2006-07 in nazadnje 2009-10. Koordinator celotnega projekta je slovit Fraunhoferjev inštitut iz Nemčije. Anketa zajema poleg Nemčije in Slovenije še Avstrijo, Švico, Francijo, Hrvaško, Dansko, Nizozemsko, Španijo, Rusijo in Turčijo. Na anketo so odgovarjali proizvajalci strojev in opreme, proizvajalci končnih izdelkov iz kovinsko-predelovalne industrije, proizvajalci plastičnih in gumenih izdelkov in podjetja, ki sodijo v elektro industrijo. V Sloveniji je na anketo odgovorilo 71 podjetij, stopnja odziva je bila nekaj čez 11 %. Rezultate ankete posredujemo v posameznih državah lokalnim in nacionalnim vladnim institucijam ter jih predstavljamo na najrazličnejših dogodkih, konferencah, srečanjih ter v obliki strokovnih prispevkov. V anketi sprašujemo podjetja o proizvodnih strategijah, rabi tehniških in organizacijskih inovacij, selitvi proizvodnje, tipih proizvodnje in izdelkov, konkurenčnih kriterijih, kvalifikacijah in izobrazbi zaposlenih. Zbiramo tudi podatke o produktivnosti,

fleksibilnosti, kakovosti, donosih ipd. Anketo smo v zadnji verziji temeljito posodobili, dodali nekaj novih perečih tematik, predvsem s področja smotrne rabe energije, ekologije, storitev, ki jih nudimo zraven izdelkov, ter uporabe projektnega načina dela v podjetjih. Prav tako smo razširili področja in tako smo zajeli podjetja, ki sodijo v razrede NACE 17-19, 25, 28-35 (inačica 1.1 iz leta 2003).

EUROSTARS - prijava projekta Implementation of laser cladding technologies s slovenskim podjetjem TIC Lens d.o.o. in partnerji iz Dresdna (Nemčija) - Fraunhoferjev inštitut in podjetje AloTec. V projektu se bomo ukvarjali z raziskavami, razvojem in implementacijo naprednih laserskih tehnologij (lasersko navarjanje in LENS – Laser Engineered Net Shaping), ki sta naj sodobnejši tehnologiji v svetovnem merilu, za izdelavo in popravila karbidnih materialov ali komponent v avtomobilski in orodjarski industriji. Poglavitni cilj projekta je vzpostaviti R&R aktivnosti, nove tehnologije in procese za proizvodnjo in popravila karbidnih materialov. Rezultati projekta v obliki karbidnih orodij za vlečenje žice, karbidnih orodij za odrezovalna orodja, karbidne prevleke za podaljšanje obstojnosti orodij ter popravil karbidnih elementov se bodo zraven omenjenih industrij uporabljali še v vojaški in letalski industriji in v vseh proizvodnih podjetjih, kjer uporabljajo orodja iz karbidnih trdnin. Obdelava karbidnih trdnin je s konvencionalnimi tehnologijami zelo otežena (ali celo nemogoča), z uporabo laserskih tehnologij bomo to omejitev odpravili, s čimer bomo prvi v svetovnem merilu. Vloga članov programske skupine je predvsem koordinacija projekta ter sodelovanje pri pripravi baze tehnoloških in proizvodnih parametrov. Projekt je bil v Bruslju odobren, enako v Sloveniji na MVZT, zmanjkala so finančna sredstva v Nemčiji, zato je bila vloga zavržena. V letu 2011 bomo partnerji vlogo ponovili.

Naročnik naslednjega raziskovalnega projekta je FFG Avstrija z Innovationsscheckom, uporabnik raziskave pa Drescode21 GmbH: 1. Innovationsscheck FFG: Inovacijska strategija oblikovanja storitvenega procesa s poudarkom na ergonomiji. Namen raziskave je bil ugotoviti, ali lahko design in funkcionalnost majice Drescode21 pozitivno vpliva na fiziološko in psihološko zadovoljstvo pri delu. Pri tem so bile izvedene številne meritve z različnimi situacijami in parametri, rezultati pa so ustrezno dokumentirani. Rezultat raziskave je predstavljal koncept razvoja novih izdelkov in storitev.

Naročnik naslednjega raziskovalnega projekta je FFG Avstrija z Innovationsscheckom, uporabnik raziskave pa Neurovation GmbH: 2. Innovationsscheck FFG: Inovacijska raziskava značilnosti in delovanja ustvarjalnega okolja. Izvajalca: Za uporabo kreativnega orodja je bila izvedena raziskava značilnosti različnih delovnih okolij v povezavi s kreativnostjo. Na tej osnovi bi bilo mogoče pripraviti katalog zahtev za »Ustvarjalne sobe«, ki bi s prvimi idejami usmerjale proizvodna okolja k ustvarjalnosti.

Pri obeh raziskovalnih projektih gre za inovacijski vavčer v okviru gospodarskega ministrstva oz. gospodarske zbornice.

Prof. Borut Buchmeister je v zadnjih desetih letih vključen kot partner v CEEPUS mreži, nazadnje 6 let v CII-RS-0065. CEEPUS (srednjeevropski program za izmenjavo študentov in profesorjev) je regionalni program, ki je pričel delovati marca 1995. Cilj programa je vzpostaviti in spodbujati mobilnosti študentov in profesorjev med sodelujočimi državami ter izkoristiti povezave in možnosti za oblikovanje skupnih študijskih programov. CEEPUS deluje na osnovi mrež (Network). Ustanovijo jih posamezne univerze, fakultete ali njihovi oddelki za določena področja. Cilj programa CEEPUS je razvoj izobraževanja. Običajno izvedemo letno v okviru te mreže 4 študentske in 2 profesorske meseca gostovanj.

Zelo plodno mednarodno sodelovanje imamo tudi z Univerzo v Novem Sadu, kjer doc. Palčič in prof. Buchmeister sodelujeta kot gostujoča profesorja pri izvedbi predmetov na 2. in 3. stopnji bolonjskega študija.

Intenzivno sodelovanje imamo tudi s Tehniško Univerzo v Gradcu (Avstrija) z Institute of Industrial Management and Innovation Research, kjer izvajamo skupne mednarodne študentsko-raziskovalne projekte v avstrijskih podjetjih. Partner je tudi Tehniška Univerza iz Helsinkov (Finska). V zadnjih letih je industrijski partner sloviti Philips iz Celovca. R&R delo poteka na izboljšavah izdelkov podjetja Philips oziroma na razvoju novih konceptov izdelkov.

Sodelovanje s prof. Tonchia iz Università degli studi di Udine poteka že vrsto let. Univerza v Udinah skuša spodbujati sodelovanje in izmenjavo znanj s podeljevanjem štipendij, ki smo jih v našem laboratoriju že dvakrat prejeli. V letu 2010 smo skupaj s prof. Tonchia izvedli raziskavo o prisotnosti konceptov vitke proizvodnje in 6 sigme v slovenskih podjetjih.

dr. Lucija Črepinšek-Lipuš je nosilka projekta Magnetna naprava za biološko obdelavo odpadnih vod; MAGNET (E!4956), ki traja od 17.6.2009 do 30.10.2012. Razvojno-raziskovalni projekt Eureka: E! 4956 Magnet, sofinanciran za obdobje treh let od MVZT RS, povezuje partnerje: Univerza v Mariboru, slovensko podjetje ABENA, korejsko podjetje DOHA Industry ter češke partnerje Technical University of Liberec, Institute of Chemical Technology in



MicroChem LKT. Vsebina in cilj tega projekta je razvoj in aplikacija magnetne predobdelave za izboljšanje biološkega čiščenja odpadnih voda. Ta nov pristop bo z relativno nizkimi stroški investicije in vzdrževanja predvidoma znižal električno porabo prezračevanja reakcijskih bazenov oz. povečal stopnjo čistosti iztoka iz lokalnih čistilnih naprav. Pretežni del načrtovanja in izdelave različnih magnetnih sistemov je bil izveden v letu 2010 na Fakulteti za strojništvo in Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko: študija, računalniška analiza, eksperimentalno proučevanje in ekonomsko-tehnološko ovrednotenje možnih magnetnih sistemov so omogočili izbiro konstrukcije, ki bo (predvidoma v letu 2011 pod okriljem partnerja iz gospodarstva) omogočala enostavno in rentabilno aplikacijo v realnih čistilnih sistemih.

Področje meroslovja:

EU iMERA Plus – Metrology for New Industrial Measurement Technologies (NIMTech): projekt je financiran iz raziskovalnega sklada ES preko EURAMET (Evropsko združenje nacionalnih meroslovnih inštitutov). V konzorciju združenega raziskovalnega projekta (joint research project JRP T3 J2.2) sodelujejo poleg Laboratorija za tehnološke meritve, ki je priglasi inštitut pri EURAMET (MIRS/UM-FS/LTM) še nacionalni meroslovni inštituti Nemčije (PTB), velike Britanije (NPL), Italije (INRIM) in Češke (ČMI). Glavni cilji projekta so razvoj etalonov in postopkov za umerjanje in preskušanje sposobnosti trikoordinatnih merilnih naprav ter razvoj sistemov za nadzor programske opreme koordinatnih merilnih naprav (numerični etaloni). V oktobru 2010 je bil zaključen tretji kvartal projekta, naši najvidnejši rezultati pa so bili v letu 2010 izdelava dveh fizičnih etalonov (artefaktov) za preskušanje sposobnosti optičnih 3D naprav in izdelava algoritmov za preskušanje programske opreme KMN. Podrobni podatki o projektu so dosegljivi na spletni strani <http://www.nimtech.ptb.de/nimtech/nimtech-home.html>

Projekt EURAMET L-K7- Calibration of linescales: To je mednarodni projekt EURAMET, ki spada v področje mednarodnih ključnih medlaboratorijskih primerjav (BIPM CCL). Cilj primerjave je ugotavljanje najboljše meroslovne zmogljivosti (CMC) na področju umerjanja črtnih meril (optične meritve ob podpori laserske interferometrije). Projekt vodi naš Laboratorij za tehnološke meritve (priglasi inštitut pri EURAMET MIRS/UM-FS/LTM), poleg njega pa je udeleženih še 30 nacionalnih meroslovnih inštitutov iz celega sveta (Evropa, Južna Amerika, Severna Amerika in Azija). V letu 2010 je bilo glavno delo usmerjeno v pisanje in usklajevanje osnutka B poročila o medlaboratorijski primerjavi (draft B). Oktobra je bilo na zasedanju EURAMET TCL (odbor za dolžino) obširno usklajevanje osnutka, do konca leta pa je bil izdana končna verzija osnutka B.

Projekt EURAMET L-K11- Key comparison of optical frequency/wavelength standards: to je enak tip projekta kot EURAMET L-K7 (BIPM CCL medlaboratorijska primerjava), na osnovi katerega je naš Laboratorij za tehnološke meritve na osnovi uspešnega sodelovanja pridobil pozitivno mnenje mednarodnih ekspertov za objavo najboljših meroslovnih zmogljivosti (CMC) na področju umerjanja laserskega sevanja kot primarne realizacije enote meter. V letu 2010 je bilo izdano končno poročilo o medlaboratorijski primerjavi.

Projekt EURAMET L-K14 – Calibration of diameter standards: enak tip projekta kot EURAMET L-K7 in L-K11 (BIPM CCL medlaboratorijska primerjava): predmet primerjave so bili notranji in zunanji premeri (valj, kroglja), v letu 2010 je bilo izdelano končno poročilo o projektu.

#### **14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v letu 2010 potekali izven financiranja**

##### **ARRS<sup>14</sup>**

Razvoj izdelka in oblikovanje aerospace proizvodnih sistemov in procesov v družbi Veplas d. d. - V projektu je kot eksperimentalni razvoj bila izvedena raziskava na področju Oblikovanja sistemov in procesov kakovosti v okviru industrijskega razvoja pa so bile izdelane smernice oblikovanja kakovosti in sistema kakovosti glede prevzema vzorcev. Ta del vsebuje izdelan dinamični model osvajanja izdelkov z uporabo metod inovacijskega menedžmenta ter predlog faznega modela prevzema novega izdelka v serijsko proizvodnjo. V nadaljevanju je predstavljena metoda Kanban ter podana študija o primernosti uvedbe sistema Kanban v aerospace proizvodnjo v Veplasu.

Uvedba projektne načina dela v podjetju Elektro Maribor (pričetek v 2010, še v teku). V podjetju Elektro Maribor smo izvedli intenzivno usposabljanje vodij projektov, enakovredno mednarodnemu certificiranju za pridobitev certifikata vodja projekta. Temu je sledila priprava poslovnikov, metodoloških priročnikov, projektne dokumentacije, organizacijskih postopkov za uvedbo projektne načina dela v podjetje.

Zagotavljanje sledljivosti meritev v industriji (izvedenih okrog 600 kalibracij)

Prenos referenčne vrednosti na kalibracijske laboratorije (skupno 10 referenčnih vrednosti na laboratorije Lotrič d.o.o., Metrološki laboratorij Systemske tehnike, Metrološki laboratorij iskra ISD)

**15. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanje v projektih okvirnih programov EU) v letu 2010<sup>15</sup>**

/

**16. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010<sup>16</sup>**

Sredstva v višini 1.269,51 EUR so se porabila v skladu z razdelitvijo sredstev za raziskovalne projekte tipa C in sicer 671,55 EUR za plače, 108,24 EUR za prispevke, 331,65 EUR za izdatke za blago in storitve in 158,07 EUR za investicijsko vzdrževanje.

**17. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu v letu 2010<sup>17</sup>**

/

**18. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi<sup>18</sup>**

Hitra, učinkovita in poceni komunikacija omogoča neposredno uporabo razvitih modelov upravljanja proizvodnje in razpoložljivih informacij v podjetjih, saj z odzivom v realnem času povečuje možnosti napredka v procesu tržne globalizacije in posledično intenzivne konkurence ter pritiska po izboljšani produktivnosti. Tehnološke spremembe so privedle k novim oblikam verige ustvarjanja nove vrednosti in novim pogojem: čas in znanje sta sedaj odločilna dejavnika. Pravi pristop je torej zmanjšanje odvisnosti gospodarstva od virov surovin in energije z učinkovitejšo, inovativno rabo in hitrim udejanjanjem pravih idej.

Razvita metodologija projektne načina dela in organiziranosti podjetij, razvita na EPF (Inštitut za projektni management) in FS, je primerna za uvedbo v podjetja in druge organizacije vseh vrst in velikosti, ki želijo svojo osnovno dejavnost izvajati na bolj učinkovit način. Razvita projektna metodologija je prilagodljiva glede na zrelost podjetja oziroma organizacije za projektni način dela, organiziranost podjetja, vrste projektov ipd. Vključuje usposabljanje udeležencev na osnovi realnih projektov, pripravo celotnega tokokroga projektne dokumentacije, poslovnikov, metodoloških priročnikov, organigramov, IKT podpore ipd.

Rezultati s področja dimenzionalne metrologije so že uporabni v meroslovni praksi, saj smo sposobni kalibrirati laserske frekvence uporabniških interferometrov (CMC) ter razdalje, premere in stopničasta merila (akreditirani postopki). Poskusno smo sposobni preverjati tudi zmogljivosti optičnih trikoordinatnih merilnih sistemov, saj razpolagamo z etaloni in kalibracijskim postopkom. Ker nismo akreditirani, se meroslovna zmogljivost še ne more v celoti prenesti v prakso. Uporabniki naših storitev so industrija, zdravstvo, promet, RR institucije, akreditirani kalibracijski laboratoriji, storitve pa smo sposobni ponuditi tudi drugim panogam. Poleg kalibracijskih zmogljivosti se je na osnovi rezultatov projekta povečala tudi baza znanja, kar omogoča kakovostnejši prenos meroslovnega znanja uporabnikom (izobraževanja, usposabljanja). Rezultati projekta so usmerjeni predvsem v sledenje potrebam industrije in ostalih panog, kažejo pa se v zmanjšanju potreb uporabnikov po kalibracijah v tujini in v dvigu njihovih meroslovnih zmogljivosti (vključno z znanjem).

ZARADI IZJEMNE POMEMBNOСТИ PROGRAMA ZA ZELO ŠIROK OBSEG UPORABNIKOV (INDUSTRIJA, RAZISKOVALNE INŠTITUCIJE, IZOBRAŽEVALNE INŠTITUCIJE, ZDRAVSTVO, PROMET, AKREDITIRANI ORGANI UGOTAVLJANJA SKLADNOSTI ...), ZARADI VIDNIH USPEHOV, KI SMO JIH DOSEGLI PREDVSEM V ZADNJEM LETU, TER NA OSNOVI JAŠNO ZAČRTANE USMERITVE NAŠIH RAZISKAV V PRIHODNOSTI, PREDLAGAMO PODALJŠANJE



konstruiranju, dimenzioniranju, vzdrževanju in razgradnji strojnih delov in konstrukcij. Poseben poudarek je namenjen predvsem naslednjim raziskovalnim aktivnostim:

- Dimenzioniranje statično in dinamično obremenjenih strojnih delov in konstrukcij iz zgoraj navedenih gradiv.
- Razvoj metod, algoritmov in modelov za izvajanje najzahtevnejših inženirskih simulacij deformabilnih procesov celičnih gradiv pri statičnih, dinamičnih in udarnih obremenitvah. Za tovrstna gradiva je treba izvesti ustrezne eksperimentalne raziskave za določitev njihovih trdnostnih in drugih lastnosti pri različnih pogojih obremenjevanja.
- Proučevanje lomnih procesov konstrukcijskih komponent iz heterogenih gradiv in študij celovitosti takšnih konstrukcij. Za doseg tega cilja bo razvit dvoparametrični model mehanike loma, ki bo temeljil na Simhinogovem modelu in teoriji Eshelbyjeve trdnosti materiala in bo upošteval kristalografske in metalografske značilnosti mikrostrukture obravnavanega gradiva.
- Študija kontaktnih problemov oziroma triboloških sistemov, kjer so zastopani elementi iz zgoraj navedenih gradiv. Poseben poudarek pri teh raziskavah je namenjen vplivu tankih površinskih prevlek (npr. nanoprevlek) ter vplivu maziva na odzivnost tribološkega sistema.
- Razvoj zobniških dvojic (valjastih, stožčastih, polžastih) iz nekovinskih gradiv in ustreznih računskih modelov za njihovo dimenzioniranje. Model bo temeljil na standardu ISO 6336 in bo ustrezno prirejen omenjenim zobniškim dvojicam.
- Vzporedno z vključevanjem sodobnih inženirskih gradiv v proces konstruiranja strojnih delov in konstrukcij bo v okviru nadaljnjih raziskav potekal tudi razvoj inteligentne platforme za podporo ciljno usmerjenemu konstruiranju.
- Poseben sklop bodo v okviru nadaljnjega raziskovalnega dela predstavljali postopki 3D-digitalizacije z namenom izvajanja celostnih meritev in primerjalnih analiz orodij in drugih elementov, izdelanih na podlagi CAD-modelov (postopki vzratnega inženiringa).
- Pomembno področje predstavljajo tudi raziskave aktivnih mehanizmov in haptičnih naprav ter implementacija le-teh v industrijska in druga okolja.

ANG

In the proposed programme is focused on the research of target-oriented intelligent computer-aided design modules using new, light-weight engineering materials, which are increasingly being used in aircraft and automotive industry, medicine, robotics and related fields. Such materials have low density, increased thermal isolation, excellent vibration damping properties etc. The research programme will focus on advanced use of composite, hybrid and cellular materials made of aluminium-, magnesium- and titanium-based alloys, artificial materials and nanotextiles. Research will also cover the use of high-strength steels for most complex designs, which are loaded to a very high specific level.

The main objective of the research programme is to acquire detailed knowledge and understanding of behaviour of above-mentioned materials, to determine their mechanical properties and to develop basic guidelines for use of these materials in relation to design rules, dimensioning, maintenance and dismantling of mechanical components and assemblies. Special attention will be dedicated to the following research activities:

- Dimensioning of statically and dynamically loaded machine parts and assemblies made from the above-mentioned materials.
- Development of methods, algorithms and models for advanced computational engineering simulations of components made of cellular materials and subjected to static, dynamic and impact loading conditions.
- Research of fracture processes of components produced from heterogeneous materials and the complexity of such designs. It is envisaged that a new, two-parametric fracture mechanics model will be developed, based on the Simhinog model and Eshelby's theory of the strength of material, whereby crystallographic and metallographic properties of relevant material microstructure will be considered.
- Research of contact problems related to tribology system of machine elements produced from the above-mentioned materials. Special attention will be dedicated to the influence of thin surface layers (e.g. nanolayers) and lubrication conditions to the tribology system reaction.
- Study of gear pairs produced from non-metallic materials and development of appropriate computational models for gear dimensioning. The model will be based on existing ISO 6336 standard and adjusted to use of non-metallic materials.
- Along with the development of design rules for use of modern engineering materials in building machine parts and assemblies, the development of intelligent computer platform will be performed to support the target-oriented design process.
- Development of methods for accurate 3D-digitalisation with the purpose to carry out thorough measurements and comparison analyses of tools and other machine elements, produced from CAD-models (reverse engineering).
- Research of active mechanisms and haptic devices and their implementation in industrial and other environments.

### 3. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>3</sup>

#### 3.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>4</sup>

SLO

V okviru predlaganega raziskovalnega programa bodo razviti povsem novi postopki za usmerjeno inteligentno podprto računalniško konstruiranje s sodobnimi (lahkimi) inženirskimi gradivi, ki se uporabljajo v letalski in avtomobilski industriji, medicini, robotiki in na drugih področjih. Predvideno znanstveno-raziskovalno delo bo dolgoročno prispevalo k razvoju znanosti na področju računalniškega konstruiranja v širšem (svetovnem) merilu z originalnimi znanstvenimi rešitvami na področju konstruiranja in oblikovanja inženirskih konstrukcij z uporabo sodobnih inženirskih gradiv. V ta namen bodo razvita tudi nova inteligentna programska orodja, originalne numerične metode, algoritmi in modeli za računalniške simulacije najzahtevnejših inženirskih problemov.

Razviti modeli bodo zagotavljali natančnejše in zanesljivejše rezultate opisa odziva urejenih in neurejenih celičnih gradiv pod vplivom udarnih obremenitev. Razvoj konstitutivnih in računalniških modelov bo zagotavljal natančnejše rezultate v bodočih raziskovalnih aktivnostih. Rezultati predlaganega programa bodo predstavljali tudi inovativne in konkurenčne rešitve za povečanje varnosti pri trkih v različnih industrijskih panogah, kar bo nedvomno pripomoglo k razvoju znanosti in stroke ter izboljšavi oziroma izpopolnitvi strokovne osveščenosti na tem področju.

Za dimenzioniranje najzahtevnejših konstrukcij iz visokotrnostnih jekel bodo razviti novi postopki za določitev življenjske dobe le-teh pri kompleksnih dinamičnih obremenitvah. Z ustreznimi eksperimentalnimi raziskavami bodo določeni tudi manjkajoči materialni parametri

tovrstnih gradiv. Fundamentalne raziskave nestabilnih lomnih procesov bodo predstavljale bistven prispevek za razvoj znanosti predvsem pri uveljavitvi dvoparametrične mehanike loma kot orodja za popolnejši opis lomnega obnašanja ter neposredni aplikaciji izmerjenih parametrov mehanike loma v laboratoriju za oceno celovitosti dejanskih konstrukcijskih komponent.

Na področju mehanizmov in haptičnih naprav bodo predvidene raziskave omogočale bistveno boljši vpogled v sposobnosti robotov v delovnem prostoru. Prav tako bo možna modifikacija in optimizacija strukturnih parametrov robotov s ciljem doseči homogenejše hitrostno polje v delovnem prostoru. Na področju parametrizacije optimizacijskih nalog ter optimizacije topologije bo opravljeno delo pomenilo prispevek k razvoju novih (boljših) postopkov optimizacije. Predvidevamo, da lahko predvsem razvoj učinkovitih adaptivnih baznih funkcij projektnega elementa pomeni bistven prispevek k razvoju postopkov za optimizacijo topologije tako ravninskih kot prostorskih konstrukcijskih delov.

Razvita izobraževalna orodja bodo podjetjem omogočala vplivati na permanentno poklicno izobraževanje in usposabljanje kot dimenzijo inovacijskega procesa. S tem bomo vzpodbujali konkurenčnost in gospodarsko rast gospodarstva. Človeku, kot subjektu trga delovne sile, pa bomo nudili prijazno in znanja bogato sodobno informacijsko okolje.

ANG

In the framework of the suggested research programme, entirely new procedures for dedicated intelligent computer-aided design of machine elements made of modern (light-weight) engineering materials will be developed, which will then be used in aircraft and aerospace industry, medicine, robotics and in other fields of application. The planned scientific research work will provide long-term contribution to the development of science in the field of engineering design of modern engineering structures from modern engineering materials. New intelligent software tools, original computational methods, algorithms and models for computer simulations of the most complex engineering problems will be developed for this purpose.

The developed computer tools will enable more precise and more reliable simulations of behaviour of components made from ordered and non-ordered cellular materials under the influence of impact loads. The development of new constitutive and computer models will ensure optimal design of mechanical components made of these materials. The proposed research programme will include innovative and competitive solutions to increase road safety by using innovative cellular materials for reduction of vehicle impact consequences, which will contribute to the development of science and and increase professional awareness in this field.

New procedures will be developed to define the lifetime of most complex engineering structures made from high-strength steel and subjected to dynamic loads. The required material parameters will be determined with a relevant experimental testing programme. Fundamental research of instable fracture processes will represent an essential contribution to science development, primarily in relation to the introduction of two-parametric fracture mechanics method as a tool for better description of fracture behaviour and direct integrity estimation of the actual design components.

In the field of mechanisms and haptic devices, the planned research will enable better understanding of the robot capabilities in its working environment. A modification and optimisations of robot structural parameters will be determined with the objective to achieve a robot speed field homogeneity in the working environment. In the field of parametrization of optimization tasks and topology optimization, the planned research will contribute to the development of more efficient optimization procedures. The development of effective adaptive basic functions of project elements will contribute to further the procedures for topology optimization in relation to surface and volume design parts.

The developed education tools will enable companies to influence permanent professional education and training as one of the dimensions of their innovation process. This will increase their competitiveness and economic growth.

### 3.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>5</sup>

SLO

Nova znanja in rezultati raziskav bodo zagotavljali večjo konkurenčnost tako raziskovalne, kakor tudi aplikativne sfere. V tem oziru pričakujemo vzpostavitev močnejših pozicij in poglobljanje identitete slovenskega prispevka na navedenih področjih raziskovalnega dela programske skupine. Prenos novih znanj v industrijsko okolje bo ena izmed osnov za povečanje dodane vrednosti izdelkov in s tem večjo konkurenčnost naših podjetij v skupnem, t.j. evropskem oz. svetovnem trgu.

Na področju dimenzioniranja strojnih delov in konstrukcij člani programske skupine že vrsto let uspešno sodelujejo s številnimi podjetji v Sloveniji. Z razvitimi modeli v okviru predlaganega programa bo tem podjetjem omogočen dostop do naj sodobnejših orodij za dimenzioniranje in konstruiranje najzahtevnejših konstrukcij, s čimer bodo lahko bistveno dvignila svojo konkurenčno sposobnost. Predvsem proizvajalci bele tehnike vse več uporabljajo nekovinska gradiva (npr. umetne mase). Rezultati raziskav bodo tem podjetjem nudili potrebna aplikativna orodja za učinkovito konstruiranje s temi gradivi.

Simulacijske analize lahkih gradiv bodo prispevale k učinkovitejši in bolj ekonomični izdelavi posameznih konstrukcijskih komponent (npr. elementov za absorpcijo energije), kar bo nedvomno vplivalo na povečanje varnosti. Slednje sovпада s smernicami in zahtevami Republike Slovenije, predvsem Ministrstva za promet, po zmanjšanju in ublažitvi posledic prometnih nesreč. Povečanje varnosti in zmanjšanje števila poškodb ter žrtev udeležencev v prometu bo posredno vplivalo na krajšo odsotnost zaposlenih z delovnega mesta, zmanjševanje obsega bolniških izostankov in posledično na upadanje motenosti delovnih procesov ter obsega stroškov zaradi odškodnin. Končni rezultat bodo veliki prihranki v gospodarstvu in zdravstvu.

Na področju mehanizmov in haptičnih naprav bodo predlagane raziskave nudile podporo podjetjem, ki se ukvarjajo z robotskimi aplikacijami ter projektiranjem in izvedbo robotiziranih proizvodnih sistemov. Rezultati bodo pomembni predvsem za razvoj programskih orodij, ki predstavljajo strateško prednost na področju realnega in virtualnega projektiranja robotiziranih proizvodnih sistemov.

Vpeljava inteligentnih računalniških sistemov za namene razvoja novih izdelkov, njihove izdelave, trženja, uporabe in vzdrževanja bo omogočila slovenskim podjetjem učinkovitejši razvoj optimalnih izdelkov in s tem tudi lažje nastopanje na domačem in zahtevnih svetovnih tržiščih. Da bi dosegli zastavljene družbeno-ekonomske učinke bo potrebno upoštevati še optimiranje notranje logistike v celotni organizacijski shemi podjetij, ki bo temeljila na uvedbi metod matematičnega modeliranja ter diskretnih numeričnih simulacijah. Le razvit in s primernim znanjem usposobljen trg delovne sile lahko zagotavlja družbeno-ekonomski razvoj celotne skupnosti.

ANG

New knowledge and research results will increase the competitiveness of Slovenian companies. In relation to this, we expect to acquire a better position and to improve the identity of the Slovenian contribution in listed research fields of the research programme group. Transfer of new knowledge into industry will have a significant role in increasing the added value of products and, consequently, of the competitiveness of our companies in common European, as well as worldwide market.

In the field of dimensioning machine parts and designs, programme group members have been cooperating with a number of Slovenian companies for many years. Through developed models in the framework of the suggested programme, these companies will have access to the latest tools for dimensioning and designing most demanding engineering structures, which will increase their competitiveness. The use of non-metal materials (e.g. artificial materials) by producers of domestic appliances in particular has been increasing. To these companies, research results will provide the applicative tools required for effective product design using these materials.

Simulation analyses of light-weight materials will contribute to more effective and more economic production of individual road safety components (e.g. energy absorption elements), which will increase general safety. This corresponds to the guidelines and requirements of the Ministry of Transport of Republic of Slovenia in relation to the reduction and alleviation of the consequences of traffic accidents. Increased safety and reduction of the number of injuries and casualties in traffic accidents will indirectly shorten the absence of employees from work and the number of days of sick leave; as a result, the disturbances of working processes will be less frequent, and compensation costs will decrease. This will lead to savings in the economy and in the health care system.

In the field of mechanisms and haptic devices, the suggested research will provide support to companies in planning and implementation of robotised productions systems. The results will be of significance primarily for the development of actual and virtual planning of robotised production systems.

Introduction of intelligent computer systems for the purpose of development, production, marketing, use and maintenance of new products will provide Slovenian companies with more effective tools for development of optimal products. To achieve the planned social and



economic effects, the optimisation of internal logistics including the total organisation scheme of companies will also be necessary; its basis will be the introduction of methods of mathematical modelling and of discrete mathematical simulations. Social and economic development can be based only on knowledge-driven highly developed labour market.

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### 4. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega programa<sup>6</sup>

V okviru razvoja inteligentne platforme za podporo konstruiranju s sodobnimi gradivi so bile v letu 2010 raziskovalne metode osredotočene na razvoj računalniško podprtih orodij, ki omogočajo učinkovit proces razvoja izdelka. To je izvedeno na način, da se obstoječa računalniška orodja nadgradijo z dodatnimi funkcijami, ki simulirajo inteligentno vedenje. Okolje umetne inteligence sestavlja več modulov znanja, ki rešujejo težave pri numeričnih analizah. Štirje razviti prototipi inteligentnih modulov so: modul za začetne odločitve, modul za izbiro končnih elementov, modul za izdelavo mreže končnih elementov in modul za interpretacijo rezultatov. Po mnenju ekspertov ti moduli omogočajo, da tudi neizkušeni konstrukterji opravijo relevantne numerične analize. Poleg teh orodij za numerično analizo je bila opravljena vrsta raziskav na drugih področjih odločanja. Pri tem so bila razvita orodja za odločanje glede izbora materiala pri razvoju bele tehnike. Posebna pozornost je bila namenjena prednostim in slabostim vključevanja plastičnih materialov v izdelke. Razviti sistemi za odločanje nudijo odlično podporo v metodologiji razvoja izdelkov, ki jo imenujemo razvoj za izdelavo (DFM).

Glede dimenzioniranja statično in dinamično obremenjenih strojnih delov in naprav so bile opravljene dodatne analize malo-cikličnega utrujanja z rotirajočim upogibnim preskusom. Razvita naprava za malociklično utrujanje z rotirajočim upogibnim preskusom je bila uporabljena za določanje parametrov utrujanja za visokotrdnostno jeklo S1100Q. Razvita procedura se je izkazala bolje, kot primerljivo preizkušanje po ASTM E 606 standardu.

Razvita je bila tudi haptična naprava namenjena uporabi v medicinske namene. Naprava je izdelana tako, da je uporabna v močnem magnetnem polju, ki ga proizvaja naprava za medicinske preiskave z magnetno rezonanco. Rešeni so bili vsi problemi povezani z uporabo naprave znotraj naprave za magnetno rezonanco in so bili povezani z uporabo robotskega mehanizma v tunelu medicinske naprave. V okviru raziskave je bil rešen problem haptičnega mehanizma s tremi prostostnimi stopnjami in z upoštevanjem omejenega prostora in vizualizacije. Izdelan je bil sistem 3D vizualizacije, ki omogoča manipulacijo z virtualnimi objekti z uporabo haptičnega mehanizma v MR napravi. Najpomembnejša pri raziskavi je bila izbira primerne vrvičnega sistema za prenos gibanja in obremenitev. Teoretično in praktično so bile raziskane zmogljivosti in sposobnosti haptičnega mehanizma s posebno pozornostjo namenjeno analizi polimernih vrvi.

Analizirani so bili vplivi zaostalih napetosti na rast utrujenostnih razpok za režim obremenjevanja pri mejnih vrednostih faktorjev intenzivnosti napetosti. Za utrujenostne preizkuse so bili uporabljeni upogni preizkušanci z zarezo na enem robu, ki so bili izdelani iz zvarjene plošče. Zaostale napetosti so vzrok za različne stopnje rasti razpoke. Različne oblike fronte razpoke so posledica spremembe razmerja napetosti in obsega faktorjev intenzivnosti napetosti. Z metodo končnih elementov je mogoče določiti lokalne intenzivnosti napetosti in zaostale napetosti glede na obliko in spremembe na fronti razpoke. Na tak način je mogoče



napovedati mejne vrednosti faktorjev intenzivnosti napetosti glede na zaostale napetosti na izbranem področju. Izdelani so bili modeli za analizo časa transporta za avtomatska skladišča z eno ali več hodniškimi regalnimi dvigali. Ti modeli upoštevajo karakteristike delovanja strojev za shranjevanje in dostavo, kot so pospeševanje in zaviranje ter maksimalna hitrost. S privzeto enakomerno porazdelitvijo materiala na regalih in dostavnih hodnikih model omogoča določanje dostavnih časov s uporabo teorije verjetnosti in porazdelitvenih funkcij. Računalniški modeli omogočajo izračun srednjega časa transporta za ukaz za enojni ali dvojni cikel za katerega nas zanima zmogljivost večhodniškega regalnega skladišča. Simulacijski model omogoča primerjavo z predlaganimi analitičnimi modeli izračuna časa transporta. Analize so pokazale, da za vse obravnavane tipe večhodniških skladišč rezultati predlaganega analitičnega modela sovpadajo z rezultati simulacij.

Opravljenе so bile eksperimentalne raziskave urejene odprte celične strukture z upoštevanjem vpliva oblike celice na celično strukturo pod vplivom enosne tlačne obremenitve. Celične strukture okrogle in kvadratne oblike so bile izdelane s tehniko hitrih prototipov po principu laserskega sintranja pri čemer je osnovni material bil poliamid PA-12. Predlagan je bil napreden pristop za določanje Poissonovega števila z uporabo 3D laserskega skeniranja. Rezultati preizkusov kažejo, da za urejeno celično strukturo velja enak mehanizem rušenja plasti, kot ga lahko opazujemo pri neurejenih odprtih celičnih strukturah. Preizkusi so pokazali, da imajo celične strukture z okroglo obliko celic večjo sposobnost absorpcije energije, kot strukture s kvadratno obliko celic.

## 5. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>7</sup>

Glede na časovni potek raziskovalnega dela v okviru programske skupine, ki je bil predstavljen pri prijavi programa, je bila v prvi fazi izvajanja programa predvidena analiza doseženih rezultatov v preteklem obdobju, zajemanje znanja, določitev osnovnih smernic razvoja inteligentnih modulov, nadaljnji razvoj znanj na posameznih obstoječih raziskovalnih področjih, vzpostavitev sodelovanja z drugimi institucijami, nabava potrebne raziskovalne opreme, testiranje raziskovalne opreme in drugo. Prav tako je bila načrtovana izdelava potrebnih algoritmov, izvedba potrebnih računalniških simulacij, načrtovanje eksperimentalnih raziskav, izvedba določenih eksperimentalnih raziskav, osnovni razvoj inteligentnih modulov na posameznih področjih, polnjenje baze znanja, izbor podjetij za uvedbo pilotskih projektov strokovnega izobraževanja na področju konstruiranja, razpis diplomskih in doktorskih nalog, pridobivanje mednarodnih projektov na obravnavanem področju.

Na osnovi poročila o realizaciji programa, navedenem v prejšnji točki, ter na osnovi raziskovalnih in razvojnih dosežkov posameznih članov skupine (glej Cobis) lahko zaključimo, da je realizacija zastavljenih ciljev primerljiva s časovnim potekom raziskovalnega dela, ki ga je programska skupina navedla pri prijavi programa.

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>8</sup>

Pri izvajanju raziskovalnega programa ni prišlo do bistvenih sprememb glede na raziskovalne cilje, ki jih je programska skupina navedla ob prijavi programa.

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>9</sup>

		Znanstveni rezultat
1.	Naslov	SLO Človeško znanje kot osnova za sistem za podporo odločanju pri zasnovi izdelkov iz plastike
		ANG Human cognition as an intelligent decision support system for plastic products' design
	Opis	SLO Prispevek osvetljuje pomanjkljivosti v primeru oblikovanja izdelka. Predstavljene so prednosti in slabosti razvitega inteligentnega sistema za podporo odločanju za projektiranje plastičnih izdelkov in analizirane morebitne koristi, ki so pridobljene z uporabo. Predlagani sistem za podporo odločanju vsebuje ekspertne izkušnje na področju znanja konstruiranja, posebej na področju dela s plastičnimi masami in deluje po metodologiji razvoja za izdelavo, ki ga označujemo s kratico DFM.
		ANG This paper highlights its deficiencies when the designer cannot obtain any expert recommendations or guidelines from the computer's program. The advantages and disadvantages are set out, and any potential benefits gained from using an intelligent decision support system for plastic products' design are introduced. The proposed decision support system contains human cognition within the field of design knowledge and special domain knowledge expertise regarding plastics supported by design methodology called 'Design for Manufacturing' (DFM).
	Objavljeno v	SANCIN, Urška, DOBRAVC, Mitja, DOLŠAK, Bojan. Human cognition as an intelligent decision support system for plastic products' design. Expert syst. appl.. [Print ed.], Oct. 2010, vol. 37, iss. 10, str. 7227-7233
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO Razvoj in analiza haptičnega robota v MR okolju
		ANG Design and analysis of an fMRI compatible haptic robot
	Opis	SLO V prispevku je opisana razvita haptična naprava namenjena uporabi v medicinske namene. V okviru raziskave je bil rešen problem haptičnega mehanizma s tremi prostostnimi stopnjami in z upoštevanjem omejenega prostora in vizualizacije. Najpomembnejša pri raziskavi v okviru članka je bila izbira primerne vrvičnega sistema za prenos gibanja in obremenitev. Teoretično in praktično so bile raziskane zmogljivosti in sposobnosti haptičnega mehanizma s posebno pozornostjo namenjeno analizi polimernih vrvi.
		ANG This paper deals with the manipulability problem of a novel 3 DOF MR compatible haptic mechanism, considering limited space and its visualisation. Choosing a suitable driving system is one of the crucial design attributes for quality force transmission in haptic interfaces. This paper introduces certain adaptations, which have been done to enable the MR compatibility of a cable drive driven by an electric motor. It also presents the theoretical modelling of a cable drive for a 3 DOF MR compatible haptic mechanism, focusing on the hysteretic behaviour of polymeric cables.
	Objavljeno v	RAJH, Matej, GLODEŽ, Srečko, FLŠKER, Jože, GOTLIH, Karl, KOSTANJEVEC, Tomaž. Design and analysis of an fMRI compatible haptic robot. Robot. comput.-integr. manuf.. [Print ed.], Apr. 2011, vol. 27, iss. 2, str. 267-275
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	SLO Širjenje utrujenostne razpoke v mejnem režimu z upoštevanjem zaostalih napetosti
		ANG Fatigue crack propagation in threshold regime under residual stresses
	Opis	SLO Analizirani so bili vplivi zaostalih napetosti na rast utrujenostnih razpok za režim obremenjevanja pri mejnih vrednostih faktorjev intenzivnosti napetosti. Različne oblike fronte razpoke so posledica spremembe razmerja napetosti in obsega faktorjev intenzivnosti napetosti. Z metodo končnih elementov je mogoče določiti lokalne intenzivnosti napetosti in zaostale napetosti glede na obliko in spremembe na fronti razpoke. Na tak način je mogoče napovedati mejne vrednosti faktorjev intenzivnosti napetosti glede na zaostale napetosti na izbranem področju.

		<p>The effect of residual stress on the fatigue crack propagation was analysed for a loading regime close to threshold stress intensity factor range. By varying the stress ratio and the stress intensity factor range, different shapes of crack front can be realized. From the shape of the crack front and the variation of the crack front, the resulting residual stresses and local stress intensity can be determined by means of finite element modelling. It is possible to estimate the limit values of the stress intensity factor induced by the residual stresses at selected regions.</p>
	Objavljeno v	PREDAN, Jožef, PIPPAN, Reinhard, GUBELJAK, Nenad. Fatigue crack propagation in threshold regime under residual stresses. Int. j. fatigue. [Print ed.], July 2010, vol. 32, iss. 7, str. 1050-1056
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	<p><i>SLO</i> Modeli časa transporta za avtomatska skladišča s hodniško napravo za shranjevanje in dostavo  <i>ANG</i> Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> V članku so predstavljeni modeli za analizo časa transporta za avtomatska skladišča z eno ali več hodniškimi regalnimi dvigali. S privzeto enakomerno porazdelitvijo materiala na regalih in dostavnih hodnikih model omogoča določanje dostavnih časov z uporabo teorije verjetnosti in porazdelitvenih funkcij. Simulacijski model omogoča primerjavo s predlaganimi analitičnimi modeli izračuna časa transporta. Analize so pokazale, da za vse obravnavane tipe večhodniških skladišč rezultati predlaganega analitičnega modela sovpadajo z rezultati simulacij.</p> <p><i>ANG</i> This paper presents analytical travel time models for the computation of travel time for automated warehouses with the aisle transferring S/R machine. A simulation model of multi-aisle AS/RS has been developed to compare the performances of the proposed analytical travel time models. The analyses show that regarding all examined types of multi-aisle AS/RS, the results of proposed analytical travel time models correlate with the results of simulation models of multi-aisle AS/RS.</p>
	Objavljeno v	LERHER, Tone, POTRČ, Iztok, ŠRAML, Matjaž, TOLLAZZI, Tomaž. Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine. Eur. J. oper. res.. [Print ed.], Sep. 2010, vol. 205, iss. 3, str. 571-583
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	<p><i>SLO</i> Določanje učinka oblike celice v poliamidni celični strukturi  <i>ANG</i> Cell shape effect evaluation of polyamide cellular structures</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Prispevek opisuje eksperimentalno raziskavo pravilnih odprtih celičnih struktur, kjer je bil raziskan vpliv eno osne tlačne obremenitve na obliko celic. Celične strukture s krožnimi in kvadratnimi celicami so bile izdelane s tehniko hitrih prototipov z laserskim sintranjem in z uporabo poliamida PA-12 kot osnovnega materiala. Predlagan je bil napreden pristop za določanje Poissonovega števila z uporabo 3D laserskega skeniranja. Preizkusi so pokazali, da imajo celične strukture z okroglo obliko celic večjo sposobnost absorbcije energije, kot strukture s kvadratno obliko celic.</p> <p><i>ANG</i> The paper describes an experimental investigation of regular open-cell cellular structures. Cellular structures with circular and quadratic cells have been manufactured with the laser sintered rapid prototyping technique using polyamide PA-12 as the base material. An advanced approach for Poisson's ratio evaluation is proposed, which is based on the three-dimensional laser scanning technique. The energy absorption characteristics show advantageous performance of cellular structures with circular cells in comparison to the quadratic cells.</p>
	Objavljeno v	VESENJAK, Matej, KRSTULOVIC-OPARA, Lovre, REN, Zoran, DOMAZET, Željko. Cell shape effect evaluation of polyamide cellular structures. Polym. test.. [Print ed.], Dec. 2010, vol. 20, iss. 8, str. 991-994
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	

## 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati programske skupine <sup>10</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
		ANG	Visiting professor at foreign institute or university
	Opis	SLO	Vsebina gostujočih predavanj v Japoski (tudi v Nemčiji in BIH) se neposredno navezuje na vsebino raziskovalnega dela programske skupine.
		ANG	Many lectures were conducted in Japan, Germany and in Bosnia and Herzegovina reflecting the research work of the programme.
	Šifra	Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi	
	Objavljeno v	High speed impact of low density aluminium foam : invited lecture, presented at the Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, Japan, on September 13th 2010 / by Zoran Ren [et al.]	
	Tipologija	Predavanja na tuji univerzi	
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Statična nosilnost in življenjska doba velikih aksialnih dvorednih krogličnih ležajev
		ANG	Static capacity and lifetime of large double-row slewing ball bearings
	Opis	SLO	Red. prof. dr. Glodež Srečko je bil mentor, red. prof. dr. Jože Flašker pa somentor pri doktorski disertaciji, ki obravnava statično nosilnost in življensko dobo velikih aksialnih dvorednih krogličnih ležajev. Rezultati doktorske disertacije so bili neposredno uporabljeni pri slovenskem proizvajalcu ležajev.
		ANG	Prof. dr. Glodež Srečko and prof. dr. Jože Flašker were mentors of doctoral thesis with title Static capacity and lifetime of large double-row slewing ball bearings. Results of the thesis were applied to manufacturing of bearing in domestic firm.
	Šifra	Mentorstvo doktorandom	
	Objavljeno v	POTOČNIK, Rok. Statična nosilnost in življenjska doba velikih aksialnih dvorednih krogličnih ležajev : doktorska disertacija. [Maribor: R. Potočnik], 2010. XXI, 131 str., ilustr., preglednice.	
	Tipologija	Doktorska disertacija	
COBISS.SI-ID			
3.	Naslov	SLO	Predlagana merilna mesta za merjenje deformacij in napetosti turbinskega pokrova agregata 2 HE Zlatoličje
		ANG	Proposed measure spots for determination of deformation and stresses of turbine cover of secong aggregate of Zlatoličje power plant
	Opis	SLO	Merilna mesta za merjenje deformacij so bila določene z numeričnimi analizami in omogočajo meritve kritičnih vrednosti deformacij in napetosti na turbinskem pokrovu agregata HE Zlatoličje.
		ANG	Critical spots on turbine cover of aggregate were determinated using numerical methods. Critcal spots were then used to measure deformation and stresses at Zlatoličje power plant.
	Šifra	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Objavljeno v	REN, Zoran, VESENJAK, Matej, GAČNIK, Franci. Predlagana merilna mesta za merjenje deformacij in napetosti turbinskega pokrova agregata 2 HE Zlatoličje. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za zahtevne računalniške simulacije, 2010. 7 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 14122006]	
	Tipologija	Elaborat, predštudija, študija	
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	Koncipiranje gonil : gonila za kuhinjski aparat in multipraktik
		ANG	Concept of drive: drive for food processor and multipractic
	Opis	SLO	Zasnovano je bilo zobniško gonilo za kuhinski aparat in multipraktik. Izdelan je bil prototip, ki je bil vgrajen v prototip kuhinskega aparata. Prototip je predstavljal osnovo za razvoj novega izdelka v podjetju, ki se ukvarja s proizvodnjo kuhinskih aparatov v Sloveniji.
		ANG	Concept of drive was proposed for food processor machines. On base of the concept a prototype was build and assembled into prototype of food processor. Prototype was build in framework of design of new product in household appliances manufacturing firm in Slovenia.
	Šifra	Razvoj in izdelava prototipa	

Objavljeno v	FLAŠKER, Jože, TAŠNER, Frančišek, PEHAN, Stanislav. Koncipiranje gonil : gonila za kuhinjski aparat in multipraktik. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2010. 41 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 14808854]	
Tipologija	Elaborat, predštudija, študija	
COBISS.SI-ID		
5. Naslov	SLO	Modeliranje in simulacije v inženirstvu
	ANG	Modelling and Simulation in Engineering
Opis	SLO	Članstvo v uredniškem odboru revije Modelling and Simulation in Engineering, ki se izdaja v Kairu pri založbin Hindawi Publishing Corporation.
	ANG	Membership in editor board of magazine Modelling and Simulation in Engineering, published by Hindawi Publishing Corporation in Cairo.
Šifra	Članstvo v uredniškem odboru	
Objavljeno v	Modelling and Simulation in Engineering (Online). Flašker, Jože (član uredniškega odbora 2010, 2011). Cairo: Hindawi Publishing Corporation. ISSN 1687-5605. http://www.hindawi.com/GetJournal.aspx?journal=MSE. [COBISS.SI-ID 11728406]	
Tipologija	Sekundarno avtorstvo	
COBISS.SI-ID		

## 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>11</sup>

--

## 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov<sup>12</sup>

Vrsta izobraževanja	Število mentorstev	Od tega mladih raziskovalcev
- znanstveni magisterij		
- doktorat znanosti		
<b>Skupaj:</b>		

## 11. Zaposlitev vzgojenih kadrov po usposabljanju

Organizacija zaposlitve	Število doktorjev znanosti	Število magistrov znanosti
- univerze in javni raziskovalni zavodi		
- gospodarstvo		
- javna uprava		
- drugo		
<b>Skupaj:</b>		

## 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca

Sodelovanje v programski skupini	Število
- raziskovalci-razvijalci iz podjetij	
- uveljavljeni raziskovalci iz tujine	
- podoktorandi iz tujine	

- študenti, doktorandi iz tujine	
<b>Skupaj:</b>	

### 13. Vključenost v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v letu 2010<sup>13</sup>

Bilateralni znanstveno-raziskovalnega projekt sodelovanja med Republiko Slovenijo in Japonsko (vodja: prof. dr. Ren Zoran; št. Pogodbe: BI-JP/09-11-001).

EUREKA, OLMOST, E!5348, prof. dr. GUBELJAK Nenad, Aktivni nadzor konstrukcij, ki so izpostavljene dinamičnim obremenitvam

K2 MPPE, prof. dr. GUBELJAK Nenad, "Damage evolution - experiments and simulation from micro to macro scale"; Comet Project A4.11

Bilateralni znanstveno-raziskovalnega projekt sodelovanja med Republiko Slovenijo in Francijo: Vpliv vodika na iniciacijo utrujenostne razpoke v jeklih za cevovode (vodja: prof. dr. Gubeljak Nenad; št. pogodbe: BI-FR/09-10-PROTEUS-013).

Bilateralni znanstveno-raziskovalnega projekt sodelovanja med Republiko Slovenijo in Argentino: Aplikacija normalizacijske metode za določevanje lomne žilavosti heterogenih materialov (vodja: prof. dr. Gubeljak Nenad; št. pogodbe: BI-ARG/09-11-1 3).

Bilateralni znanstveno-raziskovalnega projekt sodelovanja med Republiko Slovenijo in Bosno in Hercegovino: Inteligentna podpora razvoja izdelkov iz umetnih mas s sklepanjem na podlagi rešenih primerov (vodja: prof. dr. Dolšak Bojan; št. pogodbe: BI-BA/10-11-007).

### 14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v letu 2010 potekali izven financiranja ARRS<sup>14</sup>

FLAŠKER, Jože, TAŠNER, Frančišek, PEHAN, Stanislav. Koncipiranje gonil : gonila za kuhinjski aparat in multipraktik. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2010. 41 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 14808854]

GLODEŽ, Srečko, JELASKA, Damir. Dinamična trdnost toplotno rezanih elementov konstrukcij : končno poročilo = Fatigue strength of thermally cut structural elements : final report. [S. l.: s. n., 2010]. 3 f. [COBISS.SI-ID 18256904]

GUBELJAK, Nenad, PREDAN, Jožef, KOZAK, Dražan, VOJVODIČ-TUMA, Jelena. Aplikacija mehanike loma pri revitalizaciji energijskih komponent. Del 4 : končno poročilo : elaborat za Nuklearno elektrarno Krško. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za strojne elemente in konstrukcije, 2010. 61 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 14667542]

GUBELJAK, Nenad, PREDAN, Jožef, KRESNIK, Anton. Določanje upogibne trdnosti nosilca z ležajem. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za strojne elemente in konstrukcije, 2010. 20 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 13943574]

GUBELJAK, Nenad, MOČILNIK, Vinko, PREDAN, Jožef, KRESNIK, Anton. Meritev obremenitev na reduktorju za pogon mlina št. 7 v podjetju Kalcit d.o.o. : ekspertiza. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za strojne elemente in konstrukcije, 2010. 6 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 14519062]

GUBELJAK, Nenad, PREDAN, Jožef, KRESNIK, Anton. Porušitev "T18" razdelilcev za toplovodni sistem : ekspertiza. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za strojne elemente in konstrukcije, 2010. 6 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 14411798]

KRAMBERGER, Janez, RUDOLF, Rebeka, VUHERER, Tomaž, JEZERNIK, Niko, PRISTAVEC, Anton, ŠPRAH, Vili. Dinamična trdnost lasersko rezanih elementov konstrukcije : aplikativni projekt : zaključno poročilo o rezultatih raziskovalnega projekta. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2010. [18] f. [COBISS.SI-ID 14054678]

PAHOLE, Ivo, ZEMLJIČ, Borut, GODICELJ, Tomaž, TURK, Jože, ZUPANIČ, Štefan, INTIHAR, Zvonko, ULBIN, Miran, VUHERER, Tomaž, FICKO, Mirko, PEŠAKOVIČ, Uroš. Vpliv oblike rondice

na tehnološke parametre pri izsekovanju : končno poročilo projekta. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Inštitut za proizvodno strojništvo, Laboratorij za inteligentne obdelovalne sisteme, Laboratorij za prilagodljive obdelovalne sisteme, 2010. 43 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 14235670]

REN, Zoran, ANŽEL, Ivan, LOJEN, Gorazd, ŠULEK, Rok. Poročilo o analizi mehanskih lastnosti vijakov cestne varnostne ograje K-SAFE N2-L. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Inštitut za tehnologijo materialov, Inštitut za konstrukterstvo in oblikovanje, Laboratorij za zahtevne inženirske simulacije, 2010. 15 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 14393878]

REN, Zoran, GUBELJAK, Nenad, PREDAN, Jožef, VESENJAK, Matej, KRESNIK, Anton. Poročilo o preizkušanju nateznih preizkušancev izdelanih iz pločevine cestne varnostne ograje K-SAFE N2-L. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za strojne elemente, Laboratorij za zahtevne inženirske simulacije, Inštitut za konstrukterstvo in oblikovanje, 2010. 19 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 14123286]

REN, Zoran, VESENJAK, Matej, GAČNIK, Franci. Predlagana merilna mesta za merjenje deformacij in napetosti turbinskega pokrova agregata 2 HE Zlatoličje. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za zahtevne računalniške simulacije, 2010. 7 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 14122006]

REN, Zoran, VESENJAK, Matej, GAČNIK, Franci. Primerjava izmerjenih in izračunanih vrednosti povosov sklopa turbinskega pokrova in zgornjega vodilniškega obroča agregata 2 HE Zlatoličje. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za zahtevne računalniške simulacije, 2010. 16 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 14122518]

REN, Zoran, VESENJAK, Matej, GAČNIK, Franci. Računalniške simulacije obnašanja obremenjenega turbinskega pokrova in zgornjega vodilniškega obroča agregata 2 HE Zlatoličje. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za zahtevne računalniške simulacije, 2010. 87 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 14122262]

REN, Zoran, ULBIN, Miran. Poslovnik kakovosti in navodila za zagotavljanje kakovosti v podjetju Kveder d.o.o.. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Inštitut za konstrukterstvo in oblikovanje, 2010. 33 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 14747670]

TAŠNER, Frančišek, TAŠNER, Tadej. Wolfram planetno gonilo za pogon multipraktika MCM6. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2010. 25 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 14809110]

#### **15. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanje v projektih okvirnih programov EU) v letu 2010<sup>15</sup>**

V obdobju leta 2010 ni bilo sodelovanja članov programske skupine v okvirnih programih EU.

#### **16. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010<sup>16</sup>**

Dodatna finančna sredstva smo porabili v skladu z ARRS klasifikacijo razdelitve finančnih sredstev za razred C.

#### **17. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu v letu 2010<sup>17</sup>**

V letu 2010 ni bilo dodatnega financiranja programske skupine na osnovi sodelovanja v pedagoškem procesu.

#### **18. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi<sup>18</sup>**

Kot je razvidno iz poročila o realizaciji raziskovalnega programa v letu 2010 so bile že izvedene



# LETNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA V LETU 2010

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

<b>Šifra programa</b>	
<b>Naslov programa</b>	Raziskave v energetskem, procesnem in okoljskem inženirstvu
<b>Vodja programa</b>	
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	skupaj: _____ od tega v letu 2010: _____
<b>Cenovni razred</b>	
<b>Trajanje programa</b>	-
<b>Izvajalci programa (raziskovalne organizacije in/ali koncesionarji)</b>	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo Turboinštitut - Inštitut za turbinske stroje Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	Energija

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	
<b>Naziv</b>	

### 2. Povzetek<sup>2</sup>

*SLO*

Delo programske skupine poteka v več vzporednih sklopih in ga lahko v grobem razdelimo na numerično in merilno podprt eksperiment za obravnavo prenosnih pojavov v eno in večfaznih ter večsestavinskih termodinamičnih sistemih. Na področju numeričnega eksperimenta posvečamo naše delo implementaciji in razvoju modelov turbulentnega toka za metodo robnih elementov. Razvili smo algoritme za implementacijo modelov, ki temeljijo na osnovi Reynoldsovega povprečenja, algoritem za simulacijo velikih vrtincev pa smo nadgradili z modulom za simulacijo prenosa toplote, kar nam omogoča raziskave pojavov ob prehodu laminarnega načina toka v turbulentno naravno konvekcijo. Prehodni pojavi iz laminarnega v turbulentni način toka so izrednega pomena tudi za napoved razmer na lopaticah turbinskih strojev, zato raziskave na tem področju dopolnjujemo s PIV in HWA meritvami obtakanja lopatičnih profilov v vetrovniku in opazovanjem časovno spreminjajočega se hitrostnega profila v področju odlepljanja toka



od lopatice, kjer se porajajo zametki kavitacijskih struktur v hidravličnih turbinskih strojih in pomenijo prehod v večfazni tok. Modeliranje večfaznega in večsestavinskega toka z MRE smo nadgradili z vključevanjem dodatnih fizikalnih vplivov delcev na prenos toplote v tekočinah in raziskovali vpliv delcev na intenzivnost prenosa toplote. Na področju toka suspenzije smo uporabili teorijo mikropolarnih tekočin in jo implementirali za simulacijo večsestavinskega toka z MRE. Izvedli smo vrsto izračunov osnovnih fizikalnih primerov za potrditev pravilnosti te implementacije. Na področju dinamike reaktivnega toka smo nadaljevali z razvojem numeričnih modelov zgorevanja trdih goriv s poudarkom na modeliranju procesov na zgorevalni rešetki, ki naj pravilno napovedo profil koncentracij osnovnih produktov zgorevanja vzdolž rešetke pri sežigu lahkih frakcij komunalnih odpadkov (LFKO) in služijo kot robni pogoj za simulacijo procesov v kurišču s CFD. Izdelali smo ravnotežni model uplinjanja trdega goriva, ki na podlagi sestave goriva LFKO in temperaturnega polja na zgorevalni rešetki napove koncentracije osnovnih produktov zgorevanja vzdolž rešetke. Tako smo dosegli boljšo korelacijo med trdo in plinasto fazo goriva, ki se spreminjata vzdolž zgorevalne rešetke. Na področju motorjev z notranjim zgorevanjem smo nadaljevali z raziskavami možnosti povečanja zmogljivosti motorjev ob zmanjšanju porabe goriv in emisij onesnaževal pri uporabi biogoriv. Z razvojem merilnih sistemov dopolnjujemo numerični pristop k obravnavi prenosnih pojavov v eno in večfaznih ter večsestavinskih termodinamičnih sistemih. Uspeli smo razviti in testirati robusten senzorski sistem za meritve hitrosti v dvosestavinskem pulzirajočem toku trdo-plinasto, prav tako pa smo nadaljevali z razvojem optičnih senzorjev za merjenje ekoloških parametrov odpadne vode. Ob raziskovalnem delu skrbimo tudi za prenos znanja na študente v okviru dodiplomskih in podiplomskih študijskih programov Strojništvo in TVO.

ANG

The activities of the research group are running concurrently in several segments and can be split into numerical and measurement based experiment focused on transport phenomena in one and multi-phase and/or multi-component thermo dynamical systems. Numerical experiment is focused on development and implementation of turbulent models for boundary elements method. Reynolds averaged Navier Stokes-RANS based models were implemented and Large Eddy Simulation-LES models were upgraded with a module for heat transfer simulation enabling us study of the phenomena during transition of laminar flow into turbulent natural convection. Phenomena in laminar to turbulent flow transition have significant effect during prediction of flow regime on turbo-machinery blades, therefore, an wind-tunnel experiment was set up and PIV and HWA measurement were performed to study flow around an airfoil and to study time dependence of velocity profile. The measurements were made in the area where the flow separates from the airfoil and where the cavitation structures nucleuses occur in hydraulic turbo-machinery resulting in transition into multi-phase flow. Multi-phase, multi-component boundary element method was improved by implementation of models describing the influence of elementary particles on heat transfer in fluids and its intensity. Micro polar fluids theory was implemented when simulating the suspended flow and integrated into BEM for multi-component flow simulations. Several simulations on basic physical cases were made to validate the implementation. In the reactive flow area the work was continued by development of numerical models of solid fuels combustion. The focus was on modelling of processes during combustion on the grate with the goal to improve the predictions of elementary combustion products concentration profiles along the grate. The final goal is to simulate the process of communal waste incineration (light fraction). The equilibrium model for gasification enabling prediction of elementary combustion products was developed and light fraction chemical composition and temperature profile are required as inputs. As a result a better correlation between solid and gas phase (dependent on the position on the grate) was achieved. In the field of internal combustion engines researches were focused on increasing the engine

performance and at the same time reducing of fuel consumption and emissions when using bio fuels. Numerical approach in studying of one and multi-phase and/or multi-component flow is supplemented by development of measurement system. We managed to develop and test robust sensor system for velocity measurements in pulse solid-gas two components flow and the research of optic sensor for measurements of ecological parameters of waste water. Beside our research work we dedicate our capacities to transfer of knowledge to under-graduate and post-graduate students of mechanical engineering and technical protection of the environment.

### 3. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>3</sup>

#### 3.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>4</sup>

SLO

Implementirani turbulentni modeli in izboljšani algoritmi za popis večfaznih in večsestavinskih turbulentnih tokov, ki smo jih v preteklem letu razvili, izpopolnili in testirali na preverjenih računskih primerih v okviru programske skupine, predstavljajo pomembno lastno programsko opremo. Ta nam omogoča raziskave lokalnega tokovnega časovno odvisnega dogajanja ob prehodu laminarnega načina toka v turbulentni in obeta vzporedno z razvitimi merilnimi PIV in HWA postopki možnost poglobljenih raziskav obtekanja lopatičnih profilov turbinskih strojev in opazovanja področja separacije toka od lopatične stene ter pojavov, ki privedejo do zmanjševanja prenosa energije na ali z lopatice, v primeru hidravličnih turbinskih strojev pa do nastopa kavitacije.

Razvoj modela uplinjanja lahkih frakcij komunalnih odpadkov (LFKO) na zgorevalni rešetki, je omogočil izboljšanje robnih pogojev v numerični CFD simulaciji kurilne naprave za sežig LFKO. Tako je izboljšana točnost simulacije dinamike reaktivnega toka v kurilni napravi, ki omogoča poglobljen študij vplivnih dejavnikov na potek zgorevanja in nastanek onesnaževal v procesu energijske izrabe odpadkov.

Rezultati raziskav na področju uporabe biogoriv v motorjih z notranjim zgorevanjem prinašajo nova spoznanja o možnostih optimiranja procesa vbrizgavanja goriva in fizikalnih ter kemijskih procesov zgorevanja pri uporabi novih goriv (bioetanol, biodizel) in njihovih mešanic.

Na področju meritev procesnih parametrov odpadne vode predstavlja pomemben znanstveni dosežek razvoj optičnega senzorja, v okviru katerega je bila razvita nova metoda za detekcijo kisika z rutenijevim kompleksom, ki je imobiliziran v membrano iz poliestrskega polimera in služi kot indikator. Membrano odlikujeta stabilnost in kratek odzivni čas, kar zagotavlja dobro delovanje in možnost uporabe senzorja v senzorskem sistemu trajni nadzor parametrov odpadne vode.

ANG

Turbulent models and modified models for multi-phase and multi-component turbulent flows which were developed, implemented and validated by the members of program group on numerical test models represent significant in-house software. It enables us research of local time and flow dependant phenomena in laminar to turbulent transition regime. Measurement methods developed for PIV and HWA enable detailed study of airfoil flow regimes for turbo-machinery specially near the point of flow separation and study of phenomena leading to reduction of energy to fluid transfer, while in case of hydraulic machinery enabling the study of an area where cavitation occurs.

Development of the model for light fraction communal waste gasification on incineration grate enabled improvement of boundary element quality for a CFD simulation of incineration process for light fraction of communal waste. The accuracy of numerical simulation for reactive flow in the incinerator is increased and enables detailed study of influence factors on process of combustion and emission generation in pre process of energetic exploitation of waste.

The results from researches of bio-fuels usage in internal combustion engines deliver new knowledge regarding the possibilities for fuel injection optimization procedure and physical and chemical processes in combustion of new fuels (bioethanol, biodiesel) and their blends.

Development of new ruthenium based optical sensor of oxygen detection and new detection method is the most important achievement in the field of process parameter measurements for waste water. Ruthenium complex is immobilized in polyester polymer membrane and serves as an indicator. The membrane is stable with short response time which assures stable operation and possible use of the sensor in sensor system for permanent waste water parameter control.

#### 3.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>5</sup>

SLO

Z razvitimi numeričnimi algoritmi se širi paleta orodij za simulacijo večfaznega in večsestavinskega turbulentnega toka, kar pomembno in neposredno vpliva na razvojne potencialne razvojnih in raziskovalnih oddelkov slovenskih podjetij in širše, ter tako na razvoj Slovenije, saj uporaba numeričnih metod v industriji za reševanje inženirskih problemov v fazah snovanja, razvoja in nadzora procesov in naprav v Sloveniji in svetu vse bolj narašča. Z razvojem novih numeričnih algoritmov in merilnih sistemov in njihovo aplikacijo v praksi izboljšujemo konkurenčno sposobnost našega gospodarstva.

Prenos znanja in novih spoznanj, ki nastajajo v programski skupini na študente, sodelavce znotraj programske skupine in izven nje pa ima gotovo posredni vpliv za razvoj Slovenije, saj pomaga formirati ustrezno usposobljeno raziskovalno bazo iz katere se s tehniškimi kadri napajajo slovenska podjetja.

Neposredni vpliv za razvoj Slovenije se kaže tudi v obliki sodelovanja z gospodarskimi družbami s katerimi sodelujemo, razvijamo nove ali testiramo obstoječe postopke z uporabo naprednih numeričnih metod računske dinamike tekočin ali z modernimi merilnimi postopki. Na področju procesne in okoljske tehnike velja omeniti sodelovanje s podjetjem Esotech d.d. Velenje na področju CFD analize prenosnih pojavov v pršišču mokrega pralnika pilotne naprave za razžvepljevanje dimnih plinov. Na področju energetike smo še posebej aktivni v projektih za energijsko izrabo odpadkov pri čemer sodelujemo s KIV Engineering d.o.o., Em.tronic in Enerkon d.o.o. ter Surovina d.d. Pomembna je tudi naša tesna sodelava s podjetjem Hella Saturnus Slovenija pri optimiranju avtomobilskega žarometa.0

ANG

Numerical algorithms developed widened the array of tools for simulation of multi-phase and multi-component turbulent flow which has significant and indirect influence on research capacity of R&D departments of Slovenian companies and wider. As a result it has positive influence on research of Slovenia since worldwide increase in the use of numerical methods during engineer problems solving in R&D and process control. By development of new numerical algorithms and measuring systems and their implementation in the industry the competitiveness of industry increases too.

Transfer of knowledge and new achievements originating from the members of program group to students, colleagues in the group and out of it has some indirect influence on development of Slovenia since it contributes to forming of properly trained base of researchers all companies take their engineers from.

Direct influence for development of Slovenia can be observed in the form of cooperation with companies which include development of new or testing of existing procedures by using of advanced numerical CFD methods and modern measurement procedures.

We would like to mention cooperation with Esotech d.d. Velenje during CFD analysis of transfer phenomena in the spay of wet scrubber of pilot desulphurisation as one example of cooperation in the field of process and environmental technology. In the field of power engineering we were especially active in projects concerning energetic exploitation of waste where we cooperate with KIV Engineering d.o.o. Em.tronic, Enerkon d.o.o. and Surovina d.d. Close cooperation with Hella Saturnus Slovenija proved to be important during optimization of a new light bulb for cars.

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### 4. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega programa<sup>6</sup>

Nadaljevali smo delo na področju razvoja numeričnih algoritmov za simulacijo eno in več faznega toka tekočin. Izdelana numerična shema, ki deluje na podlagi metode robnih elementov in hitrostno vrtinčnega zapisa enačb, je bila razširjenja.

Ukvarjali smo se z implementacijo in razvojem modelov turbulentnega toka. V shemo smo vključili modele, ki temeljijo na osnovi Reynoldsovega povprečenja. Reynoldsovo povprečenje temelji na ideji, da turbulentni tok razdelimo na časovno povprečen del in na oscilirajočo komponento. Časovno povprečen del simuliramo direktno, z numeričnim reševanjem vodilnih enačb. Oscilirajočo komponento pa ne simuliramo, temveč vpliv turbulentnih struktur opišemo z modelom in prek modela vplivamo na časovno povprečne veličine. Modeli so si iz matematičnega vidika različni, poznamo algebrajske (Baldwin - Lomax), enoenáčbne (Spalart - Allmaras) in dvoenačbne. Dvoenačbeni modeli temeljijo na vpeljavi turbulentne kinetične energije in disipacije in reševanju prenosne enačbe za obe veličini. Med njimi smo uporabili modele: Launder - Sharma, Fan -

Lakshminarayana -Barnett, Abe-Kondoh-Nagano, Nagano-Kim in Chien.

Metodo robnih elementov smo razvili za opis vseh vrst modelov. Uporabili smo metodo podobmočij, kjer integralsko obliko prenosne enačbe diskretiziramo za vsak element v računski mreži posebej. Uporabili smo različne vrste interpolacije za funkcijo v elementu in pretok preko meja elementa – konstantno, linearno in kvadratno. S postopkom diskretizacije dobimo predoločen sistem linearnih enačb za neznane vrednosti funkcije in pretoka. Ena izmed prednosti našega pristopa je v tem, da v sistemu enačb nastopa tako funkcija, kot njej odvod. S tem je zagotovljena večja natančnost kot, na primer pri metodah, kjer se odvodi računajo posredno, z odvajanjem interpolacijskih funkcij. Modele, ki temeljijo na Reynoldsovem povprečenju smo testirali na primerih, za katere so znane preverjene rešitve drugih avtorjev. Med drugim so to turbulentni tok v kanalu, turbulentni tok v cevi z razširitvijo in turbulentni tok preko valja v toku. Poleg turbulentnih modelov, ki temeljijo na Reynoldsovem povprečenju, smo razvili tudi algoritem za simulacijo velikih vrtincev. Simulacija velikih vrtincev temelji na filtriranju tokovnega polja. S filtrom iz toka odstranimo majhne strukture in simuliramo samo velike vrtince. Ker je turbulenten tok časovno odvisen pojav, je tudi simulacijo velikih vrtincev potrebno izvajati časovno odvisno. Vpliv majhnih struktur v toku, ki jih s filtriranjem odstranimo, nadomestimo z modelom za t.i. podmrežno viskoznost, ki velikim vrtincem jemlje energijo in poskrbi za pravilen potek energijske kaskade turbulentnega toka. Simulacijo velikih vrtincev smo nadgradili s sklopitvijo z modulom za simulacijo prenosa toplote. Naslonili smo se na hipotezo Prandtlove zveze med turbulentno viskoznostjo in turbulentno difuzivnostjo. Izdelano simulacijsko orodje smo uporabili za izvajanje časovno odvisnih simulacij naravne konvekcije v ozki in visoki 1:4 kotanji. Tok v kotanji poganja temperaturna razlika na navpičnih stenah. Raziskovali smo prehod iz laminarnega načina toka pri majhnih temperaturnih razlikah preko kaotičnega režima v turbulentno naravno konvekcijo pri visokih temperaturnih razlikah. Rezultati kažejo, da se prehod začne s pojavom turbulentnih vrtincev v mejni plasti tik ob hladni in topli vertikalni steni. Vrtinci nato z konvekcijo potujejo navzgor ob topli steni in navzdol ob hladni. Med tokom se povezujejo in razkrajajo. Opazimo tudi nastajanje novi struktur. V tem prehodnem režimu glavna toka v sredini kotanje ostaja laminarna, temperaturna porazdelitev pa stratificirana. Pri višanju temperaturne razlike, pa do nastanka turbulentnih struktur pride po celotni prostornini kotanje in tok postane popolnoma nepredvidljiv. Edino integralni parametri, na primer prenos toplote od ene do druge stene, ostajajo v časovnem povprečju na enaki ravni. Časoven potek pa pokaže kaotično nihanje toplotnega toka okoli povprečne vrednosti.

Delo na področju numeričnega modeliranja večfaznega toka z metodo robnih elementov je bilo nadaljevano v smeri vključevanja dodatnih fizikalnih vplivov delcev na lastnosti prenosa toplote v tekočinah. V članku *Analysis of three-dimensional natural convection of nanofluids by BEM*, objavljenem v znanstveni reviji *Engineering Analysis with Boundary Elements* je tako obravnavan vpliv delcev različnih snovi in spremenjenih snovskih lastnosti tekočih zmesi na intenzivnost prenosa toplote v režimu naravne konvekcije. Parametrične analize kažejo, da prisotnost delcev vpliva na razmere v toplotni mejni plasti tik ob steni, s tem pa tudi na intenzivnost prenosa toplote s stene na tekočino.

Delo na področju večfaznih več sestavinskih tokov, ki predstavljajo osnovo večine tehnoloških operacij procesne tehnike, se je nadaljevalo na področju toka suspenzije trdnih delcev in tekočine, bodisi kapljevine bodisi plina z uporabo teorije mikropolarnih tekočin za računalniško modeliranje suspenzij. Numerično modeliranje mikropolarnih tekočin je bilo nadaljevano v smeri testiranja na različnih fizikalnih primerih (mešana konvekcija v kotanji) s pomočjo programskega paketa ki deluje na osnovi metode robnih elementov. Znotraj omenjenega algoritma je potrebno spreminjati lastnosti mikropolarnih tekočin in njihov vpliv na tokovno in temperaturno polje v želji približati se z parametri modeliranju bioloških aplikacij (tok krvi).

Prenosni pojavi v porozni snovi se nanašajo na procese transporta gibalne količine, toplote in snovi skozi porozno strukturo in so aktualna tematika na številnih znanstvenih in inženirskih področjih kot npr. gradbeništvo, procesno strojništvo, kemija, geomehanika ekologija. Problem je zelo pogost predmet raziskav, pri čemer njegove teoretične osnove izhajajo iz področja mehanike tekočin. Delo v letu 2010 je bilo osredotočeno na nadgradnjo robno območne integralske metode (ROIM) za možnost reševanja problemov turbulentnega toka v porozni snovi. Problematika turbulence v porozni sredini je kljub velikemu razvoju znanosti v zadnjih nekaj desetletjih še vedno zelo slabo raziskana, v svetovni literaturi pa je v zvezi s to tematiko možno najti le omejeno število raziskav, še manj pa je razpoložljivih numeričnih rezultatov. V praksi na tovrstne probleme naletimo v številnih industrijskih, kot tudi naravnih procesih, zato je njihovo poznavanje, razumevanje in modeliranje zelo pomembno. Ukvarjali smo se z iskanjem ustreznega matematičnega modela toka tekočine v porozni snovi, kot tudi modela za opis turbulence. Reševanje zastavljenega sistema parcialnih diferencialnih enačb je omejeno na uporabo numeričnih metod, pri čemer razvijamo razširjeno obliko metode robnih elementov imenovano tudi robno območna integralska metoda. Učinkovitost le-te je že dokazana na številnih rešenih primerih klasične dinamike tekočin, kot tudi na kompleksnih primerih transportnih pojavov v porozni snovi.

Del raziskovalnega navora je bil usmerjen v učinkovito uporabo programskih komercialnih paketov, npr. ANSYS CFX12, OPENFOAM, FRONTIER, FIRE, pri reševanju inženirskih problemov in deloma njihovo dopolnitev z novimi fizikalne matematičnimi modeli.

Teorija mikropolarnih tekočin je bila v sklopu raziskovalnega dela v tujini vključena v odprto kodni programski paket OpenFoam. V tem delu je bila v osnovni algoritem nestisljivega toka neizotermne tekočine vključena dodatna prenosna enačba za mikropolarnost kot funkcijo tokovnega polja in snovskih lastnosti tekočine. Poleg dodatne prenosne enačbe je bilo potrebno dodati dodatne člene v gibalno enačbo, da s tem povežemo hitrostno polje in polje mikrorotacije. Razširjen numerični algoritem znotraj odprtokodnega programskega paketa je v fazi preizkušanja in računanja osnovnih fizikalni primerov za potrditev pravilne implementacije teorije mikropolarnih tekočin v sam odprtokodni programski paket.

V poročilu o izvedenem delu *CFD analiza prenosnih pojavov v pršišču mokrega pralnika pilotne naprave za razžveplanje dimnih plinov* je predstavljena raziskava vpliva razpršenega toka kapljic topila v pršilnem stolpu na tokovne razmere v dimnih plinih. Parametrična analiza različnih izvedb sistema pršilnih šob je pokazala, da postavitve šob pomembno vpliva tlačne izgube v pršilnem stolpu, kakor tudi na prenos toplote in snovi med kapljicami topila in dimnimi plini. Razviti numerični model na temelju Lagrange-Euler pristopa je mogoče razširiti tudi na prenos snovi s procesom absorpcije.

V okviru strokovnega usposabljanja na UNIVERSITA DEGLI STUDI DI TRIESTE

- Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Navale je bila izvedena raziskava, optimizacija in aplikacija s primerjavo homogenih kavitacijskih prenosnih modelov. Obravnavani so bili kavitacijski modeli v dostopni v literaturi: Singhalov model, Zwartov model, Kunzov model.

Matematični modeli so bili implementirani v programski paket za računalniško mehaniko tekočin ANSYS CFX 12, njihovo delovanje pa optimirano v okolju modeFRONTIER.

Rezultati izvedene analize kažejo, da privzete nastavitve modelov, ki so bili izpeljani po različnih matematičnih postopkih in za različne tokovne primere, ne zagotavljajo stabilnega izračuna (konvergence) niti točnosti rezultatov. Skladno navedenemu, morajo biti izvorni členov transportnih modelov pred uporabo optimirani ter uniformirani za medsebojno primerjavo. Po tem jih, glede na vrednost kavitacijskih števil, lahko uporabimo za fizikalno podobne tokovne primere.

V okviru raziskav na področju računalniške dinamike tekočin vrtečih se sistemov, je bilo za programski paket razvit algoritem, ki je v fazi implementacije v sam komercialni

programski paket ANSYS CFX za izračun toka tekočine, ki poganja vrtečo se geometrijo (fluid driven motion flow) kot so to npr. vetrnice in različne vodne turbine. Da je dosežen učinek toka, ki poganja samo vrtečo se geometrijo je bilo potrebno dodati podprograme, ki povezujejo rezultate toka v oblike navorov na vrtečo se geometrijo in jih preračunati glede na vztrajnost same vrteče geometrije v vrtilno hitrost geometrije in jo potem spet uporabiti v programskem paketu kot robni pogoj vrteče se geometrije. Z uspešno implementacijo bi bila dosežena večja aplikabilnost numeričnega paketa za računalniško dinamiko tekočin na področju modeliranja vrtečih se geometrij.

V okviru raziskav na področju motorjev z notranjim zgorevanjem smo razvijali metodo sklopljenega (hkratnega) reševanja enačbe za korekcijo tlaka in prenosne enačbe za entalpijo. Metoda je izpeljana iz že uveljavljene in splošno uporabljane metode SIMPLE. Pri navedeni metodi, namesto reševanja sistema linearnih enačb za vsako spremenljivko v polju in enačbe za korekcijo tlaka posebej, rešujemo diskretizirani enačbi za entalpijo in korekcijo tlaka istočasno. Enačbi sta med seboj povezani preko dodatnih izvendagonalnih členov v sistemu linearnih enačb (linearnem operatorju). Ti členi imajo za posledico natančnejši približek spremembe gostote, v skladu z enačbo stanja, v primerjavi z običajno metodo SIMPLE. V našem delu smo prikazali, da uporaba nove metode vodi k znatno hitrejši konvergenci, kar ima za posledico krajše skupne računske čase. Učinkovitost metode smo preizkusili na dveh praktičnih primerih. V prvem primeru smo računali fazo kompresije in fazo zgorevanja v štiricilinderskem štiriventilskem bencinskem motorju, pri čemer je bil zgorevalni prostor modeliran v celoti. V drugem primeru smo obravnavali segment dizelskega motorja. Zaradi osne simetrije je možno računski prostor zmanjšati in obravnavati samo en izsek, skladno s številom vbrizgalnih šob injektorja. Primerjali smo klasični pristop s predlaganim novim pristopom pri čemer smo spreminjali velikost časovnega koraka. Primerjave so pokazale, da je prihranek pri računskem času odvisen od velikosti časovnega koraka. S krajšanjem časovnega koraka se učinkovitost predlagane metode povečuje.

Raziskave delovanja toplotnih turbinskih strojev v neustaljenih razmerah smo osredotočili na obravnavo aksialnih kompresorjev v razmerah povečevanja tlačne razlike in pričetka periodičnega spreminjanja napadnega kota in odlepljanja toka od sesalne strani lopatice, ki vodi v delno zaporo pretočnih presekov in oscilacije tlaka in pretoka. Trenutno smo v fazi validacije rezultatov fizikalnega modela za popis razmer s pomočjo računske dinamike tekočin. V ta namen smo zgradili merilno progo, ki jo sestavlja vetrovnik s sekcijo za izvajanje optičnih meritev obtekanja lopatične rešetke s pomočjo laserskih metod PIV in LDA. Raziskave so usmerjene v analizo primernosti turbulentnih modelov in pravilnosti napovedovanja odlepljanja toka s stene lopatice, kar je ključno za ustrezen popis neustaljenih razmer v turbinskih strojih. Na področju meritev dvosestavinskih tokov tekoče-trdno smo dosegli pomembno izboljšanje algoritma za analizo signalov, ki jih generirajo senzorji udarcev. Tako smo izboljšali občutljivost merilne metode in zmanjšali merilno negotovost.

Večina raziskovalnih aktivnosti je bila posvečena ponovnemu delovanju sistema PIV. V tem času smo raziskali njegovo delovanje in komunikacijo med posameznimi sklopi. Tako lahko zdaj določimo trenutek proženja kamere in obeh laserjev. Tako lahko kontroliramo delovanje sistema in sinhrono ali pa z določenim znanim časovnim zamikom tudi zajemamo signale na sistemu cRIO. Dodatno smo pri meritvah na sistemu PIV uporabili koordinatni sistem, ki se je uporabljal na sistemu LDA, za njega razvili program za vodenje, ki omogoča tako vodenje kot tudi zajemanje signalov. Del meritev smo izvedli tudi na ventilatorju, kjer smo morali izvesti tudi sinhronizacijo proženja sistema PIV s položajem karakteristične ventilatorske lopatice. Izvedli smo tudi več testiranj kako lastnosti površine lopatice (barva, hrapavost, vlažnost...) vplivajo na odboj laserske svetlobe in s tem na kvaliteto slike in posredno rezultatov. Na dejanskih problemih smo testirali tudi uporabo optičnih filtrov za doseganje kar najbolj ugodnega razmerje med svetlobo sipano na delcih in okoliško svetlobo. Del tega sklopa je bilo tudi testiranje kako doseči ustrezno koncentracijo delcev.

Znanstveno-raziskovalno delo na področju motorjev z notranjim zgorevanjem se nanaša na eksperimentalne in numerične raziskave možnosti povečanja zmogljivosti motorjev, zmanjšanja porabe goriva in zmanjšanja emisij nezaželenih produktov zgorevanja. Raziskovalno delo obsega:

- eksperimentalne raziskave kemijskih in fizikalnih lastnosti biogoriv (biodizelsko gorivo, etanol, dizelsko gorivo),
- eksperimentalne in numerične raziskave vpliva uporabe biogoriv (biodizelsko gorivo, bioetanol) na karakteristike vbrizgavanja,
- razvoj in modifikacije postopka optimalnega projektiranja vbrizgalnega sistema dizelskega motorja pri uporabi biogoriv,
- numerična simulacija procesov v vbrizgalni šobi.

V preteklem letu smo na področju dinamike reaktivnega toka nadaljevali z razvojem numeričnih simulacij CFD na področju zgorevanja trdnih goriv, predvsem lahke frakcije komunalnih odpadkov (LFKO). Osnovo modela predstavljajo Reynoldsove povprečene Navier-Stokes enačbe reaktivnega toka (RANS), ki jih rešujemo z numerično metodo aproksimativnega reševanja parcialnih diferencialnih enačb na osnovi kontrolnih volumnov s pomočjo komercialnega programskega paketa ANSYS CFX.

Težišče raziskav je bilo tokrat usmerjeno v modeliranje robnih pogojev, ki jih predstavljajo profili koncentracij osnovnih produktov zgorevanja vzdolž rešetke zgorevalnega prostora kurilne naprave za sežig LFKO. Profili produktov zgorevanja so v največji meri odvisni od sestave LFKO in temperature. Dosedanje empirične modele določitve robnih pogojev produktov uplinjanja, ki smo jih dobili iz različnih literaturnih virov smo nadomestili z zato posebej razvitim ravnotežnim modelom uplinjanja. Pri tem smo izhajali iz dejstva, da po fazi sušenja sledi zelo intenzivna faza uplinjanja trdnega goriva, ki ima dejansko največji vpliv na parametre zgorevanja hlapnih organskih snovi v plinasti fazi nad plastjo trdnega goriva, kar lahko dokaj uspešno simuliramo s CFD modeli na osnovi RANS ob upoštevanju vrtnično disipacijskega turbulentnega modela zgorevanja. Osnovni namen razvoja ravnotežnega modela uplinjanja je torej bil napoved:

- sestave produktov uplinjana na osnovi strukture LFKO (makro in podrobne analize odpadka po SIST EN 15359) ter procesnih pogojev zgorevanja predvsem temperature,
- kurilnosti in Wobbejevega indeksa pridobljenega sinteznega plina,
- vpliva procesnih pogojev (temperature, tlaka, osnovnega oksidanta ter moderatorja) na sestavo produktov uplinjanja,
- robnih pogojev uplinjevalno zgorevalnega procesa (potreba po osnovnem oksidantu, moderatorju) za dano sestavo odpadka.

Pri razvoju modela je bilo upoštevano, da procesna temperatura in čas zadoščata, da reakcije uplinjanja potečejo do ravnotežnega stanja. Temperatura kot najpomembnejši podatek se meri s pomočjo infra kamere, ki posreduje 2D podatke temperaturnega polja nad rešetko zgorevalnega prostora. Osnovni produkti uplinjanja, ki jih lahko določimo s tako razvitim modelom uplinjanja so H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> ter trdni ogljik, količine nastalega katrana pa so zanemarljive in brez vpliva na proces. Za opis ravnotežja produktov uplinjanja je bila uporabljena klasična stehiometrična Gibbs – van't Hoff-ova matematična formulacija.

Na ta način smo zagotovili boljšo korelacijo med trdno in plinasto fazo goriva določene sestave ki se spreminja vzdolž celotne rešetke. Te funkcijsko odvisne povezave smo upoštevali v obliki robnih pogojev pri CFD modeliranju zgorevanja v celotni kurilni napravi. Dodatno smo izpopolnili način ugotavljanja medsebojnih vplivov vhodnih parametrov na izhodne ter njihov interakcijo, vključno z geometrijsko in vrednostno optimizacijo, ki mora zagotavljati doseganje pogojev popolnega zgorevanja LFKO v realni kurilni napravi.

Pri izdelavi kisikovega senzorja smo uporabili kot indikator rutenijev kompleks, ki je bil imobiliziran v polistirenski polimer. Testirali smo odzivnost senzorja na kisik v vodni raztopini, kjer smo merili intenziteto fluorescence. Membrana ima odličen odzivni čas (2 s) v delovnem območju od 0-100% O<sub>2</sub>. Prav tako so se membrane izkazale za stabilne.

Pri izdelavi senzorja za določevanje pH smo uporabili sol-gel, v katerega smo vkomponirali aminofluorescein. Senzor ima pka vrednost  $6,62 \pm 0.05$  in je zato uporaben v pH območju od 5,6 do 9,4. Odzivni čas senzorja je 90 s in je obstojna dlje kot 6 mesecev.

## 5. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>7</sup>

Delo programske skupine poteka v skladu z zastavljenimi cilji in predlaganim potekom raziskovalnega dela. Na področju simulacij turbulentnega toka nam je uspelo algoritem za simulacijo velikih vrtincev nadgraditi z modulom za simulacijo prenosa toplote, kar nam omogoča raziskave pojavov ob prehodu laminarnega načina toka v turbulentno naravno konvekcijo. Z uporabo PIV in HW merilnih tehnik smo delno uspeli prehodne pojave iz laminarnega v turbulentni način opazovati tudi na steni lopatice turbostroja. Na področju večfaznega in večsestavinskega toka smo uspeli uporabiti teorijo mikropolarnih tekočin in jo implementirali za simulacijo večsestavinskega toka z MRE ter z njo simulirati tok suspenzije. Na področju dinamike reaktivnega toka prehajamo z uporabo ravnotežnega modela uplinjanja trdih goriv k združevanju modeliranja reaktivnega toka v plinasti fazi in heterogenega zgorevanja trdih goriv v plasti. Na področju uporabe raziskovalnih izsledkov v motorjih z notranjim zgorevanjem smo v fazi eksperimentalnih raziskav novih goriv (bioetanol, biodizel) in njihovih mešanic ter njihovega vpliva na proces vbrizgavanja goriva. Na področju čiščenja voda in senzorskih sistemov nam je uspelo razviti nov optični senzor za spremljanje koncentracije kisika v odpadni vodi.

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>8</sup>

/

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>9</sup>

		Znanstveni rezultat
1.	Naslov	<i>SLO</i> Analiza tridimenzionalne naravne konvekcije nanofluida z Metodo robnih elementov
		<i>ANG</i> Analysis of three-dimensional natural convection of nanofluids by BEM
	Opis	<i>SLO</i> Članek obravnava vpliv delcev različnih snovi in spremenjenih snovskih lastnosti tekočih zmesi na intenzivnost prenosa toplote v režimu naravne konvekcije. Parametrične analize kažejo, da prisotnost delcev vpliva na razmere v toplotni mejni plasti tik ob steni, s tem pa tudi na intenzivnost prenosa toplote s stene na tekočino.
		<i>ANG</i> In the article the influence of different materials and modified material properties of liquid mixtures on heat transfer characteristics in the natural convection mode was studied. Parametric analysis show, that the presence of particles influences heat conditions inside the thermal boundary layer, and consequently influence also overall heat transfer intensity from wall to fluid.
	Objavljeno v	Eng. anal. bound. elem. [Print ed.], Dec. 2010, vol. 34, no. 12, str. 1018-1030
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i> Simulacija toka tekočine z metodo robnih elementov
		<i>ANG</i> Simulation of fluid flow by BEM
		V znanstvenem sestavku predstavimo numerično shemo za simulacijo toka viskoznihih tekočin. Predstavimo vodilne enačbe v hitrostno vrtinčnem zapisu. Integralna oblika enačb je izpeljana z metodo robnih elementov s pomočjo



	Opis	SLO	fundamentalne rešitve in Greenovega stavka. Integralske enačbe diskretiziramo in zapišemo predoločen sistem linearnih enačb. Napisan je nelinearni algoritem za iterativno iskanje rešitve. Pravilnost izpeljave in točnost metode je potrjena preko primerjave rešitev z preverjenimi rešitvami drugih avtorjev.
		ANG	In this paper a numerical scheme for simulation of flow of viscous fluids is presented. Governing equations are written in velocity-vorticity formulation. Integral form of the equations is derived using the boundary element method with the aid of fundamental solutions and the Green's clause. After discretization an over-determined system of linear equations is formed. An iterative nonlinear algorithm is used to find the solution. The validity of derivation and the accuracy of the scheme is confirmed by comparing benchmark test cases with published reference data.
	Objavljeno v	ŠKERGET, Leopold, RAVNIK, Jure. Simulation of fluid flow by BEM. V: SAPOUNTZAKIS, Evangelous J. (ur.). Recent developments in boundary element methods : a volume to honour Professor John T. Katsikadelis. Southampton: WIT, 2010, str. 213-226.	
	Tipologija	Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji	
COBISS.SI-ID			
3.	Naslov	SLO	Meritve hitrosti delcev v komori za peskanje.
		ANG	Measuring the velocities of particles in a shot-blasting chamber
	Opis	SLO	Prikazana sklepna faza razvoja metode merjenja hitrosti trdih delcev v zračnem toku. Prikazan je nov način obdelave signalov. Le-ti se najprej povprečijo glede na vrtilno frekvenco rotorja peskalne črpalke. Tako nastane zapis, ki ustreza enemu značilnemu obratu. Osrednjeni signali so skoraj povsem brez motenj zaradi prenosa vibracij med zaznavali ali naključno odbitih delcev. Za izračun hitrosti je ponovno uporabljena križna korelacija, ki ima sedaj neprimerno manjši slučajni pogrešek in boljšo ločljivost, tako da zazna tudi spremembo naklona senzorskega sistema in omogoča njegovo korekcijo.
		ANG	The final phase of the development of method for measuring the velocities of particles in a shot-blasting chamber is presented. New method for analyzing the signals was developed. Signal averaging respecting the rotational speed of rotor was applied. The averaged signal represents only one rotor revolution, thus disturbances caused by vibration transfer or/and stochastic side sensor impacts were well filtered. Cross correlation was applied again which gained the accuracy and sensitivity. The sensitivity improvement enabled the detection of sensor system inclination and its correction.
	Objavljeno v	BOMBEEK, Gorazd, HRIBERNIK, Aleš. Measuring the velocities of particles in a shot-blasting chamber. Meas. sci. technol., 2010, vol. 21, iss. 8, str. 085101-1-085101-10	
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	Fizikalne in kemijske lastnosti mešanic etanola in biodizelskega goriva za dizelske motorje.
		ANG	Physical and chemical properties of ethanol-biodiesel blends for diesel engines.
	Opis	SLO	Pozornost je posvečena na lastnosti, ki znatno vplivajo na proces vbrizgavanja, karakteristike motorja in posledično na škodljivo emisijo. Fizikalne in kemijske lastnosti biodizelskega goriva in njegovih mešanic z bioetanolum so merjene v skladu z ustreznimi testi in testnimi metodami. Pri nizkih temperaturah so lastnosti izboljšane z dodajanjem etanola k biodizlu. V splošnem, rezultati kažejo, da bioetanol v biodizelskem gorivu koristno vpliva na najbolj pomembne karakteristike goriva, kar lahko nudi možnost izboljšanja karakteristik motorja.
		ANG	Attention is focused on the properties which significantly influence the injection, the diesel engine characteristics and subsequently the exhaust emissions. Physical and chemical properties of biodiesel and ethanol-biodiesel blends have been measured according to the requirements and test methods. Cold weather properties are improved by adding ethanol to biodiesel. In general, the results show that ethanol in biodiesel influences beneficially the most important fuel properties of the blended fuel. Potentially, this may offer a possibility to improve engine characteristics.
TORRES JIMENEZ, Eloisa, SVOLJŠAK, Marta, GREGORC, Andreja, LISEC,			

	Objavljeno v	Irenca, DORADO, M. P., KEGL, Breda. Physical and chemical properties of ethanol-biodiesel blends for diesel engines. Energy fuels. 2010, 24, 3, str. 2002-2009, JCR IF (2009): 2.319.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	<p><i>SLO</i> Primerjava transportnih modelov za numerično simulacijo pritrjene kavitacije na profilu</p> <p><i>ANG</i> Comparison of mass transfer models for the numerical prediction of sheet cavitation around a hydrofoil</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Kavitacijo lahko modeliramo na različne načine. Ena metod vključuje uporabo RANS in vključitev dodatne enačbe za transport deleža plinaste faze. Opravljena je bila analiza treh kavitacijskih modelov na primeru pritrjene kavitacije na profilu. Vsi obravnavani modeli v splošnem vključujejo empirične konstante, ki definirajo proces uparjanja in kondenzacije in vplivajo na točnost in stabilnost izračuna. Za primerjavo modelov je bila najprej izvedena optimizacija modelov z konvencionalnimi optimizacijskimi algoritmi, nato pa so bili modeli uporabljeni za simulacijo kavitacije na profilih NACA.</p> <p><i>ANG</i> Cavitating flows can be modelled with different methods. One consists of using the RANS equations and an additional transport equation for the liquid volume fraction. Three cavitation mass transfer models are compared in study. Models share the common feature of employing empirical coefficients, for condensation and evaporation control. In order to compare the mass transfer models fairly, the empirical coefficients of the different models are first well tuned using an optimization strategy. The resulting mass transfer models are then compared considering the flow around the NACA hydrofoils.</p>
	Objavljeno v	sprejeto v objavo International Journal of Multiphase Flow (JCR IF: 1,514)
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	

## 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati programske skupine<sup>10</sup>

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat	
1.	Naslov	<p><i>SLO</i> CFD analiza prenosnih pojavov v pršišču mokrega pralnika pilotne naprave za razžveplanje dimnih plinov (RDP) : poročilo dela</p> <p><i>ANG</i> CFD analysis of transport phenomena in spray zone of wet scrubber in flue gas desulphurisation pilot device</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> V poročilu o izvedenem delu za podjetje Esotech d.d. Velenje je predstavljena raziskava vpliva razpršenega toka kapljic topila v pršilnem stolpu na tokovne razmere v dimnih plinih. Parametrična analiza različnih izvedb sistema pršilnih šob je pokazala, da postavitev šob pomembno vpliva tlačne izgube v pršilnem stolpu, kakor tudi na prenos toplote in snovi med kapljicami topila in dimnimi plini. Razviti numerični model na temelju Lagrange-Euler pristopa je mogoče razširiti tudi na prenos snovi s procesom absorpcije.</p> <p><i>ANG</i> In the report of the project for the company Esotech d.d. Velenje the results of research on the influence of dispersed solvent droplet flow in the wet tower on the flow conditions in flue gas are presented. The parametric analysis of different designs of spray nozzle systems showed, that the nozzle positions significantly influence pressure drop characteristics of the wet tower, as well as heat and mass transfer between the droplets and flue gas. The developed numerical model is based on Lagrange-Euler approach and can be extended to include also mass transfer through absorption.</p>
	Šifra	Izboljšanje obstoječega izdelka
	Objavljeno v	Maribor: Fakulteta za strojništvo, Inštitut za energetska, procesna in okoljska inženirstvo, 2010. 1 mapa (loč. pag.), graf. prikazi
	Tipologija	Elaborat, predštudija, študija
	COBISS.SI-ID	
2.	Naslov	<p><i>SLO</i> Simulacija toka nanotekočin z metodo robnih elementov</p> <p><i>ANG</i> Simulation of flow of nanofluids by BEM</p>

Opis	SLO	V znanstvenem sestavku predstavimo numerično shemo za simulacijo toka nanotekočin. Predstavimo vodilne enačbe za tok in prenos toplote v nanotekočinah v hitrostno vrtničnem zapisu. Integralska oblika enačb je izpeljana z metodo robnih elementov. Integralske enačbe diskretiziramo in zapišemo predoločen sistem linearnih enačb. Pravilnost izpeljave in točnost metode je potrjena preko primerjave rešitev z preverjenimi rešitvami drugih avtorjev. Izvedena je študija vpliva uporabe nanotekočin za povečevanje prenosa toplote pri naravni konvekciji.
	ANG	In this paper a numerical scheme for simulation of flow of nanofluids is presented. Governing equations for flow and heat transfer in nanofluids are written in velocity-vorticity formulation. Integral form of the equations is derived using the boundary element method. After discretization an over-determined system of linear equations is formed. The validity of derivation and the accuracy of the scheme is confirmed by comparing benchmark test cases with published reference data. A study of influence of nanofluids for heat transfer enhancement in natural convection is presented.
Šifra	Vabljen predavanje	
Objavljeno v	RAVNIK, Jure, ŠKERGET, Leopold. Simulation of flow of nanofluids by BEM. V: BREBBIA, Carlos Alberto (ur.). Thirty-second International Conference on Boundary Elements and Other Mesh Reduction Methods, The New Fores, UK, 2010. Boundary elements and other mesh reduction methods XXXII, (WIT transactions on modelling and simulation). Southampton: WIT, 2010, str. 3-14, doi: 10.2495/BE100011.	
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)	
COBISS.SI-ID		
3. Naslov	SLO	Simulacija tokovno sevalnih razmer v H7 žarnici
	ANG	Simulation of flow and radiation in a H7 bulb
Opis	SLO	Pri izdelavi avtomobilskih žarometov je pomembno razumeti tokovno sevalne razmere okoli žarnice. Rezultat študije so temperature, toplotni tok in sevanje H7 žarnice, ki služijo kot robni pogoj pri simulacijah žarometov. Rezultati so preverjeni z meritvijo temperatur po površini žarnice s termokamero.
	ANG	In the design process for automotive headlamps it is important to understand the flow and radiation condition around the light bulb. In this study, we present the boundary conditions for simulation of the whole headlamp – temperature, heat flux and radiation flux of a H7 bulb. Results are validated by temperature measurement taken with thermal imaging system.
Šifra	Izboljšanje obstoječega izdelka	
Objavljeno v	ŠKERGET, Leopold, HRIBERŠEK, Matjaž, RAVNIK, Jure, RAMŠAK, Matjaž, ILJAŽ, Jurij. Simulacija tokovno sevalnih razmer v H7 žarnici. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Inštitut za energetsko, procesno in okoljsko inženirstvo, 2010. 23 f., graf. prikazi.	
Tipologija	Elaborat, predštudija, študija	
COBISS.SI-ID		
4. Naslov	SLO	Član uredniškega odbora v znanstveni reviji
	ANG	Editorial board member of an international Journal
Opis	SLO	prof. dr. Škerget in doc. dr. Ravnik sta člana uredniškega odbora v mednarodni znanstveni reviji Engineering analysis with boundary elements, ki jo izdaja založba Elsevier.
	ANG	prof. dr. Škerget and doc. dr. Ravnik are members of the editorial board member of an international Journal Engineering analysis with boundary elements published by Elsevier.
Šifra	Uredništvo mednarodne revije	
Objavljeno v	Engineering analysis with boundary elements. Škerget, Leopold (urednik 2009-). [Print ed.]. Kidlington: Elsevier, 1989-. ISSN 0955-7997. [COBISS.SI-ID 5605380] Engineering analysis with boundary elements. Ravnik, Jure (član uredniškega odbora 2009, 2010). [Print ed.]. Kidlington: Elsevier, 1989-. ISSN 0955-7997. [COBISS.SI-ID 5605380]	

	Tipologija	Sekundarno avtorstvo	
	COBISS.SI-ID		
5.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
	Šifra		
	Objavljeno v		
	Tipologija		
	COBISS.SI-ID		

### 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>11</sup>

---

### 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov<sup>12</sup>

Vrsta izobraževanja	Število mentorstev	Od tega mladih raziskovalcev
- znanstveni magisterij		
- doktorat znanosti		
<b>Skupaj:</b>		

### 11. Zaposlitev vzgojenih kadrov po usposabljanju

Organizacija zaposlitve	Število doktorjev znanosti	Število magistrov znanosti
- univerze in javni raziskovalni zavodi		
- gospodarstvo		
- javna uprava		
- drugo		
<b>Skupaj:</b>		

### 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca

Sodelovanje v programski skupini	Število
- raziskovalci-razvijalci iz podjetij	
- uveljavljeni raziskovalci iz tujine	
- podoktorandi iz tujine	
- študenti, doktorandi iz tujine	
<b>Skupaj:</b>	

**13. Vključenost v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v letu 2010**<sup>13</sup>

Mednarodni projekt "Čezmejna vodarska iniciativa za reki Drava in Mura" (DRA\_MUR\_CI) v okviru operativnega programa Slovenija-Avstrija 2007-2013; projekt je financiran v času od 2009-2013.

EraSME; BIOBOILER; Boiler System for termal use of renewable fuels (Woodenchips and shrot rotation coppice).

Sodelovanje pri Eureka projektu - FeVal - E!5851

**14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v letu 2010 potekali izven financiranja ARRS**<sup>14</sup>

Hella Saturnus Slovenija, Optimiranje izdelka (avtomobilskega svetila) v smislu opredelitve in izboljšave toplotno-tokovnih pogojev ob sprejemljivih stroških.

Dravske elektrarne Maribor d.o.o., Izdelava študije "Problematika pregrevanja generatorja 1 HE Fala".

Turna d.o.o., Razvoj in uporaba modernih eksperimentalnih in numeričnih metod reševanja zahtevnih tokovno-toplotnih razmer, ki se pojavljajo v različnih izvedbah tesnil.

Surovina d.d., Izvedba razvojno raziskovalnih aktivnosti na projektu OVE-SRF »Obnovljivi viri energije iz odpadkov-postopki predelave odpadkov v trdno gorivo in njegova energijska izraba s sežigom in uplinjanjem«

Em.tronic; Izvedba razvojno raziskovalnih aktivnosti na projektu EIO »Energija iz odpadkov«

KIV Engineering d.o.o.; Izvedba razvojno raziskovalnih aktivnosti na projektu EIO »Energija iz odpadkov«

Henkel Slovenija, Izvedba energetskega pregleda.

Enerkon d.o.o., Izvedba aktivnosti na projektih EIO - "Energija iz odpadkov" in OVE-SRF - "Obnovljivi viri energije iz odpadkov-postopki predelave odpadkov v trdno gorivo in njegova energijska izraba s sežigom in uplinjanjem".

Dravske elektrarne Maribor d.o.o., Izdelava študije "Problematika pregrevanja generatorja 1(8) HE Fala 2. faza.

**15. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanje v projektih okvirnih programov EU) v letu 2010**<sup>15</sup>

/

**16. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010**<sup>16</sup>

Sredstva smo rezervirali za posodobitev in razširitev neinvazivne merilne metode PIV za merjenje tokovnih polj.

**17. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu v letu 2010<sup>17</sup>**

/

**18. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi<sup>18</sup>**

Rezultati posameznih sklopov programa povsem ustrezajo zahtevam implementacije v praksi, kar dokazujejo tudi izvedena dela za posamezne gospodarske subjekte in izkazujejo ustrezno tehnološko zrelost. Še posebej to velja za numerične in eksperimentalne raziskave na področju procesne in okoljske tehnike, energetske izrabe komunalnih odpadkov, uporabe alternativnih goriv in tehniškega varstva voda.



lastnosti metastabilnih faz, ter ugotavljanja mikrostrukturnih sprememb v različnih okoljih in v postopkih naknadne termomehanske obdelave. Osnovne raziskovalne vsebine programa so: Analiza dosedanjih in razvoj novih tehnologij za doseganje metastabilnih stanj; Študij metod karakterizacije metastabilnih stanj, mikrostruktur in faz; Določitev lastnosti metastabilnih materialov in njihovih faz; ter raziskave vpliva okolja in različnih oblik termomehanske obdelave na mikrostrukturo in lastnosti metastabilnih materialov.

Osrednje tehnologije, ki jih obravnavamo v okviru programa so različne metode hitrega strjevanja in ekstremna plastična deformacija. Kot hitro strjevanje označujemo tiste postopke strjevanja pri katerih potuje strjevalna fronta z veliko hitrostjo (več kot 1cm/s), ekstremna plastična deformacija pa pomeni splošen koncept uporabe velikih plastičnih deformacij za izdelavo fino zrnatih materialov. V eksperimentalnem delu programa se obravnavajo različni zlitinski sistemi (zlitine na osnovi zlata, bakra, aluminija, železa, niklja, ...). Zlitinski sistemi so izbrani glede na njihova metastabilna stanja in glede na fizikalne, mehanske ali druge lastnosti, ki so zanimiva za industrijo. Del svojih aktivnosti namenja raziskovalna skupina tudi razvoju teorije metastabilnih stanj v materialih s kovinsko osnovo, kjer je pozornost osredotočena na razvoj modelov za opis termodinamsko metastabilnih stanj in odkrivanje mehanizmov nastajanja in razpadanja metastabilnih mikrostruktur.

ANG

Development of new engineering materials from thermodynamically metastable states is a central subject of the programme with a title "Technologies of metastable metallic based materials", that is performed by the research group from the Faculty of mechanical engineering, University of Maribor, under the direction of prof. dr. Ivan Anžel. For the development of new materials it is especially interesting that metastable phases can transform into different thermodynamically more stable states, so that the occurrence of the most stable phase is only the last step in the decomposition sequence. Therefore, depending on the external influential parameters, specific chemical reactions that couldn't be predicted or anticipated from known equilibrium transformations, take place in such thermodynamically metastable systems and consequently, new phases and microstructures, which cannot be found in the equilibrium phase diagram, come into existence. While the properties of materials are mainly dependent on the microstructure, it is possible, by inducing the metastable states, to attain special new properties of engineering materials.

Development of new engineering materials from thermodynamically metastable states is closely linked to ongoing research in the fields of production technologies, microstructural characterization, determining the properties of metastable phases and microstructural changes in different environments or during subsequent heat treatments. The basic research content of our research programme consists of: Analysis of known, and the development of new technologies, for obtaining metastable states; studying the methods of metastable states characterization; determining the properties of metastable materials and their phases; researching the influence of the environment and different kinds of subsequent heat treatment on the microstructure and properties of metastable materials. The central technologies that are considered in the programme are different methods of rapid solidification and severe plastic deformation. Rapid solidification is denoted as process that involves enough high velocity of the solidification front (more than 1 cm/s and severe plastic deformation is the name for the general concept of using large plastic strains to produce ultra fine-grained materials -nanostructures. In the experimental part of the programme different alloying systems are being treated (the alloying systems based on the gold, copper, aluminium, iron, nickel, ...). The alloying systems are chosen according to their metastable states and physical, mechanical or other properties that are interesting for the industry. Part of activities of the programme group is directed towards the theory of metastable states in metallic materials. Attention is focused on models for describing thermodynamically metastable states, and discovering mechanisms for forming and decomposing metastable microstructures

### 3. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>3</sup>

#### 3.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>4</sup>

SLO

Raziskave na področjih izdelave, karakterizacije in lastnosti metastabilnih materialov so pomembne tako za področje tehničnih kot tudi naravoslovnih znanosti (materiali, fizika, kemija). Z rezultati raziskovalnega dela v okviru tega programa poskuša programska skupina



odgovoriti na nekatera odprta znanstvena vprašanja. Pojasniti želimo mehanizme določenih procesov in pojavov; da bi lahko nakazali pot k razvoju novih tehnologij in materialov. Med odprta vprašanja spada tudi mehanizem plastične deformacije v nanostrukturnih materialih. Poznano je, da dislokacijska teorija, ki velja za kristalne kovine in zlitine, v primeru metastabilnih nanostrukturnih materialov ni uporabna. Zato so raziskave mehanizmov plastične deformacije v nanostrukturnih in drugih metastabilnih materialih zelo aktualne in pomembne za razvoj znanosti na tem področju. Za znanost so pomembne tudi raziskave in nova spoznanja o vplivu defektov v kristalni strukturi metastabilnih materialov na potek kemijskih reakcij in faznih transformacij v trdnem. V metastabilnih mikrostrukturah kovin in zlitin s povečano koncentracijo mrežnih defektov lahko potečejo kemijske reakcije, ki jih v termodinamsko ravnotežnih mikrostrukturah ni pričakovati.

Pri metastabilnih fazah je zelo pomembno vprašanje stabilnost oziroma kinetika razpada. Predvsem je to očitno pri pojavu metastabilnih kvazikristalnih faz. Pri teh je poleg termodinamske stabilnosti pomemben tudi odmik od termodinamskega ravnotežja ter kinetika procesov na fazni meji trdno - tekoče. Raziskovalna skupina izvaja v okviru tega programa intenzivne raziskave v zvezi z zgradbo taline nad in pod temperaturo tališča in obravnava mehanizme homogene in heterogene nukleacije ter rasti iz tekoče faze v zlitinskih sistemih pri katerih lahko pride do pojava kvazikristalnih faz. Procesi še niso v celoti pojasnjeni niti v binarnih sistemih, dodaten izziv pa predstavlja vpliv tretjega in četrtega zlitinskega elementa. V našem programu raziskujemo vpliv dodatka berilija binarnemu sistemu Al-Mn in četrtega elementa (Cu, B...) ternernemu zlitinskemu sistemu Al-Mn-Be. O vplivu slednjih v svetovni literaturi še ni nobenih podatkov. Z eksperimenti ter analizo rezultatov poskušamo odgovoriti na nekatera osnovna vprašanja: Ali obstaja ravnotežna topnost elementov v kvazikristalu; katera mesta v kvazikristalu zasedejo dodani atomi; ali se z vgrajevanjem spremeni velikost osnovne kvazicelice; in ali se pri njihovi vgraditvi v kvazikristal spremeni koncentracija valenčnih elektronov ( $e/a$  – število valenčnih elektronov na atom – Hume-Rotheryjevo pravilo) ali pa se sestava prilagodi tako, da se koncentracija valenčnih elektronov ne spremeni.

ANG

Research in the fields of manufacturing, characterization and properties of metastable materials is important for engineering, as well as for the natural sciences (e.g. materials science, physics, chemistry...). With the results of this research program expects our research group to give answers to some open scientific questions. We attempt to explain the mechanisms of certain processes and phenomena, and to initiate research into new technologies and materials. Among the open questions is the mechanism for plastic deformation of nano-structured materials. It is well-known that the dislocation theory (valid for crystal-structured metals and alloys) does not apply to metastable nano-structured materials. Consequently, the research of these mechanisms can be considered as a top-ranking topic of crucial importance for further development in this field. Great importance for the science present the research and the expected new cognitions about the influence of lattice-defects in the crystal structures of metastable materials on the course and characteristics of chemical reactions and phase transformations in the solid state. Namely, in the metastable microstructures of metals and alloys with nonequilibrium concentration of defects the chemical reaction which can not be expected in thermodynamically stable states, are definitely possible. For the occurrence and existence of metastable phases a very important issue is the kinetics of their decomposition. This particularly applies to metastable quasi-crystals. In this case, not only thermodynamical stability is important but also the kinetics of the processes, taking place at the solid-liquid interface. The research group performs in the frame of this programme the intensive researches about the structure of the melts above and below the liquidus-temperature, the mechanisms of homogeneous and heterogeneous nucleation and growth from the liquid phase in those alloying systems that are favorable for the occurrence of quasi-crystalline phases. These processes have not as yet been entirely explained, not even for binary systems. So, the presence of a third or fourth element presents an additional challenge. In our programme we research the influence of Be to binary system Al-Mn as well as the addition of fourth element (Cu, B...) to ternary alloying system Al-Mn-Be (not yet reported in the literature). Within this framework we try to determine: Whether an equilibrium solubility of elements in the quasicrystal exists or not; which positions occupy the atoms of individual element in the quasicrystal; whether the presence of an additional element influences the size of the quasicell or not; and if the valence electrons concentration is changed due to the incorporation of additional elements (Hume-Rothery-rule) or, if instead of this, the quasicrystal's composition is modified so that the concentration of the valence electrons can be preserved as unchanged.

### 3.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>5</sup>

SLO

V svetu poteka veliko število raziskav, ki se ukvarjajo z razvojem tehnologij in materialov, ki so v metastabilnem stanju. Ne samo to, vedno več je aplikativnih projektov ter primerov

ustanavljanja tako spin-off kakor tudi drugih podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo takšnih materialov. Ker gre za visokotehnološke proizvode, je dodana vrednost zelo velika. Trenutno je v Sloveniji veliko relativno uspešnih podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo in predelavo aluminija, bakra in žlahtnih kovin ter s področji livarstva in preoblikovanja. Ta podjetja obvladujejo tehnologijo uveljavljenih zlitin, vendar mnoga dosegajo sorazmerno majhno dodano vrednost. Če bodo hotela ostati konkurenčna tudi v bodočnosti, se bodo morala usposobiti tudi za izdelavo tehnološko zahtevnejših materialov in izdelkov. Pogosto se morajo podjetja zaradi maloštevilnega inženirskega kadra ter omejenih sredstev ukvarjati s tekočimi in kratkoročnimi problemi, ki se morajo rešiti v nekaj dneh, zaradi česar so dolgoročneje raziskave, ki bi bile nujne za nadaljnji razvoj podjetja, pogosto zapostavljene. S tega stališča menimo, da s poglobljanjem teoretičnega znanja o materialih in tehnologijah ter z razvojem in obvladovanjem sodobnih tehnologij materialov, nudimo slovenski kovinski industriji v primerih, ko je prisiljena soočiti se z uvajanjem novih tehnologij in materialov, kompetentno podporo. Kot programska skupina na Fakulteti za strojništvo UM pridobljena znanja sproti prelivamo v pedagoški proces ter prenašamo na študente, ki se bodo v nekaj letih zaposlili in ki bodo predstavljali nosilce razvoja v naših podjetjih. Že dosedanje delo na raziskovalnem programu nam je zaradi zanimivosti in koristnosti tematike omogočilo navezovanje in sodelovanje s številnimi podjetji doma in v tujini, kakor tudi z mnogimi uveljavljenimi raziskovalnimi skupinami. Za družbeno ekonomski razvoj Slovenije so zelo pomembni rezultati študij metastabilnih stanj pri tehnologiji varjenja. Primerjava rezultatov trdnostne analize zvarov, dobljenih s simulacijo obremenitve zvarov v laboratorijskih razmerah, služi presoji o upravičenosti uporabe mnogo hitrejših in cenejših numeričnih metod namesto dolgotrajnih laboratorijskih ali terenskih testiranj varjenih komponent in konstrukcij.

ANG

Numerous research projects are running around the world dealing with the development of technology and materials that are in a metastable state. Moreover, there are a lot of applied projects and the founding of spin-offs and other companies that are concerned with the production of suchlike materials. The added-value of this high tech production is very high. Momentarily, there are in Slovenia, a lot of very successful companies concerned with production, processing or founding of aluminum, copper and noble metals. These companies master the technology of valued alloys; however, they attain poor added-value on the market. To stay competitive in the future they must also be qualified for the production of technologically-advanced materials and products. In these companies those long-term research activities that are important for growth are often disregarded, due to limited financial funds and a few engineers who are occupied with current and short-term problems. From this point of view, we believe that with deeper theoretical knowledge of materials and technologies and with development and mastering of modern materials technology, we offer to Slovenian industry, in the case of being forced to confront the initiation of recent technology and materials, solid support.

As a program group at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor we carry acquired knowledge on pedagogical process and for our students who will in a few years employ them and will represent the carriers of progress to our companies. Already previous work on a research program has enabled us, due to curiosity and the usefulness of the topic, establishment of contacts, and collaboration with numerous local and foreign companies, as well as research groups. For Slovenian socio-economic development are the results of studying of metastable states in welding technology also very important. Comparison of weld's strength analysis obtained by simulations of welds loading can be used for judgment about the justification of an application of faster and much cheaper numerical methods instead of long.

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### 4. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega programa<sup>6</sup>

V okviru **razvoja novih zlitin z metastabilnimi kvazikristalnimi fazami** smo se v letu 2010 ukvarjali z razvojem metod za identifikacijo kvazikristalov. Delo je bilo usmerjeno v dve smeri: prepoznavanje kvazikristalov glede na njihovo obliko in glede na njihovo obnašanje pri mikroindentaciji.

#### 1) Razvoj metod globokega jedkanja in ekstrakcije delcev

Pri obeh metodah lahko izoliramo delce tako, da raztopimo osnovo s kemičnimi in elektrokemičnimi metodami. Nato delce karakteriziramo v vrstičnem elektronskem mikroskopu (SEM). Pri tem je pomembno, da reagent ne raztopi kvazikristalne faze, saj tako posamezni delci ohranijo svojo obliko. Primerjalna slabost ekstrakcije delcev je, da so vsi delci pomešani med seboj, tako da se izgubi informacija o njihovi medsebojni razporeditvi v mikrostrukturi. Ekstrakcija delcev traja dlje kot

globoko jedkanje, zato je več možnosti, da reagent poškoduje delce.

Z uporabo izboljšanih tehnik globokega jedkanja in ekstrakcije ter z uporabo komplementarnih metod smo opredelili obliko ikozaedričnih kvazikristalnih delcev (delci i-faze) v vzorcih zlitin Al-Mn-Be-(Cu), ki so bili ohlajeni z različnimi ohlajevalnimi hitrostmi. V hitrostrjenih trakovih so bili ikozaedrični delci naslednjih oblik: krogle, delci z zaobljenimi robovi, delci z izboklinami ter delci v obliki pentagonalnega dodekaedra. Pri strjevanju v bakreni kokili so nastali primarni delci i-faze ter evtektična i-faza. Primarni delci i-faze so imeli obliko skoraj idealnega pentagonalnega dodekaedra ali pentagonalnega dodekaedra z izrastki na ogliščih. Zelo pogosti so bili dendritni delci i-faze, pri katerih so bile veje usmerjene v smeri trištevnihi osi. Veje so bile nefasetirane ali fasetirane s pentagonalnimi fasetami. Evtektična i-faza je imela obliko palic. Palice so prednostno rasle v trištevnihi smerehi, imele pa so tudi veliko težnjo po razvejanju.

2) mikroindentacija kot komplementarno orodje za identifikacijo faz

Raziskali smo možnost uporabe mikroindentacije kot komplementarne metode pri identifikaciji faz, še posebej kvazikristalnih faz v heterogenih mikrostrukturah. Mikroindentacijo smo izvedli na petih fazah: i-faza in  $-Al_{13}Fe_4$  v zlitini  $Al_{64}Cu_{23}Fe_{13}$  ter i-faza, H-faza in  $Be_4AlMn$  v zlitini  $Al_{94}Mn_2Be_2Cu_2$ . Ugotovljeno je bilo, da je sila 20 mN najmanjša obremenitev, ki je primerna za trde faze v teh zlitinah. Pri tej obremenitvi je lateralna ločljivost 10  $\mu m$ , globinska pa 3  $\mu m$ , medtem ko je lateralna ločljivost 20  $\mu m$  in globinska ločljivost 6  $\mu m$  pri obremenitvi 100 mN. S kvalitativno analizo indentacijskih krivulj smo opredelili njihovo obliko, pojav ostrih sprememb v naklonu krivulj ter še nekatere druge značilnosti. Kvantitativni parametri so bili ovrednoteni skladno z EN ISO 15577-1: Martensova trdota  $HM$ , Vickersova trdota  $HV$ , delež elastične energije  $\Gamma_T$  in reducirni modul  $E_r$ . Nekatere faze lahko preprosto prepoznamo že na osnovi kvalitativne analize indentacijskih krivulj, medtem ko je za druge potrebna kombinacija dveh ali več kvantitativnih parametrov. Uporabnost metode smo preverili pri identifikaciji i-faze in  $-Al_{13}Fe_4$  v zlitini  $Al_{66}Cu_{25}Fe_9$ .

Opredelitev Be v fazah je zelo težavna, poleg tega pa zahteve uporabo naprednih tehnik, kot sta AES (spektroskopija Augerjevih elektronov) in ToF SIMS (čas-preleta masna spektroskopija sekundarnih ionov). Zato je bil naš namen razviti metodo, s katero je mogoče pridobiti koeficiente povratnega sipanja elektronov z mikroposnetkov z odbitimi elektroni in na ta način oceniti delež Be v določenih fazah. Metoda temelji na pretvorbi sive skale mikroposnetkov v skalo koeficientov povratnega sipanja. Predpogoj za to je poznavanje koeficientov povratnega sipanja dveh faz na mikroposnetku. Na ta način lahko ugotovimo koeficiente povratnega sipanja drugih faz, tudi takšnih, ki vsebujejo elemente (npr. Be), ki jih ne moremo ugotoviti z mikroanalitičnimi metodami. Ugotovljeno je bilo, da je metoda zelo učinkovita, če jo kombiniramo z energijskodisperzijsko spektroskopijo in računanjem koeficientov povratnega sipanja. Metastabilna stanja pri varjenju

V letu 2010 je bilo delo na tem področju povezano z raziskavami varivosti in mehanskih lastnosti zvarov dveh vrst konstrukcijskih kovin, ki sta namenjeni gradnji dveh vrstam specifičnih varjenih konstrukcij. Prvo so sodobna jekla odporna proti lezenju na zelo visokih temperaturah, ki omogočajo izdelavo komponent termo- in jedrskih elektrarn z višjo delovno temperaturo pare kot je običajno (i), drugo pa specialno razvite aluminijeve zlitine z visokim deležem magnezija za ladjedelništvo, ki zaradi svojih mehanskih in korozijskih lastnosti omogočajo gradnjo lažjih, bolj vitkih in energijsko manj potratnih ladij kot so običajne jeklene ladje (ii). Razen tega smo na novi raziskovalni opremi osvajali različne vrste možnosti njihove uporabe za potrebe tekočih in prihodnjih projektov (iii)

(i) Raziskave smo opravljali na več vrstah sodobnih jekel odpornih proti lezenju na visokih temperaturah. Zvari na teh jeklih so obremenjeni pretežno statično, le v redkih primerih tudi dinamično, največkrat zaradi termičnih vzrokov (termično utrujanje). Poglavitni problem pri varjenju teh jekel je termični vpliv varjenja, ki se mu v nobenem primeru ni mogoče izogniti. V TVP se namreč zaradi izločanja karbidov v veliki meri pokvari prej optimalna mikrostruktura osnovnega materiala. Poveča se trdota in zmanjša žilavost, kar je treba korigirati z naknadno termično obdelavo zvarov. To poslabšanje ima vpliv celo na možnost optimalnega trenutka izvedbe neporušnih preiskav zvarov po varjenju, kar se odraža v velikem povečanju stroškov izdelava teh varjenih komponent. Raziskovali smo mehanske lastnosti kovin posameznih delov zvarov in celotnih varjenih spojev v varjenem stanju in sicer v različnih stanjih termične obdelave. Rezultate poslabšanja oziroma izboljšanja lastnosti zvarov smo podprli z rezultati metalografskih in fraktografskih raziskav ter nekaterih drugih testiranj. Pridobljene podatke bo mogoče uporabiti za izbiro optimalnih varilnih parametrov in ustrezne termične obdelave pred in po varjenju, istočasno pa jih bomo vključili tudi kot vhodne podatke pri numeričnih simulacijah obnašanja takšnih konstrukcij pri ustreznih obremenitvah.

(ii) Raziskave smo opravljali na več vrstah osvojenih aluminij-magnezijevih zlitinah za uporabo v slanem okolju. Raziskovali smo mehanske lastnosti razvitih zlitin in na njih izvedenih varjenih spojev. Pri varjenju smo koristili impulzni MIG postopek, v nadaljevanju pa nameravamo uporabiti tudi plazemski postopek. Zlitine so bile v različnih stanjih termomehanske obdelave. Pri varjenju smo uporabili glede na debelino in ostale dimenzije razpoložljivih vzorcev osnovnega materiala primerne varilne parametre. Rezultate varjenja smo podprli z rezultati neporušnih raziskav zvarov (predvsem glede na poroznost) in z metalografskimi in fraktografskimi raziskavami ter z rezultati še nekaterih drugih testiranj. Pridobljene podatke bomo uporabili pri verificiranju lastnosti in varivosti zvarov in samih vrst aluminij-magnezijevih zlitin.

(iii) Osvajali smo eksperimentalno določanje S-N krivulj (Woehlerjeve krivulje za zware) in hitrost širjenja utrujenostnih razpok  $da/dN$ - K.

Študij metod karakterizacije metastabilnih stanj

V okviru programske skupine že dalj časa poteka razvoj neporušne merilne metode, ki omogoča sproten nadzor in kontrolo toplotne obdelave metastabilnih materialov s kovinsko osnovo. Osrednji del sistema predstavlja merilna celica, ki omogoča kontinuirano zasledovanje toplotne obdelave preizkušancev s sočasnimi meritvami spremembe njegove električne upornosti in temperature. Meritev električne upornosti poteka po principu štiritočkovne merilne metode, pri čemer je mogoče merilno metodo uporabljati v širokem temperaturnem območju (do maksimalne temperature 1100°C) tako v nevtralni (vakuum, zaščitni plin) kot tudi reaktivni atmosferi (oksidativni, redukcijski) žarjenja. Razvoj merilne metode je neposredno usmerjen k reševanju aktualnih gospodarskih in družbenih vprašanj, v smislu optimalne izrabe energijskih in surovinskih resursov ter zmanjšanju onesnaževanja okolja (manjši izpusti toplogrednih plinov).

V letu 2010 je bilo znanstveno-raziskovalno delu usmerjeno k implementaciji merilne metode za spremljanje:

- (i) procesa vakuumske cementacije visokolegiranih jekel, katerih klasična plinska cementacija zaradi tvorbe goste mreže karbidov legiranih elementov ni mogoča,
- (ii) kinetike in mehanizmov visokotemperaturne oksidacije (VTO) nerjavnih jekel.

Metoda spremljanja procesa vakuumske cementacije temelji na osnovi sprotnih meritev spremembe električne upornosti v preizkušancu med aktivno in pasivno fazo. S sprotnimi meritvami električne upornosti smo spremljali proces vakuumske cementacije legiranega (Buehler N360 Isoextra) jekla v temperaturnem območju med 800 in 1000°C ter pri parcialnem tlaku acetilena med 5 in 20 mbar-ov.

Iz rezultatov opravljene raziskave je mogoče zaključiti, da lahko iz dobljenih krivulj spremembe električne upornosti, med vakuumsko cementacijo preizkušancev, enolično določimo aktivno in pasivno fazo procesa. Med aktivno fazo procesa, tako pri ogljikovih kot tudi legiranih jeklih, električna upornost narašča zaradi raztapljanja ogljika v kristalni rešetki avstenita vse dokler ne dosežemo prenasičenosti avstenitna z ogljikom. Z dosegom prenasičenosti avstenita s ogljikom sledi padec električne upornosti, ki je posledica izločanja cementita (ogljikova jelka) oz. kompleksnih karbidov legiranih elementov (legirana jekla). V pasivni fazi procesa električna upornost ponovno narašča zaradi raztapljanja cementita (ogljikova jelka) oz. kompleksnih karbidov legiranih elementov (legirana jekla).

Na osnovi dobljenih spoznanj smo definirali algoritme preslikave izmerjene električne upornosti v kinetiko pojava, ki omogoča: (i) določitev globine cementirane plasti, (ii) napovedovanje pojava tvorbe cementitne plasti na površini vzorca in (iii) optimizacijo časa trajanja aktivne in pasivne faze procesa za doseg želene globine cementirane plasti.

Metoda sprotnih meritev el. upornosti se prav tako odlikuje pri spremljanju mehanizmov in kinetike visokotemperaturne oksidacije nerjavnih jekel. Eksperimentalno delo je bilo usmerjeno k spremljanju VTO jekla X12Cr13 v temperaturnem območju med 500°C in 1000°C v zračni atmosferi. Iz dobljenih rezultatov je mogoče sklepati na kinetiko rasti nastalih kompleksnih oksidnih slojev na površini jekla. Pomembna prednost metode sprotnih meritev el. upornosti, pa je tudi v njeni odzivnosti in resoluciji, ki omogoča identifikacijo izredno tankih slojev oksidne plasti (neka nm), ki jih s konvencionalnim vrstičnim elektronskim mikroskopom še ni mogoče zaznati na površini vzorca.

## 5. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>Z</sup>

V letu 2010 so bili doseženi vsi zastavljeni raziskovalni cilji programske skupine. Na področju raziskovanja tehnologij izdelave metastabilnih materialov smo uspešno nadaljevali z izvedbo

preizkusov na laboratorijskem orodju za ekstremne plastične deformacije po metodi ECAP (Equal Channel Angular Pressing). Opravljene so bile raziskave ekstremne plastične deformacije pri zlitinah Au-0,5 La, Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Al-Mg. Opravljena je bila obsežna karakterizacija mikrostrukture z elektronsko mikroskopijo in preiskusi notranje oksidacije pri izbranih zlitinah. Potrjena je bila hipoteza, da lahko z ustvarjanjem metastabilnih stanj poteče notranja oksidacija tudi v tistih sistemih v katerih termodinamsko ni mogoča.

V okviru študije metod karakterizacije metastabilnih stanj z merjenjem električne upornosti je bilo znanstveno-raziskovalno delu usmerjeno k izpopolnjevanju merilne metode za spremljanje procesa vakuumske cementacije jekel in k poglobljenemu teoretičnemu in eksperimentalnemu študiju visokotemperaturne oksidacije nerjavnih jekel z metodo sprotnih meritev el. upornosti. Merilna celica je doživela tudi tehnične spremembe, na področju pritrjevanja in umeščanja celice v komoro peči ter vpenjanja preizkušancev v merilne kontakte. Tehnične izboljšave bodo tudi v nadaljevanju pripomogle k boljši ergonomiji merilne metode in zmanjšale možnost nepravilnega vpenjanja preizkušancev.

Pri študiju kvazikristalnih zlitin so bili realizirani vsi zastavljeni cilji, načrtovani za leto 2010. Poleg rezultatov, ki so zajeti v poročilu, smo izvedli še (1) mehanske preskuse, s katerimi želimo opredeliti mehanske lastnosti v litem stanju, (2) žarjenje zlitin pri različnih temperaturah, da ugotovimo temperaturno stabilnost kvazikristalnih faz ter (3) osnovne termomehanske obdelave. Tako bo karakterizacija teh vzorcev in ovrednotenje rezultatov preiskav v žarišču raziskav v letu 2011.

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>8</sup>

Raziskovalno delo skupinen je v letu 2010 potekalo popolnoma v skladu s planom raziskovalnega programa.

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>9</sup>

		Znanstveni rezultat	
1.	Naslov	SLO	Ekstrakcija koeficientov povratnega sipanja s slik z odbitimi elektroni
		ANG	Extracting electron backscattering coefficients from backscattered electron micrographs
	Opis	SLO	Ta članek predstavlja preprosto novo metodo, s katero je mogoče pridobiti koeficiente povratnega sipanja elektronov z mikroposnetkov z odbitimi elektroni. Metoda temelji na pretvorbi sive skale mikroposnetkov v skalo koeficientov povratnega sipanja.
		ANG	This article introduces a simple new method for extracting the electron backscattering coefficients of phases present in the microstructure, from the backscattered electron micrographs. This method is able to convert the micrograph's greyscale to the backscattering-coefficient-scale.
	Objavljeno v	ZUPANIČ, Franc. Mater. charact.. 61(2010), 1335-1341,	
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Morfologije ikozaedričnih kvazikristalov v zlitinah Al-Mn-Be-(Cu)
		ANG	Morphologies of icosahedral quasicrystals in Al-Mn-Be-(Cu) alloys
	Opis	SLO	Oblike kvazikristalnih delcev so bile opredeljene v zlitinah Al-Mn-Be-(Cu), ki so bili izpostavljeni različnim ohlajevalnim hitrostim: of 106 K/s v zelo tankih hitrostrjenih trakovih pa do pod 100 K/s pri litju v trajne bakrene forme. V prispevku je sistematično predstavljen razvoj oblik od navidezno okroglih delcev pa vse do močno razvejenih dendritov.
		ANG	The shapes of icosahedral quasicrystalline (IQC) particles in Al-Mn-Be-(Cu) alloys were determined in samples subjected to very wide range of cooling rates: from around 106 K/s in very thin melt-spun ribbons down to below 100 K/s in permanent copper dies. The evolution of quasicrystalline shapes from apparently spherical particles to very large and highly branched dendrites is systematically presented.

	Objavljeno v	ZUPANIČ, Franc, BONČINA, Tonica, ROZMAN, Niko, MARKOLI, Boštjan. Morphologies of icosahedral quasicrystals in Al-Mn-Be-(Cu) alloys. V: PUCKERMANN, Beth E. (ur.). Quasicrystals : types, systems, and techniques. Hauppauge, N.Y.: Nova Science Publishers, cop. 2010. ISBN 978-1-61761-123-0
	Tipologija	Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	<i>SLO</i> Določanje krivulje tečenja zlitine CuCrZr z metodo genetskega programiranja <i>ANG</i> Genetic programming approach for the material flow curve determination of copper alloy CuCrZr
	Opis	<i>SLO</i> Na podlagi eksperimentalnih podatkov (testne množice) so bili z metodo genetskega programiranja razviti številni modeli za natančno modeliranje krivulje plastičnosti materiala. Nekateri najboljše genetske modele smo primerjali še z rezultati determinističnih metod (linearnih regresijskih modelov) in ugotovili, da so genetski modeli natančnejši in bolj primerni od regresijskih. <i>ANG</i> On the basis of a training data set, various different genetic models for flow curve distribution were developed during simulated evolution. The accuracies of the best models were proved by a testing data set and comparing between the genetic and deterministic methods (linear regression models). The research showed that very accurate genetic models can be developed by the proposed approach.
	Objavljeno v	GUSEL, Leo, BREZOČNIK, Miran, RUDOLF, Rebeka, ANŽEL, Ivan, LAZAREVIĆ, Z., ROMČEVIĆ, Nebojša; Genetic programming approach for the material flow curve determination of copper alloy - CuCrZr. Optoelectron. Adv. Mater. Rapid Commun. [Print ed.], 2010, vol. 4, iss. 3, str. 395-400; JCR IF(2009): 0,451
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	<i>SLO</i> Določanje kritičnih področij za nastanek razpok v iztisnjenem materialu <i>ANG</i> Determination of critical regions for cracks in extruded material
	Opis	<i>SLO</i> V članku je analizirana preoblikovalnost hladno iztisnjenega materiala kot funkcija napetostnega polja. Napetostno polje in primerjalna deformacija sta bili določeni s pomočjo vizioplastične metode v velikem številu točk preoblikovanega materiala. Te dobljene podatke smo uporabili za določitev področij v materialu, kjer je verjetnost nastanka razpoke največja. S pomočjo znanih vrednosti napetostnih komponent je možno (s pomočjo enačb) izračunati indikator napetostnega stanja v vsaki posamezni točki hladno iztisnjenega vzorca. <i>ANG</i> In the paper formability of a cold forward extruded specimen of copper alloy as a function of the stress field was analyzed. The stress field and effective strain were obtained by the viscoplasticity method in several points of the extruded material. These data make possible to determinate regions in extruded material where the possibility of cracks is the greatest. With known values of the stress components it is possible to calculate the indicator of the state of stresses in the individual points of the extruded specimen by means of equation.
	Objavljeno v	GUSEL, Leo, ANŽEL, Ivan. Determination of critical regions for cracks in extruded material. Journal of international scientific publication, Materials, methods & technologies, 2010, vol. 4, part 1, str. 372-378,
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	<i>SLO</i> Numerično modeliranje iniciacije utrujenostne razpoke v martenzitnem jeklu <i>ANG</i> Numerical modelling of fatigue crack initiation of martensitic steel
	Opis	<i>SLO</i> V tem članku smo prikazali numerično simulacijo iniciacije mikro-razpoke z uporabo izboljšane Tanaka-Mura modela. Numerično simulacijo smo izvedli s programom ABAQUS, za katerega smo pripravili ustrezne podprograme za modeliranje iniciacije in združevanja mikrorazpok. V modelu smo upoštevali tudi površinsko hrapavost toplotno rezanega roba z martenzitno mikrostrukturo in zaostale napetosti zaradi rezanja. <i>ANG</i> Numerical simulation of micro-crack initiation that is based on improved Tanaka-Mura micro-crack nucleation model is presented. Numerical simulation of crack-initiation was performed with ABAQUS, using a plug-in



	ANG	that was written specially for handling micro-crack nucleation and coalescence. Since numerical model was directed at simulating fatigue properties of thermally cut steel with martensitic microstructure, edge properties of specimen were additionally inspected in terms of micro-structural properties, surface roughness and residual stresses.
Objavljeno v		GLODEŽ, Srečko, JEZERNIK, Niko, KRAMBERGER, Janez, LASSEN, Tom. Numerical modelling of fatigue crack initiation of martensitic steel. Adv. eng. softw. (1992). [Print ed.], May 2010, vol. 41, iss. 5, str. 823-829, doi: 10.1016/j.advengsoft.2010.01.002, JCR IF(2009): 1.045
Tipologija		Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		

## 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati programske skupine<sup>10</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO Postopek dinamičnega globokega jedkanja in ekstrahiranja delcev iz aluminijevih zlitin
		ANG Procedure of dynamical deep etching and particle extraction from aluminium alloys
Opis	SLO	Izum je postopek dinamičnega globokega jedkanja in ekstrahiranja delcev iz aluminijevih zlitin za pripravo vzorcev za raziskavo in kontrolo materialov iz aluminijevih zlitin z vrstično in presevno elektronsko mikroskopijo ter rentgensko difrakcijo. Izraz »dinamično« je uporabljen zaradi uvedbe ultrazvoka, ki pospeši gibanje elektrolita in s tem dinamiko procesa.
	ANG	The invention is a procedure for dynamical deep etching and extraction of particles from aluminium alloys for sample preparation, and characterisation of Al-alloys using scanning and transmission electron microscopy, and X-ray diffraction. The term »dynamical« is used because of the application of ultrasound that promotes movement of the electrolyte and increases the dynamics of the process.
Šifra		Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev
Objavljeno v		Tonica Bončina, Franc Zupanič, Boštjan Markoli, Postopek dinamičnega globokega jedkanja in ekstrahiranja delcev iz aluminijevih zlitin : patentna prijava št. P-201000313, 11. 10. 2010. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2010.
Tipologija		Patentna prijava
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO Spreminjanje mikrostrukture jekel med vakuumsko cementacijo
		ANG Microstructural changes during vacuum carburizing of steels
Opis	SLO	V prispevku predstavljamo razvoj neporušne merilne metode za sprotno spremljanje procesa vakuumske cementacije jekel. Metoda temelji na zasledovanju difuzije ogljika med vakuumsko cementacijo v obdelovancu s sportnimi meritvami električne upornosti. S to metodo smo spremljali spremembo električne upornosti med vakuumsko cementacijo obdelovanca iz čistega železa in nerjavnega jekla (N360 iso extra).
	ANG	The present paper deals with in-situ and non-destructive characterization of the vacuum carburizing process. For this purpose, the unique laboratory device was set up, that enables measuring the carbon diffusion during vacuum carburizing process by electrical resistance measurements. We determined the kinetics of the process and the microstructural changes during carburizing of plain carbon and corrosion resistant stainless steel (N360 iso extra) in a low-pressure acetylene atmosphere (5 mbar).
Šifra		Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v		BRUNČKO, Mihael, KNEISSL, Albert C., ANŽEL, Ivan., ; KNEISSL, Albert C. (ur.), CLEMENS, Helmut (ur.). 13. Internationalen Metallographie-Tagung Leoben, 29. September bis 1. Oktober 2010. Fortschritte in der Metallographie : Berichte der 13. Internationalen Metallographie-Tagung Leoben, 29. September bis 1. Oktober 2010, (Sonderbände der praktischen Metallographie herausgegeben von Günter Petzow, 42). Frankfurt: Werkstoff-Internationsgesellschaft, cop. 2010, str. 303-308.
Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

	COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	SLO	Mikrostruktura in karakterizacija hitro strjenih trakov zlitine Au-La
		ANG	Microstructure and characterisation of rapidly solidified Au - La ribbons
	Opis	SLO	V prispevku je predstavljen vpliv dodatka lantana na potek strjevanja, mikrostrukturo in lastnosti zlata. Hitro strjeni trakovi zlitine Au-0,5La so bili izdelani z melt spin tehnologijo. Mikrostrukturna analiza vzorcev je pokazala, da si v prečnem prerezu sledijo tri morfološka področja: področje finih enakoosnih zrn, cona z transkristalnimi zrni in cona grobih enakoosnih zrn. Njihovo število, vrsta in višina so odvisni od debeline hitro strjenega traku.
		ANG	The influence of lanthanum addition and solidification conditions on the microstructure and properties of gold have been studied. Rapidly solidified ribbons of Au-0.5 wt.% La alloy have been prepared by melt spinning. An overall assessment of the ribbons has shown that up to three microstructural regions are distinguished: fine equiaxed grains, zone with a columnar structure and coarse equiaxed grains. Their number, type and height depend strongly on the ribbon thickness.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	ZUPANČIČ HARTNER, Tjaša, RUDOLF, Rebeka, KUŠIČ, Bojana, MEHRABI, Kambiz, ANŽEL, Ivan. Metalni i nemetalni materijali : proizvodnja, osobine, primjena : zbornik radova : production, properties, application : proceedings. Zenica: Fakultet za metalurgiju i materijale: = Faculty of Metallurgy and Materials Science, 2010, str. [68-73].	
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	Toplotna stabilnost in rekristalizacija hladno deformirane zlitine Au-0,5La
		ANG	Thermal stability and recrystallization of cold deformed Au-0,5La alloy
	Opis	SLO	Študij rekristalizacije in rasti kristalnih zrn pri hladno deformirani Au-La zlitini je bil izveden z uporabo optične in elektronske mikroskopije ter meritvami mikrotrdote. V odvisnosti od eksperimentalnih rezultatov je bila skonstruirana rekristalizacijska mapa, ki daje odnos med stopnjo deformacije, temperaturo žarjenja in doseženimi mehanskimi lastnosti.
		ANG	Recrystallization and grain growth of a cold deformed Au-La alloy have been studied with optical and electron microscopy as well as microhardness measurements. Depending on the experimental results a recrystallization map that gives the correlation between degree of deformation, annealing temperature and hardness has been constructed
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	KUŠIČ, Bojana, RUDOLF, Rebeka, KNEISSL, Albert C. KNEISSL, Albert C. (ur.), CLEMENS, Helmut (ur.). 13. Internationalen Metallographie-Tagung Leoben, 29. September bis 1. Oktober 2010. Fortschritte in der Metallographie : Berichte der 13. Internationalen Metallographie-Tagung Leoben, 29. September bis 1. Oktober 2010, (Sonderbände der praktischen Metallographie herausgegeben von Günter Petzow, 42). Frankfurt: Werkstoff-Internationsgesellschaft, cop. 2010, str. 51-56	
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID			
5.	Naslov	SLO	Vpliv zlitinskih elementov na mikrostrukturo in lastnosti trakov spominske zlitine NiTi
		ANG	The influence of alloying elements on the microstructure and properties of NiTi shape memory ribbons
	Opis	SLO	Raziskali smo vpliv sestave in mikrostrukture na razvoj in stabilnost dvosmernega spominskega efekta. V prispevku so prav tako podani rezultati izdelave vzorcev spominskih zlitin s postopki hitrega strjevanja, kot sta "melt-spinning" in "splat-cooling". Opisani so postopki termo-mehanskih treningov in karakterizacije mikrostrukture in funkcionalnih lastnosti spominskih zlitin.
		ANG	The influence of the alloying elements and the microstructure on development and stability of the intrinsic two-way shape memory effect has been discussed. Furthermore, this work deals with the production of thin specimens of shape memory alloys by melt-spinning and splat-cooling, the training procedure and their characterization with respect to microstructure and functional properties.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	



Objavljeno v	MEHRABI, Kambiz, BRUNČKO, Mihael, KNEISSL, Albert C. KNEISSL, Albert C. (ur.), CLEMENS, Helmut (ur.). 13. Internationalen Metallographie-Tagung Leoben, 29. September bis 1. Oktober 2010. Fortschritte in der Metallographie : Berichte der 13. Internationalen Metallographie-Tagung Leoben, 29. September bis 1. Oktober 2010, (Sonderbände der praktischen Metallographie herausgegeben von Günter Petzow, 42). Frankfurt: Werkstoff-Internationsgesellschaft, cop. 2010, str. 63-68.
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID	

#### 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>11</sup>

/

#### 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov<sup>12</sup>

Vrsta izobraževanja	Število mentorstev	Od tega mladih raziskovalcev
- znanstveni magisterij		
- doktorat znanosti		
<b>Skupaj:</b>		

#### 11. Zaposlitev vzgojenih kadrov po usposabljanju

Organizacija zaposlitve	Število doktorjev znanosti	Število magistrov znanosti
- univerze in javni raziskovalni zavodi		
- gospodarstvo		
- javna uprava		
- drugo		
<b>Skupaj:</b>		

#### 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca

Sodelovanje v programski skupini	Število
- raziskovalci-razvijalci iz podjetij	
- uveljavljeni raziskovalci iz tujine	
- podoktorandi iz tujine	
- študenti, doktorandi iz tujine	
<b>Skupaj:</b>	

#### 13. Vključenost v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v letu 2010<sup>13</sup>

- Bilateralni projekt z Republiko Avstrijo (BI-AT/09-10-003; z naslovom Nanostrukturni

kovinsko-keramični kompoziti; vodja I. ANŽEL)

- Bilateralni projekt z Republiko Hrvaško (BI-HR/09-10-023, z naslovom Razvoj novih kovinskih materialov z oblikovnim spominom; vodja I. ANŽEL)

- Bilateralni projekt z Republiko Srbijo (BI-SR/10-11-022, z naslovom Optičnen lastnosti kovinskih nano-prahov; vodja I. ANŽEL)

- Unstitute of Physics Belgrade - Centre for Raman Spectroscopy

- Military Medical Academy, belgrade, Serbia

- University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy

- RWTH Aachen University, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Germany

- Eureka Galvacont (vodja doc. dr. Leo Gusel)

- Eureka E!4213 – Nano Foil (vodja prof. dr. Ivan Anžel)

- E! 4569- ALSHIP - Project - EUREKA - High Magnesium Aluminium Alloys for Shipbuilding

#### **14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v letu 2010 potekali izven financiranja ARRS<sup>14</sup>**

- Eureka E!4953 – Gonano (vodja prof. dr. Ivan Anžel)

- Magneti d.d.: Razvoj novih magnetnih materialov (2010)- 150 raziskovalnih ur

- Zlatarna Celje d.d.: Mikrostrukturne raziskave in analize nastalih defektov na različnih izdelkih (2010)- 150 ur

- Maksim d.o.o.: Razvoj novih postopkov pocinkanja in tehnologij v kontejnerski tehniki – 2010 - 450 ur

#### **15. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanje v projektih okvirnih programov EU) v letu 2010<sup>15</sup>**

Pridobljena sredstva v višini 10.925,40 EUROV smo v letu 2010 porabili za nabavo potrošniškega materiala za metalografske priskave.

#### **16. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010<sup>16</sup>**

/

#### **17. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu v letu 2010<sup>17</sup>**

/

#### **18. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi<sup>18</sup>**

Preiskave mehanskih, fizikalnih in drugih lastnosti materiala so osnova za načrtovanje tehnologije. Z eksperimenti in testiranjem dobimo veliko množico podatkov, ki jih želimo kar najbolj nazorno analizirati in prikazati. S pomočjo ne-determinističnih metod, s katerimi se ukvarjamo v sklopu programa, je možno natančno in hitro postaviti matematične modele za katerokoli lastnost materiala, če so na voljo eksperimentalni rezultati. Ker je metoda genetskega programiranja zelo splošna je njena implementacija v praksi možna in tudi priporočljiva na različnih področjih (proizvodne tehnologije, energetika, orodjarstvo, mehatronika, metalurgija...). Z nekonvencionalnim modeliranjem lahko določimo natančne modele, s pomočjo katerih je možno zelo zanesljivo napovedati spremembe določenih lastnosti materiala znotraj eksperimentalnega območja, kar vpliva na nižanje stroškov izdelave in

izboljšanje kvalitet izdelka.

Cena Au delcev nano-velikosti je v primerjavi z Au delci, ki imajo velikostni razred mikrona, petkrat višja, še večja razlika pa se odraža v Au-materialu, ki je izdelan s tradicionalnimi postopki. Ti rezultati raziskovalnega programa zato predstavljajo odlično priložnost za donosnost naložb v sodelovanju s slovenskimi industrijskimi partnerji kot sta: Zlatarna Celje d.d., Magneti d.d., Swaty d.d., TREN d.o.o. idr. Našteta podjetja so namreč pomembni dobavitelji različnih izdelkov iz ne samo iz plemenitih kovin, ampak tudi s področja trajnostnih tehnologij. Industrijski partnerji želijo v okviru dosežkov raziskovalnega programa raziskati svoje potenciale pri nadaljnjem razvoju in proizvodnji Au nano-delcev, Au nano-folij oz. meta-stabilnih materialov na splošno, ter primerjati lastnosti teh proizvodov z lastnostmi izdelkov konkurentov. Na podlagi naših opravljenih raziskav so namreč že pridobili informacije, s katerimi bo možno ustrezno informirati kupce/porabnike o smotrnosti (ne)uporabe Au-nano delcev, Au nano-folij oz. meta-stabilnih materialov v različnih aplikacijah.

Pri tem je potrebno poudariti tudi vpliv raziskovalnega programa na mednarodno sodelovanje. Ta program je povezal raziskovalce iz evropskih (Slovenija, Nemčija) in balkanskih držav (Srbija). Če pri tem upoštevamo še ceno Au nano-prahu iz ZDA v juliju 2010, lahko vidimo korist teh raziskav in njihove pomembnosti v prihodnosti iz stališča vpliva Au-nano industrije. Zmanjšanje velikosti osnovnih delcev zlatega nano-prahu iz 1000 na 50-100 nm namreč posledično povečuje ceno iz 40 \$/g na 408 \$/g.

# LETNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA V LETU 2010

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

<b>Šifra programa</b>	
<b>Naslov programa</b>	Numerična in eksperimentalna analiza nelinearnih mehanskih sistemov
<b>Vodja programa</b>	
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	skupaj: _____ od tega v letu 2010: _____
<b>Cenovni razred</b>	
<b>Trajanje programa</b>	-
<b>Izvajalci programa (raziskovalne organizacije in/ali koncesionarji)</b>	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	Industrijska proizvodnja in tehnologija

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	
<b>Naziv</b>	

### 2. Povzetek<sup>2</sup>

SLO

Rezultati raziskav temeljijo na modificiranem Lindstedt-Poincare (ML-P) metodi z večkratno časovno skalo za kombiniranje rezonance dušilnih dinamičnih sistemov z izrazito nelinearnostjo. Uporabljena Lindstedt-Poincare metoda je razširjena na tehniko kalkulacije z motnjo za skoraj popolne oscilacijske sisteme z dušenjem. Analizirani so sistemi z več stopnjami prostosti "Multiple-degree-of-freedom (N-DOF)" z izrazito kubno nelinearnostjo. Namesto začetnega ekspanzijskega parametra je vpeljan transformiran ekspanzijski parameter z majhnim vplivom na začetne vrednosti. Vsi parametri sistema, kot so nelinearne frekvence, dušilni kefcientni, kubna nelinearnost in vzbujevalna frekvenca dinamičnega sistema so podane s transformiranimi ekspanzijskimi parametri. Predlagan model je uporabljen za kombiniranje resonance na enostransko vpetih nosilcih, pri katerih je fenomen notranjih resonanc obravnavan simultano. Stabilnost izračunanih rešitev je določena z uporabo Floquet teorije in aplikacijo Hsu's metode. Običajni se vzbujevalni pojavi rešujejo z transformiranimi ekspanzijskimi parametri. Rezultati ML-P metode z večkratno časovno skalo se primerjajo z rezultati posameznih harmoničnih ravnovesjih (IHB) metodo, ki kaže učinkovitost in prednosti predlagane metode.

The results of research are based on a modified Lindstedt-Poincare (ML-P) method with multiple time scales to extend the applicability of the perturbation technique for computation of almost periodic oscillations in damped multiple-degree-of-freedom (N-DOF) dynamical systems with strongly cubic non-linearities. Instead of the original expansion parameter, a transformed expansion parameter is introduced, which is small regardless of the value of the original parameter. All system parameters, such as nonlinear frequencies, damping terms, cubic non-linearities and excitation amplitudes of the dynamical system, are expressed by means of the transformed expansion parameter. The proposed method is applied on the combination resonance of the clamped-hinged beam, where the phenomenon of the internal resonance is considered simultaneously. The stability of the computed solutions is determined by using Floquet theory and application of the Hsu's method. The usual steps of the perturbation procedure by using the transformed expansion parameter are performed symbolically. The results of ML-P method with multiple time scales are compared with results of the incremental harmonic balance (IHB) method to show the efficiency and advantages of the proposed method.

### 3. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>3</sup>

#### 3.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>4</sup>

SLO

Rezultati predstavljajo izvirni pristop reševanju nelinearnih problemov vzbujevalnih sistemov, ki omogočajo optimizacijo oblike, topologije in prenosa obremenitve tudi v primeru zunanjih sunkovitih obremenitev. Poznavanje mehaniskih značilnosti vzbujevalnih sistemov omogočajo postavitev optimalnih elementov za sprejemanje reakcijske energije.

ANG

The results represent an original approach solving problems of nonlinear excitation systems, which allow optimization of the shape, topology and load transfer in case of external shock loads. Knowing the characteristics of excitation systems mehaniskih serve to establish the optimal elements for receiving the reaction energy.

#### 3.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>5</sup>

SLO

Relevantnost raziskovalnega dela se odraža v izboljšavi stabilnosti optimizacijskega postopka, ki se uporablja za optimizacijo oblike konstrukcij in sicer v okviru parametrizacijskih pristopov. Gre za novosti na področju optimizacije konstrukcij, kar bo koristen prispevek k boljšim postopkom projektiranja. Novi načini projektiranja vodijo k zmanjšanju porabe materiala in energije. Analiza obnašanja vitalnih mehanskih komponent večjih sistemov (npr. komponent nuklearnih reaktorjev) zaradi vsiljenih obremenitev je nujna za zagotovitev varnosti obratovanja tudi v najbolj neugodnih (npr. potresnih) razmerah.

ANG

Relevance of research work is reflected in the improvement of the stability of the optimization process, which is used for shape optimization of structures in the framework parametrizacijskih approaches. It is a novelty in the field of structural optimization, which will be a useful contribution to improving the design. New design methods lead to a reduction of material consumption and energy. Analysis of mechanical behavior of the vital components of larger systems (eg, components of nuclear reactors) because of forced load is necessary to ensure safe operation even under the most unfavorable (eg seismic) conditions.

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### 4. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega programa<sup>6</sup>

Raziskave so potekale na teoretičnih analizah in razvoju sistema za aplikacijo z merilno opremo. Tako je pri teoretičnih raziskavah ugotovljeno, da je spremenjena Lindstedt-

Poincarajeva metoda z večkratno časovno motnjo bila podana za dušeno, večkratne DOF dinamične sisteme z izrazito kubično nelinearnostjo. Razširitev metode skozi večkratne permutirane izračune omogoča določitev ne le periodičnih oscilacij temveč tudi napoved najbolj izrazitih oscilacij. Tudi v primeru period nihanja, ki imajo kombinirano resonanco, uporaba večkratnika je primerna. Čeprav smo obravnavali preprost enostransko vpet nosilec z simulirano notranjo resonanc, je ML-P metoda predstavljena kot splošno uporaben postopek. Dobljene simulacije kažejo primerljive vrednosti tudi z že uveljavljeno znano IHB metodo. Tako raziskava kaže da ML-P metoda je zelo zanesljiv postopek za določitev nelinearnosti, med tem, ko je standardna L-P metoda odpovedla. Izkazalo se je, da je ML-P metoda zelo zanesljiva za izrazite nelinearnosti kot je van der Polova nelinearnost.

V okviru programske skupine poteka priprava in razvoj merilnega sistema namenjenega nadzoru in snemanju odzivov na preizkuševališču nelinearnih sistemov.

Preizkuševališče je razdeljeno v dva sklopa. V okviru prvega sklopa je bil razvit sistem za preizkušanje nelinearnega nihanja strune vzbujane z električnim tokom in nelinearnim magnetnim poljem. Izdelan je bil prototip in nameščena in delno preizkušena merilna oprema.

Za izdelavo drugega sklopa preizkuševališča pa je bila delno nabavljena oprema za merjenje vibracij, medtem ko je sam sistem še v fazi snovanja. Za preizkuševališče pa je bila razvita in preizkušena programska oprema na osnovi Labview z namenom zajemanja in vrednotenja merilnih rezultatov.

V sklopu razvoja in snovanja preizkuševališča je bil uporabljen koncept v več korakih, kjer je preostali del članov programske skupine razvijal koncepte simulacijskih modelov nelinearnih sistemov, ter iskal najbolj primerne modele za izdelavo prototiplih preizkuševališč za praktično preverjanje dobljenih simulacijskih rezultatov. V sklopu zadnjega dela naj bi se delno realiziral vsaj merilni del namenjen preizkuševališču, ki bi zajemal merilno opremo NI z ustreznimi sensorji za merjenje vibracij in deformacij. Del merilnih sensorjev je bil nabavljen v sklopu leta 2009 in v prvi polovici 2010 (merilni modul NI9234 in ICP senzor za merjenje pospeškov) ter izdelana konzola za preizkus programske opreme za merjenje deformacij (Merilni lističi HBM), medtem ko je bila merilna oprema na posojilo s strani NI Slovenija in firme DINAMIKA, ter kolegov iz Fakultete za Gradbeništvo Maribor. Izdelan je bil protokol za testiranje merilne opreme in merilnih modulov ter primerjava pri znanih obremenitvah, ter izdelano tudi poročilo o teh meritvah. Merilna oprema je bila testirana tudi v industrijskih pogojih pri preizkusu kontinuiranega litja v železarni Štore (merjenje pospeškov v 16 pozicijah, merjenje pomikov 8 pozicij in merjenje deformacij 4 pozicije) kjer se je preverjala tudi zanesljivost delovanja programske opreme tako v industrijskih razmerah, kot tudi pri merjenju z višjimi odtipnimi intervali (1650 vzorcev/sekundo) v daljših časovnih intervalih.

Hkrati so se razvijali tudi algoritmi za frekvenčno analizo, ter preverjale natančnosti integracijskih metod (uporaba pospeškometrov za določevanje hitrosti in pomikov in njihova primerjava z merilniki pomikov), ter možnostmi njihove uporabe na namenskih preizkuševališčih.

Sočasno je potekal tudi razvoj sistemov za diagnostiko (Condition monitoring) strojev in naprav ter priprava za razvoj sistemov On-line monitoringa različnih mehanskih sistemov. V ta namen je bila delno kupljena oprema firme Beckhoff, ki ustreza vsem industrijskim standardom še posebej standardu IEC 61131-3, ki zajema programiranje sistemov. Na žalost zaradi moje povečane pedagoške obremenitve še nisem uspel v celoti usposobiti opreme do te mere, da bi bilo z njo že možno izvajati laboratorijske poizkuse na različnih strojih. Za potrebe testiranja mi je omogočena uporaba črpalke s frekvenčno vodenim elektromotorjem moči 2,2kW ( uporaba v dogovoru z vodjem Laboratorija za turbinske stroje), kjer bi se preverjala in primerjala različna oprema za Condition monitoring (Beckhoff in National instruments).

## 5. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>7</sup>

Stopnja realizacije teoretičnih raziskav predstavlja osnovo za razvoj eksperimentalnega preizkuševališča, ki je v fazi razvoja. Zastavljeni cilji so relativno dobro doseženi in izponjujejo podane predloge, ki so zasnovani v izhodiščnih aktivnostih programske skupine.

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>8</sup>

Po izteku leta 2010 je vodja programske skupine izr. prof. dr. Rudi Pušenjak, zaradi odhoda v pokoj zapustil programsko skupino, ki jo je v skladu s sklepom ARRS v vodenje prevzel red. prof. dr. Nenad GUBELJAK. Zastavljeni cilji odbrenega programa ostajajo enaki kot pri odobritvi, vendar doseženi rezultati raziskav ne kažejo, da bo programska skupina v sedanjih sestavi izpolnila te cilje. Po pregledu dosežkov in možnosti se je vodja programske skupine odločil, da sestavo programske skupine obnovi v danem obegu raziskovalnih ur in sredstev. Predlagana je nova sestava programske skupine z raziskovalci, ki v zadnjih letih beležijo boljše reference in so zmožni uresničiti zastavljene cilje do konca leta 2011! Predvideno je da se začne s takojšnjo aplikacija merilne opreme za on-line monitoring s posenemanjem podatkov in daljninskim brezžičnim prenosom. Pravtako predvidena je uporaba novih sodobnih modelov za določitev dinamične trdnosti materialov, ki je nujna za določitev življenjske dobe. Ob tem je zastavljeno, da se pristopi razvoju avtomatizacije izvajanja stereooptičnih meritev za kalibracijo merilne opreme v laboratoriju in aplikacija meritev na konstrukcijske komponente. Programiranje meritev se izvaja z odprtim računalniškim kodom Pyton, ki ga je prevzel novi član programske skupine doc. dr. Marko Pinterič. V tim za razvoj preizkuševalne opreme je vključen dr. Vinko Močilnik. Tako programsko skupino sestavljajo, poleg vodje še doc. dr. Jožef Predan (numerične analize z metodo končnih elementov) in izr. prof. dr. Marko KEGL optimiranje linearnih mehanskih sistemov.

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>9</sup>

		Znanstveni rezultat	
1.	Naslov	SLO	Spremenjen Lindstedt-Poincaréjeva metoda z večkratnikom resonance za kombinirano dušenje dinamičnih sistemov z izrazito nelinearnosti
		ANG	Modified Lindstedt-Poincare method with multiple time scales for combination resonance of damped dynamical systems with strong non-linearities
	Opis	SLO	V članku je predstavljen modificiran Lindstedt-Poincare (ML-P) metoda z večkratno časovno skalo za kombiniranje resonance dušilnih dinamičnih sistemov z izrazito nelinearnostjo. Predlagan model je uporabljen za kombiniranje resonance na enostransko vpetih nosilcih. Rezultati ML-P metode z večkratno časovno skalo se primerjajo z rezultati posameznih harmoničnih ravnovesjih (IHB) metodo, ki kaže učinkovitost in prednosti predlagane metode.
		ANG	The paper presents a modified Lindstedt-Poincare (ML-P) method with multiple time scales to extend the applicability of the perturbation technique for computation of almost periodic oscillations in damped multiple-degree-of-freedom (N-DOF) dynamical systems with strongly cubic non-linearities. The results of ML-P method with multiple time scales are compared with results of the incremental harmonic balance (IHB) method to show the efficiency and advantages of the proposed method.
	Objavljeno v	Int. j. of nonlinear sci. & numer. simul., 2010, vol. 11, no. 3, str. 173-201	
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Dinamika Duffingovega nihala z uporabo analitične različice metode harmonskega ravnovesja
		ANG	Dynamics of Duffing oscillator by analytical version of harmonic balance.
	Opis	SLO	V članku je predstavljena analitična različica metode harmonskega ravnovesja (MHR) za analizo periodičnega odziva nelinearnih, neavtonomnih nihala s harmoničnim vzbujanjem. Enačbo resonančne krivulje nihala dobimo že s prvo iteracijo metode, v kateri uporabimo rešitev prvega reda z upoštevanjem osnovnega harmonika.

		ANG	This paper treats the analytical version of the harmonic balance (HB) method for the analysis of the periodic response of nonlinear, nonautonomous oscillators with harmonic excitation. The equation of fundamental resonance is obtained as early as in the first iteration of the method, where the fundamental harmonic term is taken into account.
	Objavljeno v		PUŠENJAK, Rudi, OBLAK, Maks. Dinamika Duffingovega nihala z uporabo analitične različice metode harmonskega ravnovesja = Dynamics of Duffing oscillator by analytical version of harmonic balance. V: ŠIROK, Brane (ur.), EBERLINC, Matjaž (ur.). Kuhljevi dnevi, 23. september 2010, Ljubljana. Zbornik del. Ljubljana: SDM - Slovensko društvo za mehaniko, 2010, str. 167-175
	Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	SLO	Izboljšava računalniško podprtega razdeljevanja in vrednotenja domačih nalog pri mehaniki
		ANG	Improvement of the computer supported distribution and assessment of homework assignments in mechanics
	Opis	SLO	V članku smo predstavili sistem domačih nalog, ki jih izvajamo v okviru predmeta mehanika na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru. Hoteli smo izkoristiti možnosti sodobne računalniške tehnologije in pripraviti takšne domače naloge, ki bodo zagotovile minimalno delo pedagoškemu osebju in bodo omogočile študentom sprotno utrjevanje ter preverjane znanja pridobljenega na predavanjih in vajah.
		ANG	The paper presents a system for computer supported realization of homework assignments in mechanics at Faculty of mechanical engineering, University of Maribor. By using modern computer technology, the newly developed system enables a minimum amount of work for the teaching staff and automatic distribution and evaluation of individual homework assignments.
	Objavljeno v		KEGL, Marko, HARL, Boštjan. Optimizacija topologije: o materialnem modelu in formulaciji optimizacijskega problema = Topology optimization: on material model and optimization problem formulation. V: ŠIROK, Brane (ur.), EBERLINC, Matjaž (ur.). Kuhljevi dnevi, 23. september 2010, Ljubljana. Zbornik del. Ljubljana: SDM - Slovensko društvo za mehaniko, 2010, str. 87-94, ilustr. [COBISS.SI-ID 14444054]
	Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
	Objavljeno v		
	Tipologija		
COBISS.SI-ID			
5.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
	Objavljeno v		
	Tipologija		
COBISS.SI-ID			

## 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati programske skupine <sup>10</sup>

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO	Mechanical systems and signal processing. Pušenjak, Rudolf (recenzent 2010). London: Academic Press. ISSN 0888-3270
		ANG	Mechanical systems and signal processing. Pušenjak, Rudolf (referee 2010).



		London: Academic Press. ISSN 0888-3270
Opis	<i>SLO</i>	Recenzent znanstvenega članak v vrhunski reviji.
	<i>ANG</i>	Reffree of scientest paper in top journal
Šifra	Drugo	
Objavljeno v	Mechanical systems and signal processing. Pušenjak, Rudolf (referee 2010). London: Academic Press. ISSN 0888-3270. [COBISS.SI-ID 169243]	
Tipologija	Recenzija, prikaz knjige, kritika	
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Opis	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Opis	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Opis	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Opis	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	

## 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine [11](#)

--

## 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov<sup>12</sup>

Vrsta izobraževanja	Število mentorstev	Od tega mladih raziskovalcev
- znanstveni magisterij		
- doktorat znanosti		
<b>Skupaj:</b>		

## 11. Zaposlitev vzgojenih kadrov po usposabljanju

Organizacija zaposlitve	Število doktorjev znanosti	Število magistrrov znanosti
- univerze in javni raziskovalni zavodi		
- gospodarstvo		
- javna uprava		
- drugo		
<b>Skupaj:</b>		

## 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca

Sodelovanje v programski skupini	Število
- raziskovalci-razvijalci iz podjetij	
- uveljavljeni raziskovalci iz tujine	
- podoktorandi iz tujine	
- študenti, doktorandi iz tujine	
<b>Skupaj:</b>	

## 13. Vključenost v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v letu 2010<sup>13</sup>

V letih 2009 in 2010, člani programske skupine niso bili vključeni v raziskovalne programe Evropske unije. Med tem, ko prenovljena zasedba programske skupine sodeluje na mednarodnih projektih KOMET-Competence centre 2 Avstrijske akademije za znanost, ko ga koordinira Material Centre Loeben-MCL! Pravtako člani programske skupine so mentorji na 2 doktorskih nalogah, s potrjenimi temami.

## 14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v letu 2010 potekali izven financiranja ARRS<sup>14</sup>

V letu 2010 je v okviru PS bil za podjetje A - PROJEKT, d.o.o., izdelan računalniški program za izračun nihanj in vibracij na osnovi stohastičnega modela.

## 15. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanje v projektih okvirnih programov EU) v letu 2010<sup>15</sup>

PS ni prejela dodatna sredstav zaradi mednarodnega sodelovanja.

**16. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010**<sup>16</sup>

PS ni prejela dodatna sredstav zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010.

**17. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu v letu 2010**<sup>17</sup>

V okviru PS so pridobljena sredstav zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu porabljeni za nakup preizkuševalne opreme, ki je namenjena za demonstracijo in balansiranje gredi rotirajočih sistemov.

**18. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi**<sup>18</sup>

Dosedanji rezultati trenutno ne kažejo neposrednih možnosti za implementacijo v praksi. zaradi tega je potrebno urediti avtomatični sistem obdelave izmerjenih podatkov. Način prenosa izmerjenih veličin temelji na brez-žičnem prenosu in avtomatični obdelavi za oceno kritičnih obremenitev. Ocenjujemo da do konca obdobja financiranja projekta bodo doseženi zastavljeni cilji in s tem razvit celovitost sistem za praktično uporabo!

# LETNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA V LETU 2010

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

<b>Šifra programa</b>	
<b>Naslov programa</b>	Tekstilna kemija
<b>Vodja programa</b>	
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	skupaj: _____ od tega v letu 2010: _____
<b>Cenovni razred</b>	
<b>Trajanje programa</b>	-
<b>Izvajalci programa (raziskovalne organizacije in/ali koncesionarji)</b>	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	Industrijska proizvodnja in tehnologija

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	
<b>Naziv</b>	

### 2. Povzetek<sup>2</sup>

SLO

Nadaljevali smo s študijo adsorpcije biopolimerov na PET modelne filme z uporabo kvarčne mikrotehnice (QCM). Uvedli smo postopke za sulfatacijo polisaharidov za pripravo hemokompatibilnih polimernih površin kakor tudi sulfatacijo galaktoglukomanana. Prisotnost sulfatnih skupin bistveno izboljša protitrombogenost PET površin. Uspešno smo sintetizirali hitozanske nanodelce in jih adsorbirali na površino celuloznih materialov z namenom kontroliranega sproščanja protimikrobnih učinkovin. Študij kinetike in termodinamike adsorpcije hitozanskih nanodelcev na površino vlaken je omogočil kontroliranost interakcij hitozanski nanodelci/celulozni material. Mikrobiološko testiranje površin vlaken dokazuje njihovo protimikrobno aktivnost.

Pri raziskavi UV zaščitnih materialov smo uporabili  $\text{TiO}_2$  in  $\text{ZnO}$ , lignin in derivate ekstrahirane iz lesa rdečega bora in  $\text{TiO}_2$  v obliki paste z dodanim  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Izbranim UV absorberjem smo določili UV absorpcijo v raztopinah v področju med 200 in 400 nm, izvedli analizo določitve kemijskega naboja (zeta potencial) in s SEM posnetki ugotavljali uspešnost nanosa glede na koncentracijo in pogoje nanosa. Pripravili smo tekstilne substrate na katere so bili kovalentno vezani »host-guest« reagenti in ju uporabili kot selektivne adsorpcijske filtre za odstranjevanje modelnih molekul (fenol in formaldehid) iz odpadnih vod.

Sintetizirali smo mikro/nano kapsule, ki so vsebovale različne aktivne snovi (eterična olja, fotokromna barvila) ter jih s pomočjo kovalentnega zamreženja vezali na tekstilni substrat. S tem smo pripravili funkcionalne tekstilije.

Proučevali, razvijali in uvajali smo alternativne ekološke procese tiskanja (digitalni tisk tekstilij), nege tekstilij in oblačil (obdelava z  $\text{LCO}_2$ , higiena tekstilij). Izvajali smo proučevanje reoloških in tehnoloških parametrov v procesu digitalnega tiska kot tudi mikrovalovno in UV-utrjevanje ter vrednotenje kakovosti odtisov. Proučevali in uvajali smo napredne postopke čiščenja odpadnih vod iz pralnic v membranskem bioreaktorju.

Proučen je bil vpliv oksidacije mravljične kisline z mravljično dehidrogenazo na regeneracijo kofaktorja NADH ter njegov učinek na recikliranje encimske redukcijske kopeli pri indigo barvanju celuloznih vlaken.

Nadaljevali smo s študijem razbarvanja različnih tekstilnih odpadnih tokov s  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  postopkom in učinkovitost čiščenja ovrednotili z merjenem ekoloških parametrov, kot so absorbanca, TOC, prevodnost, pH, motnost.  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  kot individualna tehnologija čiščenja omogoča popolno razbarvanje srednje in manj onesnaženih tekstilnih odpadnih vod v relativno kratkem času obdelave (10 min). Dodatek katalizatorja (MnTACN) pomembno vpliva na čas obdelave odpadne vode. Tako je v povprečju ob dodatku minimalne količine katalizatorja razbarvanje končano že v prvih 5-ih minutah. Količina dodanega peroksida je odvisna od onesnaženosti izhodne odpadne vode. Merilo pa je absorbanca.

ANG

We continue with the study of the biopolymers onto the PET model films using the QCM. The procedures for polysaccharide sulphatation were successfully introduced. Beside chitosan, the procedure for sulphatation of galactoglucomanan was introduced and optimised. Synthesised chitosan nanoparticles were adsorbed onto fibres surfaces in order to develop antimicrobial, medical textiles with controlled release. Study of kinetics and thermodynamics of chitosan nanoparticles adsorption onto the fiber surface has enabled controlling of interactions between chitosan nanoparticles and cellulose material. In the research of UV protective materials were used: (i)  $\text{TiO}_2$  and  $\text{ZnO}$ , (ii) lignin and derivatives extracted from the wood of red pine, and (iii)  $\text{TiO}_2$  in the paste form with  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  addition.

Textile substrates with covalently linked »host-guest« reagents were prepared for selective adsorption of model molecules (phenols and formaldehyde) from waste water were prepared.

Micro/nano capsules containing different active compounds were synthesised and covalently crosslinked onto textile substrates. Antimicrobial textile materials and materials which respond with the change of colour on visible light were prepared.

Research, development and introduction of alternative ecological textile printing processes (digital textile printing), textile and garment care (LCO<sub>2</sub> treatment, hygiene), and laundries waste water cleaning by membrane technologies. Study of rheological and technological parameters within the process of digital textile printing, microwave and UV-curing of prints, and evaluation of quality parameters.

The study of enzyme oxidation kinetics and polymerization of phenolic monomers and synthetic lignins, depending on the pH medium, and their complex binding to chitosan and lignocellulosic fibers was performed.

We continue with textile wastewater decolouration using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV technology (separate discharges from individual textile processes and common wastewater). Decolouration efficiency was determined by measuring ecological parameters like absorbance, TOC, conductivity, pH, turbidity.

As individual treatment technology H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV enables complete decolouration of medium and low polluted textile waste streams in relatively short treatment time (10 min). Addition of the catalyst (MnTACN) has significant influence on treatment time. With the catalyst decolouration is on average finished within first 5 minutes of the treatment. The quantity of added hydrogen peroxide depends on pollution level. The criteria parameter is the absorbance.

### 3. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>3</sup>

#### 3.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>4</sup>

SLO

Uporabo kvarčne mikrotehnice za in-vitro določanje hemokompatibilnosti smo primerjali z drugimi metodami za določanje biokompatibilnosti in podali prednosti in pomanjkljivosti posameznih metod ter njihove medsebojne odvisnosti. Postopki kemične modifikacije alternativnih polisaharidov v smislu izboljšanja hemokompatibilnosti so novost in bistveno prispevajo k novim znanjem na področju razvoja protitrombotikov rastlinskega izvora. Raziskava novih UV absorberjev je pomemben prispevek k temeljnemu znanju o sposobnosti UV absorpcije posameznih snovi, kot so ekstrakti lignina, ki so pokazali visoke vrednosti absorpcije v področju med 200 in 400 nm. S projektom preučujemo tudi različne možnosti aplikacije, kot je možnost nanosa s pomočjo različnih pomožnih sredstev in aditivov po izčrpalnem in impregnacijskem postopku, raziskujemo njihovo reaktivnost in topnost v različnih medijih in preučujemo sposobnost sorpcije s pomočjo energije ultrazvoka. Z novimi dognanji o fizikalno-mehanskih lastnostih kompaktnih vlaknotvornih polimernih materialov, kot specifičnih nosilcev biomase v sistemih biološkega čiščenja, njihovi prepustnosti po daljšem času delovanja sistema, odpornosti na biološko razgradnjo, mehansko obrabo in različna onesnaževala bomo prispevali k obogatitvi temeljnega znanja o poteku procesov v mikroekosistemu posameznega vlaknotvornega materiala in reakcijah v različnih sistemih kakor tudi uporabnega znanja na področju čiščenja odpadnih vod (razvoj novih biotehnoloških procesov/tehnologij za odstranjevanje različnih onesnaževal iz, po sestavi različnih, odpadnih vod).

Pomen raziskovalnih rezultatov PS za znanost je tudi na področju obdelave tekstilnih materialov z molekularnimi in mikro/nano kapsulami za sektor tehničnih tekstilij za specifično

uporabo za industrijske filtre in materiale, ki se odzivajo na zunanje dražljaje. Prispevali smo k razvoju področja priprav kapsuliranih sistemov ter pri plemenitenu tekstilnih materialov za specifične uporabe.

Pomen za razvoj znanosti je v novih dognanjih, znanjih in veščinah na področju ekologije plemenitilnih procesov ter prispevek k razvoju mikrovalovne in UV tehnologije na področju digitalnega tiska tekstilij. Prav tako je pomemben prispevek k razumevanju in kakovosti nege tekstilij in oblačil ter ekologije postopkov nege.

Razvita so bila nova znanja na področju uporabe ciklične voltametrije in elektronske paramagnetne resonance pri spremljanju kinetike encimske oksidacije in polimerizacije fenolnih monomerov in sintetičnih ligninov, brez in ob prisotnosti hitozanskih in lignoceluloznih vlaken. V okviru novo razvitega biotehnološkega postopka redukcije indigoidnih barvil z reduktaznimi encimi je bila potrjena možnost regeneracije kofaktorja NADH z oksidacijo mravljične kisline ob uporabi mravljične dehidrogenaze v isti kopeli ter potrdili postopek recikliranja encimske redukcijske kopeli pri indigo barvanju celuloznih vlaken.

Na področju uporabe AOP postopkov za namene razbarvanja smo poglobili tako fundamentalna kot aplikativna znanja ter ugotovili, da lahko s primerno optimizacijo postopka popolnoma razbarvamo srednje in manj onesnažene odpadne vode tekstilne industrije v relativno kratkem času obdelave.

ANG

The use of the QCM techniques for the study of the materials surfaces biocompatibility have been compared with different other analytical techniques. The advantages and disadvantages of specific analytical tool have been described and the correlation among used method postulated.

Procedures for chemical modifications of alternative polysaccharides in the sense of development of new hemocompatible surfaces are new on this field and provide a new knowledge for the development of antithrombotics from plant sources.

The controlled binding of chitosan nanoparticles onto cellulose fibres was developed as a new method for medical textiles development.

Development of new UV absorbers will be an important contribution to the fundamental knowledge about UV absorption of individual substance such as extract of lignin that was shown high absorbance values in the UV region of 200-400 nm. With proposed project we study different application possibilities, according to various exhaustion or impregnation processes using different auxiliaries and additives and ultrasound. Hence, UV absorbers reactivity, solubility and sorption ability we investigated.

With new findings on physical-mechanical properties of compact fibre-forming materials as specific biomass supports in biological treatment systems, their permeability after long-term system operation, resistance on biological degradation, mechanical usage and different pollutants will contribute to a better fundamental knowledge of processes in the micro ecosystems of individual fibre-forming material and reactions that occur in various systems as well as to applicable knowledge on the field of wastewaters treatment (faster development of biotechnological processes/technologies for numerous pollutants removal from differentially composed wastewaters).

We contributed to the knowledge and development in the area of application of molecular and Micro/nano encapsulation on textile materiale (technical textiles) for specific application (industrial filters, smart textiles).

New findings, knowledge and skills on ecological acceptable textile finishing processes, and contribution to the development of microwave and UV-curing technologies on are of digitally printed textiles. Contribution to the knowledge of hygiene quality and development of eco-friendly laundering procedures. Contribution to the reduction of wastewater burden and possibility for reuse of treated water in the technological processes.

New knowledge's were developed in the area of using cyclic voltametry and electron paramagnetic resonance by following the enzyme oxidation kinetic and polymerization of phenolic monomers and syntetic lignins, in the presence and absence of chitosan and lignocelulosic fibres. In the frame of newly developed biotechnological process of indigoid dyes reduction using reductase enzymes, the ability of regeneration of cofactor NADH with oxidation of formic acid in the presence of formic dehidrogenase, in the same solution, was confirmed as well as the procedure for recycling of enzyme reduction baths at indigo dyeing of cellulose fibres.

Regarding AOP treatment of textile wastewater for decolouration purposes we broaden our fundamental and applicative knowledge and established that with convenient process optimization we could achieve complete decolouration of medium and low polluted textile waste streams in relatively short treatment time.

### 3.2. Pomen za razvoj Slovenije [5](#)

SLO

Uporaba v tem projektu modificiranih tehnik za in-vitro študij hemokompatibilnosti predstavlja

pomemben prispevek k hitrejšemu razvoju biomaterialov in s tem implantatov. S tem bo potencialno bistveno prispevalo k zmanjšanju števila pooperativnih komplikacij, s tem pa k zmanjšanju števila bolnišničnih dni in tako k izboljšanju splošne kvalitete življenja pacientov tako v Sloveniji kot v svetu.

Razvoj tehnologije za adsorpcijo hitozanskih nanodelcev na površino tekstilij ter kontroliranega sproščanja protimikrobne učinkovine predstavlja platformo biološko aktivih materialov, uporabljenih v različnih segmentih uporabe, kot recimo gaze, obliži, vložki, itd. Nadalje je moč tehnologijo prenesti tudi na druga področja razvoja medicinskih površin vlaknotvornih polimernih materialov.

Novo pridobljena znanja na področju razvoja in temeljnih raziskav UV absorberjev, ki izhajajo iz naravnih materialov, kot je les, ki se nahaja v naravi, ekstrakti lignina pa predstavljajo stranski produkt predelave, predstavljajo pomemben potencial za razvoj realnih materialov, ki bodo omogočali zaščito tekstilnim materialom v UV področju.

Raziskave na področju razvoja kompaktnih vlaknotvornih polimernih materialov predstavljajo pomemben potencial za razvoj novih materialov, ki bodo delovali kot filtri in/ali specifični nosilci za različne vrste mikroorganizmov v bioloških sistemih s pritrjeno biomaso in ki bodo namenjeni za učinkovito odstranjevanje različnih onesnaževal, ki so najpogosteje vzrok za onesnaženje tal/voda v Sloveniji. Prav tako vidimo njihovo potencialno uporabnost na področju vključevanja v obstoječe sisteme ter za izgradnjo prepustnih vodnih pregrad za zaščito podtalnic, vodnih zajetij in ostalih ekološko občutljivih vodnih ekosistemov pred dotokom onesnaženih voda.

Raziskave na področju priprave tekstilnih selektivnih filtrov prispevajo k okoljsko prijaznejši družbi saj je z njihovo porabo možno odpadno vodo reciklirati in tako sladiti okoljskim direktivam za čim manjšo porabo čiste vode.

Prispevek k slovenski znanosti je z novimi spoznanji na področju ekološko sprejemljivih postopkov plemenitenja tekstilij in nege tekstilij in oblačil. Prenos raziskovalnih dosežkov industrijsko prakso ter prispevek k varovanju okolja ter znižanju porabe energije. Obogatitev pedagoškega procesa z izsledki raziskovalnih projektov. Prepoznavnost v evropskem raziskovalnem prostoru.

Biotehnoški postopki omogočajo specifično funkcionalizacijo polimernih vlaken in posledično izdelavo materialov z visoko dodano vrednostjo. Biotehnoški postopek barvanja tekstilnih materialov z encimsko reduciranim indigo barvilom predstavlja ekološko, ekonomsko in tehnološko visoko učinkovito alternativo konvencionalnemu indigo barvanju, ki poteka v visoko alkalnem mediju ob prisotnosti toksičnega kemičnega reducenta.

Raziskave na področju uporabe AOP tehnik so pokazale, da se lahko s primerno optimizacijo postopka (energije in kemikalij) uspešno in ekonomično vključijo v celotno kompozicijo čiščenja tekstilnih odpadnih vod z namenom ponovne uporabe odpadne vode v procesih plemenitenja in na ta način lahko tekstilna podjetja kot velik onesnaževalec okolja, prispevajo k okoljsko prijaznejši družbi, porabijo manj čiste vode in plačajo manj prispevka. Z novimi znanji bomo prispevali k osveščanju javnosti o ekološko primernejših procesih in materialih ter tako prispevali k trajnostnemu razvoju.

ANG

The application of the new techniques for in-vitro studies of hemocompatibility, represents significant contribution to the quicker biomaterials e.g. implants development. Such development influences on a decrease of post-surgical complications and consequently on the lowering of the time spent in the hospital and on the improvement of overall quality of a patient's life. Rehabilitation of patients will be better and quicker and they will be returned to their private care. This will result in the disburdening of the health care system. Development of technology for adsorption of chitosan nanoparticles onto fibre surfaces and controlled release of antimicrobial agent represent a platform of bioactive materials used in different application segments such as gausses, bandages, etc. In this way human health and quality of life will be improved. Moreover, this technology may be transferred to other segments needing medical properties of polymer materials.

The obtained knowledge on the field of development and fundamental research of UV absorbers extracted from wood and lignin absorbers will represent the important potential for development of real textile materials with UV protective properties. Processing of such materials means the production of special products with high added value and with high market potential, because of the harmful UV radiation for people health.

Researches on the field of development of compact fibre-forming materials represent an important potential for development of new materials, which will operate as filters and/or specific biomass supports for various microorganisms in fixed-bed biological systems for efficient reduction of diverse pollutants, which are most frequently the source for soil and water pollution in Slovenia. We could also find their potential applicability on the field of incorporation in existing systems, and for construction of permeable water barriers for protection of underground water, water stem and others ecological sensitive water ecosystems prior to the influent of hazardous waters.

Research in the field development of textile selective filters can be successfully implemented in the textile wastewater treatment train with the aim of re-use of treated water in finishing



processes. In such a way textile industry can contribute to the society effort to improve ecological issues and use less fresh water.

Contribution to Slovenian science with new findings, knowledge in the area of eco-acceptable textile finishing and textile care and garment procedures. Transfer of research results into the Slovene SME, and contribution to the environment protection, and reduction of consumed energy. Enrichment of education process with research results. Recognition of Slovene science in European and world research area.

Biotechnological procedures enable specific functionalization of polymeric fibres and consequently development of materials with high added value. Biotechnological procedure for dyeing of textile materials with enzyme reduced indigo present ecological, economical and technological highly effective alternative to conventional indigo dyeing, which is performed in highly alkaline medium in the presence of toxic chemical reductant.

Research on the field of AOP treatments of textile waste water indicated that with process optimization (energy and chemicals) it can be successfully and economically implemented in the textile wastewater treatment train with the aim of re-use of treated water in finishing processes. In such a way textile industry as an important industry with high pollution level can contribute to the society effort to improve ecological issues, spent less fresh water and have opportunity to pay less taxes. With the new knowledge from the project we will contribute to the awareness about the ecology, water recycling and sustainable development.

## **B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA**

### **4. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega programa<sup>6</sup>**

Izvedena je bila študija adsorpcije biopolimerov na PET in modificirane PET površine z uporabo kvarčne mikrotehnice (QCM). Opravljena je bila študija vpliva pH, ionske jakosti in koncentracije polisaharida na spremembe frekvence in disipacije. Uvedli smo QCM metodo za spremljanje adsorpcije proteinov na površine biomaterialov z namenom in-vitro študija hemokompatibilnosti. Uvedli smo postopke za sulfatacijo polisaharidov za pripravo hemokompatibilnih polimernih površin. Poleg sulfatacije hitozana smo uspešno uvedli postopek sulfatacije galaktoglukomanana, ki v velikih količinah nastaja kot stranski produkt v industriji celuloze in papirja. Potrjena je bila hipoteza, da prisotnost sulfatnih skupin bistveno izboljša protitrombogenost PET površin.

S spreminjanjem različnih parametrov smo uspešno sintetizirali nanodelce iz polielektrolitov hitozana in natrijevega tripolifosfata. Ugotovili smo da na njihov nastanek vplivajo koncentraciji obeh polielektrolitov in njuno masno razmerje v disperziji. S povečanjem masnega razmerja hitozan/TPP se povečujejo: množina prostih amino skupin in s tem naboj, hidrodinamski radij ter zeta potencial kakor tudi protimikrobni učinek na nekatere testirane mikroorganizme.

Ugotovili smo, da dodatek stabilizatorja polietilen glikola (PEG) k disperziji nanodelcev, ne vpliva izrazito na spremembe hidrodinamskega premera nanodelcev, medtem ko znižuje heterodisperznost velikosti nanodelcev in tako povečuje termodinamsko stabilnost suspenzije nanodelcev. S povišanjem koncentracije in/ali molekulske mase PEG v disperziji, se  $\zeta$ -potencial disperzije zmanjša in tako naredi disperzije manj stabilne. Iz tega sklepamo, da PEG proučevanih molekulskih mas ni najustreznejši stabilizator za disperzije hitozanskih nanodelcev. Potrebne bi bile še dodatne raziskave, ki bi vključevale še zraven optimizacije molekulskih mas in koncentracij PEG tudi druge potencialne stabilizatorje.

Ocenili smo protimikrobno učinkovitost pripravljenih nanodelcev (mikrodilucijska

metoda ter Stresalni test (ASTM E 2149)). in ugotovili, da delujejo protibakterijsko. Ugotovili smo da nanodelci pripravljene s postopkom ionotropnega geliranja bolje inhibirajo rast mikroorganizmov v primerjavi z raztopinami hitozana samega. Nanoformulacija hitozana omogoča njegovo optimalno in nadzorovano difuzijo v celice patogenih mikroorganizmov in je tako njihova degradacije še učinkovitejša.

Nadalje smo nanodelce popršili na celulozna vlakna in ugotovili smo, da funkcionalizirana površina inhibira rast Gram-pozitivnih bakterij ter specifičnih patogenih gliv. Kot taka je lahko aplicirana na različna področja razvoja medicinskih tekstilij.

V okviru novo razvitega biotehnološkega postopka redukcije indigoidnih barvil z reduktaznimi encimi *Bacillus subtilis*, ob prisotnosti kofaktorja (NADH) in mediatorja (1,8-dihidroksi antrakinon), smo potrdili možnost regeneracije kofaktorja NADH z oksidacijo mravljične kisline ob uporabi mravljične dehidrogenaze v isti kopeli. Prav tako smo potrdili postopek recikliranja encimske redukcijske kopeli pri indigo barvanju celuloznih vlaken pri pH 11 (do petkrat in več), pri pH 9 (do trikrat) in pri pH 7 (do dvakrat).

V okviru razvoja UV zaščitnih materialov smo pri meritvah absorbanca ekstrakta rdečega bora v UV področju ugotovili, da je le ta najvišja v UVB področju. Lignin je stabilen visoko zamrežen aromatski polimer, ki nastane s polimerizacijo aromatskih alkoholov (p-koumaril, koniferil in sinapil). Titanov dioksid ( $\text{TiO}_2$ ) je bel pigment, ki ima visoko moč pokrivanja in se nahaja v dveh tržno in raziskovalno zanimivih kristalnih oblikah – antrasi in rutilni. Antrasi pigment je zelo občutljiv na svetlobo in hitro spremeni barvo, zato je pomembnejši rutilni, ki ima boljše pokrivnost ter boljše svetlobne in vremenske obstojnosti, kar je posledica širše optične vrzeli v frekvenčnem pasu.  $\text{TiO}_2$  ima visoko oksidacijsko sposobnost, če ga izpostavimo svetlobi, visoko hidrofilitnost ter kemično obstojnost. Je anorganski polprevodnik z vrzeljo 3,2 eV in ga lahko aktivira svetlobna energija pri 388 nm. Uporabljen  $\text{TiO}_2$  v obliki paste je prav tako po strukturi rutilni  $\text{TiO}_2$  in daje boljše rezultate pri obdelavi, kot titanov dioksid v prahu, kar pomeni, da predstavlja izboljšano obliko za različne vrste aplikacij.

Uspešno smo uvedli nov postopek biofiltracije/bioremediacije obarvanih odpadnih vod s kompaktnimi vlaknotvornimi polimeri, kot specifičnimi nosilci biomase v sistemu s pritrjeno biomaso, glede na vrsto med seboj neodvisnih spremenljivk (sestava odpadne vode, vrsta in lastnosti vlaknotvornih polimerov, hidrološke spremenljivke, itd.).

Pripravili smo tekstilne substrate na katere so bili kovalentno vezani »host-guest«<sup>2</sup> reagenti in ju uporabili kot selektivne adsorpcijske filtre za odstranjevanje modelnih molekul (fenol in formaldehid) iz odpadnih vod. Učinkovitost filtriranja malih molekul iz predobdelanih odpadnih vod smo proučevali s pomočjo UV/VIS, IR in Raman spektroskopije.

Sintetizirali smo mikro/nano kapsule, ki so vsebovale različne aktivne snovi (eterična olja, fotokromna barvila) ter jih s pomočjo kovalentnega zamreženja vezali na tekstilni substrat. S tem smo pripravili funkcionalne tekstilije, kot so na primer materiali z protimikrobnimi lastnostmi oziroma s sposobnostjo spreminjanja barve glede na jakost svetlobe.

Z realizacijo programa smo poglobljeno raziskali in razvili nove postopke nege tekstilij

na osnovi tehnologije LCO<sub>2</sub>. Doseglo smo višjo stopnjo kakovosti in znižanje stroškov nege ter učinkovito in zanesljivo nizektemperaturno razkuževanje tekstilij. Prav tako smo raziskali zanesljivost ter ekološke vplive in vplive na delovno okolje, ki jih povzroča CO<sub>2</sub> tehnologija nege tekstilij v primerjavi s tehnologijo kemičnega čiščenja.

Ena izmed delovnih faz raziskovalnega projekta je bila namenjena vrednotenju ekoloških vplivov, ki so posledica procesov nege medicinskih tekstilij. Raziskali smo razkuževalni učinek termičnih, kemijskih in CO<sub>2</sub> postopkov nege tekstilij. Pri tem so bili uporabljeni različni bioindikatorji izbrani na osnovi priporočil Inštituta Robert Koch (D), klasična in prototipna LCO<sub>2</sub> oprema za nego tekstilij ter pralna, razkuževalna in pomožna sredstva. V primeru ekoloških analiz termičnih in kemijsko-termičnih razkuževalnih procesov smo ovrednotili sledeče parametre odpadnih pralnih vod (SIST, ISO, EN, DIN): T, pH, usedljive in neraztopljene snovi, prosti klor, amonijev dušik, celotni dušik, skupni fosfor, TOC, KPK, BPK<sub>5</sub>, AOX in vsoto aninskih in neionskih tenzidov.

Za vse raziskovane procese nege tekstilij smo izmerili količine porabljene vode ter električne energije. Izmerjene vrednosti so bile osnova za izračun energetskih in okoljskih bilanc, ki so bile narejena na osnovi metodologij vrednotenja življenjskega cikla izdelka LCA (*ang. Life Cycle Assessment*), popisa stanja LCI (*ang. Life Cycle Inventories*), podatkovnih baz ocen vplivov izdelave materialov in proizvodov LCIA (*ang. Life Cycle Impact Assessment*) ter standardov serije SIST EN ISO 14000. Izračunani faktorji skupnih zahtev po energiji (CED), globalnega indeksa segrevanja (GWP), acidifikacijskega potenciala (AP) so v primeru CO<sub>2</sub> postopka nege bolnišničnih tekstilij za 40 do 60 % nižji kot v primeru termičnega in kemijsko-termičnega ob hkratnem zagotavljanju ustrezne stopnje higiene tekstilij.

Raziskali smo možnost čiščenja oz. biorazgradnje posameznih komponent pralne odpadne vode, kjer smo določali največje možne koncentracije določene komponente v pralni odpadni vodi, ki je še biološko razgradljiva. Čiščenje odpadnih vod je potekalo v membranskem bioreaktorju. Učinek čiščenja smo ovrednotili s sledečimi parametri odpadnih vod: (SIST, ISO, EN, DIN): T, pH, raztopljen kisik, alkaliteta, usedljive in neraztopljene snovi, amonijev dušik, nitratni dušik, nitritni dušik, celotni dušik, skupni fosfor, orto fosfor, TOC, KPK, BPK<sub>5</sub>, vsoto aninskih in neionskih tenzidov. Na podlagi teh rezultatov smo določili obratovalne pogoje za čiščenje celotne odpadne vode iz pralnice ter preučili možnosti ponovne uporabe vode v postopku pranja, s čimer smo še dodatno zmanjšali porabo sveže vode oz. zmanjšali obremenitev odpadne vode.

V okviru novo razvitega biotehnološkega postopka redukcije indigoidnih barvil z reduktaznimi encimi *Bacillus subtilis*, ob prisotnosti kofaktorja (NADH) in mediatorja (1,8-dihidroksi antrakinon), smo potrdili možnost regeneracije kofaktorja NADH z oksidacijo mravljične kisline ob uporabi mravljične dehidrogenaze v isti kopeli. Prav tako smo potrdili postopek recikliranja encimske redukcijske kopeli pri indigo barvanju celuloznih vlaken pri pH 11 (do petkrat in več), pri pH 9 (do trikrat) in pri pH 7 (do dvakrat).

Opadne vode iz slovenske tekstilne industrije, pralnic in deponij smo razbarvali in čistili z vrsto AOP postopkov kot so: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fenton, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV/katalizator, termo/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/katalizator, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UZ, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UZ/katalizator in druge

kombinacije, z mikrobiološkimi postopki, adsorpcijo na oglju, adsorpcijo na bioadsorbentu in z membranskimi tehnologijami (MF, NF, RO, MBR, MBBR). Testiran katalizator je bil MnTACN, manganov kompleks. AOP postopke smo optimirali z uporabo matematičnih modelov (programska oprema Design Expert in GAMS), ki so omogočili kvantitativno ovrednotenje ekonomskega potenciala in industrijsko aplikativnost. Proučevali smo nastale razgradne produkte polutantov. Raziskovali smo prisotnost POP's v tekstilnih materialih in tekstilnih odpanih vodah. Za raziskave smo uporabljali sodobne analizne metode (rentgen, IR, UV/VIS, NMR, HPLC, GC in gel-permeabilna kromatografija, slikovna analiza, masna spektroskopija, AFM, XPS, tenziometrija, elektrokinetika, ...).

## 5. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>7</sup>

Zastavljeni cilji, ki so bili definirani z delovnim načrtom, so bili v celoti doseženi. Vse načrtovane raziskovalne aktivnosti so bile realizirane.

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>8</sup>

Ni bilo sprememb.

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>9</sup>

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Organsko modificirani montmorillonitni nano delci kot stabilizatorji v polisaharidnih filmih
		<i>ANG</i> Organoclay particles as reinforcing agents in polysaccharide films
	Opis	<i>SLO</i> V delu je opisana raziskava o uporabi organsko modificiranih montmorillonitnih nano delcev kot stabilizatorjev za tvorjenje biološko razgradljivih filmov na bazi ksilana.
		<i>ANG</i> Achievement description: In this work an investigation is described on the use of organically modified montmorillonite clay particles as stabilizers of bioplastic films based on xylan.
	Objavljeno v	VIOTA, J. L., LOPEZ-VIOTA, M., SAAKE, Bodo, STANA-KLEINSCHKEK, Karin, DELGADO, Angel V. J. colloid interface sci., 2010, vol. 347, iss. 1, 74-78, doi: 10.1016/j.jcis.2010.03.009.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i> Oksidacija celuloznih vlaken vodena z neobstojnimi nitroksilnimi radikali
		<i>ANG</i> Oxidation of cellulose fibers mediated by nonpersistent nitroxyl radicals
	Opis	<i>SLO</i> Pri oksidaciji viskoznih vlaken pri sobni temperaturi in alkalnem pH so bili uporabljeni trije neobstojni radikali, vsebujoči >NO enoto. Nastanek prostih radikalov je bil dosežen in-situ iz odgovarjajočih OH prekurzorjev: 1-hidroksibenzotriazol, izo-nitrozo-barbiturne kisline, and N-hidroksi-3,4,5,6-tetrafenilftalimid. Kot rezultat uvedbe hidrofilnih karboksilnih skupin, se je sposobnost zadrževanja vode oksidiranih vlaken zvišala za 35 % v primerjavi z neoksidiranimi
		<i>ANG</i> Three different nonpersistent radicals bearing >NO moiety have been used to oxidize the viscose fibers at room temperature and alkaline pH. The generation of the free radical species was achieved in situ, from their corresponding OH precursors: 1-hydroxybenzotriazole, violuric acid, and N-

		hydroxy-3,4,5,6-tetraphenylphthalimide. Notably, as a result of the introduction of hydrophilic carboxylate groups, the water retention values of the oxidized fibers increased by 35% as compared to the original nonoxidized sample.
	Objavljeno v	BILIUTA, Gabriela, FRAS ZEMLIČ, Lidija, STRNAD, Simona, HARABAGIU, Valeria, COSERI, Sergiu. J. polym. sci., Part A, Polym. chem., Nov. 2010, vol. 48, issue 21, str. 4790-4799, doi: 10.1002/pola.24270.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	<i>SLO</i> Protimikrobna aktivnost izbranih razkuževalnih sredstev uporabljenih v nizko temperaturnem postopku nege tekstilij. <i>ANG</i> Antimicrobial activity of selected disinfectants used in a low temperature laundering procedure for textiles.
	Opis	<i>SLO</i> Namen raziskave je bil primerjati razkuževalni učinek treh razkuževalnih sredstev v postopkih pranja pri nizki temperaturi (30°C). Ugotovili smo, da je bil postopek razkuževanja pri 30°C primeren za enega izmed izbranih razkuževalnih sredstev pri času glavnega pranja 43 min, saj sta bila inaktivirana obe vrsti bakterij. E. faecium je bil bolj odporen, saj je preživel po 43 min glavnega pranja z uporabo dveh od treh izbranih razkuževalnih sredstev. Po izpiranju nismo našli nobenih bakterij na bombažnih krpicah zaradi transferja v pralno kopel. <i>ANG</i> The aim of this study was to compare the disinfection effect of three disinfection agents in washing procedures at a low temperature (30°C). It was determined that the disinfection effect was appropriate for one of the three chosen disinfection agents at 30°C with a duration of main washing after 43 min as both bacteria were inactivated. E. faecium proved to be more resistant as it survived after 43 min of main washing using two of the three chosen disinfectants. No bacteria were found on the cotton pieces after rinsing due to their transfer into the washing bath.
	Objavljeno v	FIJAN, Sabina, ŠOSTAR-TURK, Sonja. Fibres Text. East. Eur., 2010, vol. 18, no. 1, str. 89-92.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	<i>SLO</i> Encimska redukcija kompleksnih redoks barvil z uporabo NADH-odvisnih Bacillus subtilis reduktaz in z regeneracijo kofaktorja <i>ANG</i> Enzymatic reduction of complex redox dyes using NADH-dependent reductase from Bacillus subtilis coupled with cofactor regeneration
	Opis	<i>SLO</i> Predstavljena je uporaba nove reduktaze B. subtilis pri redukciji redoks barvil v vodotopno levko obliko. Preučevali smo encimsko redukcijo izbranih barvil in jo optimirali glede na pH vrednost in temperaturne pogoje. Primerjali smo kinetične konstante encimske in kemične redukcije. Reduktaze so izkazale zmogljivost redukcije Acid Blue 74 in Natural Orange 6 v prisotnosti stehiometrično porabljenega kofaktorja NADH, ki smo ga uspešno regenerirali v isti kopeli z oksidacijo mravljične kisline z mravljično dehidrogenazo. Za redukcijo Vat Blue 1 je potrebna tudi prisotnost mediatorja 1,8-DHQ. <i>ANG</i> A new reductase from B. subtilis was used to reduce the redox dyes into their water-soluble leuco form. The enzymatic reduction of the dyes was studied and optimized in relation to pH and temperature conditions. The kinetic constants were determined and compared to the chemically-reduced leuco form.
	Objavljeno v	BOŽIČ, Mojca, PRICELIUS, Sina, GÜBITZ, Georg M., KOKOL, Vanja. Appl. microbiol. biotechnol., Jan. 2010, vol. 85, no. 3, str. 563-571, doi: 10.1007/s00253-009-2164-8.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	<i>SLO</i> Strategija vključitve reciklirane vode v slovenskih tekstilnih tovarnah. <i>ANG</i> Strategies for water recycling implementation in Slovene textile companies.
	Opis	<i>SLO</i> V prispevku je predstavljena možnost ponovne uporabe odpadne vode v dveh tekstilnih tovarnah v Sloveniji. Izdelali smo obsežno bazo podatkov, v kateri smo zbrali in okarakterizirali vodne tokove glede na posamezne tekstilne procese kakor tudi podatke o porabi vode, kemikalij in energije glede na posamezni tekstilni proces. Izpuste po posameznih tekstilnih procesih smo okarakterizirali z ekološkimi parametri.

	ANG	This paper presents proposed solutions for water reuse implementation in two Slovene textile finishing companies. As a first step a very complete database was obtained with the collection and characterization of all relevant water related textile production processes. On the one hand, data concerning water use, chemicals and energy were collected for all relevant production processes. On the other hand, all relevant batch discharges from each process were analyzed by measuring relevant ecological parameters.
Objavljeno v		MAJCEN LE MARECHAL, Alenka, VAJNHANDL, Simona, JERIC, Tina, MATTIOLI, Davide, GRILLI, Selene. Strategies for water recycling implementation in Slovene textile companies. V: PERRIN AKCAKOCA, E. (ur.). 12th International Izmir Textile and Apparel Symposium, 28-30 October 2010, Izmir, Turkey. Proceedings : IITAS 2010. Izmir: Ege University, Department of Textile Engineering: Ege University Textile and Apparel Research - Application Center, 2010, str. 146-150, ilustr.
Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanja)
COBISS.SI-ID		

## 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati programske skupine <sup>10</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO Uporaba kvarčne mikrotehnice za določanje interakcij med polimeri in biološkimi molekulami ANG Quarz-Kristall-Mikrowaage (QCM) zur Untersuchung der Wechselwirkung von Polymeren und Biomolekülen mit Oberflächen
	Opis	SLO V prispevku je opisana uporaba QCM za določanje adsorpcijskih procesov na mejnih površinah različnim modelnih polimernih filmov in raztopinami, ki vsebujejo različne reaktante. Razložen je osnovni princip metode s prikazi praktičnih primerov. ANG In the presented work the use of the QCM technique for the study of the adsorption processes on the interfaces – polymeric model films and the solutions with different reagents is presented. The principal of the mentioned technique is described, practical examples are discussed.
Šifra		Drugo
Objavljeno v		KÖSTLER, Stefan, KARGL, Rupert, REISCHL, Martin, STANA-KLEINSCHEK, Karin, RIBITSCH, Volker. V: PSUTKA, S. (ur.). Handbuch der Nanoanalytik Steiermark 2010. 2. Aufl. Graz: Technische Universität, Forschungsinstitut für Elektronenmikroskopie und Feinstrukturforchung und Zentrum für Elektronenmikroskopie; Weiz: NanoTecCenter Weiz Forschungsgesellschaft, 2010, str. 100-101.
Tipologija		Samostojni strokovni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO Celulozna vlakna, funkcionalizirana s hitozanom: karakterizacija in uporaba ANG Cellulose fibres functionalised by chitosan : characterization and application
	Opis	SLO Protimikrobna aktivnost hitozana je posledica njegovih amino skupin, ki v razredčenih kislinah oblikujejo amonijeve soli. Manipulacija strategij vezave hitozana na celulozne površine, kot sta: 1) nepermanentna vezava, ki dovoljuje sproščanje bioaktivne substance z vlaken in 2) permanentna vezava, ki omogoča obstojne protimikrobne učinke vlaknatih površin, določajo uporabnost takšnih površin/izdelkov. ANG The antimicrobial activity of chitosan is assigned to its amino groups, which in diluted acids form ammonium salts. The manipulation of chitosan's binding strategies onto cellulose surfaces i.e.: (i) reversible binding – which enables the release of a bioactive substance from a fibre's surface and, (ii) irreversible binding resulting in the permanent bioactivity of a fibrous (textile) surface, determines the applicabilities of such surfaces.
Šifra		Drugo
Objavljeno v		Objavljeno v STRNAD, Simona, ŠAUPERL, Olivera, FRAS ZEMPLJIČ, Lidija.. V: ELNASHAR, Magdy M. (ur.). Biopolymers. Rijeka: Sciyo, cop. 2010, str. [181]-200, ilustr. <a href="http://www.intechopen.com/articles/show/title/cellulose-fibres-functionalised-by-chitosan-characterization-and-application">http://www.intechopen.com/articles/show/title/cellulose-fibres-functionalised-by-chitosan-characterization-and-application</a> .
Tipologija		Samostojni strokovni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
COBISS.SI-ID		

3.	Naslov	SLO	Določevanje razkuževalnega učinka postopka pranja bolnišničnih tekstilij z uporabo indikatorske bakterije <i>Mycobacterium terrae</i> .
		ANG	Determining the disinfection effect of a laundering procedure for hospital textiles using the indicator bacteria <i>Mycobacterium terrae</i> .
	Opis	SLO	V raziskavi smo določili protimikrobni učinek postopka pranja bolnišničnih tekstilij v laboratorijskem pralnem stroju z uporabo indikatorske bakterije <i>Mycobacterium terrae</i> kot predstavnika družine mikobakterij. Ugotovili smo, da je <i>M. terrae</i> preživel pranje pri 35°C in 45°C, vendar je bil popolnoma inaktiviran pri 60°C.
		ANG	In our research we determined the antimicrobial laundering effect by simulating a common laundering procedure for hospital textiles in the laboratory washing machine at different temperatures by the use of the indicator bacteria: <i>Mycobacterium terrae</i> as a representative of mycobacterium family. It was found that <i>M. terrae</i> survived laundering at 35° and 45°C but was completely inactivated at 60°C.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	V: KUŠAR, Darja (ur.), BIDOVEC, Urška (ur.). 31st Annual Congress of the European Society of Mycobacteriology, 4-7 July, 2010, Bled, Slovenia. Abstract book. Golnik: Bolnišnica - Klinični oddelek za pljučne bolezni in alergijo; Ljubljana: Veterinarska fakulteta, 2010, str. 186, PP-94.	
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	Postopek ponovne uporabe encimsko redukcijske kopeli za barvanje bombažnih tekstilnih materialov z indigo barvilom
		ANG	Process of indigo dyeing cellulose textile materials with re-used enzyme reduction bath
	Opis	SLO	S patentom smo zaščitili postopek recikliranja encimske redukcijske kopeli pri indigo barvanju celuloznih vlaken in tako zmanjšali celotno količino neizkoriščenega barvila v odpadni kopeli. Ponovna uporaba encimske redukcijske kopeli je mogoča pri pH 11 do petkrat in več, do trikrat pri pH 9 in do dvakrat pri pH 7.
		ANG	By the patent we protected the recycling procedure of enzyme vatting bath used for indigo dyeing of cellulose fibres, to reduce the overall amounts of indigo dyeing effluents. Enzyme baths were reused five or more times at pH 11, three times at pH 9 and twice at a pH of 7.
	Šifra	Patent v Sloveniji	
	Objavljeno v	BOŽIČ, Mojca, GÜBITZ, Georg M., KOKOL, Vanja. Patent št. 22867, 31. 03. 2010; prijava patenta št. P-200800219, dne 18.09.2008. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, 2010. 23 f.	
Tipologija	Patent		
COBISS.SI-ID			
5.	Naslov	SLO	Zahtevana kvaliteta vode v tekstilni industriji
		ANG	Required water quality in textile finishing industry
	Opis	SLO	Tekstilne tovarne uporabljajo vodo iz različnih virov, kot so na primer reke, jezera in podtalnica. Vode za vsak posamezni proces mora biti takšne kvalitete, da ustreza vsem procesom in da ne vpliva na kvaliteto končnega produkta (stabilnost in kvaliteta produkta). V prispevku so predstavljene zahteve in omejitve glede kvalitete vode za različne procese kot so pranje, barvanje, tiskanje, hlajenje, gretje in čiščenje.
		ANG	Water for a textile plant comes from various sources like rivers, lakes and subterranean water from wells. Water quality for all processes should be of such quality to avoid any process and final product quality problems (product quality and stability). Water quality requirements or restrictions will be collected for different water functions, like washing, dyeing, printing, cooling, heating, cleaning and requirement for different water quality standards will be described.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
Objavljeno v	GOLOB, Darko, MAJČEN LE MARECHAL, Alenka, BRODNJAK-VONČINA, Darinka, VAJNHANDL, Simona. Required water quality in textile finishing industry. V: 10th Autex Conference, June 21-23, 2010, Vilnius, Lithuania. Proceedings of Autex 2010. Kaunas: Kaunas University of Technology, Faculty of Design and Technologies, Department of Textile Technology, 2010, 4 f.		
	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		

Tipologija	
COBISS.SI-ID	

### 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>11</sup>

--

### 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov<sup>12</sup>

Vrsta izobraževanja	Število mentorstev	Od tega mladih raziskovalcev
- znanstveni magisterij		
- doktorat znanosti		
<b>Skupaj:</b>		

### 11. Zaposlitev vzgojenih kadrov po usposabljanju

Organizacija zaposlitve	Število doktorjev znanosti	Število magistrrov znanosti
- univerze in javni raziskovalni zavodi		
- gospodarstvo		
- javna uprava		
- drugo		
<b>Skupaj:</b>		

### 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca

Sodelovanje v programski skupini	Število
- raziskovalci-razvijalci iz podjetij	
- uveljavljeni raziskovalci iz tujine	
- podoktorandi iz tujine	
- študenti, doktorandi iz tujine	
<b>Skupaj:</b>	

### 13. Vključenost v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v letu 2010<sup>13</sup>

<p>RAZISKOVALNI PROGRAMI (PROJEKTI):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- FP-7; FP7 ENV-2007-1 Innovative technologies and services for sustainable water use in industries; Project Title: Sustainable Water Use in Chemical, Food, Paper and Textiles Industry, Fit-for-Use; Aquafit4use; prof.dr. Alenka Majcen Le Marechal</li> <li>- FP-7; NMP-2007-2.1.1-1 Nanostructured polymer-matrix composites; Project Title: Surface functionalization of cellulose matrices using coatings of functionalised polysaccharides with embedded nano-particles; Surfucell; prof.dr. Karin Stana Kleinschek</li> <li>- FP-7; FP7-People-2007-1-1-ITN ; Project Title: Shaping and Transformation in the</li> </ul>
--



- Engineering of Polysaccharides; Step; prof.dr. Karin Stana Kleinschek  
 - FP-7; Improved LCO2 cleaning for pliable (textile and leathers) and hard surfaces (medical devices, implants and fine metal parts); Accept ; doc. dr. Branko Neral  
 - FP-7; FP7 SME-2007-2; Project Title: Sustainable measures for industrial laundry expansion strategies: Smart laundry-2015; Smiles; prof.dr. Sonja Šostar Turk
- Eureka; E!4477; Combination of constructed Wetland and upgraded AOP reactor for the wastewater treatment in textile finishing industry - TT4TXT; prof.dr. Alenka Majcen Le Marechal  
 - Eureka; E!4952; Razvoj bioaktivne embalaže; Biopacking; doc.dr. Lidija Fras Zemljič  
 - Eureka; E!3654; Biodegradation of polymeric substrates; izr.prof.dr. Vanja Kokol  
 - Eureka; E!5851; Obnovljivi materiali iz perutninskega perja/Sustainable materials and products from poultry feather wastes; »FeVal«; izr.prof. dr. Simona Strnad
- MNT ERA-Net: 3211-07-000024 Vascular Graft Interfaces; prof.dr. Karin Stana Kleinschek  
 - MNT ERA-Net: 3211-08-000026 MANUNET – NANOWELL; izr.prof.dr. Vanja Kokol  
 - MATERA PLUS Era-Net: 3211-10-000369 Antimicrob peptides; izr.prof.dr. Vanja Kokol
- HUMAN-MB08-A: Encapsulation of photochromic dye and its grafting to textile ID-number of the proposal: (OTKA) -'MB08-A 80294'
- COST 3311-07-837002; Molecular structure-performance relationships at the surface of functional materials; prof.dr. Karin Stana Kleinschek
- SLO-Avstrija 1536-09G400040; Knowledge for business in border regions; KBB ; dr. Zdenka Peršin  
 - SLO-Hrvaška; BI-HR/09-10-011; Obdelava tekstilnih substratov z ultrazvokom za multifunkcijsko zaščito; prof.dr. Alenka Majcen Le Marechal  
 - SLO-Indija; BI-IN/10-12-004; Priprava tekstilnih filtrov za selektivno filtriranje odpadnih vod; prof.dr. Alenka Majcen Le Marechal  
 - SLO-Portugalska; BI-PT/10-11-004: Kontrola združevanja vodnih sistemov polimerov in površinsko aktivnih snovi s pomočjo ciklodekstrinov; prof.dr. Bojana Vončina  
 -SLO-Turčija; BI-TR/10-12-002: Priprava UV/VIS zaščitnih tekstilnih materialov s pomočjo mikro in nano enkapsuliranje fotokromnih barvil; prof.dr. Bojana Vončina

#### MEDNARODNO SODELOVANJE:

- Evropska tekstilna platforma:  
 a) Član Horizontalne skupine za izobraževanje – Alenka Majcen Le Marechal  
 b) Ekspert Evropske tekstilne tehnološke platforme / European Technology Platform For The Future Of Textiles And Clothing: Thematic Expert Group TEG 1: »New speciality fibres & fibres composites for innovative textile products« - Majda Sfiligoj Smole  
 c) Ekspert Evropske tekstilne tehnološke platforme / European Technology Platform For The Future Of Textiles And Clothing: Thematic Expert Group TEG 4: New textile products for human performance (medical, protective, sports) Horizontal Task Group HTG Innovation and Standards - Tatjana Kreže
- Evropska platforma za vode:  
 a) TWG3 (Technical Working Group Water and Industry), WSSTP (Water Supply and Sanitation Technology Platform) – Alenka Majcen Le Marechal  
 b) Pilot Advisory Group – PAG – Alenka Majcen Le Marechal
- Forest based products technology platform (FP-TP) - član znanstvenega odbora (Scientific Committee)« Value chain group "Specialties and New Products" - Karin Stana-Kleinschek;
- Član tehničnega komiteja CEN/TC 248 WG25 - Bojana Vončina
- Član evropske Tehnološke platforme TEG 2 - Alenka Majcen Le Marechal, Bojana Vončina
- AUTEX (združenje tekstilnih univerz), član vodstva - Alenka Majcen Le Marechal
- EWP (European Water Partnership) – Alenka Majcen Le Marechal
- Slovenian representative of MC (management committee) – Vanja Kokol
- Member in COST 868 (Biotechnical functionalisation of renewable polymeric materials) and COST FP0602 (Biotechnology for lignocellulose biorefineries) – Vanja Kokol

#### **14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v letu 2010 potekali izven financiranja ARRS<sup>14</sup>**

- FP-7; Workprogramme Topic addressed: FP7 ENV-2007-1: Innovative technologies and services for sustainable water use in industries; Project Title: Sustainable Water Use in Chemical, Food, Paper and Textiles Industry, Fit-for-Use; prof.dr. Alenka Majcen Le Marechal. Vključenih 35 partnerjev iz 15 evropskih držav, naš oddelek je odgovoren za tekstilni sektor. Vključeni sta tudi dve slovenski tekstilni podjetji (Tekstina, Svilanit) ter združenje slovenske tekstilne industrije IRSPIN. Cilj projekta je rešitev obdelave odpadnih vod v posameznem sektorju, prenos spoznanj iz enega v drugi sektor in maksimalno recikliranje obdelane vode.

- MUDRA Learning Network: Projekt je bil pripravljen v okviru programa sodelovanja flamske vlade/podjetij/izobraževalnih ustanov (Belgija) z državami/regijami srednje in vzhodne Evrope. Gre za 18-mesečno učno mrežo – predvsem za prenos znanja in izkušenj v mala in srednje velika tekstilna podjetja v Sloveniji in na Hrvaškem. Sodelujejo partnerji iz flamske gospodarske zbornice, Univerze v Gentu (Dept. of Textiles), Hrvaške gospodarske zbornice (Županije Varaždin), Univerze v Zagrebu (TTF), Mariborske razvojne agencije – Euro Info Centra Maribor, Področne gospodarske zbornice Murska Sobota in, seveda UM – FS/OTMO.

ARNUŠ, Suzana. Družbeni pomen kakovostne nege tekstilij. V: Posvetovanje o negi tekstilij v otroških vrtcih v okviru EU projekta SMILES : Terme Ptuj, 16. april 2010. Ljubljana: Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije, 2010, str. [1-5]. [COBISS.SI-ID 14184726]

ARNUŠ, Suzana. Certifikati kakovostne nege tekstilij RAL-GZ 992 : pridobivanje certifikatov in pomen ohranjanja higiene v pralnicah. V: Strokovno srečanje vzdrževalcev tekstilij, Otočec, 10. in 11. december 2010. Zbornik predavanj. Ljubljana: Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije, Sekcija vzdrževalcev tekstilij, 2010, [7] str. [COBISS.SI-ID 14733078]

NERAL, Branko, VONČINA, Bojana, MELE, Miro, ANTONČIČ, Matej. Študija razvoja ekološkega pralnega sredstva z nano-enkapsuliranimi dišavami : raziskovalno poročilo. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Inštitut za inženirske materiale in oblikovanje, 2010. 16 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 14801942]

#### **15. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanje v projektih okvirnih programov EU) v letu 2010<sup>15</sup>**

Vpetost v okvirne programe EU v letu 2010: 65.825,40 EUR (priloga 15)

#### **16. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010<sup>16</sup>**

Drugi projekti EU + druge aktivnosti: 54.624,40 (priloga 16).

#### **17. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu v letu 2010<sup>17</sup>**

V letu 2010 raziskovalni program ni prejel sredstev iz tega naslova.

#### **18. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi<sup>18</sup>**

Rezultati s področja raziskav na pilotnem nivoju v tekstilnih tovarnah Svilanit in Tekstina kažejo, da bi lahko uporabljene zehnologije implementirali v praksi za ponovno uporabo odpadne vode v procesih.



kompleksnih deformacij tkanin s poudarkom na njihovem obnašanju pri podajanju. Na podlagi temeljitejše raziskave in proučevanja obnašanja tkanin pri drapiranju je ugotovljeno, da izkazujejo tkanine kompleksno tridimenzionalno obliko, ki je neposredni odraz odziva tkanin na deformacijo. Specifična geometrija podajanja tkanin, tj. drapirane površine, je pogojena z anizotropnimi lastnostmi materiala, ki so odvisne tako od strukturnih kot konstrukcijskih parametrov tkanine ter vrste in načina plemenitenja, kar se neposredno odraža na parametre mehanskih lastnosti. Rezultati raziskave so pokazali, da smer vitja preje enakih konstrukcijskih parametrov neposredno vpliva na podajanje tkanin in to tako z vidika parametrov drapiranja kot geometrije drapirane oblike. Nastale spremembe v geometriji drapirane strukture se lahko pripišejo različni intenziteti trenja med vlakni v preji in prejami v tkanini.

V sklopu raziskav podajanja oblačil, njihovega pristajanja in 3D dinamičnih simulacij oblačil smo se osredotočili na raziskave in razvoj virtualno simuliranih računalniško skonstruiranih modelov oblačil. V ta namen so bile na podlagi materialnih parametrov, tj. mehanskih lastnosti uporabljenih tkanin izvedene simulacije 3D modelov oblačil z namenom ugotoviti vpliv posameznih parametrov mehanskih lastnosti na podajanje in doseči optimalno pristajanje oblačila. Za verifikacijo virtualno simuliranih računalniško skonstruiranih in modeliranih krojev so bili izdelani realni prototipi modelov oblačil. Primerjalna analiza je pokazala potrebo po dograditvi zasnove opisa materialnih parametrov oz. po opisu s pomočjo ustreznih reoloških modelov.

Tretji sklop raziskav je bil usmerjen v študij odnosa med snovnimi lastnostmi in posameznimi parametri toplotno fiziološkega udobja pri nošenju oblačil. Na podlagi eksperimentalnih raziskav študija snovnih lastnosti tkanin in njihovih sorbcijskih lastnosti smo ugotovili, da obstaja odvisnost med snovnimi karakteristikami tkanin in količino absorbiranega znoja v oblačilih ter toplotno fiziološkem udobjem pri nošenju oblačil. Dobljena spoznanja predstavljajo pomemben del podatkov pri snovanju načrtovane baze podatkov o toplotno fiziološkem udobju uporabnika. Istočasno pa bodo služila za razvoj in izvedbo numerične simulacije toplotno fiziološkega obnašanja tkanin pri različnih klimatskih pogojih, kot gradnih elementov oblačil.

ANG

Research work related to the research programme was based on continuation of research activities, carried out in the year 2009. It was designed as an upgrade of former theoretical and applied achievements and combined three areas:

- a) study of draping behavior of woven fabrics,
- b) survey of draping of garments, their fit and 3D dynamic simulation of clothes,
- c) research and development of a model for evaluation of thermo-physiological comfort related to wearing of apparel items.

Within the first area, the studies related to complex deformation of fabrics and their draping behaviour have been carried out. Based on extensive research and study of draping behaviour of fabrics it was established that fabrics have complex three-dimensional shape, which is a direct reflection of a fabric reaction against deformation. Specific geometry of a fabric drape is conditioned by anisotropic properties of textile materials depending on fibre type, kind, structures and construction of the yarn, fabric construction parameters, as well as on finishing, which directly influences the parameters of mechanical properties. Research results have shown that direction of twists in yarns of same constructional has a direct impact on fabric draping parameters as well as on geometry of draping area. Resulted changes in geometry of draping area can be assigned to differences related to friction between the fibres in a yarn and yarns in a fabric.

In the area of research related to draping of garments, their fit and 3D dynamic clothing simulation, we were focused on research and development of virtually constructed garment models. For this purpose, we carried out the simulations of 3D models of garments based on material parameters, i.e., mechanical properties of applied fabrics. The purpose was to study the influence of particular mechanical parameters on fabric draping and to achieve a perfect fit of a garment. Real prototypes of garments have been produced in order to verify the virtually simulated garments constructed and modelled using a CAD system. Comparative analysis has shown the need for additional research related to description of material parameters, resp. for application of suitable and reliable rheologic models.

The third area of research has been directed to study of relationship between material properties and different physiological parameters of thermal comfort in wearing of clothing. Based on experimental research related to material properties of fabrics and their sorption properties we have realised that there is interdependence between material characteristics of fabrics, quantity of absorbed sweat and thermal comfort. Achieved cognitions represent an important part of data needed for establishing a database about thermo-physiological comfort of a user of garments. At the same time, they will serve for the development and realisation of a numerical simulation of a thermo-physiological behaviour of fabrics, as parts of garments, in different climatic conditions.

### 3. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>3</sup>

#### 3.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>4</sup>

SLO

Raziskovalni rezultati programske skupine so podlaga za postavitev inženirskega koncepta na »znanju zasnovanih izdelkov«. Pri tem ne gre zgolj za rešitev problema, povezanega s simulacijo oblačil, ampak za razvoj znanosti, ki bo na visoki stopnji razumevanja omogočala realizacijo enega od najbolj tehnično iskanih področjih oblačilne znanosti in tehnologije. Pomemben prispevek za razvoj znanosti se pričakuje tudi na podlagi dobljenih teoretičnih spoznanj s področja študija odnosa med snovnimi lastnostmi tekstilnih materialov ter izmenjavo toplote in količino v oblačilo absorbirane vlage/znoja ter toplotno fiziološkim in ergonomskim udobjem človeka pri nošenju oblačil in s tega razvitih teorij.

Dobljena znanstvena spoznanja bodo prispevala k razvoju temeljnega znanja na področju oblačilnega inženirstva in fiziologije oblačil in so pomembna za razvoj znanosti v svetu. Pridobljena fundamentalna znanja in spoznanja bodo prispevala k razvoju inovativnih tekstilnih materialov s funkcionalnimi zahtevami kot tudi k razvoju novih konceptov razvoja visoko zmogljivih funkcionalnih oblačil, ali t.i. na znanju zasnovanih izdelkov, skupaj z razvojem potrebnih tehnologij.

ANG

The results of the research programme group are the basis for setting-up the engineering concept for 'knowledge-based products'. Not only the solution of the problem, related to the garment simulation will be achieved, but also further development of the textile science will be enabled. This will lead to the realisation of one of technically most wanted areas of clothing science and technology.

An important contribution to further development of the science is expected also from gained theoretical cognitions from the field related to the study of the relationship between the material properties of textile materials and heat transfer, as well as quantity of absorbed moisture/sweat and thermo-physiological and ergonomic comfort of a human being wearing different kinds of garments and thereof developed theories.

Achieved scientific cognitions will contribute to the development of fundamental knowledge in the area of clothing engineering and physiology of garments. Therefore, they can be evaluated as significant for development of the science in the world. Gained fundamental knowledge and cognitions will contribute to the development of innovative textile materials with functional requirements, resp. knowledge-based products, together with development of required technologies.

#### 3.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>5</sup>

SLO

Raziskovalni program, katerega vsebina raziskovanja je skoncentrirana na postavitev inženirskega koncepta projektiranja oblačil in/ali drugih tekstilnih izdelkov, ki zahtevajo definirane estetske, toplotne, fiziološke in/ali funkcijske lastnosti, tj. na znanju zasnovanih izdelkov, je pomemben tako za gospodarsko panogo, razvoj stroke kot inženirsko prakso. Prenos doseženih znanstvenih spoznanj v prakso bo omogočil inženirsko projektiranje in oblikovanje oblačilnega sistema ali drugih tekstilnih izdelkov kot sistemov, kakor tudi projektiranje multifunkcionalnih in/ali t. i. inteligentnih oblačil.

Tovrstne aplikacije bi lahko neposredno prispevale k inovativnosti in bi lahko na podlagi novih inženirskih konceptov projektiranja oblačil in/ali drugih tekstilnih izdelkov, ki zahtevajo

definirane funkcije, ob uporabi razvitih ustreznih metod in orodij privedle do transformiranja konvencionalne tehnologije v visoko zahtevno tehnologijo, kar je izrednega pomena za trajnostni družbeno-ekonomski razvoj slovenske oblačilne industrije.

Inženirsko projektiranje multifunkcionalnih in/ali t. i. inteligentnih oblačil je izrednega pomena še zlasti z vidika razvoja novih visoko zmogljivih funkcionalnih zaščitnih oblačil, ki so se izkazala kot nujna zaščita prebivalstva in delavcev v primeru naravnih katastrof, npr. katastrofe, ki so jih sprožili cunami ipd. Zadnja naravna katastrofa na Japonskem je sprožila valj zahtev po zagotavljanju učinkovitejše varnosti prebivalstva, s poudarkom na razvoju novih visoko učinkovitih zaščitnih oblačil.

Ker raziskovalni program vključuje definiranje vseh parametrov na področju oblačilnega inženirstva v globalnem pogledu, tj. od materiala kot vhodne surovine do oblačila ali drugega tekstilnega izdelka kot končnega izdelka skozi vse komponente sistema, vključujoč aspekt toplotno fiziološkega, mehanskega in ergonomskega udobja, je njegova realizacija neposrednega pomena tudi za širšo družbo in družbeno infrastrukturo.

ANG

The research programme, which research content is focused on setting-up the engineering concept for projection of garments and/or other textile products that require defined aesthetic, thermal and physiological and/or functional properties, i.e., knowledge-based products, is important for textile/clothing branch, development of the branch, as well as for the engineering praxis. The transfer of achieved scientific cognitions into the praxis will enable engineered projection and design of the clothing system or other textile products as systems, as well as projection of multifunctional and/or intelligent/smart garments.

This kind of application will directly contribute to innovativeness. Engineered concept of projection of garments and/or other textile products that require defined functions could, using developed appropriate methods and tools, result with transformation of conventional to high-tech technologies, which is of extreme importance for sustainable socio-economic development of the Slovenian clothing industry.

The research programme includes the definition of all the parameters in the area of clothing engineering in a global sense, i.e., from input textile materials up to the garment or other textile product as a final good throughout all of the components of the system. Since it also includes the aspects of thermo-physiological, mechanical and ergonomic comfort, the research programme and its realisation are of direct importance for wider society and for social infrastructure.

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### 4. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega programa<sup>6</sup>

Raziskovalno delo na področju raziskovalnega programa je temeljilo na kontinuiteti raziskovalnih aktivnosti, izvedenih v letu 2009. Kot nadgradnja teoretičnih in aplikativnih dosežkov je potekalo v treh povezanih sklopih, pomembnih za razvoj oblačilne znanosti in tehnologije. To so:

- a) študij obnašanja tkanin pri podajanju,
- b) raziskava podajanja oblačil, njihovega pristajanja in 3D dinamična simulacija oblačil,
- c) raziskava in razvoj modela za vrednotenje toplotno fiziološkega udobja pri nošenju oblačil.

Temeljni cilji tako zasnovanega programa so:

- 1) na podlagi poglobljenih teoretičnih raziskav kompleksnih deformacij tkanin pridobiti nova teoretična spoznanja, ki bodo kot znanstveno in inženirsko orodje služila za: (a) analizo in opis obnašanja tkanin pri podajanju, (b) izvedbo realne simulacije prototipov oblačil z uporabo postopkov virtualnega prototipiranja in (c) simulacijo kakovosti videza podajanja in pristajanja virtualnih prototipov oblačil;
- 2) oblikovati ustrezno bazo podatkov o toplotno fiziološkem in psihološkem udobju uporabnika, ki bo služila za razvoj modela za vrednotenje toplotno fiziološkega in psihološkega udobja uporabnika pri nošenju oblačil.

Pri tem je potrebno poudariti, da je realizacija raziskovalnega programa potekala v skladu z zastavljenimi cilji, vendar v zmanjšanem obsegu, kar je posledica zmanjšane obsega dela zaradi bistvenega skrčenja obsega financiranja (gl. tč. 5 Ocena stopnje realizacije zastavljenih

raziskovalnih ciljev).

Glede na zastavljene cilje so bile v okviru prvega sklopa raziskav izvedene obširnejše eksperimentalne raziskave kompleksnih deformacij tkanin s poudarkom na proučevanju njihovega obnašanja pri podajanju, kot odziva na nastalo deformacijo. Za ta namen so bile raziskane različne skupine tkanin, in sicer različne vrste tkanin (glede na surovinsko sestavo, vezavo, maso ter vrsto in način dodelave), namenjene za vrhnja ženska oblačila, tkanine izdelane iz preje enake finosti, vendar različne smeri vitja (tkanine, izdelane iz Z-vitih osnovnih in votkovnih niti, tkanine izdelane iz S-vitih osnovnih in votkovnih niti ter tkanine izdelane iz Z-vitih osnovnih in S-vitih votkovnih niti) ter tkanine, obdelane z različno encimsko obdelavo. Na podlagi temeljitejše raziskave in proučevanja obnašanja posameznih tkanin pri podajanju je ugotovljeno, da izkazujejo tkanine kompleksno tridimenzionalno obliko, ki je neposredni odraz odziva tkanin na deformacijo. Specifična geometrija podajanja tkanin, tj. drapirane površine, je pogojena z anizotropnimi lastnostmi materiala, ki so odvisne tako od strukturnih kot konstrukcijskih parametrov tkanine ter vrste in načina plemenitenja. Analiza rezultatov vpliva strukturnih in konstrukcijskih parametrov tkanin na parametre posameznih mehanskih lastnosti je pokazala, da se le te neposredno odražajo na parametre mehanskih lastnosti in se zrcalijo v različnih oblikah geometrije drapirane strukture. Tako je ugotovljeno, da smer vitja preje enakih konstrukcijskih parametrov (surovinske sestave, finosti, števila zavojev) neposredno vpliva na podajanje tkanin in to tako z vidika parametrov drapiranja (koeficient drapiranja, srednja, minimalna in maksimalna amplituda gub, število gub (parno/neparno) idr.), kot geometrije drapirane oblike. Nastale spremembe v geometriji drapirane strukture se lahko pripišejo različni intenziteti trenja med vlakni v preji in med prejo v vezavi tkanine. Ugotovljeno je, da se smer vitja preje zrcali v spremembi oblike histereznih krivulj, kar se odraža v spremembi geometrijske oblike deformacije. Analiza rezultatov je pokazala, da tkanine izdelane iz Z-vite preje (osnovnih in votkovnih niti) izkazujejo višje vrednosti upogibne in strižne togosti glede na tkanine, izdelane iz S-vite preje, medtem ko se vrednosti večina parametrov mehanskih lastnosti tkanin, izdelanih iz Z-vitih osnovnih in S-vitih votkovnih niti nahajajo vmes, razen parametrov strižnih lastnosti, ki pri tovrstnih tkaninah zavzemajo najnižje vrednosti. Dalje je ugotovljeno, da tkanine, izdelane iz Z-vitih osnovnih in S-vitih votkovnih niti posedujejo najnižje vrednosti koeficienta drapiranja, istočasno pa izkazujejo izrazito asimetrično geometrijsko obliko deformacije. Tkanine z asimetrično drapirano geometrijo, ki izkazujejo večinoma neparno število gub, posedujejo višje vrednosti globine gub glede na tkanine s simetrično drapirano geometrijo.

Zanimiva spoznanja so dobljena tudi na podlagi študija vpliva encimske obdelave tkanin na spremembo mehanskih lastnosti in njihovo podajanje. Z encimsko obdelavo in številom pranj narašča sposobnost drapiranja tkanin, kar se kaže v nižjih vrednostih koeficienta drapiranja. Nižje vrednosti koeficienta drapiranja so posledica spremembe notranjega trenja med vlakni v preji in med prejo v vezavi tkanine in s tem pogojene spremembe mehanskih lastnosti.

V sklopu raziskav podajanja oblačil, njihovega pristajanja in 3D dinamičnih simulacij oblačil smo se osredotočili na raziskave in razvoj virtualno simuliranih računalniško skonstruiranih modelov oblačil. Virtualno prototipiranje je pomembno tako pri razvoju modnih oblačil kot pri razvoju specialnih športnih in zaščitnih oblačil (na primer tekmovalnih kombinezonov smučarjev skakalcev, plavalcev, oblačila potapljačev ipd). V ta namen so bile na podlagi materialnih parametrov, tj. mehanskih lastnosti uporabljenih tkanin izvedene simulacije 3D modelov oblačil z namenom ugotoviti vpliv posameznih parametrov mehanskih lastnosti na podajanje in doseči optimalno pristajanje oblačila. Vzoredno so bile izvedene raziskave elastičnega obnašanja tkanin v področju nižjih obremenitev, ki nastopajo med procesi predelave ali med nošenjem oblačil. Čeprav so bile na tem področju izvedene številne študije in razvite merilne naprave za objektivno vrednotenje obnašanja tkanin pri nižjih obremenitvah, katerih parametri se uporabljajo za izvedbo računalniških simulacij in virtualno prototipiranje modelov oblačil, se zastavlja vprašanje ali so tovrstna vrednotenja elastičnega obnašanja tekstilnih struktur v območju elastičnih deformacij. Na podlagi študija histereznega obnašanja

tkanin med natezno obremenitvijo, toplotnih sprememb v tkanini pred in po natezni obremenitvi in digitalne analize deformacij in premikov izvedene s pomočjo Aramis sistema je ugotovljeno, da tkanine z nižjimi vrednostmi modula elastičnosti nudijo manjši upor proti nastalim obremenitvam, kar se odraža v višjih vrednostih specifičnih deformacij. Dobljena spoznanja indicirajo na dejstvo, da nastale deformacije analiziranih tkanin pri konstantni natezni obremenitvi, tj. pri obremenitvi 490,35 cN na enoto širine 1 cm preizkušanca, ki se uporablja pri KES-FB merilnem sistemu, pogosto niso v območju elastičnih deformacij, ampak segajo na področje, kjer prihaja do izraza več ali manj zadržana elastičnost ali nastopijo celo nepovratne deformacije.

Za verifikacijo virtualno simuliranih računalniško skonstruiranih in modeliranih krojev so bili izdelani realni prototipi modelov oblačil. Primerjalna analiza je pokazala potrebo po dograditvi zasnove opisa materialnih parametrov oz. po opisu materialnih lastnosti tkanin s pomočjo ustreznih reoloških modelov.

Tretji sklop raziskav je bil usmerjen v študij odnosa med snovnimi lastnostmi in posameznimi parametri toplotno fiziološkega udobja pri nošenju oblačil. Za ta namen smo nadaljevali z eksperimentalnimi raziskavami snovnih lastnosti tekstilnih materialov (konstrukcijskih parametrov, toplotnih lastnosti, sorpcijskih lastnosti, sposobnosti navzemanja vode, zračne prepustnosti) in biofizikalnimi analizami oblačil oziroma oblačilnih sistemov ter raziskavami toplotno fiziološkega udobja pri nošenju oblačil. Ker ima pri nošenju oblačil pomemben vpliv na občutek udobja transport vlage v oblačilo, je bil del raziskav usmerjen v študij vpliva sorpcijskih lastnosti tkanin na količino v oblačilu absorbiranega znoja. Znano je, da vlakna oziroma tekstilni materiali v odvisnosti od surovinske sestave in vrste obdelave vežejo manjšo ali večjo količino vlage iz okolice oziroma predajo vlago okolici, dokler ni doseženo ravnotežno stanje. Absorpcija vlage pa se ne nanaša le na odnos med vlago v vlaknu in okolici, ampak je povezana s fenomenom histereze, z učinki toplote, variiranjem vsebnosti vlage v vlaknu s temperaturo, vplivom vlage na fizikalne lastnosti in dejavniki, ki izhajajo iz interakcije med vlago in mehanskimi efekti tkanin v vlažnem oziroma mokrem stanju. Na podlagi eksperimentalnih raziskav študija snovnih lastnosti tkanin in njihovih sorpcijskih lastnosti smo ugotovili, da obstaja odvisnost med snovnimi karakteristikami tkanin in količino absorbiranega znoja v oblačilih ter toplotno fiziološkim udobjem pri nošenju oblačil. Dobljena spoznanja predstavljajo pomemben del podatkov pri snovanju načrtovane baze podatkov o toplotno fiziološkem udobju uporabnika. Istočasno pa bodo služila za razvoj in izvedbo numerične simulacije toplotno fiziološkega obnašanja tkanin pri različnih klimatskih pogojih, kot gradnih elementov oblačil. Obširnejša analiza vplivnih parametrov na toplotno udobje pri nošenju oblačil v toplem in/ali vročem okolju je privedla do spoznanja, da je za nadaljnje načrtovanje toplotno fiziološkega udobja pri nošenju oblačil pomemben klimatsko odvisni učinek snovnih lastnosti materialov. Ugotovljeno je, da hitrost gibanja zraka v toplem okolju vpliva na toplotno regulacijsko delovanje posameznih modelov oblačil, kar se neposredno odraža na toplotno fiziološko udobje pri nošenju oblačil v toplem okolju.

Z realizacijo podanega smo realizirali zastavljene cilje in aktivnosti posameznih sklopov raziskav, opredeljenih s terminskim planom, v prilagojenem obsegu glede na obseg financiranja.

## 5. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>Z</sup>

Realizacija raziskovalnega programa je potekala v skladu z zastavljenimi cilji, vendar v zmanjšanem obsegu. Zmanjšan obseg dela je posledica bistvenega skrčenja obsega financiranja (odobrenih 2.210 ur letno oz. 1.3 FTE) glede na načrtovano število raziskovalnih ur v prijavi raziskovalnega programa (3.967 ur).

Tako smo v letu 2010 v okviru raziskovalnega programa realizirali okoli 75 odstotkov načrtovanih aktivnosti in zastavljenih ciljev prvega in tretjega sklopa raziskav glede na



terminski plan, medtem ko smo v okviru drugega raziskovalnega sklopa realizirali okoli 40 odstotkov zastavljenih ciljev, kar je skladno z zmanjšanim obsegom financiranja raziskovalnega programa. Glede na naravo znanstveno-raziskovalnega dela in nadgradnjo rezultatov tega niso bile v okviru drugega raziskovalnega sklopa realizirane načrtovane aktivnosti, ki se nanašajo na vrednotenje videza moških suknjičev (sklop B; aktivnosti b, c, in d).

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>8</sup>

--

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>9</sup>

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Raziskava mehanike in karakteristik volnenih tkanin na podlagi objektivnih tehnik vrednotenja
		<i>ANG</i> Investigation of the mechanics and performance of woven fabrics using objective evaluation techniques
	Opis	<i>SLO</i> Raziskava obravnava študij mehanike in karakteristik volnenih tkanin na podlagi objektivnih tehnik vrednotenja, kjer sta za vrednotenje mehanskih lastnosti tkanin uporabljena KES-FB Auto in FAST sistem ter Cusick's Drape meter. Na podlagi rezultatov je ugotovljeno, da obstaja korelacija med parametri določenimi s pomočjo KES-FB Auto in FAST sistema, čeprav uporabljata različne principe merjenja. Dalje je na podlagi študija odnosa med parametri upogibnih in strižnih lastnosti in drapiranjem ugotovljeno, da je drapiranje tkanin odvisno predvsem od upogibnih in strižnih lastnosti tkanin.
		<i>ANG</i> In this study, mechanical and performance analyses of woven fabrics were carried out using objective evaluation techniques. The KES-FB Auto system, the FAST system and Cusick's Drape Meter were used to evaluate the mechanical properties of the fabrics. It was found that the KES-FB Auto and FAST systems have a good correlation between each parameter of mechanical properties, although they use different measurement principles. Furthermore it was found that the drape of a fabric is primarily dependent on the fabric's bending and shear properties.
	Objavljeno v	Tokmak, O., Berkalp, O. B., Geršak, J.: Investigation of the mechanics and performance of woven fabrics using objective evaluation techniques, <i>Fibres Text. East. Eur.</i> , 18 (2010) 2, 55-59, JCR
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
2.	Naslov	<i>SLO</i> Objektivno vrednotenje kakovosti denim tkanin obdelanih z encimi
		<i>ANG</i> Objective evaluation of the quality of enzyme-treated denim fabrics
	Opis	<i>SLO</i> V prispevku je raziskana kakovost in možnost objektivnega vrednotenja otipa denim tkanine, obdelane z encimi. Ugotovljeno je, da encimske obdelave kot so odškrobljenje in pranje denim tkanin izboljšajo vrednost otipa, tj. fleksibilnost in otip materiala.
		<i>ANG</i> The paper investigates the quality and possibility of objective evaluation of the handle of enzyme treated denim fabrics. It was found that the performed enzymatic desizing and washing of denim fabrics generally improve the overall hand value, i.e. flexibility and handle of material.
	Objavljeno v	Vujasinović, E., Geršak, J., Dragčević, Z.: Objektivno vrednovanje kvalitete denim tkanine obrađene enzimima. <i>Tekstil</i> , 59 (2010) 6, 228-244, JCR
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	<i>SLO</i> Vpliv fizikalnih in sorpcijskih lastnosti tkanin na količino v oblačilu absorbiranega znoja
		<i>ANG</i> Effect of physical and sorption properties of the fabric on the amount of hte absorbed sweat in the clothing

	Opis	SLO	Raziskan je vpliv fizikalnih in sorpcijskih lastnosti tkanina na količino v oblačilu absorbiranega znoja. V raziskavo je bilo vključenih pet po surovinskem sestavu različnih tkanin (lanena, bombažna, poliestrna in mešanice lan/PES in bombaž/PES), vendar približno enakih konstrukcijskih parametrov, namenjenih za ženska poletna oblačila. Cilj raziskave je bil je odkriti odvisnost med raziskanimi karakteristikami tkanin, kot so masa, zračna prepustnost, sposobnost zadrževanja vode in količine absorbiranega znoja v oblačilih.
		ANG	The paper explores the impact of physical and sorption properties of fabric on the amount of the absorbed sweat in clothing. For research five fabrics of different raw materials, but of the nearly identical structural characteristics (linen, cotton, polyester fabrics as well as fabrics made of line/PES and cotton/PES blends) were used to make women's summer clothing. The purpose of this study was to determine the appropriate relationship between the characteristics of fabrics, such as mass, air permeability, water retention capacity and amount of sweat absorbed in clothing.
	Objavljeno v	Grujić, D., Geršak, J.: Utjecaj fizikalnih i sorpcijskih svojstava tkanina na količinu upijenog znoja u odjeći. Tekstil, 59 (2010) 3, 68-79; JCR	
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
	COBISS.SI-ID		
4.	Naslov	SLO	Razvoj protoptia oblačil s pomočjo inovativne računalniške tehnologije
		ANG	Garments prototype development using an innovative computer technology
	Opis	SLO	Prispevek podaja sistematično implementacijo sodobnih računalniških tehnologij skozi segmente razvoja prototipa oblačila po meri. Glede na predhodno avtomatsko zajete mere telesa je bila izvedena prilagoditev parametričnega računalniškega modela telesa. Na podlagi materialnih parametrov, tj. mehanskih lastnosti uporabljenih tkanin je bila dalje izvedena simulacija 2D krojnih delov v 3D model oblačila z namenom doseči optimalno pristajanje oblačila. Za verifikacijo virtualno simuliranih računalniško skonstruiranih in modeliranih krojev so bili izdelani realni prototipi modelov oblačil.
		ANG	The paper presents the systematic implementation of sophisticated computer technologies through all segments of the prototype development of garment models according to individual body measurements. In line with the previously determined body measurements an adaptation of the parameter computer body model was made. By using material parameters on 2D cutting parts simulations of the 3D model of a garment were performed in order to test fit. In the final stage real prototypes were made for computer-simulated garment models in order to verify virtual simulated prototypes.
	Objavljeno v	Petрак, S., Glavica, B., Geršak, J., Mahnić, M., Rogale, D., Ujević, D.: Garments prototype development using an innovative computer technology. 5th International Textile, Clothing & Design Conference ITC&DC, October 3rd to October 6th, 2010, Dubrovnik, book of proceedings, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2010, 488-493	
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
	COBISS.SI-ID		
5.	Naslov	SLO	Študij elastičnega obnašanja tekstilnih struktur
		ANG	Study of elastic behaviour of textile structures
	Opis	SLO	Z vidika uporabnih lastnosti je pomembno elastično obnašanje tekstilnih struktur v področju nižjih obremenitev, ki nastopajo med procesi predelave ali med nošenjem oblačil, to je v področju elastičnih deformacij. Glede na to je v okviru prispevka predstavljena študija elastičnega obnašanja tekstilnih struktur. Rezultati raziskave indicirajo na dejstvo, da nastale deformacije tkanin pri konstantni natezni obremenitvi (490,35 cN na enoto širine 1 cm preizkušanca), segajo na področje, kjer prihaja do izraza več ali manj zadržana elastičnost ali celo nepovratne deformacije.
		ANG	From point of view of end-use properties, of special interest is the elastic behaviour of textile structures at lower stresses, such that occur in processing or garment wearing, as well as in the area of elastic deformations. For this purpose the paper presents a study of elastic behaviour of textile structures. The results show that the deformations occurring in tested fabrics at constant tensile load (490.35 cN per unit width of 1 cm) often do not fall in the area of elastic deformation but reach in the area where more or less residual deformation is evident, or irrecoverable

		deformation.
Objavljeno v		Geršak, J., Marčič, M.: Study of elastic behaviour of textile structures. 5th International Textile, Clothing & Design Conference ITC&DC, October 3rd to October 6th, 2010, Dubrovnik, book of proceedings, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2010, 588-593
Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		

## 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati programske skupine<sup>10</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	<p><i>SLO</i> Razvoj 3D prototipa konkurenčnega tekmovalnega kombinezona smučarja skakalca</p> <p><i>ANG</i> Development of a competitive 3D ski-jumper suit prototype</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Sodobne računalniške tehnologije omogočajo hiter in natančen razvoj prototipov oblačil z uporabo postopkov virtualnega prototipiranja. Velik potencial virtualnega prototipiranja je k razvoju te tehnologije spodbudil zanimanje podjetij, ki se ukvarjajo z računalniško grafiko in proizvajalce CAD sistemov za oblačilno industrijo. Virtualno prototipiranje je posebej pomembno pri razvoju specialnih športnih oblačil, na primer tekmovalnih kombinezonov smučarjev skakalcev. Izdelani virtualni prototipi omogočajo hitre modifikacije skladno s FIS pravili in učinkovit razvoj in simulacije kombinezonov.</p> <p><i>ANG</i> Up-to-date computer technologies enable expeditious and accurate development of garment prototypes by ensuring higher efficiency and accuracy of the virtual prototyping process, and become a topic of increasing interest of both computer graphics and computer-aided design for industrial fabric or apparel production. These technologies are especially important when a garment prototype should be developed for special purpose such as ski-jumper suit. The obtained virtual prototypes enable both fast re-modelling according to FIS rules and expeditious development and/or simulations of a jumpsuit.</p>
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	Rudolf, A., Jevšnik, S., Cupar, A., Pogačar, V., Stjepanović, Z.: Development of a competitive 3D ski-jumper suit prototype. V: International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Budapest, Hungary, 18-19th of November 2010. Budapest: Óbuda University, Sándor Rejtő Faculty of Light Industry and Environmental Engineering, 2010, 401-410
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	
2.	Naslov	<p><i>SLO</i> Član znanstvenega programskega odbora AUTEK research journal</p> <p><i>ANG</i> Member of Scientific Programming Board of AUTEK research journal</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Član znanstvenega programskega odbora AUTEK znanstvenega časopisa, tj. mednarodnega četrtletnega časopisa, ki je namenjen publikacijam teoretičnih in empiričnih znanstvenih raziskav na vseh področjih tekstilne znanosti, tehnologije, ekonomije in industrijske dejavnosti.</p> <p><i>ANG</i> Member of Scientific Programming Board of AUTEK research journal : an international quarterly journal devoted to the publication of theoretical and empirical scientific research work in all areas of textile science, technology, economics and industrial policy</p>
	Šifra	Članstvo v uredniškem odboru
	Objavljeno v	AUTEK research journal. Geršak, Jelka (član uredniškega odbora 2009, 2010). [Print ed.]. Łódź: AUTEK: Faculty of textile engineering and marketing, 1999-. ISSN 1470-9589. <a href="http://www.autexrj.com/">http://www.autexrj.com/</a> .
	Tipologija	Bibliografija
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	<p><i>SLO</i> Objektivno vrednovanje tekstila i odjeće</p> <p><i>ANG</i> Objective Evaluation of Textiles and Clothing</p>
		Gostujoča predavanja, ki so bila namenjena transferu specifičnih znanj iz

Opis	SLO	mehanike tekstilij pri nižjih obremenitvah, katere so pomembne za obnašanje tkanin med procesi izdelave in uporabe, so obsegala tematiko mehanskih in fizikalnih lastnosti tkanin pri nižjih obremenitvah in njihovo vlogo pri inženirskem načrtovanju in oblikovanju tekstilnih izdelkov. Otip tekstilij kot kriterij kakovosti. Objektivno vrednotenje mehanskih in fizikalnih lastnosti tekstilij in usnja. Vpliv mehanskih lastnosti tkanin na transformacijo iz 2D v 3D obliko, zagotavljanje kakovosti in napovedovanje videza oblačil.
	ANG	Guest lectures can be treated as transfers of specific knowledge of textile mechanics at lower loads, which are important for behaviour of fabrics during manufacturing processes and use of garments. The topics included: Mechanical properties of fabrics and their role in engineering design and evaluation of textiles and clothing, Fabric handle as criterion of quality, Objective evaluation of mechanical and physical properties of textiles and leather, Influence of mechanical properties of fabrics on transformation from 2D to 3D shape and Quality assurance and prediction of garment appearance.
Šifra	Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi	
Objavljeno v	GERŠAK, Jelka. Objective evaluation of textiles and clothing : 24 hours of teaching, CEEPUS mobility, Faculty of Textile Technology of the University of Zagreb from 01.11.2010 to 30.11.2010. Zagreb, 2010	
Tipologija	Bibliografija	
COBISS.SI-ID		
4. Naslov	SLO	Vpliv snovnih lastnosti tkanin na toplotno fiziološko udobje oblačil
	ANG	Influence of fabric properties on thermal physiological comfort of clothing
Opis	SLO	V disertaciji je obravnavan študij vpliva snovnih lastnosti tkanin za letna ženska oblačila na toplotno fiziološko udobje pri nošenju v toplem okolju, ki ustreza visokim letnim temperaturam. Na podlagi obširnih eksperimentalnih raziskav udobja pri nošenju je na podlagi spremembe treh fizioloških parametrov: ponderirane temperature kože, srčne frekvence in količine evaporiranega znoja oziroma vlažnosti kože in količine akumuliranega znoja v oblačilih ugotovljeno, da snovne lastnosti tkanin neposredno vplivajo na toplotno-fiziološko udobje pri nošenju.
	ANG	Doctoral degree thesis deals with study of material properties of woven fabrics for summer women's clothing on thermo-physiological comfort in warm environment, which corresponds to high summer temperatures. Extensive experimental research on wearing comfort based on change of three physiological parameters: weighted skin temperature, heart rate frequency, quantity of evaporated sweat, resp. skin moisture and volume of sweat accumulated in clothing shown, that the material properties of textile fabrics built-in the clothing directly affected thermo-physiological comfort of wearer of garments.
Šifra	Mentorstvo doktorandom	
Objavljeno v	GRUJIĆ, Dragana. Vpliv snovnih lastnosti tkanin na toplotno fiziološko udobje oblačil = Uticaj svojstava materijala na toplotno fiziološko udobnost odjeće : doktorska disertacija. [Maribor: D. Grujić, 2010. XIV, 379 str., ilustr., tabele. <a href="http://dkum.uni-mb.si/Dokument.php?id=13846">http://dkum.uni-mb.si/Dokument.php?id=13846</a> .	
Tipologija	Doktorska disertacija	
COBISS.SI-ID		
5. Naslov	SLO	Inteligentna funkcionalna oblačila za zagotavljanje višje stopnje varnosti človeka
	ANG	Intelligent functional garments for ensuring higher level of safety of a human being
Opis	SLO	Inteligentna funkcionalna oblačila za zagotavljanje višje stopnje varnosti človeka so zasnovana na modularnem principu. Osnova je inteligentni funkcionalni jopič z ustreznimi konstrukcijskimi rešitvami glede na funkcijo zaščite, ki rešujejo, v primeru poškodbe uporabnika, problem enostavnega in učinkovitega zaznavanja in odkrivanja lokacije poškodb na telesu ter mesta, kjer se nahaja in te podatke brezžično posreduje v zbirni informacijski center. Njihovo delovanje izvajata in upravljata senzorski sistem in sistem za zajemanje, shranjevanje in vrednotenje signalov.
	ANG	Intelligent functional garments for ensuring higher level of safety of a human being are based on a modular basis. The main part is a functional jacket with intelligent design solutions according to a certain protective function. In the event of injury of the user, they solve the problems of a simple and effective detection of injury and its location on the body as well

	as the place where the user is located. The information is communicated wirelessly to the cumulative information centre. The system involves the sensor system and a system for capturing, storing and evaluating of the signals.
Šifra	Razvoj novega izdelka
Objavljeno v	GERŠAK, Jelka. Inteligentna funkcionalna oblačila za zagotavljanje višje stopnje varnosti človeka : inovacija, prijava ideje, 5. Slovenski forum inovacij. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2010. 1 mapa (loč. pag.). [COBISS.SI-ID 14667798]
Tipologija	Elaborat, predštudija, študija
COBISS.SI-ID	

## 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>11</sup>

Stjepanovič, Z.: Guidelines and standards : invited lecture in the frame of FH-MagStG Systems Design at the Carinthia University of Applied Sciences, Villach, Austria in the summer semester 2010 (face-to face lectures and e-learning, together 34 learning units carried out in May and June 2010). Villach, 2010. [COBISS.SI-ID 14482454]

## 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov<sup>12</sup>

Vrsta izobraževanja	Število mentorstev	Od tega mladih raziskovalcev
- znanstveni magisterij		
- doktorat znanosti		
<b>Skupaj:</b>		

## 11. Zaposlitev vzgojenih kadrov po usposabljanju

Organizacija zaposlitve	Število doktorjev znanosti	Število magistrov znanosti
- univerze in javni raziskovalni zavodi		
- gospodarstvo		
- javna uprava		
- drugo		
<b>Skupaj:</b>		

## 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca

Sodelovanje v programski skupini	Število
- raziskovalci-razvijalci iz podjetij	
- uveljavljeni raziskovalci iz tujine	
- podoktorandi iz tujine	
- študenti, doktorandi iz tujine	
<b>Skupaj:</b>	

### **13. Vključenost v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v letu 2010<sup>13</sup>**

3D Modeling of Human Body and Integrating Human Dimensions into Products; BI-HU/10-11-007 (slovensko-madžarski znanstveno raziskovalni projekt); vodja slovenskega raziskovalnega tima: red. prof. dr. Jelka Geršak

Development of Functional Clothing Based on Nanotechnology; BI-HR/10-11-001 (Slovenko hrvaški bilateralni znanstveni projekt); vodja slovenskega raziskovalnega tima: red. prof. dr. Jelka Geršak

Development of Clothing for Extreme Cold Environment; BI-IN/10-12-006 (Slovenko-indijski bilateralni znanstveni projekt); vodja slovenskega raziskovalnega tima: red. prof. dr. Jelka Geršak

Design and Development of Multifunctional Protective Clothing; CEEPUS network CII-SI-0217-00-1011; glavni koordinator: red. prof. dr. Jelka Geršak

Innovation Transfer in Textiles, AGREEMENT n° 2006 UK/06/B/F/PP-162\_534, Leonardo da Vinci Education and Culture Programme. Trajanje projekta: 24 mesecev; pričetek: 1. 10. 2008. Nosilec projekta: Klitra Ltd., Nottingham, UK. Koordinator slovenskega dela raziskovalnega tima:izr.prof. dr. Zoran Stjepanovič.

eLiTA (e-Learning in Textiles and Apparel), Leonardo da Vinci Community action programme on vocational training, št. projekta 2008-1-GB2-LEO05-00214, koordinator slovenskega dela raziskovalnega tima:izr.prof. dr. Zoran Stjepanovič

### **14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v letu 2010 potekali izven financiranja ARRS<sup>14</sup>**

Prenova celostne grafične podobe Univerze v Mariboru; nosilec projekta: doc. dr. Gabrijele Fužir Bauer

Preizkušanje toplotnih črpalk za ogrevanje sanitarne vode po zahtevah SIST EN 255-3:2001+AC:2001; nosilec: red.prof. dr. Milan Marčič & red.prof. dr. Jelka Geršak

### **15. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanje v projektih okvirnih programov EU) v letu 2010<sup>15</sup>**

Raziskovalci raziskovalne skupine v letu 2010 niso bili vključeni v projekte okvirnih programov EU, saj so aktivno delovali v okviru treh bilateralnih projektov ter dveh projektov Leonardo da Vinci.

### **16. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010<sup>16</sup>**

Dodatna sredstva, pridobljena na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010 so bila porabljena v skladu z ARRS klasifikacijo o razdelitvi finančnih sredstev.

### **17. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu v letu 2010<sup>17</sup>**

V letu 2010 ni bilo pridobljeno dodatno sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu.

---

## 18. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi<sup>18</sup>

Do sedaj dobljeni rezultati programa izkazujejo glede na zastavljene cilje določeno stopnjo tehnološke zrelosti za implementacijo v praksi, čeprav so še vedno parcialnega značaja (saj gre za realizacijo dvoletnega raziskovanja). Najvišja raven tehnološke zrelosti rezultatov se kaže predvsem na področju dobljenih rezultatov poznavanja obnašanja tkanin pri podajanju in izvedenih računalniških simulacijah. Izredno pomembna pa so tudi spoznanja o elastičnem obnašanju ploskih tekstilij, saj do sedaj dobljeni rezultati kažejo, da so meje elastičnosti višje, kot jih uporabljajo standardne metode tehnologij objektivnega vrednotenja mehanskih lastnosti ploskih tekstilij.

Glede na dosedanje rezultate pričakujemo, da bodo z realizacijo programa doseženi pogoji tehnološke zrelosti rezultatov za njihovo realno implementacijo v prakso.

# LETNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA V LETU 2010

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P1-0112															
Naslov programa	Raziskave atomov, molekul in struktur s fotoni in delci															
Vodja programa	11854 Matjaž Žitnik															
Obseg raziskovalnih ur	skupaj: 44.200	od tega v letu 2010: 8.840														
Cenovni razred	D															
Trajanje programa	01.2009 - 12.2013															
Izvajalci programa (raziskovalne organizacije in/ali koncesionarji)	<table border="1"> <tr> <td>106</td> <td>Institut "Jožef Stefan"</td> </tr> <tr> <td>795</td> <td>Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo</td> </tr> <tr> <td>1540</td> <td>Univerza v Novi Gorici</td> </tr> <tr> <td>1554</td> <td>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>		106	Institut "Jožef Stefan"	795	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo	1540	Univerza v Novi Gorici	1554	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko						
106	Institut "Jožef Stefan"															
795	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo															
1540	Univerza v Novi Gorici															
1554	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko															
Družbeno-ekonomski cilj	13. Splošni napredek znanja - RiR financiran iz drugih virov (ne iz splošnih univerzitetnih fondov - SUF)															

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

Šifra	13.01
Naziv	Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

#### 2. Povzetek<sup>2</sup>

SLO

Raziskovalni program preučuje fizikalne pojave pri nizkih energijah in za vzbujanje tarč uporablja žarke elektronov, atomov, ionov ter (sinhrotronsko) svetlobo. Vpadne energije projektilov so na območju od nekaj meV (helijevi atomi), eV-keV (svetloba), pa do nekaj MeV (ioni). Naša pozornost velja preučevanju in pridobivanju spektroskopskih podatkov, ki razkrivajo obnašanje osnovnih kvantnih sistemov (atomi in enostavne molekule), s katerimi je na višjem nivoju mogoče izboljšati zanesljivost strukturnih analiz. Lep primer prvega je modeliranje večfotonskih procesov v močnih zunanjih poljih (FEL), drugi pristop pa dobro ilustrira poskus, pri katerem smo izmerili absorpcijo atomov cezija v bližini pragu L: zaradi prekrivanja je poznavanje spektralnih prispevkov, ki izvirajo iz posamičnih atomov cezija bistveno za verodostojnost strukturnih analiz, s katerimi potem določamo okolico atomov cezija v realnih vzorcih. Pri naših raziskavah, ki jih izvajamo doma, v glavnem v Mikroanalitskem Centru IJS, ter na tujem, v glavnem v različnih evropskih sinhrotronskih centrih (HASYLAB, ESRF, ELETTRA, BESSY, SOLEIL), uporabljamo moderne merilne tehnike in sodelujemo pri njihovem razvoju. Posebnosti, pri katerih se kaže naša instrumentalna prednost, so visokoločljivostna spektrometrija rentgenskih žarkov, absorpcijska spektroskopija specialnih vzorcev, vibracijska spektroskopija vodika, Moessbauerjeva spektroskopija ter mapiranje vzorcev z ionskim mikrožarkom. To dokazuje naša vpetost v meritve RIXS na eni najsvetlejših rentgenskih žarkovnih linij na sinhrotronu ESRF v Grenoblu, izjemno pestre in pogoste aplikacije absorpcijskih meritev XANES in EXAFS za analize najrazličnejših materialov s sinhrotronsko svetlobo, razmah aktivnosti v zvezi s študijem interakcije vodika s površinami, meritve hiperfinih polj pri karakterizaciji modernih materialov ter tematski sklop mikro-PIXE mapiranje z ionskim žarkom, kjer prednjačijo analize bioloških vzorcev. Ukvarjamo se tudi s fiziko površin, predvsem s pojavi pri sklopitvi tankih plasti organskega materiala s kovinami, ki zahtevajo posebna znanja pri obvladovanju vzorcev ter implementaciji raznih tehnik vzbujanja s sinhrotronsko svetlobo ter curkom helijevih atomov. Velik del naših raziskav ima interdisciplinaren značaj. Poudariti želimo našo vpetost v slovenski in mednarodni



raziskovalni prostor: poleg tega, da izvajamo strukturne analize za veliko domačih uporabnikov (med drugimi tudi za tiste iz centrov odličnosti) na domači in tuji infrastrukturi, kjer se zahteva pisanje kompetitivnih projektov, priteguje naš razvoj analitskih tehnik tudi tuje uporabnike, ki se v zadnjem času pogosteje zanimajo za meritve z ionskimi žarki v Mikroanalitskem centru, predvsem v okviru evropske mreže ionskih pospeševalnikov SPIRIT.

ANG

The research program deals with studies of physical phenomena at low energies, starting from helium atom surface scattering at a few meV, the electron and photon excitation at energies ranging from a few eV to a few tens of keV, and the target bombardment with protons at energies up to 3 MeV. Our attention is directed towards fundamental quantum processes that drive more complicated reactions and towards accumulation of basic spectroscopic data which is required at the higher level to improve accuracy of structural analysis in the case of real life samples. An example of the first is our modeling of multi-photon multi-electron excitation processes occurring in the intense external fields (FEL) and the second is well illustrated by our experiment dealing with "atomic" absorption of cesium: due to the spectral overlap the knowledge of features pertaining to isolated cesium atom (collective excitations) is essential to claim the accuracy of structural analysis which aims to uncover local environment of cesium in different materials. Our research is performed at home, mostly at JSI Microanalytical Center, and abroad at various synchrotron centres across the Europe (DESSY, BESSY, ESRF, SOLEIL, ELETTRA). We employ modern analytical techniques and contribute to their development. At the moment we have an instrumental advantage in high resolution x-ray spectroscopy, skills to perform the most accurate photoabsorption measurements, a dedicated apparatus for spectroscopy of vibrationally excited hydrogen molecules, the Moessbauer spectrometer and the end station for elemental mapping with the ion microbeam. This status is confirmed by our frequent engagement at one of the brightest x-ray beamlines at ESRF in Grenoble (despite the fact that Slovenia is not a member state of ESRF), an increased number of studies related to hydrogen interaction with materials, an importance of hyperfine fields measurements of iron containing modern materials and an increased interest for biological sample mapping. Our expertise encompass elaboration of special absorption cells and we have a reputation as a reference for widely used structural analysis EXAFS and XANES. We also deal with surface physics which requires special knowledge of sample preparation and control as well as implementation of different techniques with synchrotron light and helium atom scattering. A large part of our activity consists of interdisciplinary research. We wish to emphasize our strong connections with the Slovenian and the international research environment: besides providing structural analysis for a plethora of domestic researchers at home and at foreign infrastructures, where submission of the competitive projects is a must, our domestic development of ion beam analytical methods at accelerator facility is attracting also foreign researchers with their own projects proposed, mostly in the frame of the European network SPIRIT.

### 3. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>3</sup>

#### 3.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>4</sup>

SLO

V letu 2010 smo objavili neposreden eksperimentalni dokaz o mešanju spin-tir v dvojno vzbujenih stanjih helija. Podrobno smo poročali o analizi meritev resonantnih Augerjevih spektrov pri vzbujanju argona z elektroni: pokazali smo, kako pri vzbujanju z elektroni relativno nizkih energij resonantni Augerjev proces poteka preko vzbujenih stanj  $[2p_{3/2}]4s$  in  $[2p_{3/2}]4p$  z različnimi vrednostmi vrtilne količine. Interpretirali smo rezultate dvobarvnega poskusa, pri katerem so izmerili kotno porazdelitev fotoelektronov, izbitih iz atomov neona preko vmesnega stanja  $[2p_5]3d$ . V letu 2010 smo sodelovali pri modeliranju prve dvofotonske vzbuditve elektronov v notranji lupini  $3d$  v Kr s svetlobo laserja na proste elektrone FLASH. Na področju visokoločljivostne rentgenske spektroskopije smo študirali preproste molekule, ki vsebujejo Cl in S. Objavili smo prve dokaze o interferenci pri neelastičnem resonantnem sipanju rentgenske svetlobe na HCl ter poskrbeli za kvalitetno eksperimentalno podlago pri objavah rezultatov strukturnih analiz RIXS za S vezano v različnih materialih (steklo, prst). Nepogrešljive so bile naše strukturne analize XANES in EXAFS novih mezoporoznih katalizatorjev, dopiranih s prehodnimi kovinami Ti, Mn, Fe, Ni in Zn, feroelektričnih materialov  $K(\text{Ta}, \text{Nb})\text{O}_3$  in tankih plasti  $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$  na substratu Pt, Li-ionskih baterij z novimi nanostrukturnimi katodnimi materiali iz litijevega železovega silikata ( $\text{Li}_2\text{Fe}_0.9\text{Si}_0.9\text{P}_0.1\text{O}_4$ ) in litijevega vanadijevega titanata ter tkiv rastlin, ki hiperakumulirajo Cd, Zn in nanodelce CuO. Objavili smo tudi izjemno podrobna fotoabsorpcijska spektra atomarnega cezija in ksenona na območju robov L. Na področju fizike površin smo preučevali univerzalne mehanizme medmolekulskega prepoznavanja aminokislinskih molekul L-tyrosine in L-methionine na površinah Au in Ag, ki poteka preko zwitterionske sklopitve. Z metodo rentgenske resonančne fotoemisije smo proučevali ultrahitro dinamiko prenosa naboja ob hibridnem stiku BDA/Au in določili molekulske orbitale, ki formirajo preferenčne kanale za hiter transport naboja na kovinsko podlago. Preučili smo morfološke lastnosti ultratankih filmov odlučene grafa in proučili naravo njegove dvodimenzionalne nagubanosti. V letu 2010 smo začeli s podrobno raziskavo interakcije manjših molekul ogljikovodika ( $\text{C}_2\text{H}_4$  in  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) z vročo površino volframa, kjer smo prvič opazili tvorbo vibracijsko vzbujenih molekul vodika zaradi disociacije molekul. V okviru teme doktorske disertacije smo opazovali tvorbo vibracijsko vzbujenih molekul vodika pri direktni izpostavitvi površine volframa curku atomov vodika. Določili smo absolutno vrednost preseka za elastično sipanje  $^7\text{Li}$  na D, kar omogoča meritve absolutnih vrednosti koncentracij devterija na površinah. V sodelovanju z JPL (ZDA) smo objavili rezultate in analizo

meritev absolutnih sipalnih presekov za ione Fe+q na CO in CO<sub>2</sub>, ki so pomembni vhodni podatki za astrofiziko. Na področju raziskav z ionskimi žarki smo v letu 2010 konstruirali in uspešno pognali nov spektrometer za konfokalno spektroskopijo PIXE in v sodelovanju s proizvajalcem preizkusili več tipov rentgenskih polikapilarnih leč. Zelo uspešno smo nadaljevali z raziskavo na področju nanotoksikologije. Pokazali smo, da se ob izpostavitvi srebrovim nanodelcem v organizmu suhozemnega rakca *Porcellio Scaber* kopiči srebro. V sodelovanju z Univerzo v Leobnu smo preučevali vodikove koncentracijske profile v diamantu podobnih tankih amorfnih plasteh ogljika.

ANG

We have published a direct experimental evidence of the spin-orbit mixing in doubly excited states of helium. A detailed analysis of the resonant Auger L-MM spectra was presented to show how the decay proceeds through Ar[2p<sub>3/2</sub>]<sup>4</sup>s and Ar[2p<sub>3/2</sub>]<sup>4</sup>p states with various values of angular momentum when the electron impact energy is low. We have interpreted angular dependent photoelectron yield acquired upon two-color excitation of neon via the [2p<sub>5</sub>]<sup>3</sup>d intermediate states. We contributed the model spectra for the free-electron-laser experiment at FLASH where the signature of the two-photon excitation of the 3d electron in neon was observed in the photoelectron spectra. By the JSI high resolution x-ray spectrometer the resonant inelastic x-ray scattering (RIXS) was recorded for CS<sub>2</sub>, OCS, SOCl<sub>2</sub> and CH<sub>3</sub>Cl molecules in the Cl K-edge region. The analysis of RIXS measurements of HCl was published to show the importance of interference effects in the x-ray region. We demonstrated that under certain conditions detection limits obtained by high resolution x-ray spectroscopy importantly surpass detection limits obtainable by the usual low resolution spectroscopy. Our EXAFS and XANES analysis was indispensable for structure studies of new mesoporous catalysts, doped with transition metals Ti, Mn, Fe, Ni and Zn, for ferroelectric materials K(Ta,Nb)O<sub>3</sub>, for CaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub> thin layers on Pt substrate, for Li-ion batteries with Li-Fe silicate and Li-V titanate and for Cd, Zn, and CuO nanoparticles in the hyper-accumulating plants. In surface studies we focus on the universality of mechanisms for molecular recognition and self-assembling of archetypal biomolecules such as L-tyrosine and L-methionine aminoacids, UHV deposited on Ag and Au substrates. We have also studied ultrafast charge transfer properties at the hybrid BDA/Au interface and determined the molecular orbitals that favour fast electron delocalization to the substrate. We characterized corrugation over nm length scales in SiO<sub>2</sub>-supported and freely suspended exfoliated graphene. In multiferroic materials we investigated the nature of magnetic ordering by studying the samples with Mössbauer spectroscopy in external magnetic fields. The local electronic and structural properties of K<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub>Fe<sub>3</sub>F<sub>15</sub> have been studied. The system has been found to be isostructural with ferroelectric and weakly ferrimagnetic K<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>F<sub>15</sub> above the ferroelectric transition temperature T<sub>c</sub>. A detailed study of the interaction of small hydrocarbons (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> in C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) with hot tungsten was initiated that leads to production of vibrationally excited molecules. We have measured vibrational distribution of hydrogen molecules interacting with W, Cu and C surfaces. The absolute scattering cross sections for <sup>7</sup>Li on D were determined in order to put the deuterium surface concentrations from ERDA onto the absolute scale. In collaboration with JPL (USA) we have published the absolute cross sections for Fe+q scattering on CO and CO<sub>2</sub> that serves as an input data for astrophysics models. Concerning the ion beam experiments attention was devoted to further development of the confocal x-ray spectroscopy: we have put into use a new spectrometer and tested several types of x-ray polycapillary lenses. Very successful were our studies in the field of nanotoxicology: we have shown that upon the exposure to silver nanoparticles the organism of cancer *Porcellio Scaber* accumulates silver. With the micro-NRA method we have continued the studies about deposition of the fusion fuel in slits of the fusion reactor walls Tore Supra and rejected the results of other Labs that showed increased fuel concentration at the slit ends. We have investigated properties of thin layers with ERDA and RBS methods in collaboration with University in Leoben and investigated concentration profiles of hydrogen in diamond-like thin amorphous carbon layers.

### 3.2. Pomen za razvoj Slovenije <sup>5</sup>

SLO

Program skrbi za razvoj znanosti in naprednih metod ter njihovo implementacijo na pomembnem področju fizike nizkih energij, ki vključuje raziskave z VUV in rentgensko svetlobo ter z elektronskimi in ionskimi žarki. Ta ekspertiza je na voljo za interdisciplinarne raziskave, ki jih izvajamo skupaj z mnogimi domačimi laboratoriji. Poleg tega, da so naši člani nosilci dela z ionskimi žarki v domačem Mikroanalitskem Centru, smo povezani s tujimi laboratoriji, predvsem s sinhrotronskimi centri, kjer se opira veliko novih možnosti za implementacijo domačih raziskovalnih idej. Ves čas že dokazujemo, da imamo realne možnosti za pridobitev merilnega časa v teh centrih s kompetitivno pripravljenimi projekti, s tem pa praktično omogočamo domačim raziskovalcem dostop do tovrstne tuje raziskovalne infrastrukture. Izobražujemo mlade raziskovalce in vpeti smo v pedagoške procese na Univerzah v Novi Gorici, Ljubljani in Mariboru. Pripravljamo javna predavanja ter publikacije za nestrokovnjake ter skrbimo za javno dostopno bazo s podatki iz strukturnih analiz. Aktivni smo pri raziskovanju okoljevarstvene problematike, predvsem na področju onesnaževanja zraka s prašnimi delci, študiju procesov, ki so jim podvržene toksične snovi v zemlji, ter mehanizmov odzemanja teh snovi s strani rastlin. V letu 2010 so lokalno pomembne na primer raziskave rečnih sedimentov iz porečja reke Kolpe, kjer smo uporabili Mössbauerjevo spektroskopijo za določanje koordinacije Al in razmerja med Fe<sup>2+</sup> in Fe<sup>3+</sup>. Med drugim smo izmerili spektre in naredili analize XANES in EXAFS za vzorce železozalnih črnih v historičnih rokopisih iz srede 19. stoletja in zelenih pigmentov malahit in verdigris, ki sta se pogosto uporabljala v slikarskih tehnikah, na dokumentih, ki jih hranijo v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani. Rezultati so pomembni za izbiro ustreznih restavratorskih postopkov. Dokončali smo tudi raziskave elementnih porazdelitev s protonskim mikrožarkom v zrnu ajde, ter XRF študije vzorcev medu nabranih v Sloveniji. V okviru projekta 7. OP EU »SPIRIT« ([www.spirit-ion.eu](http://www.spirit-ion.eu)) smo zagotavljali mednarodni dostop raziskovalcem iz evropskega raziskovalnega prostora na področju elementnega mapiranja bioloških tkiv in analize geoloških vzorcev z metodo mikro-PIXE. Visoka kvaliteta opreme in ekspertiza naših raziskovalcev pri uporabi analitičnih metod z ionskimi žarki sta zagotovo pogoja, ki prispevata k povečanemu zanimanju tujih raziskovalcev za opravljanje poskusov pri nas. V letu 2010 smo skupaj z domačo firmo Instrumentation Technology d.d. nadaljevali sodelovanje pri razvoju instrumentacije ter metod na področju digitalnega procesiranja, ki odpira možnosti bolj učinkovitejšega zajemanja podatkov iz polvodniških detektorjev.

The research program takes the care of the progress of the basic science and for advancement of scientific methods and their implementation in an important field of low-energy physics with VUV and x-rays, as well as electron and ion beams interacting with the matter. The expertise is available for the interdisciplinary research which is a common point for collaboration with people from many different domestic institutions. Besides the fact that our members are the key persons working at the only Slovenian accelerator research centre, we are very well connected with foreign labs, mainly with synchrotron centres across Europe offering their many possibilities for the realization of domestic research ideas. As we are continuously proving, we are able to gain the beamtime in such centres by competitively written projects that are effectively used as a link between the domestic researchers from other fields of research and the foreign research infrastructure. We are training young researchers and actively participate in teaching activities at the Universities of Nova Gorica, Ljubljana and Maribor. We disseminate the methods and principles of our field in public lectures or publications for non-experts and build public databases with structural analysis data. We are active in the environmental research, especially in the field of air pollution by aerosol particles, in the studies of types and reactions involving toxic substances in the soil as well as their uptake by plants. For example, in the year 2010 the locally important is our research of river sediments in the area of Kolpa river where the Mössbauer spectroscopy was used for determination of Al coordination and Fe<sup>2+</sup> versus Fe<sup>3+</sup> concentration ratio. The Fe and Cu XAFS spectra of Fe Gallic inks samples were measured in the historic manuscripts from mid-19th century, and of green pigments malachite and verdigris from painting techniques on documents from the National and University Library of Ljubljana. The results will be used in choosing proper restoration techniques. We have finished the elemental concentration studies of the buckwheat seed and the XRF analysis of various types of honey with a Slovenian botanical origin. In 7th EU framework program »SPIRIT« ([www.spirit-ion.eu](http://www.spirit-ion.eu)) we have enabled international access to the European researchers for experiments in the field of elemental mapping, mostly of biological samples. A high quality equipment and an excellent expertise in ion beam analytical methods are surely a part of explanation for an increased interest of foreign researchers to perform experiments at our ion beam facility. In 2010 we continued collaboration with the Slovenian high-tech company Instrumentation Technologies d.d. in the development of digital processing, aiming to substantially increase the data acquisition throughput of semiconductor detectors.

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### 4. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega programa<sup>6</sup>

#### 1) Raziskave s spektroskopijo elektronov/metastabilnih atomov.

S francoskimi raziskovalci (LCPMR in Universite Marie Curie, dr. P. Lablanquie, dr. F. Penent) smo na žarkovnih linijah TEMPO-B ter Pleiades (sync. Soleil, Pariz) merili produkcijo Augerjevih elektronov pri vzbujanju preprostih molekul s fotoni (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>). Učinkovitost novega tipa spektrometra - magnetne steklenice je omogočila opazovanje procesov pri enofotonski vzbuditvi in razpadu dvojnih vrzeli v lupini K - ta pojav je bil prvič opažen v molekulah. V drugem sklopu poskusov smo opazovali interferenco med koincidenčnimi pari fotoelektron-Augerjev elektron, ki izvirajo iz razpadnih poti preko parov robov, Xe4d<sub>5/2,3/2</sub> in Kr3d<sub>5/2,3/2</sub>. Poleg ideje je bila za izvedbo poskusa bistvena naša ekspertiza, s katero smo vzpostavili komunikacijo med merilnim in kontrolnim računalnikom za izbiranje energije fotonov po edinem obstoječem hardverskem kanalu. Tretji projekt je potekal na žarkovni liniji GasPhase tržaškega sinhrotrona Elettra v sodelovanju z italjanskimi in madžarskimi raziskovalci. Opazovali smo interferenco med koincidenčnimi pari Augerjevih razpadnih poti po vzbuditvi notranje lupine L v argonu. Za ta primer je izbrani sistem z 10 neodvisnimi spektrometri pripravnejši od magnetne steklenice, ker dosega boljše instrumentalno energijsko ločljivost, potrebno za opazovanje interference. Konec leta smo na sinhrotronu Elettra v sodelovanju s švedskimi kolegi (prof. J-E. Rubensson, Univerza v Uppsali) opazovali dvofotonske vzbuditve helijevih enojno vzbujenih stanj 1s<sub>n</sub>d ter variacijo pridelka metastabilnih atomov v odvisnosti od homogenega električnega polja v tarči. V letu 2010 smo objavili podrobno analizo meritev resonantnih Augerjevih spektrov pri vzbujanju argona z elektroni [1] in pokazali da poteka resonantni Augerjev proces preko vzbujenih stanj [2p<sub>3/2</sub>]4s in [2p<sub>3/2</sub>]4p z različnimi vrednostmi vrtilne količine. Objavili smo tudi analizo poskusa, pri katerem smo ločili razpadna kanala dvojno vzbujenih stanj v heliju na singletni in tripletni del s kopeljo v svetlobi helijeve lučke [2]. Analizo je otežilo dejstvo, da pomemben del k signalu prispeva mešanje spin-tir v enojno vzbujenih stanjih helija. Interpretirali smo rezultate dvobarvnega poskusa, pri katerem so izmerili kotno porazdelitev fotoelektronov, izbitih iz atomov neona preko vmesnih atomskih stanj [2p]3d, kjer so za vzbujanje atomov v osnovnem stanju uporabili kombinacijo sinhrotronske in infrardeče laserske svetlobe [3]. V letu 2010 je bil objavljen članek o dvofotonski vzbuditvi elektronov v notranji lupini 3d v Kr s svetlobo laserja na proste elektrone FLASH [4], kjer smo poskrbeli za teoretični opis izmerjenih elektronskih spektrov.

#### 2) Raziskave z visokoločljivostno rentgensko spektrometrijo.

V letu 2010 smo s spektrometrom domače izdelave izvedli dve vrsti meritev na žarkovni liniji ID26 (sinhrotron ESRF, Grenoble). V prvem delu, ki je potekal v sodelovanju z nemškimi raziskovalci, smo opravili meritve emisijskih spektrov žveplovih emisijskih črt Ka in Kb za različne silikatne minerale (sodaliti) ter za nekatera

silikatna stekla z nizko vsebnostjo žvepla. Meritve so bile namenjene določitvi oksidacijskega stanja ter preučevanju elektronske strukture žvepla v vzorcih. Opravili smo meritve emisijskih spektrov Kb nekaterih modelskih žveplovih spojin, ki se pojavljajo v naravnih sedimentih in vzorcih prsti. Meritve, ki so potekale v sodelovanju z oddelkom za ekologijo gozda na Swedish University of Agricultural Sciences (SEK), omogočajo kvantitativno določitev deleža elementarnega žvepla  $S_8$  ter posameznih organskih disulfidov in monosulfidov v naravnih vzorcih. V drugem delu smo skupaj s francoskimi raziskovalci merili emisijske spektre Ka in Kb v molekulah  $CS_2$ ,  $OCS$ ,  $SOCl_2$  in  $CH_3Cl$ . V rentgenskih spektrih je namreč mogoče opaziti izjemno hitro zapiranje "dežnika"  $CH_3$ , ki tekmuje z emisijskim razpadom vrzeli K ali  $L_3$  v pripetem atomu. Razpad vrzeli  $L_3$ , ki v jodu poteče že v 200 as, se kaže v majhnem, toda nedvomnem odstopanju od linearne disperzije. V letu 2010 smo objavili analizo visokoločljivostnih meritev na HCl, kjer so se prvič pokazali interferenčni efekti v spektrih rentgenskih žarkov na energijskem področju, kjer je mogoča koherentna vzbuditev resonance  $\sigma^*$  in Rydbergovih stanj [5]. Objavljeni sta tudi analizi meritev emisijskih rentgenskih spektrov žvepla v silikatnih steklih in drugih vzorcih, ki smo jih na ESRF izvedli v preteklosti [6,7]. Objavili smo članek o določanju Coster-Kronigovih razpadnih razmerij za posamezne podlupine L v Xe s kombinirano meritvijo absorpcije in rentgenske emisije na sinhrotronu Elettra [8]. V [9] smo pokazali, da je z visokoločljivostno rentgensko spektroskopijo v določenih primerih mogoče doseči bistveno nižjo detekcijsko limito kot z običajno rentgensko (absorpcijsko) spektroskopijo. V sodelovanju s švicarsko skupino (prof. dr. J.Cl. Dousse, Univerza v Fribourgu) smo objavili komparativno študijo o hipersatelitskih vzbuditvah, ki izvirajo iz dvojnih vzbuditvev lupine K [10], ter analizo meritev globinske koncentracije Al nečistoč v nanometrijskih površinskih plasteh vzorcev Si z uporabo visokoločljivostne rentgenske spektroskopije in fotonim vzbujanjem pod majhnim kotom glede na površino tarče [11].

### 3) Raziskave z rentgensko absorpcijsko spektroskopijo.

S predlaganimi projekti smo pridobili merilni čas v dveh sinhrotronskih centrih (HASYLAB in Elettra). V okviru 3-letnega projekta II-20080058 EC "XAS analysis of transition metals in lead-free piezoelectric thin films and in catalysts based on porous silicate" smo v sinhrotronskem laboratoriju HASYLAB opravili strukturne analize EXAFS in XANES novih mezoporoznih katalizatorjev, dopiranih s prehodnimi kovinami Ti, Mn, Fe, Ni in Zn, ter feroelektričnih materialov  $K(Ta, Nb)O_3$  in tankih plasti  $CaCu_3Ti_4O_{12}$  na substratu Pt, v sodelovanju s skupinama s Kemijskega inštituta in odseka K5 na IJS [12-14]. V okviru projekta "In situ XAS studies of high energy density cathode materials for Li-ion batteries" smo skupaj s sodelavci iz Kemijskega inštituta ter centra odličnosti CO NOT, Ljubljana izvedli študijo *in situ* strukturnih in valenčnih sprememb med polnjenjem in praznjenjem Li-ionskih baterij z novimi nanostrukturnimi katodnimi materiali iz litijevega železovega silikata ( $Li_2Fe_{0.9}Si_{0.9}P_{0.1}O_4$ ) in litijevega vanadijevega titanata. Rezultati so ključni za razumevanje dinamike delovanja baterij in s tem za optimizacijo sinteze katodnega materiala za doseganje čim večje kapacitete baterije [15,16]. V sodelovanju z Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani smo nadaljevali raziskave vezave kovin Cd, in Zn ter nanodelcev CuO v delih rastlin, ki hiperakumulirajo te kovine [17,18]. Na žarkovni postaji XAFS@Elettra smo, na osebno povabilo znanstvenega vodje žarkovne linije dr. G. Aquilanti, sodelovali pri projektu, namenjenemu razvoju fluorescenčne merilne tehnike na tej postaji. Fluorescenčno detekcijsko tehniko smo testirali na naših vzorcih iz drugih projektov strukturnih analiz materialov. Tako smo izmerili železove in bakrove spektre XANES in EXAFS na vzorcih železagalnih črnih v historičnih rokopisih iz srede 19. stoletja in zelenih pigmentov malahit in verdigris, ki sta se pogosto uporabljala v slikarskih tehnikah, na dokumentih, ki jih hranijo v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani. Rezultati so pomembni za izbiro ustreznih restavratorskih postopkov. Na podoben način smo analizirali mesto vgradnje mangana v kristalni stroncijev titanat. Ta informacija je ključna za pojasnitev neobičajnih magnetnih lastnosti dopiranega materiala. Objavili smo rezultate strukturne analize spinelnih faz v sistemu  $ZnO-Mn_xO_y$  [19]. Uspešno smo zaključili in objavili raziskavo visokoločljivostnih absorpcijskih spektrov enoatomnih plinov Cs in Xe v območju absorpcijskih robov L. Spektri razkrivajo nove podrobnosti o večelektronskih sovzbuditvah v teh elementih in prispevajo k analizi kolektivnih pojavov ob fotoefektu v podlupinah L [20].

### 4) Raziskave površinskih plasti.

V okviru sodelovanja pri raziskavah na žarkovnih linijah ALOISA (Laboratorio IOM -CNR TASC) in Nanospectroscopy tržaškega sinhrotrona Elettra smo proučevali univerzalne mehanizme medmolekulskega prepoznavanja aminokislinskih molekul L-tyrosine in L-methionine na površinah Au in Ag, ki poteka preko zwitterionske sklopitve amino in karboksilnih funkcionalnih skupin ter njihovega urejevanja v urejene 2D nanostrukture [21]. Pri študiju hibridnih biomolekulskih nanosov Cysteamine/Au(111) smo pokazali, da samourejen enoplasten film predstavlja neposredno  $-NH_2$  funkcionalizacijo kovinskih površin, ki omogoča nadaljnjo sklopitev s kompleksnimi biomolekulami in proteini [22]. Pri študiju amino funkcionaliziranih aromatskih molekulskih filmov na Au(111) z rentgensko fotoemisijo smo določili zvezo med ureditvijo elektronskih nivojev ob hibridni stični meji in transportnimi lastnostmi enomolekulskih stikov, ki sledijo iz meritev »prekinjenih stikov« s tunelskim mikroskopom (angl. break junction STM). Tako smo na sistemu več 1,4 benzenediamine (BDA) molekulskih derivatov na Au(111) identificirali korelacijo med energijo najvišje

zasedenih molekulskih orbital (HOMO) in dc prevodnostjo enomolekulskih organskih stikov ter jih povezali s teoretičnimi računi [23]. Z metodo rentgenske resonančne fotoemisije smo proučevali ultrahitro dinamiko prenosa naboja ob hibridnem stiku BDA/Au in določili molekulske orbitale, ki formirajo preferenčne kanale za hiter transport naboja na kovinsko podlago. Ob tem smo osvetlili vlogo amino-Au vezi pri prevodnosti molekulskih BDA/Au stikov [24]. Preučili smo tudi morfološke lastnosti ultratankih filmov odluččenega grafena in proučili naravo njegove dvodimenzionalne nagubanosti. Pokazali smo, da je prečna nagubanost grafena lastnost 2D filma, ki se prilagodi podlagi in se pri 2-, 3- in večplastnem filmu hitro izgubi. Izmerili smo nagubanost SiO<sub>2</sub>-podprtih in prosto vpetih filmov grafena in osvetlili vlogo temperature in koncentracije nečistoč pri gubanju 2D filmov, ki vplivajo na elektronske lastnosti grafena [25].

### 5) Mössbauerjeva spektroskopija.

Posebno pozornost smo namenili lastnostim naravnih sedimentov v rekah [26], katodnim materialom za litijeve baterije [27] in multiferoičnim materialom [28]. Večina naših raziskav je usmerjena na elektronske in strukturne lastnosti nanodelcev in na študij interakcije med njimi. V raziskavah sedimentov rek iz porečja reke Kolpe smo uporabili Mössbauerjevo spektroskopijo in MAS NMR za določanje koordinacije Al in določanje razmerja med Fe<sup>2+</sup> in Fe<sup>3+</sup>. Raziskovali smo lokalne elektronske, strukturne in makroskopske magnetne lastnosti K<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub>Fe<sub>3</sub>F<sub>15</sub> na območju od 4 K do sobne temperature. Ugotovili smo, da ima sistem enako strukturo kot feroelektrični in šibko ferimagnetni K<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>F<sub>15</sub> nad temperaturo feroelektričnega prehoda T<sub>c</sub>. Tako X-band in 216 GHz Cr<sup>3+</sup> elektronski paramagnetni resonančni spektri (EPR) kot tudi magnetna susceptibilnost in Mössbauerski podatki kažejo na obstoj dveh magnetno relaksorskih prehodov pri temperaturah okrog 37 K in 17 K. MAS NMR, EPR in Mössbauerjevi spektri so pokazali prisotnost dveh neekvivalentnih mest Fe, Cr, and K mest v osnovni celici in prisotnost hitre izmenjave pri višjih temperaturah. Fe<sup>2+</sup> EPR in Mössbauerjevi spektri potrjujejo, da se Fe<sup>2+</sup> ion nahaja v visoko spinskem stanju.

### 6) Interakcija vodika s površinami

V letu 2010 smo nadaljevali delo na projektu "Hydrogen-Deuterium Molecule Wall Interaction", Projekt 1.4.1 v okviru Asociacije EURATOM-MVŠZT (Slovenska Fuzijske Asociacija-SFA). Delali smo na dveh nalogah, ki so bile vključene v raziskovalni program EFDA (European Fusion Development Agreement), posebne skupine za interakcijo plazme in površin (EU Task Force for Plasma-Wall Interaction – TF PWI), in sicer "Interaction of excited H<sub>2</sub> and D<sub>2</sub> molecules with high-Z surfaces" (WP10-PWI-05-01-01/MHEST/BS) ter "In-situ studies of formation of mixed layers under neutral atom/molecule impact on surface" (WP10-PWI-04-04-01). V letu 2010 smo začeli s podrobno raziskavo interakcije manjših molekul ogljikovodikov (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> in C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) z vročo površino volframa, kjer smo prvič opazili tvorbo vibracijsko vzbujenih molekul vodika zaradi disociacije molekul. Z novo eksperimentalno postavitvijo, ki omogoča preučevanje vpliva temperature površine na proces rekombinacije, smo opazovali tvorbo vibracijsko vzbujenih molekul vodika pri direktni izpostavitvi površine volframa curku atomov vodika. Tehniki ERDA in RBS s pospešenimi ioni smo uporabili za študij procesov nalaganja in odstranjevanja ogljikovih plasti ob obstreljevanju površin bakra, silicija in volframa z atomarnim curkom vodika (H) in devterija (D). Določili smo absolutno vrednost preseka za elastično sipanje <sup>7</sup>Li na D, kar omogoča meritve absolutnih vrednosti koncentracij devterija na površinah. Pridobili smo nove kvantitativne podatke o nalaganju in čiščenju ogljikovih plasti na študiranih površinah. Poleg tega smo opazili in kvantitativno določili hitrost nalaganja volframa iz vira vodikovih atomov na površino bakra in silicija. Merili smo pridelek negativnih ionov vodika (H<sup>-</sup>) iz procesa disociativnega zajetja elektrona na molekulah nekaterih ogljikovodikov. V sodelovanju z JPL (ZDA) smo objavili rezultate in analizo meritev absolutnih sipalnih presekov za ione Fe<sup>+q</sup> na CO in CO<sub>2</sub> [29]. V letu 2010 smo se vključili v akcijo COST CM0805 - "Kemično vesolje: Razumevanje kemije v astronomskem okolju". Nadaljevali smo z aktivno strokovno udeležbo pri organizacijskem delu skupnosti za fuzijske raziskave EU.

### 7) Raziskave z ionskimi žarki

Pri raziskavah z ionskimi žarki v Mikroanalitskem Centru IJS smo se v letu 2010 posvetili nadaljnjemu razvoju konfokalne spektroskopije PIXE v vakuumu, ki smo jo prvi vpeljali leta 2007. Objavili smo 3D rekonstrukcijo mikro-objekta [30] ter uspešno vpeljali nov spektrometer, s katerim smo v povezavi s proizvajalcem (firma IFG iz Berlina) preizkusili več tipov polikapilarnih leč za rentgenske žarke. Jeseni smo v sodelovanju s sodelavci iz Univerze v Surreyu s konfokalno tehniko pregledali tridimenzionalno strukturo mikrododelcev, ki jih forenziki zberejo po uporabi strelnega orožja. Večina raziskav v letu 2010 pa je potekala z metodo mikro-PIXE. V sodelovanju z Univerzo Ben Gurion v Negevu, Izrael, smo merili porazdelitev natrija in klora v koreninah puščavske rastline Bassia Indica. Cilj raziskave je ugotoviti, kakšni mehanizmi usmerjajo rast korenin v smeri povečanega gradienta slanosti v tleh. Zelo uspešno smo nadaljevali z raziskavami na področju nanotoksikologije. Pokazali smo, da se ob izpostavitvi srebrovim nanodelcem v organizmu suhozemnega rakca Porcellio Scaber kopiči srebro. Dokončali smo raziskave elementnih porazdelitev v zrnu ajde [31]. Z metodo mikro-NRA smo nadaljevali raziskave porazdelitev fuzijskega goriva v režah oblog fuzijskega reaktorja Tore Supra v okviru mednarodnega projekta "Deuterium Inventory in Tore Supra (DITS)" -7. OP EU EURATOM in



ovrgli rezultate meritev v drugih laboratorijih, ki so kazali, da na dnu špranj koncentracije goriva narastejo. Preučevali smo lastnosti tankih plasti z metodama ERDA in RBS in v sodelovanjem z Univerzo v Leobnu preučevali vodikove koncentracijske profile v diamantu podobnih tankih amorfnih plasteh ogljika [32]. V okviru projekta 7. OP EU »SPIRIT« ([www.spirit-ion.eu](http://www.spirit-ion.eu)) smo zagotavljali mednarodni dostop raziskovalcem iz evropskega raziskovalnega prostora na področju elementnega mapiranja bioloških tkiv in analize geoloških vzorcev z metodo mikro-PIXE ter na področju visokoločljivostne rentgenske spektrometrije. Skupaj smo v letu 2010 izvedli devet projektov z mednarodnim dostopom, ki so jih prijavili raziskovalci iz Izraela, Litve, Španije, Francije, Hrvaške in Madžarske. V drugi polovici leta smo intenzivno nadaljevali z razvojem tehnologije digitalne dekonvolucije signalov s polvodniških detektorjev ionizirajočega sevanja na osnovi strojne opreme iz programabilnih vezij v sodelovanju z domačim industrijskim partnerjem in začeli testiranje končnega izdelka. Objavili smo rezultate vzorčevanja in analiz elementnih koncentracij v aerosolnih delcih v kemijskem laboratoriju ter v mehanski delavnici [33].

#### **Nekaj pomembnih objav v letu 2010:**

- [1] B. Paripas, B. Palasthy, M. Žitnik and M. Štuhec, *Phys. Rev. A* **82**, 032508 (2010).
- [2] J-E. Rubensson, A. Moise, A. Mihelič, K. Bučar, M Žitnik, R. Richter, *Phys. Rev. A* **81**, 062510 (2010).
- [3] P. O’Keeffe, P. Bolognesi, A. Mihelič, L. Pravica, E. Ovcharenko, P. Decleva and L. Avaldi, *Phys. Rev. A* **82**, 052522 (2010).
- [4] M. Meyer, D. Cubaynes, V. Richardson, J. T. Costello, P. Radcliffe, W. B. Li, S. Düsterer, S. Fritzsche, A. Mihelič, K. G. Papamihail, and P. Lambropoulos, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 213001 (2010).
- [5] M. Kavčič, M. Žitnik, K. Bučar, A. Mihelič, S. Carniato, L. Journal, R. Guillemin, and M. Simon, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 113004 (2010).
- [6] P.A. Bingham, A. J. Connelly, R.J. Hand, P.A. Northrup, R. A. Mori, P. Glatzel, M. Kavčič, M. Žitnik, K. Bučar and R. Edge, *Glass Technol.* **51**, 63 (2010).
- [7] R. A. Mori, R. E. Paris, G. Giuli, S. Eeckhout, M. Kavčič, M. Žitnik, K. Bučar, Klemen, L.G. Pettersson, P. Glatzel, *Inorg. Chem.* **49**, 6468 (2010).
- [8] W. Cao, J-Cl. Dousse, J. Hozzowska, M. Žitnik, M. Kavčič, K. Bučar, *Phys. Rev. A* **81**, 012501 (2010).
- [9] M. Kavčič, *Nucl. instrum. methods phys. res., B Beam interact. mater. atoms.* **268**, 3438 (2010).
- [10] J. Hozzowska, J-Cl. Dousse, W. Cao, K. Fennane, Y. Kayser, M. Szlachetko, J. Szlachetko, M. Kavčič, O. Yaroshchuk, *Phys. Rev., A* **82**, 063408 (2010).
- [11] Y. Kayser, M. Kavčič, *Spectrochim. acta, Part B: At. spectrosc.* **65**, 445 (2010).
- [12] N. Novak-Tušar, A. Ristić, G. Mali, M. Mazaj, I. Arčon, D. Arčon, V. Kaučič, N. Zabukovec-Logar, *Chemistry (Weinh., Print).* **16**, 5783 (2010).
- [13] D. Makovec, A. Kodre, I. Arčon, M. Drogenik, *J. nanopart. res.*, [in press], doi: [10.1007/s11051-010-9929-y](https://doi.org/10.1007/s11051-010-9929-y).
- [14] S. Gyergyek, D. Makovec, A. Kodre, I. Arčon, M. Jagodič, M. Drogenik, *J. nanopart. res.* **12**, 1263 (2010).
- [15] R. Dominko, C. Vidal-Abarca Garrido, M. Bele, M. Kuzma, I. Arčon, M. Gaberšček, *J. power sources*. doi: [10.1016/j.jpowsour.2010.09.004](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.09.004)
- [16] R. Dominko, C. Sirisopanaporn, C. Masquelier, D. Hanžel, I. Arčon, Gaberšček M. *J. Electrochem. Soc.* **157**, A1309 (2010)
- [17] K. Vogel-Mikuš, I. Arčon, A. Kodre, *Plant soil.* **331**, 439 (2010).
- [18] K. Vogel-Mikuš, P. Kump, M. Nečemer, P. Pelicon, I. Arčon, P. Pongrac, B. Povh, M. Regvar, V: SHERAMETI, Irena (ur.), VARMA, Ajit (ur.). *Soil heavy metals*, (Soil biology, 19). Heidelberg [etc.]: Springer, p. 113, (2010).
- [19] M. Peiteado, A. Kodre, I. Arčon, A. C. Caballero, D. Makovec, *J. Am. Ceram. Soc.*, **93**, 590 (2010).
- [20] A. Kodre, J. Padežnik- Gomilšek, I. Arčon, G. Aquilanti, *Phys. rev., A* **82**, 022513 (2010).
- [21] J. Reichert, A. Schiffrin, W. Auwärter, A. Weber-Bargioni, M. Marschall, M. Dell'Angela, D. Cvetko, G. Bavdek, A. Cossaro, A. Morgante, J. V. Barth, *ACS nano* **4**, 1218 (2010).
- [22] A. Cossaro, M. Dell'Angela, A. Verdini, M. Puppin, G. Kladnik, M. Coreno, M. de Simone, A. Kivimaki, D. Cvetko, M. Canepa and L. Floreano, *The journal of physical chemistry. C, Nanomaterials and interfaces* **114**, 15011 (2010).
- [23] M. Dell'Angela, G. Kladnik, A. Cossaro, M. Kamenetska, I. Tamblyn, S. Y. Quek, J. B. Neaton, D. Cvetko, A. Morgante, Alberto, L. Venkatamaran, *Nano lett.* **10** (2010).
- [24] W. Auwärter, K. Seufert, F. Klappenberger, J. Reichert, A. Weber-Bargioni, A. Verdini, D. Cvetko, M. Dell'Angela, L. Floreano, A. Cossaro, G. Bavdek, A. Morgante, A. P. Seitsonen, and J. V. Barth, *Phys. rev., B* **81**, 245403 (2010).
- [25] A. Locatelli, K. R. Knox, D. Cvetko, T. O. Montes, M. A. Nino, S. Wang, M. B. Yilmaz, P. Kim, R. M. Osgood, A. Morgante, *ACS nano* **4**, 4879 (2010).
- [26] H. Bilinski, S. Frančičkovič-Bilinski, M. Nečemer, D. Hanžel, G. Szalontai, Gabor, *Fresenius Environ. Bull.* **19**, 248 (2010)
- [27] C. Irisopanaporn, A. Boulineau, D. Hanžel, R. Dominko, B. Budič, A. R. Armstrong, P.G. Bruce, C.

Masquelier, *Inorg. Chem.* **49**, 7446 (2010).

[28] R. Blinc, P. Cevc, A. Potočnik, B. Žemva, E. A. Goreshnik, D. Hanžel, A. Gregorovič, Z. Trontelj, Z. Jagličič, V. Laguta, M. Perovič, N. S. Dalal, J. F. Scott, *J. Appl. Phys.* **107**, 043511 (2010).

[29] J. Simčič, D.R. Schultz, R. J. Mawhorter, I. Čadež, J. B. Greenwood, A. Chutjian, C. M. Lisse, S. J. Smith, *Phys. Rev., A* **81**, 062715 (2010).

[30] M. Žitnik, N. Grlj, P. Vaupetič, P. Pelicon, K. Bučar, D. Sokaras, A. G. Karydas, B. Kangiesser, *J. anal. at. spectrom.* **25**, 28-33 (2010).

[31] P. Pongrac, K. Vogel-Mikuš, P. Vavpetič, J. Snoj-Tratnik, M. Regvar, J. Simčič, N. Grlj, P. Pelicon, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., B Beam Interact. Mater. Atoms.* **268**, 2205 (2010).

[32] M. Kahn, S. Paskvale, M. Čekada, T. Schöberl, W. Waldhauser, C. Mitterer, P. Pelicon, E. Brandstätter, *Diamond & Related Materials* **19** (2010) 1245–1248.

[33] M. Žitnik, A. Kastelic, Z. Rupnik, P. Pelicon, P. Vaupetič, K. Bučar, S. Novak, Z. Samardžija, S. Matsuyama, S. Catella, K. Ishii, *Atmos. Environ.* **44**, 4954 (2010).

## 5. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>7</sup>

Z uspešno izvedbo dvofotonskega poskusa na heliju smo na področju atomske spektroskopije tudi eksperimentalno zakoračili v večfotonsko fiziko, kar je poleg obravnave atomov v statičnih poljih eden od ciljev programa v tem obdobju. Konec leta 2010 je steklo tudi delo na področju spoznavanja in razvoja računskih orodij za obravnavo preprostih molekularnih sistemov. Potreba po tem obstaja, ker se s takimi sistemi v zadnjem obdobju intenzivno eksperimentalno ukvarjamo, tako na področju nizkih energij, kjer sodelujemo pri poskusih z magnetno steklenico in opazujemo fotonsko tvorbo dveh vrzeli na istem, ali na različnih atomih iste vrste v molekuli, kot tudi pri višjih energijah, kjer opazujemo nelinearne pojave v visokoločljivostnih rentgenskih spektrih neelastično sipane svetlobe. Na področju absorpcijske spektroskopije se lahko pohvalimo z novima fundamentalnima dosežkoma, vrhunskima spektroma Cs in Xe na območju robov L ter številnimi strukturnimi analizami XANES in EXAFS za različne vzorce, pripravljene v domačih in tujih laboratorijih. Nadaljevali smo tudi s študijem biomolekularnih plasti na kovinskih podlagah, kjer se kažejo zanimive in potencialno uporabne lastnosti samourejanja. Z Moessbauerjevo spektroskopijo smo pomembno prispevali pri strukturnih analizah novih materialov ter nanokompozitov, ki vsebujejo železo. Raziskovalna problematika vibracijskih stanj vodika ter interakcije vodika z materiali se je trdno zasedla v programu in v letu 2010 smo na tem področju v skupini dobili novega doktorja znanosti. V ospredju je bilo preučevanje interakcije vodika z volframom in ogljikom (materiali zanimivi za področje fuzije) ter bakrom, v zadnjem času pa sta vroči temi še študij porazdelitev vibracijskih stanj pri disociaciji enostavnih ogljikovodikov na žareči nitki ter opazovanje dinamike oddajanja vodika v odvisnosti od temperature z vodikom napolnjenega vzorca. Ionske žarke smo največ uporabljali v obliki protonske mikrosone za elementno mapiranje tankih vzorcev. Intenzivno sodelovanje z Biotehnično fakulteto UL pri mapiranju rastlinskih tkiv je privedlo do postavitve in prvih uporab tarčnega kriostata, s katerim je mogoče analizirati prvobitno zmrznjene rezine tkiva in se s tem izogniti nepotrebnim poškodbam tkiva pri sušenju. Konfokalno metodo za 3D mapiranje smo razvijali naprej s postavitvijo zmogljivejšega detektorja za rentgenske žarke ter namestitvijo polikapilare z izboljšano prostorsko ločljivostjo. V letu 2010 se je povečalo zanimanje za izvajanje poskusov z ionskimi žarki preko t.i. TNA projektov. Uspešnim predlagateljem projektov evropska mreža pospeševalnikov SPIRIT, kamor je vključen tudi Mikroanalitski center, povrne stroške za izvedbo eksperimenta na izbrani napravi v okviru mreže. Dosežen je bil tudi napredek pri razvoju digitalnega procesiranja detektorskih signalov, s katerim bomo učinkovito povečali števno hitrost detektorjev.

## 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine<sup>8</sup>

Bistvenih sprememb v ciljih in sestavi programske skupine v letu 2010 ni bilo. Mlada raziskovalka Sabina Markelj je doktorirala in priključila sta se dva nova mlada raziskovalca: Rok Bohinc (mentor doc. dr. Matjaž Žitnik) ter Iuliia Mikulska (mentor prof. dr. Iztok Arčon).

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>9</sup>

Znanstveni rezultat	
1.	Naslov
	<i>SLO</i> Dvofotonska vzbuditev in razpad resonance [3d]4d v atomu Kr.
	<i>ANG</i> Two-photon excitation and relaxation of the [3d]4d resonance in atomic Kr.
	Opis
	<i>SLO</i> Poročamo o prvi dvofotonski vzbuditvi elektrona iz notranje atomske lupine. Z UV laserjem na proste elektrone FLASH smo pri valovni dolžini 26.9 nm preučevali dipolno prepovedano vzbuditev 3d-4d v Kr tako da smo detektirali karakteristične Augerjeve elektrone, ki jih odda atom pri razpadu. Experimentalni podatki se izvrstno ujemajo z rezultati modelske analize večfotonskih procesov.
	<i>ANG</i> Two-photon excitation of a single-photon forbidden Auger resonance has been observed and investigated using the intense extreme ultraviolet radiation from the free electron laser in Hamburg. At the

		ANG	wavelength of 26.9 nm (46 eV) two photons promoted a 3d core electron to the outer 4d shell. The subsequent Auger decay, as well as several nonlinear above threshold ionization processes, were studied by electron spectroscopy. The experimental data are in excellent agreement with theoretical predictions and analysis of the underlying multiphoton processes.
Objavljeno v	M. Meyer, D. Cubaynes, V. Richardson, J. T. Costello, P. Radcliffe, W. B. Li, S. Düsterer, S. Fritzsche, A. Mihelič, K. G. Papamihail, and P. Lambropoulos, Phys. Rev. Lett. 104, 213001 (2010).		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
COBISS.SI-ID	23686183		
2.	Naslov	SLO	Interference med elektronskimi prehodi pri neelastičnem resonančnem sipanju rentgenskih žarkov na območju lupine K v HCl.
		ANG	Electronic state interferences in resonant X-ray emission after K-shell excitation in HCl.
	Opis	SLO	Detektirali smo modulacijo signala zaradi interference rentgenskih fluorescenčnih razpadov, ki končajo v istem stanju in izvirajo iz koherentne vzbuditve različnih vmesnih stanj. Izmerili smo zaporedje visokoločljivostnih rentgenskih spektrov KL, ki jih odda HCl po resonantni fotoekscitaciji. Vpadne energije fotonov so bile na območju resonance $1s \rightarrow 6\sigma^*$ ter Rydbergovih stanj. Odlično ujemanje z modelom dosežemo šele ob upoštevanju interference med različnimi razpadnimi potmi.
		ANG	We have measured a series of high-resolution x-ray spectra emitted upon resonant photoexcitation of HCl. The photon energy was tuned across the dissociative $1s \rightarrow 6\sigma^*$ resonance and the Rydberg states, and inelastic photon scattering was observed in the region of KL emission lines. Excellent agreement is found between fully ab initio calculated and measured spectra if interferences between different excitation-emission paths are taken into account. The effect of electronic state interferences is enhanced due to dynamical broadening of the $6\sigma^*$ resonance in HCl.
Objavljeno v	M. Kavčič, M. Žitnik, K. Bučar, A. Mihelič, S. Carniato, L. Journel, R. Guillemin, and M. Simon, Phys. Rev. Lett. 105, 113004 (2010).		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
COBISS.SI-ID	23925287		
3.	Naslov	SLO	Rentgenska absorpcija atomov cezija in ksenona na območju robov L.
		ANG	X-ray atomic absorption of cesium and xenon in L-edge region.
	Opis	SLO	Izmerili smo absorpcijo rentgenskih žarkov v cezijeви pari na območju robov L v celici z berilijevimi okenci ter na istem energijskem območju še absorpcijo ksenona z izboljšano resolucijo in občutljivostjo. Pri obeh elementih prepoznamo isto osnovno razporeditev kompaktnih grup, ki je precej neodvisna od podlupine iz katere je vrzel. Glavni efekt elektrona 6s v Cs je ojačanje eno- in nekaterih dvoelektronskih resonančnih kanalov. Spekter za oba elementa kaže polarizacijski efekt - konveksni hrbet pri L2 in L3 ter konkavno obliko pri vzbuditvi L1.
		ANG	X-ray absorption of atomic cesium is measured in the L-edge region, using a beryllium-window cell for cesium vapor and absorption in Xe gas in the same energy region is remeasured with improved signal-to-noise ratio. In both elements, multielectron excitations show the same basic ordering in compact groups, largely independent of the core-hole subshell. The main effect of 6s electron in Cs, apart from $2(s,p)6s$ excitation, is the enhancement of single- as well as some multielectron resonant channels. The spectra show a convex basic curvature of the L2 and L3 segments, a concave L1 segment.
Objavljeno v	A. Kodre, J. Padežnik- Gomilšek, I. Arčon, G. Aquilanti, Phys. Rev. A 82, 022513 (2010).		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
COBISS.SI-ID	1539835		
4.	Naslov	SLO	Resonančni Augerjev razpad stanj $[2p_{3/2}]4s$ in $[2p_{3/2}]4p$ v argonu pri vzbujanju z elektroni.
		ANG	Resonant Auger decay of Ar $[2p_{3/2}]4s$ and $[2p_{3/2}]4p$ states excited by electron impact
	Opis	SLO	Sipane elektrone z energijo 99.2 eV smo detektirali v koincidencah z Augerjevimi elektroni L3-M23M23. Poskus je bil izveden pri vpadnih energijah elektronov 343.6 in 344.9 eV, kjer je energijska izguba elektronov ravno enaka energiji vzbuditve dipolno dovoljenega in dipolno prepovedanega stanja. Iz primerjave z rezultati dvokoračnega modela, ki sloni na teoriji DWBA, z upoštevanjem izmenjalnih členov ter multikonfiguracijskim opisom stanj smo določili najmočnejše prehode iz vmesnih stanj $[2p_{3/2}]4s$ ( $J=1,2$ ) in $[2p_{3/2}]4p$ ( $J=0,1,2,3$ ) v eksperimentalnih spektrih.
		ANG	The 99.2-eV scattered electrons were detected in coincidence with L3-M23M23 Auger electrons, and the experiment was performed at 343.6- and 344.9-eV electron impact to tune the energy loss to the energy of the dipole-allowed and the dipole-forbidden excitations, respectively. The most intense groups of Auger transitions from $[2p_{3/2}]4s$ ( $J=1,2$ ) and $[2p_{3/2}]4p$ ( $J=0,1,2,3$ ) states are identified by comparison



		with the results of the two-step model, based on distorted-wave Born approximation with exchange and multiconfiguration description of relaxed states.
Objavljeno v		B. Paripas, B. Palasthy, M. Štuhec in M. Žitnik, Phys. Rev. A 82, 032508 (2010).
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		24351015
5. Naslov	SLO	Povezava med ureditvijo elektronskih nivojev in prevodnostjo enomolekulskih organskih stikov.
	ANG	Relating energy level alignment and amine-linked single molecule junction conductance.
Opis	SLO	Pri študiju amino funkcionaliziranih aromatskih molekulskih filmov na Au(111) z rentgensko fotoemisijo smo določili zvezo med ureditvijo elektronskih nivojev ob hibridni stični meji in transportnimi lastnostmi enomolekulskih stikov, ki sledijo iz meritev »prekinjenih stikov« s tunelskim mikroskopom (angl. break junction STM). Tako smo na sistemu več 1,4 benzenediamine (BDA) molekulskih derivatov na Au(111) identificirali korelacijo med energijo najvišje zasedenih molekulskih orbital (HOMO) in dc prevodnostjo enomolekulskih organskih stikov ter jih povezali s teoretičnimi računi.
	ANG	Using resonant X-ray photoemission spectroscopy, we determined the relationship between electronic energy level alignment at a metal-molecule interface and single-molecule junction transport data. For three 1,4-benzenediamine/Au systems we show that energy of highest occupied molecular level (HOMO) in molecular films correlates with single molecule dc conductance from STM based break junction experiments, which agrees also with theoretical calculations.
Objavljeno v		M. Dell'Angela, G. Kladnik, A. Cossaro, A. Verdini, M. Kamenetska, I. Tamblyn, S. Y. Quek, J. B. Neaton, D. Cvetko, A. Morgante and L. Venkataraman, Nano Lett. 10, 2470 (2010).
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		2256484

## 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati programske skupine [10](#)

		Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat
1. Naslov	SLO	Časovno ločljive meritve elementnih koncentracij v aerosolih v notranjih delovnih okoljih.
	ANG	Time-resolved measurements of aerosol elemental concentrations in indoor working environments.
Opis	SLO	Izmerili smo elementne koncentracije v aerosolih z 2-urno časovno ločljivostjo v dveh vrstah notranjih delovnih prostorov: kemijski laboratorij in mehanska delavnica. Koncentracije v vzorcih PM10 smo določili s tehniko PIXE. Faktorska analiza je pokazala na 6-8 vektorjev (s komponentami elementov), ki opišejo večino variance za zbrano množico podatkov. Pokažemo, da je pristop z urno ločljivostjo koristen: časovno bolj podrobnim meritvam utegnejo imeti premajhen potencial za identifikacijo izvirov prašenja, po drugi strani pa predolgo povprečenje lahko izvire v "zašumljenem" okolju spregleda.
	ANG	We have measured elemental concentrations in aerosols with a 2-h time resolution in two types of working environment: a chemistry laboratory and a machine workshop. A factor analysis points to 6-8 factors in the chemistry laboratory and the machine workshop, respectively, that describe most of the data variance. While sampling the total PM10 mass concentration with a minute resolution may lack the potential to identify the emission sources in a "noisy" environment, the averaging on a day time scale is too coarse to cope with the working dynamics.
Šifra		F.11 Razvoj nove storitve
Objavljeno v		M. Žitnik, A. Kastelic, Z. Rupnik, P. Pelicon, P. Vaupetič, K. Bučar, S. Novak, Z. Samardžija, S. Matsuyama, S. Catella, K. Ishii, Atmos. Environ. 44, 4954 (2010).
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		24015399
2. Naslov	SLO	Kompleksacija kadmija v semenih in tkivih hiperakumulatorja kadmija <i>Thlaspi praecox</i> .
	ANG	Complexation of cadmium in seeds and vegetative tissues of the cadmium hyperaccumulator <i>Thlaspi praecox</i> as studied by X-ray absorption spectroscopy
Opis	SLO	Rastlina <i>Thlaspi praecox</i> Wulfen (Brassicaceae) lahko v semenih akumulira neobičajno velike količine kadmija (>1,000 µg g <sup>-1</sup> suhe teže), ne da bi bistveno ogrozila njihovo kaljivost. Namen študije je bil dognati koordinacijo Cd atomov v semenskih vzorcih <i>T. praecox</i> in primerjava ligandov s tistimi v drugih

		tkvih rastline. Tehnika "Extended X-ray absorption fine structure" (EXAFS) je pokazala, da sta skoraj 2/3 Cd ligandov v semenih in izoliranih embrijih v obliki tiolnih skupin (Cd-S-C-).
	ANG	The cadmium hyperaccumulator <i>Thlaspi praecox</i> Wulfen (Brassicaceae) can accumulate unusually high amounts of Cd (>1,000 µg g <sup>-1</sup> dry weight) in its seeds without drastically affecting seed viability. The aim of this study was to investigate the Cd coordination and ligand environment in seeds of field collected <i>T. praecox</i> using extended X-ray absorption fine structure (EXAFS), and to compare the Cd ligand environment to that in the vegetative tissues of the plant. In intact seeds and isolated embryos, almost two thirds of the Cd ligands were thiol groups (Cd-S-C-).
	Šifra	F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Objavljeno v	K. Vogel-Mikuš, I. Arčon, A. Kodre, Plant and Soil 331, 439 (2010).
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	1321211
3.	Naslov	SLO Rekonstrukcija objekta v 3D s konfokalno metodo mikro-PIXE.
	ANG	3D-reconstruction of an object by means of a confocal micro-PIXE.
	Opis	SLO Izmerili smo zaporedje spektralnih map za delec hematita, pri čemer smo kombinirali premik protonskega mikrožarka ter detekcijo rentgenskih žarkov v polikapilarno omejen prostorski kot. Pri tomografiji smo mikrodelec premikali skozi občutljivi detekcijski volumen ter določili koncentracijo železa v treh dimenzijah. Predstavimo algoritem za rekonstrukcijo ter omejitve konfokalne metode PIXE, ki izvirajo iz prešibkega fokusiranja polikapilarne leče.
	ANG	We recorded a series of spectral maps of a hematite particle by combining a scanning proton microbeam excitation with detection of X-rays by a Si(Li) spectrometer equipped with polycapillary lens. The particle was driven through the sensitive microvolume to allow for a reconstruction of concentration in three dimensions. Beside the description of the experiment, important aspects of data analysis are emphasized to show the potential of the confocal micro-PIXE (Proton Induced X-ray Emission) imaging method: at present, this is limited by the focusing ability of the polycapillary lens.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v	M. Žitnik, N. Grlj, P. Pelicon, P. Vavpetič, D. Sokaras, A.G. Karydas, B. Kangiesser. : [invited talk]. V: European Conference on X-Ray Spectrometry, 20-25 June 2010, Figueira da Foz, Coimbra, Portugal. COBISS: 24352551 Objavljeno tudi v: M. Žitnik, N. Grlj, P. Vavpetič, P. Pelicon, K. Bučar, D. Sokaras, A. G. Karydas, B. Kangiesser, J. Anal. At. Spectrom. 25, 28 (2010).
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	23149863
4.	Naslov	SLO Izboljšanje detekcijske limite pri analizi PIXE z visokoločljivo spektrometrijo rentgenskih žarkov.
	ANG	Improved detection limits in PIXE analysis employing wavelength dispersive X-ray spectroscopy.
	Opis	SLO Emisijske spektre La, ki jih oddajajo Ag, Pd ter Cd smo izmerili z visokoločljivim spektrometrom, zato da bi določili detekcijsko limito za prva dva elementa, če sta prisotna v matriki Ag le v sledovih. Rezultat pokaže, da je s takim pristopom mogoče doseči limiti, ki znašata nekaj deset ppm. Metoda je uporabna v splošnem, ko gre za izboljšanje občutljivosti detekcije za tiste sledne elemente, ki se v atomskem številu le malo razlikujejo od atomskega števila matrike.
	ANG	A wavelength dispersive X-ray spectroscopy was employed to measure the proton induced La X-ray emission spectra of Ag, Pd and Cd targets to lower detection limits for trace amounts of Pd and Cd in the silver matrix. As a consequence of ultrahigh experimental energy resolution, detection limits of only few tens of ppm were reached. The method can be used in general to improve substantially PIXE detection limits compared to standard energy dispersive spectroscopy for the measurement of trace elements with atomic number in the close vicinity of the atomic number of the target matrix element.
	Šifra	F.12 Izboljšanje obstoječe storitve
	Objavljeno v	M. Kavčič. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 268, 3438 (2010).
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	24014887
5.	Naslov	SLO Slovenci uživamo zdrav in sonaravno pridelan med : ugotavljanje botaničnega in geografskega porekla medu.
	ANG	Slovenians consume healthy honey of natural origin: study of botanical origins of various types of honey.
		V poljudnem članku obveščamo širšo javnost o značilni sestavi medu, ki ga uživamo Slovenci. Raziskava

Opis	SLO	temelji na predhodno razviti kombinaciji multielementnega TXRF pristopa ter kemometrične metode, s katero je mogoče hitro in poceni ugotoviti botanično in geografsko poreklo medu.
	ANG	In a popular article we inform wider public about types of honey that is being consumed in Slovenia. The study is based on a combination of a simple, fast, and inexpensive multielement TXRF analytical approach and the evaluation of data by chemometric methods that have the potential to discriminate the botanical origins of various types of honey.
Šifra		F.30 Strokovna ocena stanja
Objavljeno v		M. Nečemer, P. Kump, N. Ogrinc, Znanost (Ljubl.), 24. jun. 2010, letn. 52, št. 144, str. 25.
Tipologija		1.05 Poljudni članek
COBISS.SI-ID		23764263

## 9. Drugi pomembni rezultati programske skupine <sup>11</sup>

V letu 2010 smo si s kompetitivno napisanimi projekti izborili okrog 1656 ur merilnega časa na evropskih sinhrotronih. Čeprav se merilni čas na večini sinhrotronov financira z denarjem EU (razen sinhrotrona ESRF), trenutno ARRS žal nima mehanizma, s katerim bi kvantitativno vrednotil tako pridobljen (in porabljen) denar EU. V tem pogledu je situacija za Slovenijo ugodnejša, ko gre za poskuse na sinhrotronu ESRF: delovanje sinhrotrona ESRF vzdržujejo države članice (Slovenija ni članica ESRF in torej ni direktna plačnica njegovega obratovanja), tako da gre pri vsakem našem uspešnem predlogu na ESRF za pridobivanje dodatnega denarja za raziskave slovenskih znanstvenikov. Če ocenimo, da stane ura žarka v takih centrih okrog 200 EUR, lahko ugotovimo, da smo v letu 2010 kot predlagatelji (ali sopredlagatelji) in izvajalci (ali soizvajalci) pridobili za okrog 330.000 EUR žarkovnega časa. Upamo, da se bo v prihodnosti uradni pogled ustavil na tej anomaliji in bodo tudi takšni uspehi primerno vrednoteni, če mislimo pravično s sistemom finančnih vzpodbud za vpetost.

Še eno pojasnilo bi radi prenesli bralcu tega poročila - tiče se 12. točke, pri kateri naš program izkazuje en sam obisk. Kot je razvidno iz besedila pod točko 13, je narava našega dela taka, da z gosti izvajamo razmeroma kratke poskuse (dolžina obiska je pač enaka trajanju odobrenega žarkovnega časa) in tuje raziskovalce gostimo tipično le nekaj dni. Ponavadi gre za obiske uveljavljenih raziskovalcev. Da bo slika o gostovanju bolj verodostojnejša, ARRS predlagamo, da pod to točko zahteva natančnejše podatke in upošteva tudi krajše obiske.

## 10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov <sup>12</sup>

Vrsta izobraževanja	Število mentorstev	Od tega mladih raziskovalcev
- znanstveni magisterij		
- doktorat znanosti	1	1
<b>Skupaj:</b>	1	1

## 11. Zaposlitev vzgojenih kadrov po usposabljanju

Organizacija zaposlitve	Število doktorjev znanosti	Število magistrstov znanosti
- univerze in javni raziskovalni zavodi	1	1
- gospodarstvo		
- javna uprava		
- drugo		
<b>Skupaj:</b>	1	1

## 12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca

Sodelovanje v programski skupini	Število
- raziskovalci-razvijalci iz podjetij	

- uveljavljeni raziskovalci iz tujine	
- podoktorandi iz tujine	1
- študenti, doktorandi iz tujine	
<b>Skupaj:</b>	<b>1</b>

### 13. Vključenost v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v letu 2010<sup>13</sup>

Vključenost v raziskovalne programe EU:

- SPIRIT - 227012, FP7-Infrastructures-2008-1, "Podpora javnim in industrijskim raziskavam s tehnologijo ionskih žarkov" (Support of Public and Industrial Research using Ion Beam Technology).
- Application of Ion Beam Analytical Methods to the Studies of Plasma Wall Interaction in Tokamaks 1.4.3.- FU,
- Application of Ion Beam Analytical Methods to the Studies of PWI - Mobility 1.4.3. - FU,
- Fuel retention as a function of wall materials foreseen for ITER, WP11-PWI-01-01-01/MHEST/PS.
- Processes with Neutral Hydrogen Atoms and Molecules, 1.4.1. - FU,
- H2-D2 Molecule Wall Interaction - Mobility, 1.4.1. - FU
- COST akcija CM0805 - "Kemično vesolje: Razumevanje kemije v astronomskem okolju".
- IAEA 15955/R0, "Dopolnitev aktivnosti rentgenske spektrometrije z uporabo mikrožarkovnih sistemov pri raznih aplikacijah; Mikro-analitske tehnike jedrske spektrometrije za namene monitoringa okolja in raziskave materialov".

Spodaj so naštetih projekti na sinhrotronih, pri katerih so predlagatelji ali sopredlagatelji člani raziskovalnega programa P1-0112 in so bili izvedeni v letu 2010. Žarkovni čas financira EU ali države članice (zadnje velja le za ESRF):

- ELETTRA v Trstu (XAFS), In-house beamtime, "Degradation and stabilisation of manuscripts containing copper pigments and iron inks, 1. 2. do 5. 2. 2010.
- HASYLAB, DESY v Hamburgu (A1 in C), II-20080058 EC "XAS analysis of transition metals in lead-free piezoelectric thin films and in catalysts based on porous silicates", 18. - 25. 5. 2010.
- SOLEIL v Parizu (Tempo-B) 20090159, "Multidimensional photoelectron spectroscopy with Hermes", 24. 2. - 28. 2. 2010.
- ESRF v Grenoblu (ID26), EC-652, "X-ray emission spectroscopy (XES) on sulfur in silicates", 5. - 8. 3. 2010.
- ESRF v Grenoblu (ID26), HE-3362, "Molecular Field Effect probed by RIXS on SOCl, CS2 and OCS Molecules, 10. -16. 3. 2010.
- ELETTRA v Trstu (GasPhase), 20100240, "Entanglement of Ar LMM Auger decay paths by energy selective photoionization", 22.- 29. 8. 2010.
- SOLEIL v Parizu (Pleiades), "Chemical shift of the C 1s core double ionisation & study of Mercury salts", 12.-18.10.2010.
- HASYLAB, DESY v Hamburgu (A1 in C), II-20080058 EC "XAS analysis of transition metals in lead-free piezoelectric thin films and in catalysts based on porous silicates", 3. - 11. 10. 2010.
- ELETTRA v Trstu (Gaphase), 20100346 "Two-color experiment on He", 8. -15. 11. 2010.
- ELETTRA v Trstu (Aloisa), 20095442, 31. 5. - 6. 6. 2010.
- ELETTRA v Trstu (Aloisa), 20100376, 4. - 6. 7. 2010.
- ELETTRA v Trstu (Aloisa), 2010227, 30. 8. - 4. 9. 2010.

Spodaj so naštetih nosilci TNA projektov, na osnovi katerih so tuji raziskovalci v letu 2010 izvajali meritve z ionskimi žarki v Mikroanalitskem centru (MIC) v okviru EU povezave SPIRIT:

- 1) "Micro-Pixe Analysis of an 'Halotropic' Plant. Elemental Distribution in Root and Shoot of Bassia Indica under Saline Gradient in Soil", UNI Negev, Israel, Micro-PIXE, dr. Avi Golan (Goldhirsh), 21. - 25. 2. 2010.
- 2) "Variability of elements in Scots pine (Pinus sylvestris L.) bark and needles in the vicinity of oil refinery in Lithuania", UNI Vilnius, Lithuania, Micro-PIXE, dr. Pranas Baltrenas, 13.-17. 4. 2010.
- 3) "Micro-localization of elements in non-hyperaccumulators plants under different nutrient deficiencies and nutrient and pollutant toxicities", RES Zaragoza, Spain, Micro-PIXE, dr. Javier Abadia, 1.-15. 8. 2010.
- 4) "Chemical speciation of phosphorus compounds by means of high-energy resolution PIXE measurements employing wavelength-dispersive x-ray spectroscopy", RES Grenoble, Cedex, France, High-resolution PIXE spectroscopy, dr. Marine Cotte, 6.-10. 9. 2010.
- 5) "Elemental record of recent laminated tufa sediments as a high-resolution environmental proxy", UNI Madrid, Spain, PIXE, dr. Concepción Fidalgo Hijano, 24. 6. -2. 7. 2010.
- 6) "Characterization of zoned patterns by trace elements mapping in diagenetically transformed aragonite to calcite stalagmites", UNI Alcalá de Henares, Spain, PIXE, dr. Ian Fairchild, 21.-23. 6. 2010.
- 7) "Chemical speciation of 3d transition metal compounds by means of high-energy resolution PIXE measurements employing wavelength-dispersive x-ray spectroscopy (XES)", RES Zagreb, Croatia, High-resolution PIXE spectroscopy, dr. Milko Jakšić, 13.-17. 9. 2010.
- 8) "Histological localization of essential and non-essential elements in leaves of Zygophyllum fabago exposed to Cd and Zn treatments", UNI Louvain-la-Neuve, Belgium, Micro-PIXE, dr. Stanley Luttz, 23. 11. - 8. 12. 2010.
- 9) "Proton Beam Analysis of Late Bronze Age metals from Southern Hungary - Source Area and Technology", UNI Szeged,

#### **14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v letu 2010 potekali izven financiranja ARRS<sup>14</sup>**

- 1) Instrumentation Technologies, Solkan. Sodelovanje pri razvoju digitalnega procesiranja elektronskih signalov iz polvodniških detektorjev (U1-BL-F2-75/08).
- 2) Industrijske raziskave za firmo Pankl Engine Systems GmbH & Co. KG (0854343-2, 0950981-2).

#### **15. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi mednarodnega sodelovanja (sodelovanje v projektih okvirnih programov EU) v letu 2010<sup>15</sup>**

Sredstva sofinanciranja, namenjena programu P1-0112, je v celoti dobil Institut "Jožef Stefan", ker so bila ta sredstva pridobljena zaradi njihovega aktivnega vključevanja v okvirne programe EU. Sredstva smo porabili za dejavnosti, ki potekajo na naših mednarodnih projektih in za izboljšanje naše raziskovalne infrastrukture - posebej za dopolnitev opreme na postaji z ionskim mikrožarkom ter za dopolnitev opreme spektrometra za vibracijsko vzbujena stanja molekul vodika.

#### **16. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi povečane raziskovalne aktivnosti v Republiki Sloveniji in EU v letu 2010<sup>16</sup>**

Pridobljena sredstva smo porabili tako, da smo dodatne ure v letu 2010 razporedili med tiste člane programa na Institutu "Jožef Stefan", ki jih potrebujemo za izvajanje raziskav, pa se dosedaj zaradi premajhne pokritosti vanje niso mogli vključiti v zadostni meri.

#### **17. Opisno poročilo o porabi sredstev, pridobljenih na podlagi dodatnega letnega sofinanciranja zaradi sodelovanja v pedagoškem procesu v letu 2010<sup>17</sup>**

Tovrstna sredstva programa so se v letu 2009 delila med Institut "Jožef Stefan" (IJS) ter Fakulteto za Matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani (FMF).

Na IJS smo pedagoška sredstva namenili za aktivnosti v zvezi z organizacijo in vodenjem študentskih projektov, kot so seminarji, diplomske raziskave, študentsko delo ter s tem povezano delo zunanjih sodelavcev.

Na FMF smo pedagoška sredstva namenili za financiranje dopolnilne in pogodbene pedagoške zaposlitve članov raziskovalnega programa ter za drobne materialne stroške in potne stroške tistih zaposlenih na FMF, ki delajo na raziskavah programa P1-0112.

#### **18. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi<sup>18</sup>**

Glede na to, da delovanje programa v veliki meri temelji na večji domači in tuji raziskovalni infrastrukturi, kjer se uporabljajo najrazličnejše zelo napredne in zahtevne metode, je težko govoriti o tehnološki zrelosti, ki implicira samozadostnost in lastno kontrolo proizvodnje. Gre bolj za to, da se vse te specifične možnosti poznajo in je sploh možno razmišljati o izbiri najboljšega pristopa glede na dani raziskovalni problem. Možnosti, ki jih vseeno vidimo, so v glavnem povezane z raziskavami na ionskem pospeševalniku. Poleg specialnih tehnik, ki jih tu gojimo (rentgenska spektrometrija),

bi bilo mogoče z dodatnim vložkom nadaljevati z razvojem izdelave mikrostruktur z ionskim mikrožarkom (micromachining) - problematika, za katero smo nekatere od možnosti raziskali v okviru doktorske naloge našega kolega, z njegovim odhodom pa se je projekt žal moral zaustaviti. Drugo resno možnost vidimo v izdelavi prenosnih rentgenskih analizatorjev, ki bi jih bilo mogoče uporabljati za raznovrstne namene (recimo sortiranje odpadnih kovin, hitre in-situ analize prsti, merjenje sestave prašnih delcev v zraku). Tu imamo na voljo vso potrebno ekspertizo, vendar problem zaradi različnih razlogov ne preide med prioritete naloge. Tretjo možnost, ki jo že izkoriščamo, ponuja velik nabor polvodniških detektorjev, ki so na razpolago za razvoj naprednih metod digitalnega procesiranja. Kaže, da na tem področju v prihodnosti utegne priti do preboja, predvsem pri iskanju optimalnih algoritmov za procesiranje, kjer bi lahko prevzeli vodilno vlogo.

**ZAKLJUČNA POROČILA O REZULTATIH  
RAZISKOVALNIH PROJEKTOV**

# ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	
Naslov projekta	Hibridno adaptivni nadzor procesa frezanja z oblikovnim frezalom
Vodja projekta	
Tip projekta	
Obseg raziskovalnih ur	
Cenovni razred	
Trajanje projekta	-
Nosilna raziskovalna organizacija	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	EMO - ORODJARNA proizvodna družba d.o.o.
Družbeno-ekonomski cilj	

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

Šifra	
Naziv	

#### 2. Sofinancerji<sup>2</sup>

1.	Naziv	EMO - ORODJARNA proizvodna družba d.o.o.
	Naslov	Bežigrajska cesta 10, 3000 Celje, Slovenija
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA



### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

#### Raziskovalna hipoteza:

Pomanjkljivost modernih obdelovalnih sistemov (obstoječa tehnologija) je, da se rezalni parametri še vedno programirajo posredno v off-line načinu. Rezalni parametri se izbirajo pred obdelavo na osnovi izkušenj programerja in tehnoloških priročnikov. Da ne pride do pretirane obrabe in poškodb orodja, so rezalni pogoji običajno izbrani ekstremno konzervativno, zato so mnogi moderni CNC centri neučinkoviti. To je najbolj izrazito pri visoko-hitrostni obdelavi. Če želimo izboljšati učinkovitost stroja, je potrebno rezalne parametre prilagajati med obdelavo. Rešitev problema vidimo v uporabi adaptivnih sistemov vodenja (nova tehnologija), ki omogočajo on-line adaptacijo rezalnih parametrov. Ciljno usmerjen del trga vidimo prav v slovenskih orodjarnah, kjer bi z implementacijo razvitega sistema uspeli povečati učinkovitost in s tem tudi dodano vrednost obstoječih strojev za 40%. Na trgu obstaja precej adaptivnih regulacijskih sistemov, njihovo uvajanje na obstoječi NC stroj predstavlja velik investicijski zalogaj, saj je potrebno spremeniti celotno osnovno kibernetsko strukturo stroja. Nasprotno pa je pri predlaganem sistemu potrebno integrirati na stroj le merilnik in s serijsko povezavo povezati CNC krmilnik s PC-jem, na katerem deluje optimizacijski algoritem. Konkurenčna prednost razvitega sistema je prav v njegovi enostavni zgradbi ter enostavni in hitri integraciji na stroj z minimalnimi stroški (strošek merilnika in Pc-ja).

Na osnovi navedenih dejstev se je izoblikoval naslednji cilj projekta:

Cilj projekta je bil izdelati sistem, ki s posrednim optimiranjem in digitalno adaptacijo rezalnih parametrov nadzoruje rezalno silo in ohranja konstantno hrapavost obdelane površine med visokohitrostnim frezanjem. V ta namen je izdelan postopek hibridnega modeliranja procesa odrezavanja (ANfis-sistem), ki je uporabljen pri izdelavi CNC-simulatorja frezanja. Namen simulatorja je testirati stabilnost sistema in uglasiti parametre nevronske krmilne sheme. Učinkovitost predlaganega sistema vodenja, ki se kaže v izboljšani kvaliteti površine in manjši obrabi orodja, je testirana na frezalnem stroju.

Planirane aktivnosti našega raziskovalnega tima so bile osredotočene predvsem na področje odrezovalnih postopkov in področje inteligentnih proizvodnih strojev in naprav. Aktivnosti so podane v naslednjih točkah:

- razvoj CNC-krmilne enote z možnostjo učenja na osnovi nevronskih mrež.
- Razvoj in izdelava inteligentnih adaptivnih avtonomnih sistemov vodenja za visoko-hitrostno freziranje s težko opredelljivo dinamiko.
- Modeliranje in optimizacija odrezovalnih postopkov z evolucijskimi algoritmi, nevronskimi mrežami in metodami inteligence rojev (npr. PSO optimizacija).

V nadaljevanju so povzeti kronološko najpomembnejši realizirani cilji, ugotovitve, znanstvena spoznanja ter rezultati in učinki raziskovalnega projekta.

1. Pri izdelavi inteligentnega samoučljivega sistema vodenja za visoko-hitrostno freziranje s težko opredelljivo dinamiko so izvedene naslednje aktivnosti: zasnovan je načrt eksperimentov-meritev; realizirana je nova merilna veriga za merjenje rezalnih sil (Kistler merilnik, nabojni ojačevalac, AD pretvornik, kartica za zajemanje podatkov, Labview); razvita je nova programska oprema za zajemanje rezalnih sil (Labview); programska oprema je temeljito testirana, izbrana, nakupljena, umerjena in nastavljena so vsa potrebna rezalna orodja; izbrani in izdelani so testni obdelovanci; izdelani so CNC-programi na obdelovalnem stroju za procese meritev; po načrtu eksperimentov so izvedene meritve rezalnih sil in pripadajoče hrapavosti površine za najpogosteje uporabljena končna frezala; izdelana je sistematično urejena obsežna baza rezalnih veličin, izdelana je statistična analiza izmerjenih veličin z grafičnimi prikazi rezultatov; Testiran je modul za vzpostavitev komunikacije: sistem vodenja-CNC-krmilje stroja FAGOR 8040-M. Ugotovitve in znanstveno spoznanja do katerih smo se dokopali so: signali rezalnih sil nudijo največ informacij o stanju orodja (obraba in poškodbe), zato ni potrebe po implementaciji multi-senzorskega pristopa, ki je za 300-350 % dražji; z obvladovanjem rezalnih sil se lahko uspešno nadzoruje hrapavost površine, ki je bistven kazalec kakovosti procesa odrezavanja; signali rezalnih sil so v korelaciji z izmerjeno hrapavostjo površine in obrabo proste ploskve orodja; merilna veriga omogoča dovolj hitro in natančno zajemanje podatkov tudi pri velikih rezalnih hitrostih in malih premerih orodij; Lastna frekvenca pieco-merilnika sil (3kHz) je primerna za izvajanje meritev. Kartica za zajemanje podatkov omogoča dovolj veliko hitrost vzorčenja(250KS/s) in ima na razpolago dovolj prostih kanalov za komunikacijo s krmiljem.

2. Pri zasnovi in realizaciji sistema za on-line nastavljanje rezalnih parametrov je bil razvit celovit postopek hibridnega modeliranja dinamike odrezovalnega procesa, ki temelji na kombinaciji metode nevronskih mrež, mehke logike. V okviru hibridnega modeliranja poteka izdelava: simulacijskega modela CNC-frezanja, zasnovan je eksperimentalni postopek

snemanja dinamike podajalnega servo-pogona, pripravljena je vsa merilna oprema za eksperimentalno snemanje prehodna funkcija podajalnega servo-pogona, izdelani so blok diagrami adaptivnih nevronske- mehkih inferenčnih modelov za izbiro frezal in napovedovanje priporočenih rezalnih parametrov. Programiranje je uspešno izvedeno. Ugotovili smo, da je pripravljena baza podatkov dovolj natančna in zadostuje za izdelavo hibridnega modeliranja dinamike procesa. Anfis metoda se je izkazala za predvsem hitro, natančno in učinkovito metodo modeliranja. Preprostost in hitrost izdelave modelov je njena največja vrlina. Natančnost napovedi je za 16% večja kot pri nevronskih mrežah. Največji učinek metode je v prikazu logičnih povezav med vhodi in izhodi modela.

3. V merilno verigo je vključena nova USB kartica za zajemanje podatkov. Kartica zdaj omogoča dovolj veliko hitrost vzorčenja(450kS/s) tudi pri velikih rezalnih hitrostih in malih premerih orodij; Izvedena je primerjava zmogljivosti obeh kartic; Dokončan in preizkušen je eksperimentalni model; Zasnovana je procedura izdelave nevronskega modela rezalnih sil; Izvedena je priprava podatkov za učenje in testiranje nevronske mreže; Vhodni parametri (rezalnih parametrov) in izmerjene rezalne sile so bile združene v podatkovno matriko; Izvedena je normalizacija podatkov v matriki, razčlenitev matrike na vhodno-izhodni vektor nevronske mreže, razdelitev vhodno-izhodnega vektorja na niza za učenje in testiranje nevronske mreže; Zasnovana je simulacijska metoda za določitev optimalnih parametrov učenja nevronske mreže; Izbrana je optimalna arhitektura nevronske mreže in optimalni parametri učenja nevronske mreže; Uspešno je končan postopek učenja in testiranja nevronske mreže; Izdelan in preizkušen je nevronski model rezalnih sil; Izdelana je analiza rezultatov nevronskega modela in grafična primerjava napovedanih in izmerjenih rezalnih sil; Nevronski model rezalne dinamike je vključen v CNC simulator procesa frezanja; Zaključena je faza izdelave modula za vzpostavitev komunikacije: sistem vodenja-CNC-krmilje stroja FAGOR 8040-M; Izbrana je bila serijska komunikacija med CNC krmiljem stroja in sistemom vodenja na PC-ju. S tri žičnim null modem kablom je bila izdelana fizična povezava; Konfigurirana so bila varata na obeh straneh serijske povezave; Zasnovan je bil protokol pošiljanja telegrama; Vzpostavljena je hierarhija podrejeni in nadrejeni računalnik. Izdelana je procedura spreminjanja hierarhije; Definirane so časovne sekvence pošiljanja telegrama; Izdelana je metoda za odkrivanja napak pri prenosu telegrama; Sprogramirana je CRC-16 kontrolna koda za odkrivanje napak prenosa, ki najde napako v 17 bitnem telegramu z 99,99% verjetnostjo; V telegram sta integrirani DNCFRO in DNCSSO funkciji CNC krmilja. S preizkusi smo uspeli vzpostaviti komunikacijo, prevzeti nadzor nad krmiljem stroja in nato vzpostaviti začetno stanje. Testirali smo več-ciklični način vzpostavljanja komunikacije. Preizkušen je grafični vmesnik za vzpostavljanje komunikacije; Izdelan je blok diagram grafičnega vmesnika. Dokončana je nadzorno-upravljalna maska nadzorne plošče; Izveden je eksperimentalni postopek snemanja prehodne funkcije podajalnega servo-pogona z ball-bar merilnim sistemom. Za določitev prehodne funkcije so izvedene naslednji koraki: kalibriranje merilnika, izvedba testa, prenos podatkov v datoteko, izračun parcialnih podajalnih hitrosti v prehodnem pojavu in izris prehodnega pojava. Na osnovi prehodne funkcije je izdelana prenosna funkcija sistema, ki je podana z členom 2.reda Preizkusi so potrdili, da je ball-bar merilni sistem s stopnjo vzorčenja 250S/s in natančnostjo 5 mikronov dovolj natančen za snemanje prenosne funkcije podajalnega pogona.

4. Sledila je izdelava CNC simulatorja odrezavanja v programu Matlab-simulink. V okviru te faze so se posamezni modeli integrirali v simulacijsko okolje, ki je nato služilo za iskanje optimalnih algoritmov vodenje in fino ugaševanje parametrov. Ugotovljeno je, da je neprimernejši nevronski regulator s strukturo 8-4-2. Simulacije potrjuje njegovo robustnost in neobčutljivost na nepredvidljivost procesa frezanja. S simulacijami je izvedena primerjava različnih regulatorjev (PI, PID, FUZZY, MRAC). Ugotovljeno je, da ima najenostavnejšo zgradbo PI regulator, zato je njegova odzivnost največja. MRAC ima najbolj kompleksno zgradbo, zato ni primeren. Rezultati simulacij potrjuje stabilnost, robustnost in učinkovitost predlaganega nevronskega algoritma vodenja.

5. V zadnji fazi je potekalo eksperimentalno testiranje sistema vodenja na obdelovalnem stroju. Eksperimenti so izvedeni za 4 testne obdelave: za frezanje utora sinusne oblike, za frezanje stopničstega obdelovanca, za frezanje prizmatičnega obdelovanca in kotna obdelava. Nevronski krmilni sistem se odlično obnese v vseh testnih obdelavah. Izvedena je časovna analiza za konvecionalno frezanje in adaptivno frezanje s predlaganim sistemom. Ugotovljeno je, da s predlaganim adaptivnim sistemom vodenja dosežemo v določenih primerih tudi 40% časovni prihranek v enem rezu.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Vsi zastavljeni raziskovalni cilji so bili realizirani v smeri, ki je bila določena s terminskim načrtom izvajanja projekta. Raziskave v sklopu našega tima so dosegle zelo visoko stopnjo

realizacije zastavljenih ciljev. To se navsezadnje vidi v številu izvedenih eksperimentov, opravljenih meritev, izdelanem sistemu vodenja in nadzora obdelovalnega procesa, nadgrajenem obdelovalnem stroju, posodobljenimi tehnološkimi bazami, optimiranem procesu obdelave in številnimi malimi inovacijami. Z raziskovalnim delom na področju raziskav frezanja in postopkov modeliranja ter vodenja smo dosegli vrhunske rezultate z izvirnimi rešitvami, ki jih dokazujemo z znanstvenimi objavami, citiranostjo in ustrezno raziskovalno opremo. V enem letu smo v najuglednejših mednarodnih revijah z našega področja objavili 2 članka na področju tematiko. Reviji se uvrščata v 1/4. Raziskovalci so natančno sledili zastavljenemu terminskemu planu raziskav, podali natančen opis rezultatov, analizirali dosedanje raziskave in spoznanja ter pripravili vse potrebno za izvedbo bodočih raziskav.

Prvi cilj – Pripravljalna faza izdelave inteligentnega samo-uceljivega sistema vodenja za visokohitrostno frezanje s težko opredeljivo dinamiko je bil nadvse uspešno realiziran. Izdelan je nacrt eksperimentov, merilna veriga s softverom za zajemanje podatkov, izvedene so vse potrebne meritve, izdelana je tehnološka baza rezalnih velicin in pripadajočih orodij. S eksperimenti smo še bolj natančno dokazali korelacijo med komponentami rezalne sile in hrapavosti obdelane površine. Kljub začetnim težavam in zakasnitvam smo tudi ta plan predčasno realizirali. Tudi drugi cilj raziskav – Izdelava CNC simulatorja dinamike odrezavanja in priprava eksperimentalnega postopka snemanja dinamike podajalnega servo-pogona je bil uspešno in pravočasno realiziran.

Sledilo je ugaševanje celotnega sistema ter analiza njegove stabilnosti in izdelava modula za vzpostavitev komunikacije CNC-krmilje-sistem vodenja. Realizacija tega cilja se je izkazala kot najtežja in najzahtevnejša. Predstavljala je ključno-prelomno fazo projekta in je bila ključna za uspešno in pravočasno realizacijo celotnega projekta. Sledila je izdelava softvera za digitalno adaptacijo rezalnih parametrov in končno eksperimentalno testiranje sistema na obdelovalnem stroju. V okviru te faze smo preučili vplive sistema na delovno okolje, stabilizacijo procesa in daljšo življenjsko dobo stroja/orodja. Izvedene so vse potrebne meritve vplivnih velicin pred integracijo in adaptacijo sistema. Ta faza je bila časovno najbolj kritična in zahtevna saj je potekala v industrijskem okolju med samo proizvodnjo.

Povzetek: Vsi glavni cilji projekta so realizirani in ni bilo signifikantnih odstopanj pri izvedbi zastavljenega programa.

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

Ni bilo sprememb programa.

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

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	SLO Adaptivni nevro-mehki inferenčni sistem ocenjevanja obrabe proste ploskve pri oblikovnem frezanju. ANG Adaptive network based inference system for estimation of flank wear in end-milling
	Opis	SLO Cilj članka je predstaviti razvoj zanesljive metode za napovedovanje obrabe med procesom oblikovnega frezanja. Uporabljena je neuro-fuzzy tehnika napovedovanja obrabe proste ploskve frezala na osnovi signalov izmerjenih rezalnih sil. Namen metode je izluščiti učinkovit lingvistični model za napovedovanje obrabe na osnovi znanja, ki je zbrano v naučeni nevronske mreži. Napaka napovedi znaša do 3% z učenjem mreže z pravilom vzvratnega širjenja napake. ANG The focus of this paper is to develop a reliable method to predict flank wear during end-milling process. A neural-fuzzy scheme is applied to perform the prediction of flank wear from cutting force signals. In this contribution we also discussed the construction of a ANFIS system that seeks to provide a linguistic model for the estimation of tool wear from the knowledge embedded in the neural network. The estimation error is up to 3% by using neural network trained with backpropagation algorithm.
	Objavljeno v	ŽUPERL, U., CUŠ, F., KIKER, E.. Adaptive network based inference system for estimation of flank wear in end-milling. J. mater. process. technol., 2009, 209, 1504-1511, JCR IF (2008): 1.143

	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
2.	Naslov	SLO Optimiranje visoko-hitrostnega oblikovnega frezanja z uporabo kolektivne inteligence rojev.
		ANG Particle swarm intelligence based optimisation of high speed end-milling.
	Opis	SLO V raziskavi je prikazan postopek vec-ciljnega optimiranja procesa frezanja z uporabo nevronskega modeliranja in optimizacije, ki temelji na zakonitostih gibanja malih delcev v velikih jatah. Za napovedovanje rezalnih sil je uporabljen model rezalnih sil, za določitev optimalne rezalne hitrosti in podajanja uporabimo PSO-algorem. Eksperimentalni rezultati pokažejo, da se MRR izboljša za 28%. Opažena je tudi 20% redukcija časa obdelave. Članek pripravi teren za nov razred EC optimizacijskih tehnik na področju obdelave z odrezavanjem.
		ANG This study has presented multi-objective optimization of milling process by using neural network modelling and Particle swarm optimization. A neural network model was used to predict cutting forces during machining and PSO algorithm was used to obtain optimum cutting speed and feed rate. The experimental results show that the MRR is improved by 28%. Machining time reductions of up to 20% are observed. This paper opens the door for a new class of EC based optimization techniques in the area of machining.
	Objavljeno v	ČUŠ, F., ŽUPERL, U.. Particle swarm intelligence based optimisation of high speed end-milling. Archives of computational materials science and surface engineering, 2009, 1, 148-154.
Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	SLO Nevronski sistem vodenja za zagotavljanje konstantne rezalne sile med procesom oblikovnega frezanja.
		ANG Neural control strategy of constant cutting force system in end milling
	Opis	SLO V članku je prikazana uporaba strategije nevronske adaptivne regulacije rezalnih sil pri operacijah visoko-hitrostnega frezanja. Cilj članka je predstaviti zanesljiv, robusten nevronski regulator, ki z prilagajanjem podajanja preprečuje prekomerno obrabo, lom orodja in vzdržuje veliko stopnjo odzemanja materiala.
		ANG This paper discusses the application of neural adaptive control strategy to the problem of cutting force control in high speed end milling operations. The purpose of the paper is to present a reliable, robust neural controller aimed at adaptively adjusting feed-rate to prevent excessive tool wear, tool breakage and maintain a high chip removal rate.
	Objavljeno v	ŽUPERL, U., ČUŠ, F., REIBENSCHUH, M., Robot. comput.-integr. Manuf, 2010, 485-493, JCR IF (2009): 1.687.
Tipologija	Pregledni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID		
4.	Naslov	SLO Modeliranje in adaptivna regulacija rezalnih sil pri frezanju z uporabo tehnik umetne inteligence.
		ANG Modelling and adaptive force control of milling by using artificial techniques
	Opis	SLO Za povečanje produktivnosti je izdelan samoučljiv sistem vodenja procesa frezanja. Sistem vodenja sestavljajo nevronski identifikator procesa in mehki zaprto-zančni krmilni modul. Z izdelanim sistemom smo uspeli zmanjšati obdelovalne čase, podaljšati življenjsko dobo orodja in izboljšali učinkovitost odrezavanja. Prednost sistema je, da ne potrebuje predhodnega znanja o regulacijskih zankah stroja in dinamiki procesa. Ima zmožnost paralelnega procesiranja, samo-učenja in obdelave velikega števila s senzorji pridobljenih informacij.
		ANG To increase productivity, a new adaptive learning control system in milling processes has been developed. Based on proposed control system which consists of neural network dynamics model of the process and fuzzy feedback control module. The developed control system can reduce the machining time, protect the cutting tool, and increase the cutting efficiency. The main advantage of this approach is that the use of an adaptive learning control of milling processes does not require a priori knowledge about the servo-loops and the milling process dynamics.
	Objavljeno v	ŽUPERL, U., ČUŠ, F., REIBENSCHUH, M.. J. intell. manuf., 2010, JCR IF

		(2009): 0.938.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	SLO Nadzor orodja v popolnoma avtomatiziranih obdelovalnih sistemih
		ANG Tool condition monitoring in unmanned flexible manufacturing system
	Opis	SLO Glavni namen raziskave je bil izdelati 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 nevronskega sistema odločanja in ANFIS napovedovanja obrabe orodja. Glavna predpostavka raziskave je, da signali izmerjenih rezalnih sil vsebujejo največ uporabnih informacij o stanju orodja. Zato je uporabljena metoda ANFIS, ki iz signalov izmerjenih rezalnih sil izlušči pomembne značilnosti o stanju orodja.
		ANG The original contribution of the research was the developed monitoring system that can detect tool breakage in real time by using a combination of neural decision system and ANFIS tool wear estimator. The principal presumption was that force signals contain the most useful information for determining the tool condition. Therefore, the ANFIS method is used to extract the features of tool states from cutting force signals. ANFIS method seeks to provide a linguistic model for the estimation of tool wear from the knowledge embedded in the artificial neural network.
	Objavljeno v	ŽUPERL, U., KOPAČ, J., REIBENSCHUH, M.. Innovative production systems key to future intelligent manufacturing. Maribor: Faculty of Mechanical Engineering; Skopje: Faculty of Mechanical Engineering, 2010, 39-43.
	Tipologija	Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
	COBISS.SI-ID	

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat	
1.	Naslov	SLO Inteligentno vodenja procesa frezanja z uporabo inverznega modeliranja in mehkega povratno-zančnega mehanizma.
		ANG Intelligent control of milling process by inverse modelling and fuzzy feedback mechanism.
	Opis	SLO Za povečanje produktivnosti je izdelan samoučljiv sistem vodenja procesa frezanja. Sistem vodenja sestavljajo nevronski identifikator procesa in mehki zaprto-zančni krmilni modul. Z izdelanim sistemom smo uspeli zmanjšati obdelovalne case, podaljšati življenjsko dobo orodja in izboljšali učinkovitost odrezavanja. Prednost sistema je, da ne potrebuje predhodnega znanja o regulacijskih zankah stroja in dinamiki procesa.
		ANG To increase productivity, a new adaptive learning control system in milling processes has been developed. Based on proposed control system which consists of neural network dynamics model of the process and fuzzy feedback control module. The developed control system can reduce the machining time, protect the cutting tool, and increase the cutting efficiency. The main advantage of this approach is that the use of an adaptive learning control of milling processes does not require a priori knowledge about the servo-loops and the milling process dynamics.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	ŽUPERL, U., CUŠ, F.. Intelligent control of milling process by inverse modelling and fuzzy feedback mechanism. International Scientific Conference Management of Technology Step to Sustainable Production, MOTSP 2009, 2009, 136-141.
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO Samo-učljiva strategija vodenja aplicirana na sistem frezanja
		ANG Self-learning control strategy with application to milling system.
		V članku je opisana izdelava nevronskega sistema vodenja za nadzor

	Opis	SLO	obremenitev na obdelovalnem stroju. Sledi opis izdelave sistema, simulatorja, simuliranje delovanja krmilnika, iskanje optimalnih nastavitev krmilnika in nazadnje eksperimentalno testiranje na obdelovalnem stroju.
		ANG	Paper describes the development of neural control system for load monitoring on machine tool. The description of making the system, simulator, controller simulations, searching for optimal parameters of controller and finally the experimental testing on machine tool follows.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	ČUŠ, F., ŽUPERL, U., GECEVSKA, V.. Self-learning control strategy with application to milling system. Annals of DAAAM for 2009 & proceedings of the 20th International DAAAM symposium "Intelligent manufacturing & Automation: "Focus on theory, practice and education, 2009, 451-452	
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID			
3.	Naslov	SLO	Strategija vodenja za zagotavljanje konstantne rezalne sile in maksimiranje stopnje odvzetega materiala
		ANG	Control strategy of constant milling force system and metal removal rate maximization.
	Opis	SLO	V članku je opisana izdelava strategije vodenja za nadzor obremenitev na obdelovalnem stroju. Sledi opis izdelave sistema, simulatorja, simuliranje delovanja krmilnika, iskanje optimalnih nastavitev krmilnika in nazadnje eksperimentalno testiranje na obdelovalnem stroju.
		ANG	Paper describes the development of control strategy for load monitoring on machine tool. The description of making the system, simulator, controller simulations, searching for optimal parameters of controller and finally the experimental testing on machine tool follows.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	ČUŠ, F., BALIČ, J., ŽUPERL, U.. 7th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics ICINCO 2010 [and] ANNIP, Artificial Neural Networks and Intelligent Information Processing Workshop, [and] special session IVC & ITS Intelligent Vehicle Controls & Intelligent Transportation System, Funchal, Madeira, Portugal, 2010, 1, 265-268.	
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	Primerjava različnih optimizacijskih in regulacijskih procedur.
		ANG	Comparison of different optimization and process control procedures.
	Opis	SLO	V članku je predlagan nov inteligentni sistem izbire rezalnih pogojev in optimalnega rezalnega orodja pri operacijah frezanja. Eksperimentalni rezultati potrjujejo, da je predlagan pristop primeren in učinkovit pri reševanju kontinuiranih kompleksnih optimizacijskih problemov, ki jih srečamo v obdelovalni tehniki. Sistem je zgrajen z uporabo programa Matlab in Labview. Vsebuje inferenčno jedro, uporabniški vmesnik, bazo znanja, bazo pravil in optimizacijski modul.
		ANG	This paper proposes a new intelligent system for selection of cutting tools and conditions of milling operations. Experimental results confirm that proposed approach is suitable and efficient for solving complex continuous optimization problems in machining. It consists of inference core, user interface, knowledge and rule base and optimization module.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	REIBENSCHUH, M., ČUŠ, F., ŽUPERL, U.. International Scientific Conference Management of Technology Step to Sustainable Production, MOTSP 2010, 2-4 June, 2010.	
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
COBISS.SI-ID			
5.	Naslov	SLO	Inteligentni sistem za izbiro rezalnega orodja in rezalnih pogojev
		ANG	An intelligent system for cutting tool and condition selection
			V članku je predlagana nov inteligentni sistem optimiranja rezalnih pogojev in izbire optimalnega rezalnega orodja, ki bazira na samoučenju. S sistemom se določa optimalne rezalne parametre pri obdelovalnih operacijah. Sistem



Opis	SLO	je zgrajen z uporabo programa Matlab in Labview. Vsebuje inferenčno jedro, uporabniški vmesnik, bazo znanja, bazo pravil in optimizacijski modul. Sestoji se iz treh delov: Anfis-ovega izbirnega modula, modula za posredno optimiranje in modula za digitalno on-line optimiranje.
	ANG	This paper presents the development of an intelligent system for selection of cutting tools and conditions of milling operations. The system developed can be used to select the cutting insert and cutting conditions. It is able to analyse and optimise condition selection. This system is constructed and implemented using Matlab and Labview. It contains an inference engine, a user interface and explanation facility a complete shell, a knowledge base, and an optimisation module for machining conditions.
Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
Objavljeno v	BALIČ, J., ČUŠ, F., ŽUPERL, U.. An intelligent system for cutting tool and condition selection. V: Fourth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS 2009) March 19-22, 2009. Cairo, Egypt, 432-437.	
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID		

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

Zelo pomemben rezultat programske projekta je integracija raziskovalnih dosežkov v pedagoški proces in seznanjanje študentov o aktualnih raziskavah, ki potekajo v laboratoriju, kjer se izvajajo laboratorijske vaje. Na ta način dobijo študentje vpogled v raziskovalne in eksperimentalne metode, raziskovalno opremo, programsko opremo in se seznanijo s timskim načinom dela-raziskovanja. Oprema in raziskovalno vzdušje pritegne študente in jih navduši za delo na študentskih projektih in izbiro diplomskih del na podobno tematiko. Raziskovalno tematiko je možno izbrati na podiplomskem študiju.

Objave raziskovalnih rezultatov služijo za ozaveščanje in seznanjanje orodjarn z obravnavano problematiko ter možnost skupnega sodelovanja na industrijskih projektih. Raziskovalni rezultati bodo prispevali k modernizaciji obstoječih starejših obdelovalnih strojev ter povečanju učinkovitosti novih modernih CNC obdelovalnih sistemov v slovenskih orodjarnah.

Implementacija raziskovalnih rezultatov bo zmanjšala obdelovalne case, razbremenila programerja in upravljavca stroja. Naloga slednjega se bo spremenila iz upravljavca v opazovalca oziroma nadzornika procesa.

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

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

SLO

Raziskave predstavljajo multidisciplinarni pristop različnih področij inženirskih znanj, ki morajo najti rešitev za novi inovativni produkt, narejen v slovenski fakulteti in namenjen globalnemu tržišču. Predvsem orodjarska industrija zahteva neprestane inovacije in rešitve zaradi nižanja stroškov proizvodnje, povečanja produktivnosti in na osnovi tega naroča posodobitve strojev, ki izpolnjujejo njihove zahteve. Multidisciplinarno področje zajemajo znanja iz mehanike, strojništva, mehatronike, ekonomije, optimalne izrabe energije, upoštevanje varnostnih predpisov.

Z dosedanjim raziskavami na področju vodenja procesov freziranja in ostalih postopkov odrezavanja so doseženi vrhunski rezultati z izvirnimi rešitvami, ki jih dokazujemo z vrhunskimi znanstvenimi objavami, citiranostjo in ustrezno raziskovalno opremo. S hibridnim modeliranjem na izviren način dokazujemo, da so signali maksimalnih rezalnih sil v korelaciji s hrapavostjo obdelane površine. Izdelana merilna veriga za merjenje rezalnih velicin skupaj z razvito programska oprema za zajemanje (Labview) je iz znanstvenega vidika zelo aktualna, saj predstavlja najsodobnejšo tehnologijo za razvoj samodejno vodenih obdelovalnih sistemov. Novi prispevek k teoriji odrezavanja je vključitev in uporaba sodobnih informacijskih orodij in umetnih samo-ucekih sistemov, ki abstrahirajo delovanje človeškega razuma v procese napovedovanja in optimiranja rezalnih velicin v realnem času. Na tej osnovi je definirano na modelih temelječe orodje za dinamično maksimiranje rezalnih režimov med samo obdelavo, ki temelji na kombinaciji metod umetne inteligence. Takšen sistem vodenja prispeva k nadaljnjemu razvoju področja odrezavanja in praktični uporabi umetne inteligence pri procesih napovedovanja, generaliziranja in predvsem optimiranja rezalnih velicin za izvajanje fleksibilne, stroškovno ugodne proizvodnje.

The research is a multidisciplinary surpassing of various fields of engineering knowledge supposed to find a solution for a new innovative product made in a Slovenian faculty and intended for global market. Particularly, the tool making industry requires persistent innovations and solutions for production costs, increase of productivity and, accordingly, buys the upgrades of machine tools meeting their requirements. The multidisciplinary fields include knowledge from mechanics, chemistry, mechanical engineering, mechatronics, economy, optimal energy utilization, consideration of safety standards.

By previous researches in the field of control of milling process and other machining processes the top research achievements were accomplished by original solutions, which are demonstrated by top scientific publications, citations and suitable research equipment. By hybrid modelling we are proving in an original way that the signals of maximum cutting forces are in correlation with the roughness of the machined surface. The completed measuring equipment and developed software for data acquisition of cutting quantities (Labview) is up-to-date from scientific standpoint because it presented the most modern technology for development of modern unmanned machining systems. The new contribution to cutting theory is the incorporation and application of modern information tools and artificial self-learning systems, abstracting the functioning of the human mind, into processes of prediction and optimization of cutting variables in real time. On that basis the model based tool for on-line maximising of cutting parameters during machining, based on the combination artificial intelligence, is defined.

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

Raziskava je za družbo zelo pomembna, saj iščemo nove rešitve in razvijamo kakovostne izdelke, ki bodo izhodišče za izdelke z visoko dodano vrednostjo in ki bodo pomenili trajno konkurenčno prednost in garancijo kupcu, da je dobil tehnološko dovršen izdelek, hkrati pa bomo zaposlenim nudili bolj prijazno delovno okolje. V okolje, v katerem poslujemo, vstopamo družbeno-odgovorno in s svojim ravnanjem razvijamo ter utrjujemo prepoznavno pozitivno identiteto in mednarodni ugled fakultete. Položaj na trgu si bomo izborili z odličnostjo v poslovanju ter odzivnim izpolnjevanjem zahtev in pričakovanj naročnikov, tudi na najzahtevnejšem tehnično-tehnološkem nivoju.

Prispevek izvedenih raziskav je za gospodarstvo zelo pomemben, saj se sistemi adaptivnega vodenja razvijajo za konkretne stroje. Z uspešno realizacijo zastavljenih idej so se znatno izboljšale lastnosti obstoječih obdelovalnih sistemov. Glavni učinki raziskav za kovinsko predelovalno industrijo oziroma za slovenske orodjarne so: manjši stroški obdelave, krajši časi obdelave, manjša obraba orodij, preprečitev poškodb in loma orodja, večja avtomatizacija procesa, večja robustnost in stabilnost sistema vodenja, manjša potreba po konstantnem nadzoru operaterja, visoko kvalitetna proizvodnja z minimalnim izmetom, možnost daljinskega vodenja procesa odrezavanja, možnost prenosa aplikacije na različne stroje in postopke obdelave in nadgradnja obstoječih CNC strojev v industrijskem okolju. Razvoj in uporaba inteligentnih adaptivnih sistemov na področju odrezavanja materialov neposredno vpliva na manjše stroške, višjo kakovost izdelkov in na manjšo porabo vložene energije. Slovenskim orodjarnam na ta način dvigujemo tehnološko raven, racionaliziramo proizvodne stroške in zagotavljamo okolju prijazno proizvodnjo. Predlagana vsebina raziskav je usklajena z razvojno politiko države in z razpisanimi temami. Z ozirom na resolucijo o nacionalnem raziskovalnem in razvojnem programu za obdobje 2006-2010 se vsebina predlaganega projekta uvršča med raziskovalne prioritete. Raziskava se umešča v tretji prioritetni sklop. Z raziskavami bomo bistveno prispevali k nadaljnjemu razvoju tega prioritetnega področja.

This research is very important for the society, since we look for new solutions and develop high-quality products on which the products with high added value will be based and which will bring a permanent competitive advantage and a guarantee to the buyer that he has received a technologically perfect product; in the same time a affable working environment will be assured to the manpower. We are entering socially responsible into the environment, where we are active and are developing and strengthening the transparently positive identity and international renown of the faculty. The position on the market will be assured by excelling in the business operations and by prompt fulfilment of the buyers' requirements and expectations even at the most exact technical-technological level.

The contribution of realized researches for economy is very important, since the adaptive control systems are developing for concrete machines. By successful materialization of ideas the properties of the existing manufacturing systems were considerably improved. The principal research effects for the metal-processing industry and/or for the Slovene tool-making shops are: shorter manufacturing times, lower manufacturing costs, smaller tool wear, automation of the process, greater robustness and process stability, relief to programmer and operator, high-quality production with minimum defects, possibility of process remote control,



possibility of application transfer to different machines and machining processes and upgrading of existing CNC machine tools in production environment. Development and application of intelligent adaptive systems in the field of metal cutting influence in cost reduction, higher product quality and lower energy consumption. In this way we raise the technological level of Slovenian enterprises, rationalize the production costs and assuring environmental friendly production.

Proposed project content is harmonized with national Research and Development Programme and with thematic priorities. In regard to resolution of national research and development programme for the period 2006-2010 the proposed project content is placed among research priorities. The research is ranged in third priority domain: researching of new production processes and technologies. The proposed researches will fundamentally contribute to further development of this priority domain.

## 10. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki [12](#)

1.	<b>Sofinancer</b>		
	<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>		<b>EUR</b>
	<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>		<b>%</b>
	<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>		<b>Šifra</b>
	1.	MILFELNER, Matjaž, KOPAČ, Janez. Intelligent system for machining and optimization of 3D sculptured surfaces with ball-end milling.	
	2.	Z uspešno realizacijo zastavljenih ciljev projekta so se znatno izboljšale lastnosti obstoječih obdelovalnih sistemov (posodobitev obdelovalnih strojev)	
	3.	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa (krajši čas izdelave in manjši stroški obdelave, razbremenitev programerja in operaterja, daljša življenjska doba stroja in orodja, večja kvaliteta)	
4.	Izdelan je inteligentni sistem vodenja za visoko-hitrostno freziranje s težko opredeljivo dinamiko. Razvita je potrebna programska oprema.		
5.	Določitev korelacije rezalna sila-hrapavost površine		
<b>Komentar</b>		Raziskovalni projekt je v podjetje, tehnološke postopke, organizacijo in poslovanje vnesel nove metode, nove pristope, predvsem pa najnovejša znanstvena spoznanja. Z rezultati projekta spreminjamo dosedanje tehnologije v konkurenčne sodobne postopke, ki jih zahtevajo partnerji in naročniki iz uglednih evropskih tovarn. Naši produkti so kakovostni, izpolnjujejo vse zahteve naročnikov in dobljene reference nam omogočajo pridobitev novih naročil.	
<b>Ocena</b>		Ocenjujemo, da so projekti, ki jih sofinaciramo in izvajamo z ugledno inštitucijo iz Univerze zelo pomembni za naš bodoči razvoj. Pri iskanju novih poslov v evropskem prostoru nam referenca Fakultete za strojništvo in Univerze v Mariboru dviga ugled. S tem izkazujemo profesionalni poristop do izvedbe projekta, iskanju inovativnih rešitev, zmanjševanju lastnih stroškov proizvodnje, predvsem pa iskanja alternativnih materialov in tehnologij, ki nadomeščajo zastarele, drage in neučinkovite rešitve. Na osnovi tega predlagamo ARRS da tudi v bodoče spodbuja industrijske projekte s področja strojništva, ki se povezujejejo z evropskim tržiščem, uvajajo nova znanja in zaposlujejo vrhunske slovenske strokovnjake.	

# ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	
Naslov projekta	Razvoj elektronske merilne platforme PowerQ4
Vodja projekta	
Tip projekta	
Obseg raziskovalnih ur	
Cenovni razred	
Trajanje projekta	-
Nosilna raziskovalna organizacija	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	Institut "Jožef Stefan" Metrel, merilna in regulacijska oprema d.d. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Družbeno-ekonomski cilj	

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

Šifra	
Naziv	

#### 2. Sofinancerji<sup>2</sup>

1.	Naziv	Metrel, merilna in regulacijska oprema d.d.
	Naslov	Ljubljanska 77, 1354 Horjul
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Izvedena dela v okviru tretje faze:

- izveden je bil prototip programskega dela grafičnega vmesnika merilne naprave Power Q4 z arhitekturno matrico vmesniške platforme,
- izveden je bil funkcionalni preizkus vmesniške platforme z ekransko grafiko in njenimi aplikacijami,
- izvedena je bila vsa tehnična dokumentacija za grafični vmesnik,
- izvedene so bile oblikovno-konstruktivske rešitve vseh eksternih priključkov instrumenta: daljinski komander z vsemi variacijskimi priključki in nastavki za različne standarde vtičnic in visokonapetostna kontaktna pištola.
- za vsak od navedenih priključkov je bil izdelan funkcionalni prototip, najprej s cenejšo nanašalno metodo 3D printanja/ekstrudiranja ABS platike, nato pa še z SLS metodo laserskega sintranja plastičnih ohišij,
- po vseh funkcionalnih preizkusih so bile izvedene določene konstruktivske spremembe in izboljšave tako osnovnega ohišja naprave Power Q4 kakor njenih aplikacijskih priključkov, bodisi kot posledica potrebe po ročni izvedljivosti ali kot posledica ergonomskih izboljšav naprave in njenih priključkov.
- izvedene so bile vse korekture tehnične dokumentacije, tako osnovnega modela merilne naprave Power Q4, kakor za vse pripadajoče variacijske priključke in nastavke,
- vsi 3D modeli naprav in priključkov so bili za potrebe uporabnika predelani na standarde njihove programske opreme,
- ponovno so bili izdelani končni funkcionalni prototipi za Power Q4 in vse pripadajoče eksterne priključke,
- pri razvojnem delu so bile uporabljene najsodobnejše tehnologije 3D digitalizacije, tehnologije slojevite izdelave prototipov in nanašalne tehnologije, ki pa so bile poleg projekta za Metrel s pridom uporabljene tudi na drugih področjih za potrebe kraniofacialne kirurgije, za analize prototipov športnih oblačil s postopkom simulacije na 3D virtualnem modelu, v digitalnem restavratorstvu itd.,
- za jedrno konstrukcijo in konstrukcijo visokonapetostne kontaktne pištole sta bila uspešno izvedena preizkusa patentabilnosti, vendar sofinancer ni bil zainteresiran za nadaljnjo izpeljavo postopka patentiranja iz več razlogov: najprej zaradi stroškov, nadalje pa tudi zaradi časovne neprimernosti, kajti za izpeljavo od prototipov do orodij in same proizvodnje naprav pa vse do vstopa na trg, deloma tudi zaradi splošne krize na trgu, bo potreben še določen čas, najmanj par let. Patentiranje pa ima smisel le tik preden stopiš na trg, sicer se njegov potencial v času priprav lahko povsem izgubi in z njim tudi finančni vložek.

### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Vsi planirani raziskovalno aplikativni cilji za tretje leto so bili v okviru načrta ARRS projekta doseženi. Opravljena tretja faza projekta je bila tudi s strani sofinancerja - Metrela, sprejeta s popolnim zadovoljstvom glede zahtev in pričakovanj. Metodologija razvojnega modela **od znotraj navzven**, se je izkazala za zanesljivo in kvalitetno pot pri celovitem razvoju kompleksnega sklopa izjemno zahtevnih izdelkov, ki morajo odgovarjati vsem najzahtevnejšim mednarodnim standardom. Metrel je namreč s svojim obsežnim tehničnim zahtevnikom v naprej definiral vse cilje, postavil obseg omejitev, pogojev in predpisov, ki pa smo jih z metodo **od znotraj navzven** več kot zadovoljivo rešili in v nekaterih segmentih celo presegli. Poglavitni del razvojne zgodbe se skriva že v inovativni rešitvi samega jedra naprave: s prestrukturiranjem, trirazsežno optimizacijo postavitve in večkratno trirazsežno iteracijo prav vseh sestavnih delov, elektronskih komponent in vseh medsebojnih povezav, kar popolnoma **nepričakovano** preseglo vsa zapisana pričakovanja Metrela, saj so se gabariti jedra in s tem celotne naprave, zmanjšali za več kot tretjino, kar predstavlja določene prihranke nasproti načrtovanim gabaritom, ki se bodo izkazali in finančno ovrednotili pri izvedbi orodij za izdelavo segmentov in ohišja naprave. Pri teh postopkih smo uporabili najsodobnejše tehnologije 3D digitalizacije, tehnologije slojevite izdelave in nanašalne izdelave prototipov, ki pa so bile poleg projekta za Metrel s pridom uporabljene tudi na drugih področjih vzratnega inženirstva, medicine, tekstilstva, restavratorstva itd.

Z inovativno rešitvijo nosilne plošče jedra naprave je bil dosežen tudi popolnoma nov princip sestavljanja in testiranja naprave, saj ta omogoča popolno funkcionalno kompletiranje in testiranje delovanja naprave še preden je umeščena v samo ohišje. To pomeni enostavnejšo in boljše dostopnost do vseh komponent že pri samem sestavljanju v montaži, proizvodnji, testiranju. Pri samem servisiranju pa omogoča enostaven in hiter dostop v primeru poškodbe ali okvare preprosto zamenjavo celotnega jedra ali posameznih sklopov. Dosledno izpeljan model razvoja **od znotraj navzven** je praktično zadostil vsem izhodiščno zastavljenim parametrom razvoja elektronske merilne naprave z vsemi njenimi priključki in sestavnimi deli! S temi rezultati smo zadostili vsem najstrožjim mednarodnim predpisom in najzahtevnejšim standardom, ki umeščajo elektronsko merilno napravo Power Q4 na najzahtevnejši svetovni trg. K temu cilju je nedvomno prispeval pričujoči projekt ARRS, ki je s tem tudi popolnoma opravičil svojo vlogo, poslanstvo in namen!

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

Ni bilo odstopanj od planiranega programa izvedbe.

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

Znanstveni rezultat			
1.	Naslov	SLO	jedkanje v grafit-volframovem kompozitu s kisikovo plazmo
		ANG	Etching of carbon-tungsten composite with oxygen plasma
	Opis	SLO	Merili smo hitrost jedkanja ogljika v kompozitu grafit-volfram med čiščenjem s kisikovo plazmo. Kompozitno plast smo naredili z hkratnim naprševanjem iz grafitne in WC tarče v Ar atmosferi. Vzorce smo izpostavili šibko ionizirani plazm, ki smo jo pripravili z mikrovalovno razelektrivijo. Med obdelavo je bila temperatura vzorcev okrog 580 °C. Po plazemski obdelavo smo vzorce analizirali z AES, XPS, SEM in AFM. Ugotovili smo, da je med plazemsko obdelavo prišlo do preferenčnega jedkanja ogljika.
		ANG	The removal rate of carbon from amorphous graphite-tungsten composite during cleaning in oxygen plasma was studied. The composite was prepared by sputter deposition from C and WC-targets in Ar atmosphere. The samples were treated in a weakly ionized highly dissociated oxygen plasma created in a microwave discharge. The temperature of the samples during treatment was about 580 °C. After plasma treatment the samples were analyzed by AES depth profiling, XPS, SEM and AFM. It was found that during the plasma treatment preferential etching of the carbon occurred.
	Objavljeno v	Surf. coat. technol., vol. 204, no. 9/10, str. 1503-1508, 2010. [COBISS.SI-ID 23158567]	
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Sestava in struktura sprememb WTi/Si sistema s kratkimi laserskimi impulzi
		ANG	Composition and structure modification of a WTi/Si system by short laser pulses
	Opis	SLO	Pikosekundni (40ps) pulzni Nd:YAG laser smo uporabili za obsevanje WTi tanke plasti nanosene na silicejevo podlago. Valovna dožina svetlobe je bila 532 nm, gostota toka 2.1 J/cm <sup>2</sup> . Pri tem so se zgodile znatne spremembe v kemijski sestavi in morfologiji površine WTi plasti. Hrapavost površine, na kateri je nastala tanka oksidna plast na osnovi WO <sub>3</sub> in TiO <sub>2</sub> , se je povečala. Debelina oksidne plasti je odvisna od števila pulzov.
		ANG	Picosecond (40 ps) pulsed Nd:YAG laser irradiation of a WTi thin film on silicon with a wavelength of 532 nm and a fluence 2.1 J/cm <sup>2</sup> was performed in air. This led to significant changes of the chemical composition and morphology on the surface of the WTi thin film. The results show an increase in surface roughness, due to formation of conical structures, about 50 nm wide in the base, and a very thin oxide layer composed of WO <sub>3</sub> and TiO <sub>2</sub> . The thickness of the oxide layer was dependent on the number of laser pulses.

	Objavljeno v	Appl. phys., A, Mater. sci. process. (Print), 2010, vol. 98, no. 4, str. 843-847. [COBISS.SI-ID 23406375]
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	SLO Zaščita orodij za stiskanje kovinskih prahov s "črno" prevleko
		ANG protection of metal compaction tools with "black" coatings
	Opis	SLO Za zaščito orodij za stiskanje kovinskih prahov smo uporabili a-CN/TiAlN prevlek, ki se odlično obnesla v proizvodnji. Takšna hibridna prevleka združuje prednosti zelo trde in termično stabilne TiAlN plasti in dobre drsne in mazalne lastnosti prevleke na osnovi ogljika. Obe prevleki smo pripravili z naprševanjem v napravi CC800/9 sinOx ML.
		ANG For protection of metal compaction tools we used the a-CN/TiAlN coating which proved successful results. Such hybrid coating combines the advantages of a very hard, thermally stable TiAlN with the sliding and lubricating properties of top carbon based coating. Depositions of both layers were performed by sputter deposition in CC800/9 sinOx ML system.
	Objavljeno v	32. posvetovanje Orodjarstvo in strojogradnja 2010, Ljubljana, str. 81-85. [COBISS.SI-ID 24027175]
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		
4.	Naslov	SLO Plazemsko inženirstvo površin v industrijski proizvodnji
		ANG the plasma surface engineering in industrial production
	Opis	SLO Plazemsko inženirstvo površin je ena ključnih tehnologij za oplemenitenje površine orodij in strojnih delov. Na površino orodnega materiala nanese nekaj mikrometrov debelo plast zelo trdega keramičnega materiala. Z orodji, ki so zaščitena z naprednimi nanostrukturnimi trdimi prevlekami, lahko obdelujemo kaljena jekla, različne kompozite ter nikljeve in titanove zlitine, ki se sicer zelo težko obdelujejo. Plazemski postopki se uporabljajo tudi za nanos prevlek trdih maziv na sestavne dele motorjev z notranjim izgorevanjem, na trde diske in v medicini.
		ANG One of the key technologies for enhancement of tool surface properties is the plasma surface engineering. A thin film with a thickness of only a few micrometers consisting of a very hard ceramic material is deposited on the tool surface. Using tools protected by advanced nanostructured hard coatings, hard tool steels can be machined as well as various composites, nickel and titanium alloys, which are very difficult to machine. Plasma techniques are also applied for protection of hard lubricant coatings on components of the internal combustion engines, on hard discs and in medicine.
	Objavljeno v	Industrijski forum IRT, Portorož, 7.-8. junij 2010. Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma. Škofljica: Profidtp, 2010, str. 165-169. [COBISS.SI-ID 23706919]
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		
5.	Naslov	SLO Internacionalizacija R&R v dveh visokotehnoloških skupinah in sodelovanje R&R enot v teh skupinah
		ANG Internationalization of R&D in two high-tech clusters and cooperation of R&D units in those clusters
	Opis	SLO V članku sta soočeni dve paradigmi internacionalizacije R&R (tradicionalna in nova), določeni so glavni motivi, ki poganjajo internacionalizacijo R&R TNP. Na podlagi sodobne inovacijske teorije je izpeljan koncept grozda kot specifične metode analiziranja sodobne internacionalizacije R&R. Nato je predstavljena analiza dveh visoko-tehnoloških grozdov (Cambridge, Bangalore) - pokaže se, da nekatera TNP locirajo svoje tuje R&R enote v te grozde zato, da bi izkoristila razpoložljivo zunanje znanje iz akademskih ustanov preko intenzivnih R&R kolaboracij.
		ANG We confront two paradigms of R&D internationalization (traditional and new one) and we determine what are the main motives that drive R&D internationalization of TNCs. Based on a modern innovation theory, we derive a cluster approach as a specific method of analyzing modern R&D internationalization. We then present an analysis of two high-tech clusters (Cambridge, Bangalore) and we show that some TNCs allocate their foreign R&D units into those clusters, in order to make use of available external knowledge from academic institutions through intensive R&D collaborations.

Objavljeno v	J. ind. eng. manag., 2010, vol. 3, is. 2, str. 294-308.
Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID	

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> DLP - postopek strjevanja z UV-osvetljevanjem
		<i>ANG</i> DLP - coagulation process with UV illumination
Opis	<i>SLO</i>	Razvoj izdelka si je danes težko zamisliti brez virtualnih tehnik (virtualni prototipi in modeliranje), vendar še tako dobra programska oprema in izdelan virtualni model ne more nadomestiti realnega, funkcionalno razumljivega izdelka. Zatorej potrebujemo vzporedno, z različnimi prioritetai, tako virtualni kot fizični model, narejen na osnovi različnih tehnik izdelave prototipov. Predstavljena je naprava ZBuilder Ultra, ki je namenjena za potrebe raziskovalnega in pedagoškega dela, z njo je možno izdelati natančne in trpežne prototipe in končne izdelke iz različnih polimerov.
	<i>ANG</i>	It is difficult nowadays to imagine a development of the new product without using virtual technics (virtual model and modelling) , however even the best equipment and virtual model cannot replace the real, functional product. Therefore we need beside the virtual model also a physical model, built up on basis of different prototyping technics. In the year of 2010 they launched ZBuilder Ultra machine. The results are strong and smooth parts. Process enables plastic models manufacturing faster and with much lower production costs, and therefore the process supplements conventional
Šifra		Drugo
Objavljeno v		IRT 3000, dec. 2010, letn. 5, št. 30, str. 130-131, ilustr. [COBISS.SI-ID3844055]
Tipologija		Strokovni članek
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i> Tehnologije selektivnega laserskega sintranja kompozitnih materialov
		<i>ANG</i> Selective laser sintering technology of composite materials
Opis	<i>SLO</i>	Z leti je na trg prišlo že toliko različnih strojev, ki uporabljajo tehnologij nalaganja slojev, da imaš kot kupec veliko izbiri odločiti se, s katero tehnologijo bi se dalo izdelke najbolj optimalno narediti. Pri tem imamo v mislih, kako hitro, cenovno najbolj ugodno ter najbolj kvalitetno. Velik napredek v zadnjih letih se je pokazal na področju razvoja novih materialov. V raziskavi smo uporabili kompozitni material, ki je v fazi testiranja in ki je pomemben s stališča kupca, od trdnosti do trdote, pa tudi raziskavo skrčkov izdelka.
	<i>ANG</i>	During the last years, a lot of different machines for additive technologies processes have emerged on the market; there has been a great progress in development of new materials. For each type of additive technologies it is now possible to use more different materials which lead to the fact that machines for this type of technology are becoming more and more universal. In our research, we used a composite material, which are important for a customer, from the strength of a material to its hardness. It is also necessary to determine a right shrinkage of the material.
Šifra		Drugo
Objavljeno v		KRZNAR, Matic, DOLINŠEK, Slavko. V: KOPAČ, Janez (ur.), ČUŠ, Franc (ur.). 32. posvetovanje Orodjarstvo in strojogradnja 2010, Ljubljana, 6.-7. oktober 2010. Sistemi na ključ - priložnosti dodane vrednosti : zbornik posvetovanja. Ljubljana: GZS, Združenje kovinske industrije, Odbor za orodjarstvo in strojogradnjo, 2010, str. 63-72,
Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	<i>SLO</i> Razvoj nove obutve Alpina s pomočjo optičnih meritev stopal
		<i>ANG</i> Alpina's new footwear development through optical foot measurement
		V članku so prikazane raziskave značilnih razlik med stopali odjemalcev

Opis	SLO	Alpinine obutve, kaj najbolj vpliva na odločitev pri nakupu obutve ter kako so odjemalci pripravljene sprejeti nove načine prodajanja obutve (preko katalogov, s pomočjo optičnega merilnika ali preko interneta). Poleg tega je prikazan pristop razvoja kupcu prilagojene obutve v Alpini . Raziskava je pokazala, da med posameznimi stopali obstajajo značilne razlike, ter da so odjemalci pripravljene sprejeti tudi nove načine prodaje obutve, vendar le pod pogojem, da so ti pravilno predstavljeni.
	ANG	In the paper, we first present some basic foot measurement procedures. We then highlight some advantages and disadvantages of optical foot measuring instruments. We then present results of foot measurements that were carried out on Slovenian footwear customers by the Slovenian footwear manufacturer Alpina. There upon, we present Alpina's development of the first generation of new customer adjusted footwear (from the process of collecting information to the process of footwear production).
Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
Objavljeno v	DOLINŠEK, Slavko, NOVAK, Boštjan, ŠTRUKELJ, Peter. V: EKINOVIĆ, Sabahudin (ur.), UCTUG, Y. (ur.), VIVANCOS CALVET, Joan (ur.). 14th International Research/Expert Conference Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, TMT 2010, 11-18 September 2010, Mediterranean Cruise. Trends in the development of machinery and associated technology : proceedings, (TMT Proceedings). Zenica: Faculty of Mechanical Engineering	
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID		
4. Naslov	SLO	Razvoj prototipa tekmovalnega 3D kombinezona za smučarske skakalce
	ANG	Development of a competitive 3D ski-jumper suit prototype
Opis	SLO	S tehnologijo 3D digitalizacije je bil izveden model konkretnega smučarskega skakalca, ki je služil kot virtualni model za simulacijo pri razvoju tekmovalnega kombinezona za smučarske skakalce in s tem pri preizkušanju različnih oblikovnih rešitev ter njihov vpliv na aerodinamiko skakalca.
	ANG	The 3D digitizing technology has been implemented in 3D modeling specific ski jumper, who served as a virtual model to simulate the development of racing overalls for ski jumpers, and thus the testing of different design solutions and their impact on the aerodynamics of the jumper.
Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
Objavljeno v	RUDOLF, Andreja, JEVŠNIK, Simona, CUPAR, Andrej, POGAČAR, Vojko, STJEPANOVIĆ, Zoran. Development of a competitive 3D ski-jumper suit prototype. V: International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Budapest, Hungary, 18-19th of November 2010. Budapest: Óbuda University, Sándor Rejtő Faculty of Light Industry and Environmental Engineering, 2010, str. 401-410, ilustr. [COBISS.SI-ID14597654]	
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID		
5. Naslov	SLO	Oblikovanje jedra in ohišja merilne naprave
	ANG	Core and casing design of measuring device
Opis	SLO	Za diplomsko delo oblikovanja jedra naprave, njene optimizacije in oblikovanja ohišja, kot ene izmed variantnih rešitev problema elektronske merilne platforme PowerQ4, je prejel diplomant Andrej Cupar Trimovo razvojno nagrado. Mentor: Vojmir Pogačar, udeležen v projektu ARS za Metrel.
	ANG	To study the creation of core facilities, its optimization and design of housing as one of the proposed solutions of the problem of electronic measurement platform PowerQ4, he received a graduate Andrew Cupar Trimo Development Award. Mentor: Vojmir Pogačar involved in the project ARS to meters.
Šifra	Domače nagrade	
Objavljeno v	CUPAR, Andrej. diplomsko delo = Design of core and casing of measuring device : diploma paper. V: HORVAT, Petra (ur.), LAPAJNE, Maja (ur.), GABRIJEL, Meta (ur.). 8. Trimove raziskovalne nagrade : 2009. Trebnje: Trimo, 2009, str. 13. [COBISS.SI-ID 3346751]	
Tipologija	Diplomsko delo	

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

Pri samem procesu projektiranja in oblikovanja platforme Power Q4 smo naredili več različnih variantnih rešitev funkcionalnih prototipov, ki smo jih izdelali s postopki slojevitih tehnologij, imenovanih 3D printanje in nanašalnih tehnologij z ekstruzijskim nanašanjem ABS plastike. V tej zvezi smo na Fakulteti za strojništvo v Mariboru, Laboratorij LIO in LIOS, nabavili napravo EOS Formiga 100S za 3D printanje PA plastike (polyamid) po SLS postopku, ki smo jo pridobili prav tako v okviru drugega ARRS projekta. Ob uporabi teh postopkov smo prišli do lastnih rešitev in idej za izdelavo dveh prototipov 3D printerjev, delujočih po dveh različnih principih. Eden je že v zaključni fazi izdelave na katerem so bili narejeni že prvi modeli oziroma prototipi ohišja iz ABS plastike. Naprava je v fazi preizkušanja in optimiranja določenih delov za doseganje še boljših rezultatov. Obetajoči rezultati bodo zagotovo vplivali tudi na nadaljnji razvoj fakultete in njenih laboratorijskih usmeritev ter k poglobljenemu razumevanju študentov, ki se ukvarjajo s to problematiko, s tem pa se bodo tudi ustvarile možnosti za razvoj in proizvodnjo 3D printerjev v našem ožjem in širšem Slovenskem prostoru. Sodobne podporne tehnologije, ki smo jih vpletli v same postopke razvoja elektronske merilne platforme Power Q4 pa o poleg osnovnega cilja odpri še vrsto povsem novih področij aplikacije, ki si jih pred tem nismo obetali, tako smo najsodobnejše tehnologije 3D digitalizacije, tehnologije slojevite izdelave prototipov in nanašalne tehnologije uporabili tudi na drugih področjih za potrebe vzratnega inženirstva, kraniofacialne in ortodontske kirurgije, za analize prototipov športnih oblačil s postopkom simulacije na 3D virtualnem modelu, v digitalnem restavratorstvu in še na vrsti drugih področij. Skratka kolateralna korist je morda celo večja od samega osnovnega cilja, ki je bil s tem ARRS projektom zastavljen!

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

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

SLO

Gre za interakcijo med proizvodnimi organizacijami in raziskovalno-izobraževalnimi inštitucijami, kar utegne imeti dolgoročne posledice tako za gospodarstvo in blaginjo širše družbe in sicer v smiselni eksploataciji potencialov, ki jih generira, raziskuje, preizkuša znanstveno raziskovanje. Na drugi strani pa ima znanstveno raziskovalna sredina s tem možnost implementirati svoje izsledke v aplikativno prakso, poleg dodatnega pomena pragmatičnega izobraževanja mladih kadrov ob konkretnih aplikacijah, ki jih lahko potem v nadaljevanju kariere implementirajo v gospodarstvu.

ANG

Interaction among researching institutions and production industry has a positive consequences from economic point of view as well as for our society in general. Different institutions of University may improve the potentials they generate, explore and examine in there activity. On the other hand, the implementation of the research results in to the production has a pragmatic meaning for the students: they are faced with real applications, which could be directly applied in economics use. And that cooperation among the Faculties and companies is an example of positive practice in use.

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

SLO

Merilni instrument Power Q4 za merjenje kakovosti električne energije in ki meri v skladu s predpisanimi IEC normami, je naprava, ki omogoča smotrno ravnanje z energijo in popolni nadzor vseh elementov kvalitete in kvantitete. Omogoča pa:

- A. optimizacijo dobave električne energije v skladu s potrebami porabnika in distributerjev,
- B. iskanje napak na omrežju,
- C. statistiko meritev kakovosti električne energije, ta pa omogoča medsebojno primerjanje različnih distributerjev in proizvajalcev električne energije.
- D. Metrel vse instrumente izdeluje v Sloveniji (Horjul) in s tem zagotavlja delovna mesta prebivalstvu v Sloveniji.

ANG



Measuring instrument for electrical quality control are defined with international IEC norms and standards, what mean the source for reasonable handling with energy in our environment.

It supports:

- optimisation of electric energy in the frame of users and distributors,
- for surching defects in the net,
- statistics of electrical energy quality measurement, what make possible intercellular comparison among the distributors and electrical energy producers,
- all instruments wil be produced in Metrel in Slovenia (Horjul), what means also a guarantee for employment of residents in Slovenia.

## 10. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki [12](#)

1.	<b>Sofinancer</b>		
	<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>		<b>EUR</b>
	<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>		<b>%</b>
	<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>		<b>Šifra</b>
	1.	3D digitalizacija + virtualne simulacije + 3D printi funkc. prototipov so bistveno prispevali k zmanjšanju jedra elektronske merilne platforme Power Q4 za 1/3 od predpisanih gabaritov sofinancerja	
	2.	Razvoj variantnih rešitev za ohišja elektronskih merilnih platform Power Q4	
	3.	Razvoj digitalne vmesniške platforme za elektronske merilne platforme Power Q4	
	4.	Razvoj daljinskega komanderja kot priključka elektronske merilne platforme Power Q4	
	5.	Razvoj visokonapetostne kontaktne pištole kot priključka elektronske merilne platforme Power Q4	
	<b>Komentar</b>		
<b>Ocena</b>	Sofinancer je dobil v postopku razvoja elektronskih merilnih platform take tehnologije in tehnološke pristope, ki jih sam v svojem načinu razvoja ne bi uporabil in tako tudi ne bi prišel do takih optimalnih rešitev.		

# ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	
Naslov projekta	Numerična in eksperimentalna analiza nestacionarnih pojavov v reverzibilnih črpalkah-turbinah
Vodja projekta	
Tip projekta	
Obseg raziskovalnih ur	
Cenovni razred	
Trajanje projekta	-
Nosilna raziskovalna organizacija	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	Turboinštitut - Inštitut za turbinske stroje
Družbeno-ekonomski cilj	

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

Šifra	
Naziv	

#### 2. Sofinancerji<sup>2</sup>

1.	Naziv	Turboinštitut d.d.
	Naslov	Rovšnikova 7, 1210 Ljubljana-Šentvid
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Tok tekočine v reverzibilni črpalki-turbini je turbulenten in nestacionaren. Popišemo ga z Navier-Stokesovimi enačbami in kontinuitetno enačbo. Enačbe toka nato rešujemo z eno od aproksimacijskih metod (metoda kontrolnih volumnov). Enačbe toka diskretiziramo, celotno območje turbine razdelimo na elemente. Dobimo sistem enačb. Ko ga rešimo v vsakem vozlu računske mreže dobimo vrednosti komponent hitrosti in tlaka. Ker je tok turbulenten, moramo uporabiti enega od turbulentnih modelov. Pravilna izbira ustreznega turbulentnega modela in gostote mreže sta ključna za natančnost numeričnih rezultatov. Izračuni se izvajajo z dvema programskima paketoma ANSYS CFX in Numeca.

Pri reverzibilni črpalki turbini smo najprej opravili stacionarne izračune toka v celotni turbini z različnimi turbulentnimi modeli. V prvi fazi smo uporabili predvsem dvoenačbeni model ( $k-\omega$ ) nato pa še model Reynoldsovih napetosti - RSM. Raziskali smo vpliv mreže in modela na rešitev. Na osnovi rezultatov smo določili najprimernejši turbulentni model in potrebno gostoto računske mreže. Izračunane rezultate smo preverili z rezultati meritev na merilnih postajah v Turboinštitutu. Pri dosedanjih izračunih smo zaradi premajhnih računalniških zmogljivosti poenostavili geometrijo pretočnega trakta. Novi računalnik nam omogoča izračun toka v turbini brez poenostavitev geometrije.

V nadaljevanju raziskovalnega projekta je bilo testiranih več različnih nestacionarnih turbulentnih modelov. Poleg dvoenačbenih turbulentnih modelov in modela Reynoldsovih napetosti je to še nestacionarni turbulentni model - Scale Adaptive Simulation – SAS. Od teh je najmanj računsko zahteven model s prilagodljivo skalo - SAS. Temelji na vpeljavi von Karmanove dolžinske skale v enačbo za turbulentno skalo. SAS-SST model je kombinacija modela s prilagodljivo skalo (SAS) in modela transporta strižnih napetosti (SST). Časovni korak pri SAS-SST modelu je pri naših izračunih ustrezal zavrtitvi gonilnika za 2 stopinji, nekateri izračuni pa so bili narejeni tudi z večjim časovnim korakom - 6 stopinj, a ni bilo večjega vpliva na rezultate. Pri RSM je bil pri izračunu brez kavitacije časovni korak enak zavrtitvi gonilnika za 2 stopinji, pri izračunu s kavitacijskim modelom pa smo morali zaradi težav s konvergenco časovni korak zmanjšati na eno stopinjo zavrtitve gonilnika.

Od zgoraj predstavljenih modelov sta bolj računsko zahtevna turbulentna modela, model velikih vrtincev (Large Eddy Simulation – LES) in model ločenih vrtincev (Detached Eddy Simulation – DES). Ta dva modela sta se do sedaj pri analizi toka v vodnih turbinah malo uporabljala, ker zahtevata zelo goste mreže, na katerih lahko dobimo rezultate v primernem času le z izredno zmogljivimi računalniki. S tema dvema modeloma smo v začetku analizirali le nekatere posamezne dele turbine, kjer je tok močno nestacionaren.

Trenutno se v svetu uporabljajo predstavljene metode in ni boljših nadomestnih rešitev. Vprašanje je lahko le, kateri modeli v različnih programskih paketih so optimalnejši za predstavljeno delo, kar pa bodo pokazali rezultati naše raziskave. Nadalje smo se ukvarjali predvsem z izračunom vrtinčne cevi v sesalni cevi reverzibilne turbine v turbinskem obratovanju. Vrtinčna cev se pojavlja pri delnih pretokih pri francisovih turbinah, reverzibilnih turbinah v turbinskem obratovanju in tudi pri enojno reguliranih aksialnih turbinah. Tlak v vrtinčni cevi je nizek, pogosto doseže uparjalni tlak vode. Pride do kavitacije, govorimo o kavitirajoči vrtinčni cevi. Opletanje vrtinčne cevi povzroča pulzacije tlaka na stenah sesalne cevi, nihanje moči stroja in v najhujših primerih, ko se frekvenca opletanja vrtinčne cevi ujame z lastnimi frekvencami agregata, lahko pride celo do poškodb na elektrarni. Zato je

napoved frekvenc in amplitud nihanja tlaka, ki so posledica opletanja vrtinčne cevi v sesalni cevi, nujna, preden se začne izdelava stroja. Dodaten problem je, da eksperimentalnih rezultatov na modelu ne moremo v celoti prenesti na prototip. Zato je numerična analiza tega pojava še posebej pomembna.

Medtem ko izkoristek turbine in kavitacijo lahko napovemo na osnovi izračunov s preprostimi dvoenačbenimi turbulentnimi modeli, pa so za izračun vrtinca v sesalni cevi potrebni zahtevnejši turbulentni modeli. Naredili smo obsežno raziskavo, v kateri smo najprej izračunali vrtinec v sesalni cevi s SAS-SST turbulentnim modelom v štirih obratovalnih točkah. Ugotovili smo, da se frekvenca nihanj tlaka zelo dobro ujema z meritvami, izračunana amplituda pa je manjša od izmerjene, vendar se z zgoščanjem mreže približuje izmerjenim vrednostim. V tem primeru kavitacija ni bila vključena v izračun. V drugem primeru smo v eni obratovalni točki računali tok s tremi turbulentnimi modeli: SAS-SST, RSM in LES s kavitacijo in brez kavitacije. Pri izračunu brez kavitacije dobimo z vsemi tremi turbulentnimi modeli obliko vrtinčne cevi, ki se dobro ujema z opazovanji na merilni postaji. Tudi ujemanje frekvenc nihanj tlaka in amplitud je podobno za vse tri modele, izračunane frekvence in amplitude so nekoliko nižje od izmerjenih. Ko smo računali s kavitacijo, pa so razlike med rezultati različnih turbulentnih modelov večje. Pri SAS-SST modelu in zlasti pri RSM dobimo nekoliko drugačno obliko vrtinčne cevi kot brez kavitacije, nihanje tlaka pa tekom izračuna postaja vse bolj nepravilno, v primeru RSM celo tako zelo, da ne moremo več določiti frekvence nihanja. Med izračunom se očitno kopičijo numerične napake. Domnevamo, da bi rezultate lahko izboljšali z zgostitvijo računske mreže in z računanjem z dvojno natančnostjo. Računanje z LES s kavitacijo nam da najbolj realne rezultate, tako glede oblike vrtinčne cevi kot tudi frekvence in amplitude nihanja tlaka. Je pa računaje zelo zamudno, saj mora biti računska mreža zelo gosta, časovni korak majhen, izračunati pa moramo vsaj 40 vrtljajev gonilnika, da dobimo dokončno obliko vrtinčne cevi in dovolj točne vrednosti za frekvenco in amplitudo nihanja tlaka.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

V prvem letu je bilo na raziskovalnem projektu *Numerična in eksperimentalna analiza nestacionarnih pojavov v reverzibilnih črpalkah-turbinah* opravljenih veliko numeričnih analiz nestacionarnih pojavov v reverzibilnih črpalkah-turbinah. Predvsem je bil poudarek na analizi različnih turbulentnih modelov, ki omogočajo analizo nestacionarnih pojavov. V začetku je bilo uporabljenih več dvoenačbenih modelov, ki so najbolj ekonomični, glede računskih časov. Kasneje so bili uporabljeni tudi ostali turbulentni modeli, pri katerih so zahteve pri generaciji računskih mrež precej strožje, saj zahtevajo samo v mejni plasti več kot deset elementov, če gledamo pravokotno na stene tokovnega območja. Glede na turbulentne modele, so bile opravljene analize vpliva različnih računskih mrež. Zelo različna je hitrost konvergence pri različnih turbulentnih modelih. Pri dvoenačbenih modelih je konvergenca relativno dobra, v primerjavi z modeli Reynoldsovih napetosti, kjer je sistem parcialnih diferencialnih enačb večji. Velik poudarek pri nestacionarnih izračunih je tudi na določitvi optimalne dolžine časovnega koraka, ki vpliva na konvergenco in s tem posledično na čas računanja, hkrati pa je od časovnega koraka odvisna tudi natančnost izračunov. Opravljene so bile tudi prve meritve na modelu in primerjava numeričnih in

eksperimentalnih rezultatov.

Vse predvidene aktivnosti za prvo leto so bile izvedene, še posebej zaradi dejstva, da je v tem letu v Turboinštitutu začel delovati superračunalnik z 2048 procesorji, ki omogoča zelo zahtevne numerične analize v relativno kratkem času.

V drugem letu smo izvedli zelo obsežno raziskavo zanesljivosti numerične napovedi vrtinca v sesalni cevi reverzibilne turbine pri delnih pretokih na modelu. Lahko rečemo, da so bili za to leto zastavljeni cilji v celoti doseženi.

V tretjem letu izvedbe raziskovalnega projekta smo podrobno preverili zanesljivost SAS-SST modela skupaj s kavitacijo na gostejši računski mreži z dvojno natančnostjo. SAS-SST je namreč od vseh treh uporabljenih turbulentnih modelov najbolj ekonomičen. Raziskavo napovedi vrtinca v sesalni cevi smo v zadnjem letu razširili še na izvedbeno velikost in obratovalne pogoje in primerjali numerične rezultate z meritvami.

Zastavljeni raziskovalni cilji so bili realizirani v celoti, predvsem zaradi možnosti uporabe zelo zmogljivega superračunalnika in množico modelnih meritev izvedenih na modelih različnih tipov hidravličnih strojev v laboratoriju Turboinštituta.

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

Ni bilo sprememb.

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

Znanstveni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Numerična napoved amplitud pri pulzacijah tlaka v sesalnih ceveh Francisiovih turbin za različne obratovalne režime
		ANG	Numerical prediction of pressure pulsation amplitude for different operating regimens of Francis turbine draft tubes.
	Opis	SLO	Hidravlična nestabilnost povezana s pulzacijami tlaka je resen problem pri vodnih turbinah. Pulzacije tlaka so v večini primerov posledica močnega vrtinca, ki nastane v bližini izstopa iz gonilnika. Pri vseh radialnih turbinah in tudi pri enojno reguliranih aksialnih turbinah nastane vrtinec pri delnih pretokih. Amplitude pulzacij so različne pri posameznih obratovalnih režimih, zato je bil najpomembnejši del te raziskave namenjen analizi amplitud pulzacij tlaka pri različnih relativnih odprtjih vodilnih lopatic in primerjava z eksperimentalnimi rezultati, dobljenimi z modelnimi meritvami.
		ANG	Hydraulic instability associated with pressure fluctuations is a serious problem in hydraulic machinery. Pressure fluctuations are usually a result of a strong vortex created at the outlet of a runner. The amplitude of the pressure pulsation is different for each operating regime therefore the main goal of this research was to numerically predict pressure pulsation amplitude versus different guide vane openings and to compare the results with experimental ones.
	Objavljeno v		Proceedings of 24th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, October 27-31, 2008, Foz do Iguassu, Brazil, (International journal of fluid machinery and systems, vol. 2, no. 4, 2009). Seoul: Korean Fluid Machinery Association, 2009, 2009, vol. 2, no. 4, str. 375-382. <a href="http://www.turboinstitut.si/files/Articles/ENG/2009_IJFMS.pdf">http://www.turboinstitut.si/files/Articles/ENG/2009_IJFMS.pdf</a> .
	Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Primerjava različnih turbulentnih modelov pri simulaciji površinskih vrtincev
		ANG	Turbulence model comparison for a surface vortex simulation.
			Vtočni bazen črpalke ima lahko pomemben vpliv na delovanje črpalke zaradi prisotnosti močnih nestacionarnih vrtincev, lahko sesajo zrak z vodne

	Opis	SLO	površine. Izgradnja modela vtočnega bazena in eksperimentalno testiranje je drago, zato se pričakuje, da bodo v prihodnosti numerične simulacije pomagale pri eksperimentalnem testiranju, ali pa ga celo zamenjale. Za simulacijo so bile ocenjene simulacije z različnimi turbulentnimi modeli, kot tudi laminarna in Eulerjeva simulacija.
		ANG	A pump intake can have an important impact on a pump operation due to production of strong unsteady vortices which may cause air intake problems. Constructing a pump sump model and experimental testing is expensive, therefore numerical simulations are expected to help or even replace the experimental testing in the future. For a small chamber vortex simulation, various turbulence model simulations as well as laminar and Euler simulations were evaluated. The results indicate that the SAS-CC turbulence model might be a good choice for a simulation of a pump intake.
	Objavljeno v	25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 20-24 September 2010 'Politehnica' University of Timișoara, Timișoara, Romania, (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 12, iss. 1, 2010). Bristol: IOP Science, 2010, 012034-1-012034-9, doi: 10.1088/1755-1315/12/1/012034.	
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID			
3.	Naslov	SLO	Napoved izkoristka Peltonove turbine z numerično analizo toka
		ANG	Numerical prediction of Pelton turbine efficiency
	Opis	SLO	V članku je predstavljena numerična analiza toka v dvošobni Peltonovi turbini z vodoravno osjo. Numerične rezultate smo primerjali z rezultati meritev modela. Uporabili smo turbulentni model k-omega SST. Proste površine smo modelirali z dvofaznim homogenim modelom. Iz porazdelitve tlaka po lopaticah gonilnika smo izračunali navor na gred turbine. Časovno povprečene vrednosti navora so manjše od izmerjenih, zato je tudi izračunani izkoristek turbine manjši od izmerjenih vrednosti, razlika je okoli 4%. Oblika diagrama izkoristka pa se dobro ujema z meritvami.
		ANG	This paper presents a numerical analysis of flow in a 2 jet Pelton turbine with horizontal axis. The results were compared to the results of a test of the model. A k- $\omega$ SST turbulent model was used. Free surface flow was modelled by two-phase homogeneous model. Torque on the shaft was then calculated from pressure distribution data. Averaged torque values are smaller than measured ones. Consequently, calculated turbine efficiency is also smaller than the measured values, the difference is about 4 %. The shape of the efficiency diagram conforms well to the measurements.
	Objavljeno v	Proceedings of the 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 20-24 September 2010, Timișoara, Romania, (IOP Conference Series, vol. 12, 2010). London: Institute of Physics, 2010, 2010, vol. 12, str. 012080-1-012080-8.	
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	Numerična napoved izkoristka, kavitacije in nestacionarnih pojavov v vodnih turbinah.
		ANG	Numerical prediction of efficiency, cavitation and unsteady phenomena in waterturbines.
	Opis	SLO	V članku je predstavljena numerična analiza toka v vseh tipih vodnih turbin. Predstavljena je podrobna analiza toka v celotni aksialni in radialni turbini. Na osnovi numeričnih rezultatov smo napovedali izkoristek in kavitacijo. Numerične rezultate smo primerjali z rezultati meritev modela na merilni postaji v Turboinštitutu. V članku je predstavljena tudi numerična analiza toka v dvošobni Peltonovi turbini. Izračunan izkoristek smo primerjali z izmerjenim.
		ANG	The paper presents numerical analysis of the flow in all types of water turbines. A detailed analysis of complete radial and axial turbine is presented. On the basis of numerical results efficiency and cavitation are predicted and compared to the measured results obtained on test rigs in Turboinstitut. The paper presents also numerical analysis of the flow in a two jet Pelton turbine. The predicted efficiency is compared to the measured values.
Objavljeno v	9th Biennial ASME Engineering Systems Design and Analysis Conference, July 7-9, 2008, Haifa, Israel. Proceedings. New York: The American Society		

		of Mechanical Engineers, 2008, 10 str.
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	SLO Simulacija površinskega vrtinca za izbrane temperature vode
		ANG Surface vortex simulation at selected water temperatures
	Opis	SLO Sistem obtočne hladilne vode in sistem oskrbovalne vode v raznih elektrarnah uporabljata vertikalne črpalke. V trenutni študiji potrjujemo, da je SAS turbulentni model s korekcijo krivine primeren za napovedovanje takšnih tekočinskih tokov. Z uporabo metodologije za določanje dolžine zračnega jedra površinskega vrtinca smo rezultate SAS-CC turbulentnega modela primerjali z eksperimentalnimi podatki pri dveh temperaturnih nivojih. Rezultati prikazujejo boljše ujemanje kot laminarna simulacija v smislu boljšega ujemanja časovno povprečenih srednjih vrednosti in manjšega raztrosa.
		ANG Circulating water systems and safety water systems in various power plants use vertical pumps. In the current paper we confirm that Scale Adaptive Simulation (SAS) turbulence model with the curvature correction (CC) factor applied is well suited for such flows. By using a methodology for determining the vortex air core length, the SAS-CC turbulence model results were compared to the experimental data for two selected temperatures. The results show better agreement than the laminar simulations in terms of higher mean value accuracy and lower scattering.
	Objavljeno v	Proceedings of the ASME/JSME 2011 8th Thermal Engineering Joint Conference, AJTEC2011, March 13-17, 2011, Honolulu, Hawaii, USA
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat	
1.	Naslov	SLO Napoved vrtinčne cevi v sesalni cevi z numerično analizo toka
		ANG Numerical Prediction of the Vortex Rope in the Draft Tube
	Opis	SLO V članku je predstavljena napoved pojava vrtinčne cevi v sesalni cevi Francisove turbine na osnovi numeričnega izračuna toka. Glavni namen raziskave je bil z numeričnim izračunom napovedati amplitude in frekvence pulzacij tlaka za različna odprtja vodilnika in primerjava numeričnih rezultatov z eksperimentalnimi. Uporabili smo tri turbulentne modele: SAS-SST, $\omega$ -RSM and LES. Preverili smo tudi vpliv območja računanja, gostote mreže in časovnega koraka na rezultate. Najprej je bil numerični izračun narejen brez kavitacije, nato pa smo tok v eni obratovalni točki izračunali tudi s kavitacijo.
		ANG Paper presents a prediction of vortex rope in a draft tube obtained by numerical flow analysis. The main goal of the research was to numerically predict pressure pulsation amplitude versus different guide vanes openings and to compare the results with experimental ones. Three turbulent models (SAS-SST, -RSM and LES) were used. Also the effect of different domain configurations, grid density and size of time step on results was examined. At first analysis was done without cavitation, later at one operating point the cavitation model was included.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	3rd IAHR International Meeting of the Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems, Brno, October 14-16, 2009. Brno: University of Technology, 2009, str. 75-85
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO Numerična analiza nestacionarnih pojavov v hidravličnih strojih
		ANG Numerical Analysis of unsteady phenomena in hydraulic machines
		Najpomembnejši rezultati raziskovanja so v dejstvu, da lahko sedaj opravimo večino analiz nestacionarnih pojavov z uporabo računalniške dinamike tekočin, kar pomeni, da se zmanjšuje število modelnih preizkusov. Večino karakteristik hidravličnih strojev se lahko napove predno je fizično

	Opis	SLO	izdelan model ali dejanski prototip. S tem se skrajša čas razvoja novega izdelka, dosežejo se boljše karakteristike in privarčuje se pri energiji. S stališča ekologije so rezultati pomembni iz dveh vidikov, zaradi bolj efektivnega izkoriščanja obnovljivih virov energije in varčevanja energije v fazi razvoja.
		ANG	The most important result of the research work is to make unsteady numerical analysis using CFD and reduce the number of model tests. The most characteristics of the turbines can be predicted before the real model is produced. This is the main reason how the development time is reduced and obtained better characteristics. Also from environmental point of view the results are important, because of more efficient usage of renewable energy sources.
Šifra		Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
Objavljeno v		Interno poročilo - Turboinštitut	
Tipologija		Druga izvedena dela	
COBISS.SI-ID			
3.	Naslov	SLO	Član izvršilnega odbora IAHR - sekcija Hydraulic Machinery and Systems
		ANG	Member of the executive committee of IAHR - Hydraulic Machinery and Systems
	Opis	SLO	dr. Andrej Lipej je član mednarodne organizacije IAHR – International Association For Hydro-Environmental Engineering and Research, sekcije - Hydraulic Machinery and Systems in od leta 2008 tudi član izvršilnega odbora zgoraj omenjene organizacije
		ANG	Andrej Lipej is the member of executive committee of IAHR International Association For Hydro-Environmental Engineering and Research - Hydraulic Machinery and Systems since 2008.
Šifra		Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih	
Objavljeno v		IAHR	
Tipologija		Druga izvedena dela	
COBISS.SI-ID			
4.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
Šifra			
Objavljeno v			
Tipologija			
COBISS.SI-ID			
5.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
Šifra			
Objavljeno v			
Tipologija			
COBISS.SI-ID			

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

Pridobljeno znanje in izkušnje pri raziskavah na predstavljenem projektu je raziskovalna skupina uspešno uporabila pri konkretnih industrijskih projektih razvoja radialnih vodnih turbin. Pri različnih obratovalnih režimih imamo lahko različno intenziteto in količino nestacionarnih pojavov, ki jih je potrebno numerično analizirati. To so pojavi pulzacij tlaka in posledično vibracij, ki vplivajo na kakovost obratovanja stroja in na življensko dobo, prav tako pa tudi na energetske karakteristike. Svetovno konkurenčen stroj mora obratovati brez škodljivih vibracij



in vedno z visokim izkoristkom. Pri razvoju lahko omenjeno dosežemo, če znamo z uporabo numeričnih metod natančno napovedati vse možne nestacionarne pojave in jih v čim večji meri odpraviti ali vsaj zmanjšati na minimum. Rezultati projekta nam omogočajo, da je veliko naštetih pojavov mogoče ob uporabi primerne programske in strojne opreme dovolj natančno napovedati.

Končni rezultati projektne skupine omogočajo izvedbo bistveno bolj zahtevnih numeričnih simulacij večfaznih nestacionarnih tokov v hidravličnih strojih, kot je bilo to pred začetkom raziskovalnega projekta.

Z uporabo novih znanj, pridobljenih na projektu, je bilo že opravljenih nekaj zahtevnih raziskav na področju nestacionarnih pojavov v hidroenergetskih sistemih za tuje naročnike iz Rusije, Češke in Tajvana.

Prav tako pomemben rezultat raziskovalnega dela na projektu je pridobljeno znanje na področju uporabe superračunalniških kapacitet, v smislu optimalne uporabe velikega števila procesorjev za posamezne analize, kar nam omogoča razmeroma kratke računske čase, kar je pri idustrijskih razvojno raziskovalnih projektih bistvenega pomena.

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

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

SLO

Raziskave na področju numerične analize nestacionarnih pojavov zahtevajo študijo zelo različnih prostorskih in časovnih velikostnih redov. To pomeni, da moramo imeti zelo goste računske mreže in zelo majhne časovne korake. Vse to vodi do zelo dolgih računskih časov. Ob uporabi večprocesorskih superračunalnikov je možno računske čase skrajšati, vendar v določenih primerih posamezen izračun potrebuje tudi več tednov ali celo mesecev za doseg dobrega rezultata. V industriji je čas razvoja bistvenega pomena, zato je potrebno razviti učinkovite metode, ki nam skrajšajo celoten numerični postopek. Za doseg omenjenih ciljev je bilo potrebno raziskati tudi optimiranje paralelnega računanja na velikem številu procesorjev, kar nam superračunalnik z 2048 procesorji instaliran v Turboinštitutu omogoča. Za razvoj znanosti je zelo pomembna tudi študija različnih turbulentnih modelov pri numerični simulaciji nestacionarnih pojavov, še posebej v črpalnem režimu, kjer zaradi difuzorskega efekta nastane zelo veliko vrtincev, odlepljanj toka in povratnih tokov. Analizirali smo rezultate dobljene z različnimi dvoenačbenimi modeli z uporabo stenskih funkcij in tudi tako imenovane low Reynolds modele. Pri določenih primerih smo uporabili tudi Large Eddy Symualtion (LES) turbulentni model, ki se je izkazal za zelo natančnega, vendar je trenutno še preveč časovno zahteven za vsakdanje delo na idustrijskih projektih.

Nazadnje smo podrobno analizirali nestacionarne pojave z uporabo SAS-SST (Scale Adaptive Simulation - Shear Stress Model), kjer je bilo ugotovljeno, da turbulentni model ni tako časovno zahteven, kot recimo LES model, rezultati pa se dobro ujemajo z rezultati modelnih meritev. Prav tako je bila opravljena podrobna analiza računskih modelov brez in z upoštevanjem kavitacije, kjer v določenih področjih tlak pade do vrednosti parnega tlaka in se začne voda uparjati. Ker je za pojav kavitacije potrebno analizirati dvofazne nestacionarne tokove, to prav tako vpliva na podaljšanje računskih časov.

ANG

Research work in the area of numerical analysis of non-stationary phenomena require very different spatial and temporal orders of magnitude. This means that we have a very fine computational grids and very small time steps. All this leads to very long computational times. Using multiprocessor supercomputers, computational times can be reduced, but in some cases, a single calculation requires several weeks or even months to achieve a good result. For the industry, time of development is crucial. It is necessary to develop effective methods to reduce the overall numerical procedure. To achieve these goals the optimization of parallel computation on a large number of processors has been investigated, allowing us to using the supercomputer with 2048 processors installed in Turboinstitute.

For the development of the science is a very important study of different turbulence models for numerical simulation of non-stationary phenomena, especially in the pumping regime, where the effect occurs difuzorskega very much turbulence, flow and return odlepljanj flows. We analyzed the results obtained with different dvoenačbenimi models using wall functions and the so-called low Reynolds models. In certain cases Large Eddy Symualtion (LES) turbulence model has been used, which has proved to be very accurate, but is currently too time consuming for routine work on industrial projects.

In the last part of the project unsteady phenomena using SAS-SST (Scale Adaptive Simulation - Shear Stress Model) was analysed and we found out that the turbulence model is not so time consuming like LES model, but enable very good results in comparison with model test. Also the detailed analysis using cavitation model was performed, where the local pressure is near

vapour pressure. Because the cavitation is in fact two phase flow and usually unsteady, the CPU time for such cases is also very long.

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

SLO

V industriji se v fazi razvoja novih proizvodov vedno več uporabljajo numerične metode in modeliranje različnih procesov z uporabo računalnikov. S tem se zmanjšuje obseg dragih, zamudnih in energetsko potratnih meritev z uvedbo različnih numeričnih modeliranj. Na nekaterih področjih je možno definirati karakteristike novega izdelka še predno je katerikoli del novega proizvoda fizično izdelan.

Pomemben družbeni segment, ki pri razvoju novih proizvodov uporablja predstavljene metode je energetika, še posebej obnovljivi viri energije - hidroenergija. V naslednjih desetletjih bo v omenjeno področje vloženo več sto milijard evrov kapitala in ob upoštevanju dosedanje tradicije, lahko slovenska industrija uspešno sodeluje pri teh projektih. Uspeh je odvisen od kvalitete proizvoda, ki ga razvijamo. Z uporabo naj sodobnejše programske opreme, ki jo razvijamo in testiramo v okviru raziskovalnega programa in sodobne strojne opreme, lahko rezultati raziskav pomagajo slovenski industriji, da konkurenčno nastopa na svetovnem trgu. Turboinštitut d.d. razpolaga z najzmogljivejšim računalniškim sistemom v Sloveniji in regiji (JV Evropa). Superračunalnik je sestavljen iz IBM BladeCenter H gradniki. Vsako BladeCenter ohišje vsebuje 14 strežniških rezin, LAN in InfiniBand stikala. Strežniška rezina je opremljena s po dvema štiri jedrnima Intel Xeon procesorjema L5520 2.26GHz 8MB L2 1066MHz/60W ter 16GB PC2-5300 CL5 ECC DDR2 RAMa.

Rezultati raziskav projektne skupine so pomembni za nadaljnji razvoj znanja na področju razvoja in proizvodnje hidravličnih strojev, kot konkurenčnega proizvoda, ki ga slovenska industrija lahko enakovredno s celotno svetovno konkurenco trži v svetovnem merilu. Hidravlični stroji so eden izmed redkih proizvodov, kjer slovenska industrija popolnoma obvladuje tehnologijo in le malo držav je na svetu, ki lahko konkurirajo Sloveniji na področju hidravličnih strojev. To za prihodnost pomeni tudi možnost povečevanje števila novih delovnih mest.

ANG

In industry a lot of numerical analysis and computer modelling are used in the development process. Virtual prototyping can reduce expensive, time consuming and energetic wasteful experimental methods. In some areas the complete characteristics can be predicted before any part of the product is produced.

Important area where CFD is used in the development process is energetic, especially renewable energy sources. In the following decades in this area will be invested several hundred billions of EUR and Slovene industry can participate in some percentage of this business. The success depends on the quality of the new developed products. Using up to date hardware and software our industry can be competitive in the global market. It means also opportunity to increase employment.

Turboinštitut d.d. has the most powerful supercomputer in Slovenia and in the region (SE Europe). Cluster building block is IBM BladeCenter H. Each BladeCenter contains fourteen server blades, LAN and InfiniBand switches. Each blade is equipped with two quad-core Intel Xeon processors L5520 2.26GHz 8MB L2 1066MHz/60W and 16GB PC2-5300 CL5 ECC DDR2 RAM.

The results of the project group are important for the further development of the knowledge in the area of development and production of hydraulic machines. Slovenian industry can offer hydraulic machines world-wide and with this product can compete with the companies around the world. This is one of the area where Slovene industry can offer high level final product and just a few countries in the world have such technology on the same level. This means also opportunity to increase employment in this industry.

## 10. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki<sup>12</sup>

1.	<b>Sofinancer</b>		
	<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>		<b>EUR</b>
	<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>		<b>%</b>
	<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>		<b>Šifra</b>

1.	Najpomembnejši rezultati za sofinancerja so, da lahko sedaj opravi večino analiz nestacionarnih pojavov z uporabo računalniške dinamike tekočin in, da se zmanjšuje število modelnih preizkusov.	
2.	Numerična napoved amplitud pri pulzacijah tlaka v sesalnih ceveh Francisiovih turbin za različne obratovalne režime - objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanje)	
3.	Z znanjem pridobljivim na projektu je bilo opravljeno nekaj projektov za tuje naročnike, kjer smo izboljšali obstoječi izdelek. Projekt razvoja nove turbine za HE Chaparral za naročnika iz Rusije.	
4.		
5.		
<b>Komentar</b>	Sofinancer zelo podpira sodelovanje med univerzami in industrijo. Takšno sodelovanje je zelo uspešno samo v primeru, če je obojestransko, kar pomeni, da so aktivni udeleženci vsi partnerji na projektu. Industrija mora imeti dovolj znanja, da lahko definira primerne raziskovalne teme ter, da lahko sledi svtovnim trendom. Univerze pa morajo zadovoljevati vse potrebe po novem znanju, kjer industriji zmanjka kadrovskega potenciala in raziskovalne opreme. V zaključenem projektu je bilo sodelovanje med industrijo in fakulteto zelo dobro, kar se kaže tudi v konkretnih rezultatih, dobljenih na projektu. Pomemben rezultat projekta, ki ni posebej poudarjen je vsekakor pridobljeno novo znanje v industriji, ki se mora v prihodnosti realizirati v izboljšanih in bolj konkurenčnih produktih, katere je možno prodajati po vsem svetu.	
<b>Ocena</b>	Za sofinancerja je ocena zaključenega projekta zelo dobra, predvsem zaradi hitre uporabe novih pridobljenih znanj v praksi.	

# ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	
<b>Naslov projekta</b>	Integralni model optimizacije notranje logistike za fleksibilnost proizvodnega sistema
<b>Vodja projekta</b>	
<b>Tip projekta</b>	
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	
<b>Cenovni razred</b>	
<b>Trajanje projekta</b>	-
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	ARCONT, proizvodnja bivalnih enot, d.d.
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	Splošni napredek znanja - RiR financiran iz splošnih univerzitetnih fondov (SUF)

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	
<b>Naziv</b>	

#### 2. Sofinancerji<sup>2</sup>

1.	Naziv	ARCONT, proizvodnja bivalnih enot, d.d.
	Naslov	Ljutomerska 29, 9250 Gornja Radgona, Slovenija
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Razvoj novih proizvodnih programov podjetja Arcont zahteva poleg konstrukcijske prenovе tudi spremembo načina sistemov sestave in montaže. Zaključno poročilo predstavlja predstavitev glavnih prispevkov raziskav v okviru omenjenega projekta. Velja poudariti, da so idejne rešitve prešle v realizacijo: sprememba načina materialnega toka v sistemu sestave in dograditev montažne hale za potrebe novega *sistema* sestave novih vijajčno spetih bivalnih kontejnerjev.

Učinkovita notranja logistika predstavlja pogoj za zvezno in optimalno delovanje toka materiala v fleksibilnih proizvodnih sistemih. Fleksibilna (prilagodljiva) proizvodnja postaja vse bolj pomemben dejavnik konkurenčne prednosti vsakega posameznega podjetja in je v praksi tudi vse bolj razširjena. Pogoj za delovanje fleksibilne proizvodnje zagotavlja zvezni in optimalni tok materiala v notranji logistiki, katerega nosilci so skladiščni, transportni in pretovorni procesi. Dandanes se procesom notranje logistike posveča občutno več pozornosti kot v preteklosti, in sicer iz več razlogov: (i) hiter razvoj proizvodnih dejavnosti – njihova avtomatizacija in decentralizacija zahtevata prilagoditev procesov notranje logistike novim pogojem dela, z vidika povečevanja proizvodnih kapacitet in zmanjševanja celotnih stroškov, (ii) kompleksni proizvodni procesi zahtevajo stalnost in zanesljivost v oskrbovanju z reprodukcijskim materialom kakor tudi usklajene odtokе končnih proizvodov, (iii) sodobni mednarodni logistiki je postavljena naloga pravočasne, količinske, kakovostne in časovno usklajene oskrbe potrošnikov na širšem nacionalnem in mednarodnem geografskem področju.

Učinkovitost notranje logistike in posledično proizvodne organizacije, je odvisna predvsem od preudarnega in ustreznega postopka načrtovanja posameznih procesov v notranji logistiki. Pri načrtovanju procesov sledimo pogoju o tehnično visokozmogljivem sistemu, ob predpostavki o optimalnih investicijskih in obratovalnih stroških posameznih procesov. Postopek načrtovanja procesov v notranji logistiki moramo vedno obravnavati celovito (sprejemanje odločitev na strateški, taktični in operativni ravni), saj samo celovit vpogled v vse procese daje ustrezne tehnične in ekonomske rešitve. Pri načrtovanju notranje logistike moramo v osnovi slediti osnovnemu toku blaga skozi posamezne procese, ki skrbijo, da je tok blaga neprekinjen, sledljiv in stroškovno optimalen. Zmogljivost procesov v notranji logistiki predstavlja veličino (proizvodna kapaciteta) za ovrednotenje učinkovitosti proizvodnje kot celote. Zmogljivost je odvisna od naslednjih dejavnikov: informatizacije in avtomatizacije procesov v notranji logistiki, optimalnega vodenja delovnih nalogov, optimalne razmestitve in izkoriščenosti posameznih delovnih mest, ustreznega števila in velikosti vmesnih zalogovnikov, uporabe ustreznega tipa in števila transportnih sredstev in transportno usmerjevalnih strategij, obremenitve transportnih poti in transportnih vozlišč, itn.

Za določitev zmogljivosti sistemov notranje logistike se v literaturi in v praksi poslužujemo z različnimi metodami, analitičnimi modeli in simulacijam. Medtem, ko se posamezne metode in analitični modeli najpogosteje uporabljajo v sorazmerno enostavnih deterministično določenih sistemih (izjema je metoda čakalnih vrst), se v primeru kompleksnih stohastičnih sistemov uporabljajo numerične simulacije. Numerična simulacija je v osnovi uporaba računalniško podprtega orodja in simulacijskega modela, ki oponaša obnašanje realnega sistema, s ciljem ugotavljanja posledic zaradi delovanja različnih vplivnih dejavnikov. V primeru fleksibilnih proizvodnih sistemov analiziramo predvsem učinkovitost produktivnosti in velikost proizvodnih kapacitet, glede na dano postavitev procesov in odnose v sistemu. Ker nam simulacija vedno ne daje optimalnih rezultatov, kombiniramo uporabo simulacije z optimizacijskimi algoritmi. Ponavadi je namenska funkcija v sistemu notranje logistike več-objektna, nelinearna, diskretna in sestavljena in večjega števila projektnih spremenljivk. Zaradi kompleksnosti namenske funkcije se za optimiranje projektnih spremenljivk v namenski funkciji pogosto

poslužujemo posebnih hevrističnih algoritmov, kot so genetski algoritmi, nevronske mreže, itn.

Proces načrtovanja sistema notranje logistike je kompleksen in velikokrat odvisen od večjega števila medsebojno odvisnih dejavnikov. Slednje kaže na potrebo po izdelavi integralnega modela optimizacije notranje logistike za fleksibilnost proizvodnega sistema. Opravljene raziskave na področju načrtovanja sistemov notranje logistike kažejo, da je zanimanje za integralni model v praksi velik. Zaradi kompleksnosti področja notranje logistike, smo v projektu obravnavali problematiko in naloge (so)financerja iz gospodarstva, ki se navezujejo na:

#### - Logistična analiza procesa površinske zaščite bivalnih enot

V okviru zastavljenih ciljev aplikativnega projekta, je bila izvedena logistična analiza procesa površinske zaščite bivalnih enot, ki poteka na osnovi avtomatiziranega visečega krožnega transporterja, na katerem so nameščeni transportni vozički. Pri izdelavi logistične analize smo izhajali iz posnetka obstoječega stanja, oz. podrobnega opisa tehnološkega procesa površinske zaščite bivalnih enot in tehničnih karakteristik visečega krožnega transporterja. Ugotovili smo, da se posamezne aktivnosti, kot so: nalaganje polizdelkov, vmesna korekcijska faza, pokrivno barvanje in razkladanje polizdelkov, trenutno še vedno izvajajo ročno, kar posledično vpliva na zmogljivost procesa. Zmanjšanje zmogljivosti poleg navedenih dejavnikov povzroča velike raznolikosti bivalnih enot (oblika, izvedba, barva), ne-združevanja delovnih nalogov glede na skupne lastnosti v transportno enoto, procesa ročnega pokrivnega barvanja (lakiranja) polizdelkov bivalnih enot, itn. Zaradi kompleksnosti obravnavane problematike je bila izvedena logistična analiza z uporabo diskretnih numeričnih simulacij s programskim paketom AutoMod. Glede na rezultate simulacije smo ugotovili, dejansko število prepeljanih transportnih vozičkov na eno, oz. na dve delovni izmeni. Prav tako smo ugotovili, da se po določenem času pojavi ozko grlo pred procesom ročnega pokrivnega barvanja polizdelkov, ki se posledično prenese na ostale procese. Zaradi izrazito težkih pogojev dela v procesu ročnega pokrivnega barvanja polizdelkov bivalnih enot v lakirni komori, smo osnovni simulacijski model nadgradili z uvedbo fleksibilne robotske celice. Na osnovi simulacijske analize prenovljenega stanja smo ugotovili zmanjšanje vpliva ozkega grla in povečanje zmogljivosti prepeljanih vozičkov. Z uvedbo fleksibilne robotske celice se izrazito izboljšajo pogoji dela v lakirnici in zmanjša čas samega postopka lakiranja polizdelkov. Rezultati logistične analize so pokazali relativno dobro učinkovitost obstoječega sistema površinske zaščite bivalnih enot, oz. poteka visečega krožnega transporterja. Izboljšanje učinkovitosti sistema je možna pri spremembi težkih pogojev dela v procesu pokrivnega barvanja, kjer je predvidena uporaba fleksibilne robotske celice z dvema robotoma. Poleg projektne skupine je pri simulacijski analizi sodelovala tudi raziskovalka Candrová Kateřina, Ing., z University of West Bohemia, Republika Češka. Eden izmed rezultat uspešnega medsebojnega sodelovanja, je objava izvirnega znanstvenega članka z naslovom Simulation of the power and free transport system in the colouring process of containers v mednarodni reviji Advanced Engineering.

#### - Logistična analiza montažne linije bivalnih enot

Pri izdelavi logistične analize montažne linije bivalnih enot, smo izhajali iz posnetka obstoječega stanja, oz. podrobnega opisa tehnološkega procesa montaže bivalnih enot in tehničnih karakteristik montažnega sistema. Ugotovili smo, da obstoječa zasnova montažne linije ne zagotavlja optimalnega toka materiala procesa montaže. Poleg navedenega dejstva prihaja do zmanjšanja zmogljivosti tudi zaradi neuskkljenosti posameznih montažnih operacij in vmesnega skladiščenja ter neučinkovite informacijske podpore procesa montaže bivalnih enot. Pri analizi različnih variant procesa montažne linije bivalnih enot, smo prišli do rešitev, ki zagotavljajo kontinuiran tok materiala skozi montažno linijo, zmanjšanje ozkih grl, večje število fleksibilnih vmesnih skladišč, razbremenitev mostnega dvigala, ugodnejšo manipulacijo, zmanjšanje obstoječega vmesnega skladiščnega prostora, itn. Rezultati logistične analize so pokazali možnost za povečanje učinkovitosti sistema montažne linije bivalnih enot, pri

spremembi zasnove obstoječe tehnološke montažne linije in vpeljavi avtomatiziranih fleksibilnih montažnih celic za posamezne sklope montaže. Poleg obstoječe projektne skupine, sta v okviru svojega praktičnega usposabljanja na raziskovalnem projektu, sodelovala tudi absolventa Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru; Matej Drobne in Jaka Jesih. Rezultate svojega praktičnega usposabljanja (Modification of assembly line for container housing units, Logistics analysis of container housing units assembly), sta z ostalimi člani projektne skupine, uspešno predstavila na mednarodni znanstveni konferenci International Conference on Computer Aided Design and Manufacturing.

- Informacijska podpora montažnemu procesu z uporabo tehnologije črtne kode

Pri izdelavi analize informacijske podpore montažnemu procesu z uporabo tehnologije črtne kode, smo izhajali iz posnetka obstoječega stanja, oz. podrobnega opisa tehnološkega procesa montaže bivalnih enot. Ugotovili smo, da obstoječa zasnova montažne linije ne uporablja vodenje procesa montaže z uporabo tehnologije črtne kode, zaradi česar prihaja do manjše učinkovitosti navedenega procesa. Pri analizi uporabe tehnologije črtne kode, smo prišli do rešitev, ki zagotavljajo enakomeren tok materiala skozi montažno linijo in visoko sledljivost procesa. Rezultati analize so pokazali možnost za povečanje učinkovitosti sistema montažne linije bivalnih enot in so predvideni za predstavitev na mednarodni znanstveni konferenci International Conference on Computer Aided Design and Manufacturing.

Z uporabo rezultatov raziskovalnega projekta, lahko podjetja izboljšajo procese notranje logistike, kar posledično doprinese k dvigu zanesljivosti in povečanju proizvodnih kapacitet, povečanju uspešnosti in konkurenčne prednosti podjetja, ustvarjanju pogoja za optimalno povezavo med nabavo, proizvodnjo in prodajo, doseganju maksimalne zadovoljitve odjemalcev, doseganju višje stopnje zaposljivosti in izboljšanje delovnih pogojev zaposlenih. Glede na predhodne raziskave podjetja Arcont in glede na rezultate projekta, je podjetje reorganiziralo proces pokrivnega barvanja z uvedbo fleksibilne robotske celice. Na ta način se je v podjetju povečala učinkovitost procesa površinske zaščite bivalnih enot, pri čemer so se izrazito izboljšali pogoji dela v procesu pokrivnega barvanja. Prav tako se je zmanjšalo obremenjevanje okolja zaradi uporabe nove tehnologije nanosa pokrivnega barvanja. Rezultati raziskovalnega projekta zagotavljajo dolgoročni trajnostni razvoj podjetja. Raziskovalni projekt predstavlja za organizacijo nov temelj nadaljnjega razvoja tehnologij za reševanje problematike načrtovanja notranje logistike ter izgradnje kompleksnih sistemov. Rezultati raziskovalnega projekta omogočajo prihranek na porabi energije, kar je z družbenega vidika dobro, racionalno in okolju prijaznejše. Rezultati raziskovalnega projekta vplivajo tudi na okoljsko učinkovitost, in sicer: povečala se bo produktivnost, ob manjši porabi barvnih sredstev; znižala se bo emisija hlapnih organskih snovi v okolje; z uporabo zaprtega sistema obdelave odpadnih vod se bo zmanjšalo onesnaževanje okolice; z reorganizacijo procesov, se bo zmanjšala količina nastalih odpadkov na enoto proizvoda. Poleg omenjenih prednosti rezultatov raziskav, pa se bodo izboljšali delovni pogoji zaposlenih.

Integralni model optimizacije notranje logistike za fleksibilnost proizvodnega sistema omogoča določitev tehnično visokozmogljivega sistema v procesu površinske zaščite bivalnih enot, učinkovito montažno linijo in informacijsko podporo bivalnih enot, ob pogoju o minimalnih investicijskih in obratovalnih stroških podjetja so(financerja).

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

V okviru dela na raziskovalnem projektu smo dosegli povečano raven znanja pri načrtovanju in optimiranju procesov v notranji logistiki. Uporaba metod matematičnega modeliranja in diskretne numerične simulacije predstavlja izvorni pristop k integralnemu obravnavanju notranje logistike za fleksibilnost proizvodnega sistema. V letih izvajanja projekta so bili s področja projekta objavljeni izvorni znanstveni članki ter izvedene



številne predstavitve na znanstvenih in strokovnih konferencah. Z uporabo rezultatov raziskovalnega projekta, lahko podjetja optimirajo procese notranje logistike, kar posledično doprinese k dvigu zanesljivosti in povečanju proizvodnih kapacitet, povečanju uspešnosti in konkurenčne prednosti podjetja, ustvarjanju pogoja za optimalno povezavo med nabavo, proizvodnjo in prodajo, doseganju maksimalne zadovoljitve odjemalcev, doseganju višje stopnje zaposljivosti in izboljšanje delovnih pogojev zaposlenih. Na osnovi rezultatov raziskovalnega projekta pričakujemo prihranek na porabi energije, kar je z družbenega vidika dobro, racionalno in okolju prijaznejše. Prav tako se bo z reorganizacijo obstoječega procesa, ki temelji na rezultatih raziskovalnega projekta, povečala raven zaupanja poslovnih partnerjev. Večja raven zaupanja poslovnih partnerjev povečuje gospodarskim organizacijam stopnjo konkurenčnosti na nacionalnem in na mednarodnem tržišču, kar je še posebej pomembno v trenutnem gospodarskem obdobju. Rezultati raziskovalnega projekta bodo vplivali tudi na okoljsko učinkovitost, in sicer: povečala se bo produktivnost, ob manjši porabi barvnih sredstev; znižala se bo emisija hlapnih organskih snovi v okolje; z uporabo zaprtega sistema obdelave odpadnih vod se bo zmanjšalo onesnaževanje okolice; z reorganizacijo procesov, se bo zmanjšala količina nastalih odpadkov na enoto proizvoda. Poleg omenjenih prednosti rezultatov raziskav, pa se bodo izboljšali tudi delovni pogoji zaposlenih. Rezultati projekta so v skladu z razvojno politiko države Republike Slovenije, saj omogočajo dolgoročen trajnostni razvoj v Pomurski regiji in na ta način omogočajo zmanjšati zaostanek za ostalimi slovenskimi regijami v Sloveniji.

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

Ni bilo sprememb.

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

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Simulacija visečega krožnega transporterja v procesu površinske zaščite bivalnih enot
		<i>ANG</i> Simulation of the power and free transport system in the colouring process of containers
	Opis	<i>SLO</i> V članku je predstavljena simulacija sistema površinske zaščite bivalnih enot. Namen logistične analize je ugotoviti možnosti in priložnosti za optimizacijo procesa površinske zaščite bivalnih enot.
		<i>ANG</i> In this paper a simulation of the colouring system with all its components is described. Purpose of the logistics analysis is finding out the possibilities and opportunities for the process optimization in the colouring process.
	Objavljeno v	CANDROVÁ, K., ŠRAML, Matjaž, LERHER, Tone, ŠAMEC, Blaž, POTRČ, Iztok. Simulation of the P&F transport system in the colouring process of containers. <i>Advanced engineering</i> , 2009, year 3, no. 1, str. 17-26.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i> Časovni modeli za dvo-globinske avtomatizirane regalne skladiščne sisteme
		<i>ANG</i> Travel time models for double-deep automated storage and retrieval systems
	Opis	<i>SLO</i> V članku so predstavljeni analitični časovni modeli za avtomatizirane paletne regalne skladiščne sisteme z dvojno globino. Predlagani modeli upoštevajo dejansko delovno karakteristiko regalnega dvigala. S predpostavko o enakomerno porazdeljenih regalnih oknih in teoriji verjetnosti, so bili določeni izrazi za enojni in modificiran dvojni delovni cikel. Predlagani modeli omogočajo izračun povprečnega časa za enojni in dvojni delovni cikel, na osnovi katerega je mogoče oceniti učinkovitost avtomatiziranih regalnih



		skladiščnih sistemov z dvojno globino.
	ANG	In this paper, the analytical travel time models for the unit-load double-deep AS/RS are presented. The proposed models enable the calculation of the mean cycle time for single and dual command cycles, from which the performance of the double-deep AS/RS can be evaluated.
Objavljeno v		LERHER, Tone, ŠRAML, Matjaž, POTRČ, Iztok, TOLLAZZI, Tomaž. Travel time models for double-deep automated storage and retrieval systems. Int. J. Prod. Res., June 2010, vol. 48, no. 11, str. 3151-3172, doi: 10.1080/00207540902796008.
Tipologija		Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	SLO Razvoj nove tehnologije komisioniranja RF kinetic temelječ na tehnologiji roadmapping-a
	ANG	On the technology roadmapping based development of the new order-picking technology RF kinetic
	Opis	SLO V članku je prikazana uporaba tehnologije imenovana "roadmapping" metodologija na področju logistike. Omenjena tehnologija je bila uporabljena za razvoj novega principa komisioniranja, imenovanega "RF Kinetic". Slednje je pomembno, saj kombinirana uporaba tehnologije "roadmapping-a" in razvoja nove tehnologije, še ni sprejeta v inženirski praksi.
	ANG	The paper presents an application of technology named "roadmapping" methodology in logistics area for the development of the new order-picking technology named "RF Kinetic". This is significant because the combination of technology "roadmapping" and development of the new technology has not yet been accepted by the engineering practice.
Objavljeno v		GAJSEK, Brigita, SIMENC, Mitja, LERHER, Tone, POTRČ, Iztok. On the technology roadmapping based development of the new order-picking technology RF kinetic. Advanced engineering, 2009, year 3, no. 2, str. 167-173.
Tipologija		Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
4.	Naslov	SLO Časovni modeli za avtomatizirana skladišča s sistemom regalnega dvigala za delo v več hodnikih
	ANG	Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine
	Opis	SLO V članku so predstavljeni analitični časovni modeli za avtomatizirana regalna skladišča s sistemom regalnega dvigala za delo v več hodnikih. Predlagani modeli upoštevajo dejansko delovno karakteristiko regalnega dvigala. S predpostavko o enakomerno porazdeljenih regalnih oknih in teoriji verjetnosti, so bili določeni izrazi za enojni in dvojni delovni cikel. Predlagani modeli omogočajo izračun povprečnega časa za enojni in dvojni delovni cikel, na osnovi katerega je mogoče oceniti učinkovitost avtomatiziranih regalnih skladiščnih sistemov z dvojno globino.
	ANG	In this paper, the analytical travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine are presented. The proposed models consider the real operating characteristics of the storage and retrieval machine. With the assumption of the uniform distributed storage rack positions and the probability theory, the expressions of the single and dual command cycle have been determined. The proposed models enable the calculation of the mean cycle time for single and dual command cycles, from which the performance of the double-deep AS/RS can be evaluated.
Objavljeno v		LERHER, Tone, POTRČ, Iztok, ŠRAML, Matjaž, TOLLAZZI, Tomaž. Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine. Eur. J. oper. res.. [Print ed.], Sep. 2010, vol. 205, iss. 3, str. 571-583, doi: 10.1016/j.ejor.2010.01.025.
Tipologija		Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
5.	Naslov	SLO Simulacijska analiza avtomatiziranega skladišča majhnih delov s sistemom dvizne mize regalnega dvigala za sprejem več enot
	ANG	Simulation analysis of mini-load multi-shuttle automated storage and retrieval systems
		V prispevku je obravnavana in ovrednotena simulacijska analiza avtomatiziranega skladišča majhnih delov s sistemom dvizne mize regalnega dvigala, ki lahko sprejme več enot hkrati. V praksi se uporabljajo različni

Opis	SLO	analitični modeli za načrtovanje omenjenih sistemov. Problem se pojavi pri izbiri ustreznega analitičnega modela pri katerem so odstopanja od dejanskega stanja minimalna. Glavni cilj prispevka je ugotoviti učinkovitost predstavljenih modelov, ki predstavlja glavni delež in podporo v procesu oblikovanja omenjenih sistemov.
	ANG	In this paper, the simulation analysis of mini-load multi-shuttle systems is discussed and evaluated. The problem arises with the selection of the appropriate analytical model for which the condition of minimal differences with actual circumstances in practice is fulfilled. The main objective of this paper is to determine the performance of presented models, which represents the main share and support in design process of mini-load multi-shuttle automated storage and retrieval systems.
Objavljeno v	LERHER, Tone, ŠRAML, Matjaž, POTRČ, Iztok. Simulation analysis of mini-load multi-shuttle automated storage and retrieval systems. Int. j. adv. manuf. technol., Published online: 14 September 2010, doi: 10.1007/s00170-010-2916-8.	
Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID		

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO Članstvo v uredniškem odboru revije Journal Of Energy Technology
		ANG Membership of the editorial committee of the Journal Of Energy Technology
Opis	SLO	V okviru dela na raziskovalnem projektu in objave rezultatov projekta, je vodja projekta, prof.dr. Iztok Potrč član v uredniškem odboru mednarodne revije Journal Of Energy Technology.
	ANG	In the framework of the work on the research project and publication of the results of the project, the project leader, professor Iztok Potrč is member of the editorial committee of the Journal Of Energy Technology.
Šifra	Uredništvo mednarodne revije	
Objavljeno v	<a href="http://www.fe.uni-mb.si/images/stories/jet/e-jet/jet1-1november2008.pdf">http://www.fe.uni-mb.si/images/stories/jet/e-jet/jet1-1november2008.pdf</a>	
Tipologija	Sekundarno avtorstvo	
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO Članstvo v uredniškem odboru mednarodne revije International Journal Advanced Engineering (ISSN 1846-5900)
		ANG Membership of the editorial committee of the International Journal Advanced Engineering (ISSN 1846-5900)
Opis	SLO	V okviru dela na raziskovalnem projektu in objave rezultatov projekta, je vodja projekta, prof.dr. Iztok Potrč član v uredniškem odboru mednarodne revije International Journal Advanced Engineering.
	ANG	In the framework of the work on the research project and publication of the results of the project, the project leader, professor Iztok Potrč is member of the editorial committee of the International Journal Advanced Engineering.
Šifra	Uredništvo mednarodne revije	
Objavljeno v	<a href="http://www.digitaledition.org/adveng/Contact.htm">http://www.digitaledition.org/adveng/Contact.htm</a>	
Tipologija	Sekundarno avtorstvo	
COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	SLO Načrtovanje avtomatiziranih skladišč različnih dimenzij regalnih oken
		ANG The design of automated warehouse with unequally sized storage compartments.
Opis	SLO	V okviru dela na raziskovalnem projektu, je sodelavec raziskovalnega projekta, doc.dr. Tone Lerher na mednarodnem kolokviju IMHRC 2008 predstavil raziskovalno delo z naslovom Načrtovanje avtomatiziranih skladišč različnih dimenzij regalnih oken.
	ANG	In the framework of the work on the research project, the co-worker of the research project, assistant professor Tone Lerher, has presented research work with title The design of automated warehouse with unequally sized storage compartments at the international colloquium IMHRC 2008.
Šifra	Vabljen predavanje	

			LERHER, Tone, POTRČ, Iztok, ŠRAML, Matjaž, SAMEC, Blaž. The design of automated warehouse with unequally sized storage compartments. V: ELLIS, Kimberly Paige (ur.). Progress in material handling research: 2008. Charlotte: The Material Handling Industry of America, cop. 2008, str. 328-340.
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanja)	
	COBISS.SI-ID		
4.	Naslov	SLO	Novosti v transportnih in skladiščnih sistemih
		ANG	Innovations in material handling and warehousing systems
	Opis	SLO	V okviru dela na raziskovalnem projektu, je sodelavec raziskovalnega projekta, doc.dr. Tone Lerher v letu 2011 gostujoč profesor na Inštitutu za tehniško logistiko na Tehniški Univerzi v Gradcu, Republiki Avstriji.
		ANG	In the framework of the work on the research project, the co-worker of the research project, assistant professor Tone Lerher is the hosting professor at the Institute of Technical logistic at Graz University of Technology, Republic Austria.
	Šifra	Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi	
	Objavljeno v	V postopku objave.	
	Tipologija	Predavanje na tuji univerzi	
COBISS.SI-ID			
5.	Naslov	SLO	Postopek snovanja avtomatiziranih regalnih skladiščnih sistemov z optimiranjem investicijskih in obratovalnih stroškov
		ANG	Design of automated storage and retrieval systems with optimization of investment and operational cost
	Opis	SLO	V okviru dela na raziskovalnem projektu in objave rezultatov projekta bo prijavljen patent v Sloveniji.
		ANG	In the framework of the work on the research project and publication of the results of the project, the patent is Slovenia will be registered.
	Šifra	Patent v Sloveniji	
	Objavljeno v	V postopku prijave.	
	Tipologija	Patentna prijava	
COBISS.SI-ID			

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

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

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

SLO

Osnovna znanstvena izhodišča pri načrtovanju procesov v notranji logistiki temeljijo na analitičnih in numeričnih modelih. S ciljem po kakovostnem ujemanju analitičnih in numeričnih modelov z dejanskim stanjem v praksi, je potrebno nujno upoštevati dinamiko procesov v notranji logistiki, ki je v veliki večini stohastične narave. V tem oziru ostanejo na razpolago analitični modeli, ki upoštevajo nedeterminističnost procesov in v primeru kompleksnejših sistemov, uporaba diskretne numerične simulacije. Ker omenjeni analitični in numerični modeli ne dajejo nujno optimalnih rezultatov, je potrebna uporaba optimizacijskih metod, ponavadi z več-objektno namensko funkcijo. Rezultati raziskovalnega projekta prispevajo k povečanju ravni znanja pri načrtovanju in optimiranju procesov v notranji logistiki. Uporaba metod matematičnega modeliranja in diskretne numerične simulacije predstavlja izvorni pristop k integralnemu obravnavanju notranje logistike za fleksibilnost proizvodnega sistema. Glede na uspešno izvedene faze projekta so bili rezultati projekta objavljeni v številnih izvirnih znanstvenih člankih in prikazani na mednarodnih konferencah. Rezultate, ki so predstavljeni v člankih je mogoče aplicirati, ne samo v podjetju (so)financerja, temveč tudi v ostalih gospodarskih družbah, ki izkazujejo izrazito fleksibilno naravnano proizvodnjo. Z uporabo rezultatov raziskovalnega projekta, lahko podjetja optimirajo procese notranje logistike, kar

posledično doprinese k dvigu zanesljivosti in povečanju proizvodnih kapacitet, povečanju uspešnosti in konkurenčne prednosti podjetja, ustvarjanju pogoja za optimalno povezavo med nabavo, proizvodnjo in prodajo, doseganju maksimalne zadovoljitve odjemalcev, doseganju višje stopnje zaposljivosti in izboljšanje delovnih pogojev zaposlenih. Prepričani smo, da so rezultati raziskovalnega projekta nedvomno prinesli prispevke v znanstveno raziskovalno okolje, kakor tudi v okolje organizacije Arcont.

ANG

The fundamental scientific issues in the internal logistics process design are based on analytical and numerical models. The internal logistics process has the stochastic dynamics that has to be taking into account in order to achieve the qualitative matching of analytical and numerical models with the actual practical situation. For that purpose only the analytical models based on undeterministic process and in case of more complex systems the discrete numeric simulation can be applied. Since the discussed analytical and numerical models don't necessary give the optimal results, the use of optimization methods based on multi-object purpose function is required. The results of research project contribute to the higher level of knowledge that is necessary for the design and optimization of internal logistics processes. Application of mathematical modeling methods and discrete numerical simulation for integral dealing of internal logistics to improve the production system flexibility presents the original contribution. According to the successfully finished project phases, the results of the project are published in scientific journal papers and presented on international conferences. The results which are presented in papers can be also applied in all economy companies that attest the flexible production. When the results are applied, the companies can optimize the internal logistics processes what significantly contribute to their higher level of reliability, higher production capacity and improve their competitive position. In parallel, the conditions for optimal connections between acquisition, production and sale can be built, what assure the maximal content of the costumers, higher employment level and improvement of the employees working conditions. We feel confident that the results of the research work have made an important contribution to the scientific society as well as to the Arcont company.

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

SLO

Rezultati raziskovalnega projekta zagotavljajo dolgoročni trajnostni razvoj podjetja in posledično Pomurske regije Republike Slovenije. Raziskovalni projekt predstavlja za organizacijo nov temelj nadaljnjega razvoja tehnologij za reševanje problematike načrtovanja notranje logistike ter izgradnje kompleksnih sistemov.

Na osnovi rezultatov raziskovalnega projekta pričakujemo prihranek na porabi energije, kar je z družbenega vidika dobro, racionalno in okolju prijaznejše. Prav tako se bo z reorganizacijo obstoječega procesa, ki temelji na rezultatih raziskovalnega projekta, povečala raven zaupanja poslovnih partnerjev. Večja raven zaupanja poslovnih partnerjev povečuje gospodarskim organizacijam stopnjo konkurenčnosti na nacionalnem in na mednarodnem tržišču, kar je še posebej pomembno v trenutnem gospodarskem obdobju.

Rezultati raziskovalnega projekta vplivajo tudi na okoljsko učinkovitost, in sicer: povečala se bo produktivnost, ob manjši porabi barvnih sredstev; znižala se bo emisija hlapnih organskih snovi v okolje; z uporabo zaprtega sistema obdelave odpadnih vod se bo zmanjšalo onesnaževanje okolice; z reorganizacijo procesov, se bo zmanjšala količina nastalih odpadkov na enoto proizvoda. Poleg omenjenih prednosti rezultatov raziskav, pa se bodo izboljšali tudi delovni pogoji zaposlenih. Z rekonstrukcijo procesa pokrivnega barvanja bivalnih enot ( uvedba fleksibilne robotske celice za pokrivno barvanje), so se izrazito izboljšali delovni pogoji v omenjenem procesu.

Raziskovalni projekt je v skladu z razvojno politiko države Republike Slovenije, saj izvajanje projekta omogoča dolgoročen trajnostni razvoj v Pomurski regiji in na ta način omogoča zmanjšati zaostanek za ostalimi slovenskimi regijami.

Prepričani smo, da smo v okviru projekta, poleg doseganja ekonomskih učinkov, pripomogli tudi k višji stopnji družbene in ekonomske situacije v Republiki Sloveniji.

ANG

The results of the research project ensure the long term development of the company and consequently in the local region of Pomurje. For the company the research project is a new base or fundament for forthcoming technology development to solve the problems of internal logistic and design of complex systems.

Based on research project results we expect savings on energy consumption, which is from social rational and ecologically point of view, highly wished. The results of the research project guided into the reorganization of the production process and the implementation success is leading to higher level of the trust of costumers and partners. Higher level of production partners increases market competitiveness on local and international market, which is very important in actual economy moment.

The results of the research project have positive effect on environment: increase of the

production; the close system of waste water treatment will decrease environment pollution; the amount of vaporizable organic components into environment will decrease; with the reorganization of processes will decrease the amount of waste elements per unit of production. The working conditions for employees are improved significantly. With the reconstruction of the painting process (implementation of the robot cell for painting) the working conditions are significantly improved. The research project is in accordance with the policy of Slovenia, since the project implement long term growth in the region and reducing the gap in development level.

We are confident; that we have in the sphere of the project activities, improve economical effects as well as higher social situation in Slovenia.

#### 10. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki [12](#)

1.	<b>Sofinancer</b>		
	<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>		<b>EUR</b>
	<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>		<b>%</b>
	<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>		<b>Šifra</b>
	1.	Logistična analiza procesa površinske zaščite bivalnih enot	
	2.	Logistična analiza montažne linije bivalnih enot	
	3.	Informacijska podpora montažnemu procesu z uporabo tehnologije črtne kode	
	4.		
	5.		
	<b>Komentar</b>		
<b>Ocena</b>	Sofinancer Arcont d.d. je uporabil rezultate uspešno opravljenih raziskav. Idejne rešitve te raziskave so prešle v realizacijo: sprememba načina materialnega toka v sistemu sestave in dograditev montažne hale za potrebe novega sistema sestave novih vijačno spetih bivalnih kontejnerjev.		

# ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	
<b>Naslov projekta</b>	Razvoj postopkov in obdelav za izboljšanje hemokompatibilnosti polietilentereftaltnih površin
<b>Vodja projekta</b>	
<b>Tip projekta</b>	
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	
<b>Cenovni razred</b>	
<b>Trajanje projekta</b>	-
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	Institut "Jožef Stefan" Univerzitetni klinični center Maribor MIKROIKS, mikroelektronski inženiring, konzultacije in servis, d.o.o. UNIVERZA V MARIBORU, Medicinska fakulteta Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	
<b>Naziv</b>	

#### 2. Sofinancerji<sup>2</sup>

1.	Naziv	Bioioks d.o.o. Bioioks biomedicinska industrija, konzultacije, storitve d.o.o.
	Naslov	Stegne 11, 1000 Ljubljana
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Biološki odziv biomateriala, ki ga na začetku definirajo interakcije med materialom, krvnimi beljakovinami in celicami, je odvisen od površinske strukture materiala. Zato potekajo poizkusi optimizacije interakcij kri-polimer v glavnem v smeri modifikacije površinske kemije polimerov. Skupna lastnost biomaterialov, ki se uporabljajo v medicini je, da se po vstavitvi v telo, na njihovi površini adsorbira kompleksen, nespecifični sloj proteinov, kar pa ni naravni proces. Razvite in uporabljene so bile številne strategije, ki bi naj preprečile takšno nespecifično adsorpcijo. Kljub temu pa do danes še vedno ni bil razvit biomaterial, ki bi bil uporaben za dolgotrajen stik s krvjo v živem organizmu. Prav tako pa še vedno ni trajne rešitve na področju sintetičnih žilnih vsadkov majhnega premera. Zato so komplikacije, do katerih prihaja po implantaciji, kot so aneurizme, tromboze ali restenoze, zelo pogoste. Tako je bil glavni cilj predloženega projekta razvoj postopkov za modifikacijo PET površin z uvajanjem naravnih substanc (polisaharidov in njihovih derivatov) s **protitrombotičnim delovanjem za doseganje boljše hemokompatibilnosti** oz. krvne skladnosti. Z namenom čim boljše posnemati površinske lastnosti endotelija naravnih žil je bila tako izvedena obširna analiza površinskih lastnosti nemodificiranih in modificiranih PET površin v smislu boljšega razumevanja soodvisnosti med fizikalno-kemičnimi lastnosti biomaterialov in njihovo biološko kompatibilnostjo.

Med najobetavnejši polisaharidi, so bili izbrani hitozan, fukoidan, dekstran in galaktoglukomanani ter njihovi derivati. Hitozan je zelo pomemben biopolimer s specifičnimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi. Poseduje primarne amino skupine s pKa vrednostjo 6.3 - 6.5. Protitrombotične lastnosti so bile odkrite predvsem pri hitozan sulfatu. Fukoidan je kompleksni sulfatirani polisaharid, pridobljen iz rjavih morskih alg (*Fucus vesiculosus*) in ehinoderme morskih živali. Predvsem za fukoidan iz rjavih morskih alg so bili ugotovljeni številni biološki efekti na celice sesalcev. Dekstran sulfat je na farmacevtskem področju že dobro uveljavljena substanca, ki deluje kot antikoagulant, s številnimi funkcijami v imunskem sistemu, s sposobnostjo tvorbe netopnih kompleksov z lipoproteini, itd. Galaktoglukomanani pridobljeni iz lesa in njihovi derivati za uporabo v medicini še niso raziskani, je pa na osnovi nekaterih študij glukomananov pridobljenih iz drugih virov mogoče sklepati na uspešno uporabo galaktoglukomanan-sulfatov kot protitrombotičnih sredstev. Z namenom pridobitve izbranih polisaharidov s specifičnimi protitrombotičnimi lastnostmi, so bili raziskani različni pristopi kemijske modifikacije omenjenih polisaharidov. Razvit in vpeljan je bil postopek sulfatiranja polisaharidov. Analizirana so bila različna topila (dimetil formamid, dimetilacetamid, mešanica klorožveplene kisline in žveplene kisline, očetna kislina) kakor tudi dodatki ( $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ ,  $\text{LiCl}(\text{s})$ , anhidrid ftalne kisline, etilenglikol), volumen dodanega topila in dodatkov, vpliv temperature in časa sulfatiranja kakor tudi vpliv postopka hlajenja in pogojev sušenja sulfatiranega produkta. Pripravljenih je bilo preko 17 različno derivatiziranih produktov hitozan sulfata in 2 različno sulfatirana galaktoglukomanana. Poleg uporabe opisanih sulfatiranih polisaharidov, smo preučili možnost sulfatacije različnih drugih v naravi zelo razširjenih polisaharidov kot npr. celuloze. Sulfat celuloze je bil sintetiziran iz homogene raztopine ionske tekočine. Izvedene so bile kemijske analize vseh izdelanih produktov: masna spektroskopija, NMR, FT-IR, viskozimetrija. Za analizo polisaharidov je bila uvedena in optimirana tehnika kapilarne elektroforeze.

V nadaljnjem sklopu raziskav so bile raziskane možnosti **povečanja kemične** aktivnosti površine polietilentereftalata, in sicer z alkalno hidrolizo (pridobitev karboksilnih skupin) in z obdelavami s plazmo. Uporabljeni sta bili kisikova in dušikova

plazma pri različnih pogojih in časih obdelav. Vplivi obdelav so bili analizirani z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo. Rezultati so bili primerjani s sestavo neaktivirane PET površine. Uvedli smo postopek priprave tankega sloja PET z vrtenjem (spin coating). Kakovost in enakomernost sloja smo preverjali z AFM in z analizo nabrekanja med QCM analizo. Izvedene so bile uvodne študije vpliva pH vrednosti in ionske jakosti raztopine polimera na količino adsorbirane substance in na strukturo in debelino adsorbiranega sloja. Opravljene so bile raziskave možnih postopkov izdelave tankih plasti polisaharidov na PET folijah.

Za modifikacijo PET površin so bili uporabljeni, z vidika kemizma interakcije med polisaharidi in PET, optimirani vzorci. Pred fizisorpcijo sulfatiranih polisaharidov je bila površina PET obdelana z različnimi polisaharidi z aminskimi skupinami. PET površine, obdelane s sulfatiranimi polisaharidi so bile analizirane z vidika vsebnosti žvepla kot pokazatelja prisotnosti sulfatnih skupin. Rezultati so bili primerjani s PET površino obdelano s heparinom. Za površine s vsebnostjo žvepla nad 10 % se pričakuje visoka hemokompatibilnost. Študij vpliva adsorpcijskih parametrov na kinetiko adsorpcije polisaharidov: izvedena je bila študija adsorpcije biopolimerov na PET in modificirane PET površine z uporabo kremenove mikrotehtnice. Resonančna frekvenca in disipacija kremenovega kristala v stiku z vodnim medijem sta odvisni od gostote in viskoznosti medija. Zato je bila opravljena študija vpliva pH, ionske jakosti in koncentracije polisaharida na spremembe frekvence in disipacije. S stopenjskim višanjem pH se je frekvenca zniževala, disipacija pa povečevala, čeprav ni bilo dodane nobene mase. Veliko znižanje disipacije v primerjavi z majhnim zvišanjem frekvence kaže na sproščanje molekul vode iz adsorbiranega sloja polisaharida. PET folije, obdelane z večplastnimi nanosi uporabljenih polisaharidov kažejo znatno izboljšanje protitrombogenih lastnosti v primerjavi z neobdelanimi PET materiali. Tako sintetizirani kot komercialno dostopni polisaharidi, kot so heparin in dekstran sulfat so bili nanešeni na površino PET folij, katerih površine so po obdelavi izkazale visoko protitrombogenost. Sulfatirani hitozan z visoko vsebnostjo žvepla, dekstran sulfat in sulfat celuloze so kazali enako stopnjo protitrombogenosti kot heparin. Dokazana je bila povezava med vsebnostjo žvepla in antitrombogenim učinkom.

Za študij trombogenosti polimernih površin modificiranih z opisanimi derivatiziranimi polisaharidi so bile uporabljene in razvite različne tehnike kot; Določanje časa strjevanja krvi: raziskane so bile možnosti izvedbe metode v laboratoriju in najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na rezultat. Izvedeni so bili postopki optimizacije metode z vidika pH inkubacijske raztopine. Analiza adhezije in oblike krvnih ploščic: opravljene so bili poizkusi inkubacije folij v različnih plazmah ter fiksiranja in priprave vzorcev za SEM analizo. Spremljanje adsorpcije proteinov krvne plazme: Kot modelni sistem za analizo je bila izbrana raztopina albumina (HSA) v fosfatnem pufru pri 7.4. Ugotovljeno je bilo, da se večje količine proteina adsorbirajo na hidrofobno površino nemodificiranega PET v primerjavi s hidrofobno površino hidroliziranega PET. Adsorbiran sloj proteina na hidrolizirani površini PET kaže višjo disipacijo, kar priča o bolj voluminoznem sloju zaradi večjih količin ujete vode. Sulfatirani polisaharidi, adsorbirani na površini PET vplivajo na slabšo adsorpcijo proteina, kar je v skladu z drugimi in-vitro študijami hemokompatibilnosti. Določanje časa strjevanja krvi: Opravljena je bila študija obstoječih metod za analizo bioaktivnih lastnosti materialov, predvsem krvne skladnosti. Ugotovljeno je bilo, da so bile metode do sedaj v glavnem uporabljene na kemično zelo različnih materialih in da bo za uporabo na kemično tako podobnih površinah, kot so PET površine obdelane z različnimi polisaharidi, potrebno metode prirediti in optimirati. Na osnovi izvedbe laboratorijskih postopkov adsorpcije polisaharidov na PET folije pri različnih pogojih obdelav. V študiji optimiranja metode določanja sproščenega hemoglobina smo se posvetili preučevanju dejavnikov, za katere smo predvidevali, da imajo največji vpliv na standardno odstopanje rezultatov (vpliv pH na konformacijo hemoglobina, disperzija



prostega hemoglobina v raztopini, vpliv obdelave krvi z antikoagulantami in ohlajanje krvi po njenem odvzemu). S pomočjo optimizacije metode določanja sproščenega hemoglobina smo dosegli zmanjšanje odstopanja rezultatov in tako dobili evidentno razliko v trombogenosti med vzorci z nanešenimi sulfatiranimi polisaharidi in vzorci z nanešenimi nesulfatiranimi polisaharidi. S pomočjo metode SEM mikroskopije smo primerjali vzorce glede na število trombocitov na vidno polje in opazovali trombocite skozi faze aktivacije na različno obdelanih vzorcih.

Poleg omenjenih metod za spremljanje trombogenosti oz. krvne skladnosti polimernih površin, sta bili vpeljani še dve in-vitro metodi, in sicer: metoda določanja števila in oblike trombocitov ter spremljanje adsorpcije krvnih proteinov s kremenovo mikrotehniko z disipacijsko enoto (QCM-D). Ugotovljeno je bilo, da je metoda določanja števila in oblike trombocitov zaenkrat primerna le kot podpora vrednotenju trombogenosti z drugimi metodami, saj se v tej fazi še vedno pojavljajo številne težave predvsem pri statističnem vrednotenju rezultatov štetja trombocitov in določanja števila oblikovanih filopodov oz. stopnje »razlitosti« trombocitov na površini. Na izbranih vzorcih smo s to metodo ugotovili podoben trend glede trombogenosti vzorcev, kot z metodo določanja prostega hemoglobina. Kremenova mikrotehnika z disipacijsko enoto (QCM-D) je bila uporabljena za spremljanje adsorpcije krvnih proteinov (fibrinogena) na PET površino in za spremljanje koagulacijske kaskade krvne plazme na neobdelanih PET površinah in površinah z adsorbiranim heparinom. Iz tako pridobljenih eksperimentalnih podatkov s pomočjo QCM-D so pridobljene koristne informacije glede kinetike koagulacije, depozicije fibrina in viskoelastičnih lastnosti novonastalega strdka na površini. QCM-D se je izkazala kot zelo uporabno orodje za testiranje hemokompatibilnosti PET površin.

Vzorci PET folij, obdelani s sulfatiranimi polisaharidi, v primerjavi z ostalimi izkazujejo izrazito netrombogene lastnosti, primerljive z vzorcem, obdelanim s heparinom. Rezultati so še posebej razveseljujoči, če vemo, da te naravne substance posedujejo tudi druge pozitivne lastnosti, npr. protimikrobno delovanje.

Rezultati raziskave, jasno kažejo, da bi lahko naravni sulfatirani polisaharidi v prihodnosti zadovoljivo nadomestili heparinske nanose na površinah implantatov s čemer smo potrdili delavno hipotezo projekta.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Vse zastavljene naloge in cilji 1. leta izvajanja projekta so bile uspešno zaključene. Izbrani so bili najprimernejši naravni polisaharidi, ki so bili primerno derivatizirani in so pokazali dobre protitrombogene učinke tudi po adsorpciji na PET površino. Izbrani so bili pogoji in metode sulfatiranja, ki so prilagojene za izbrane biopolimere. Metoda za analizo adsorpcije biopolimerov na PET površine je bila uspešno uporabljena za analizo vplivnih dejavnikov. Definiran je bil način in pogoji aktivacije z alkalno hidrolizo kakor tudi s kisikovo in dušikovo plazmo. Izvedeni so bili prvi poizkusi določanja časa strjevanja krvi in priprava vzorcev za določanje števila in oblike trombocitov.

Vse aktivnosti predvidene v okviru 2. leta projekta so bile izvedene in uspešno zaključene. Izbrani so bili postopki sulfatacije polisaharidov in izdelani so bili vzorci polisaharidov z vsebnostmi žvepla, ki so primerljive s konvencionalnim protitrombogenim sredstvom heparinom. Izvedena je bila obširna študija adsorpcije polisaharidov na površine PET, s čimer so bile pridobljene dragocene informacije o obnašanju polisaharidov v raztopinah in na površini nemodificiranih in modificiranih PET filmov. Izvedene so bile analize adsorpcije proteinov na nemodificirane in modificirane PET površine s pomočjo QCM tehnike in s tem uvedena še ena možnost in-vitro ocenjevanja protitrombogenosti. Eden od vzrokov za težave pri razvoju biomaterialov z ustreznimi hemokompatibilnimi lastnostmi so tudi težave pri izvedbi in-

in vitro metod določanja hemokompatibilnosti, saj še vedno ni standarda, ki bi natančno določal velikost, obliko in vrsto in-vitro sistemov. Na področju razvoja novih materialov za biomedicinsko uporabo je zato trenutno v uporabi cela vrsta najrazličnejših sistemov testiranja hemokompatibilnosti in-vitro. Uvedena in optimirana je bila metoda določanja sproščenega hemoglobina z vidika vpliva pH na konformacijo hemoglobina, disperzije prostega hemoglobina v raztopini, vpliva obdelave krvi z antikoagulantami in ohlajanje krvi po njenem odvzemu.

Vse aktivnosti, predvidene v okviru 3. leta projekta so bile izvedene in uspešno zaključene.

Potrdili smo hipotezo, da različni sulfatirani polisaharidi nanešeni na PET površino signifikantno izboljšajo njeno hemokompatibilnost. Ugotovili smo, da je stopnja protitrombogenosti tako pripravljene površine odvisna od količine sulfatnih skupin na površini.

Poleg tega smo uspešno uvedli dve in-vitro metodi določanja hemokompatibilnosti površin biomaterialov.

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

V času trajanja projekta ni prišlo do odstopanj od predlaganega in načrtovanega programa

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

		Znanstveni rezultat	
1.	Naslov	SLO	Adsorpcija fukoidana in chitozan sulfata na chitozansko modificirane PET filme določena s pomočjo QCM
		ANG	Adsorption of fucoidan and chitosan sulfate on chitosan modified PET films monitored by QCM-D.
	Opis	SLO	Adsorpcija fukoidana in derivatov hitozana (hitozan sulfat) na modelne površine – filme polietilenteraftalata (PET) je bila preučena s pomočjo kvarčne tehtnice – QCM. Površinska morfologija in kemijska zgradba hitozansko/fukoidanskih in hitozansko/hitozansko sulfatnih filmov na PET podlagah je bila analizirana s pomočjo XPS in AFM. Določili smo razlike v gostoti in urejenosti posameznega sloja. Hitozansko/fukoidanski filmi – sloji so tanjši in bolj urejeni; chitozansko/hitozansko sulfatni filmi – so debelejši, manj urejeni, kar kaže na boljšo vezavo hitozan sulfata na hitozanski sloj.
		ANG	The adsorption behavior of fucoidan as well as chitosan derivatives (chitosan sulfate) on PET model film surface was studied using the quartz crystal microbalance technique. Model PET films were prepared by the spin coating technique. The surface chemistry and morphology of the PET-H films was analyzed using XPS and AFM. It was found that chitosan/fucoidan films were thinner and more compressed, while in the case of chitosan/chitosan sulfate, large amounts of chitosan sulfate were adsorbed, indicating a loose and thick adsorbed film.
	Objavljeno v	Biomacromolecules, 2009, vol. 10, no. 3, str. 629-637.	
Tipologija	Izvirni znanstveni članek		
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Analiza adsorpcije hitozana na PET filme s pomočjo kvarčne mikrotehtnice
		ANG	Adsorption of chitosan on PET films monitored by quartz crystal microbalance
	Opis	SLO	S pomočjo kvarčne mikrotehtnice z možnostjo spremljanja disipacije (QCM-D) je bila analizirana adsorpcija hitozana na PET modelne površine. Z namenom povečanja njihove hidrofilitnosti, so bile PET folije aktivirane z alkalno hidrolizo. Modelne površine (filmi) so bili pripravljene iz PET folij s tehniko priprave tankih filmov »spin-cating«. Kemična sestava filmov je bila

		analizirana s XPS in površinska morfologija s pomočjo mikroskopa na atomsko silo (AFM). Adsorpcija hitozana na modelne površine PET je bila študirana kot funkcija pH, ionske jakosti in koncentracije.
	ANG	The adsorption behavior of chitosan on PET model film surface was studied using the quartz crystal microbalance (QCM) technique. PET foils were activated by alkaline hydrolysis in order to increase their hydrophilicity. Model thin films were prepared from PET foils by the spin coating technique. The chemical composition of the obtained model PET films was analyzed using XPS and their morphology was characterized by AFM. The adsorption behavior of chitosan and the influence of adsorption parameters (pH, ionic strength and chitosan solution concentration) were investigated in detail.
	Objavljeno v	Biomacromolecules, 2008, vol. 9, no. 8, str. 2207-2214.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	SLO Elektrokinetične lastnosti žilnih vsadkov
	ANG	Electrokinetic properties of commercial vascular grafts
	Opis	SLO Analizirane so bile površinska morfologija in fizikalne lastnosti komercialnih žilnih vsadkov in primerjane z njihovimi elektrokinetičnimi in adsorpcijskimi lastnostmi. Rezultati SEM analize površin vsadkov so pokazale, da imajo tkani PET vsadki gostejšo in bolj urejeno strukturo v primerjavi s pletenimi. Zeta potencial vseh žilnih vsadkov je močno odvisen od časa izpostavljenosti raztopini elektrolita, prav tako pa se zeta potencial posameznih vrst žilnih vsadkov močno razlikuje.
	ANG	Surface morphology and some physical properties of commercial vascular grafts were analysed and correlated with the electrokinetic properties of different grafts, and studied regarding their adsorption characteristics. The SEM images of graft surfaces show that woven PET has more densely packed and more-ordered structure than knitted PET. The strong dependence of zeta potential can be observed from the exposure time to the electrolyte solution. The ZP-pH functions (pH of electrolyte solution) show significant differences between different grafts.
	Objavljeno v	Colloids surf., A Physicochem. eng. asp.. [Print ed.], 2006, vol. 275, iss. 1/3, str. 17-26.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	SLO Analiza galaktoglukomananov iz smrekovega lesa s pomočjo kalpilarnе elektroforeze
	ANG	Analysis of galactoglucomannans from spruce wood by capillary electrophoresis.
	Opis	SLO Namen študije je bil, uvajanje metode za kvantitativno in kvalitativno detekcijo monosaharidov v tehničnem galaktoglukomananu pridobljenem iz smrekovega lesa z uporabo kapilarne conske elektroforeze (CZE). Tehniko smo optimirali glede na koncentracijo boratnega puфра, modifikatorja elektroosmoznega toka in pH sistema. Na osnovi raziskave lahko zaključimo, da je kapilarna conska elektroforeza učinkovita metoda za karakterizacijo galaktoglukomananov pridobljenih iz lesa.
	ANG	The aim of this study was to setup a method for detection and quantification of mono saccharide components in technical galactoglucomannans from spruce wood using capillary zone electrophoresis (CZE). CZE technique was optimised regarding borate buffer concentrations, EOF modifier application, and system pH. On the basis of this research, it was concluded that the capillary zone electrophoresis is an efficient analytical procedure for the characterisation of galactoglucomannans derived from softwoods.
	Objavljeno v	Cellulose (Lond.), 2009, issue 6, vol. 16, str. 1089-1097, doi: 10.1007/s10570-009-9328-7.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	SLO Izboljšava hemokompatibilnosti PET površin z nanosi iz različnih sulatiranih polisaharidov.
	ANG	Improvement of the hemocompatibility of PET surfaces using different sulphated polysaccharides as coating materials.
		Preiskovana je bila hemokompatibilnost različnih sulatiranih polisaharidov. Tako sintetično sintetizirani in komercialno dostopni polisaharidi so bili nanešeni na površino PET folij, katerih površine so po obdelavi izkazale

Opis	SLO	veliko antitrombogeno aktivnost. Za uspešnost nanosa in preskus antitrombogenosti je bila uporabljena metoda določanja prostega hemoglobina. Sulfatirani hitozan z visoko vsebnostjo žvepla in sulfatirani dekstran sta kazala enako antitrombogeno aktivnost kot heparin. Dokazana je bila povezava med vsebnostjo žvepla in antitrombogenim učinkom.
	ANG	Sulphated polysaccharides were investigated in respect to their blood compatibility. Sulphated polysaccharides, were coated onto PET foils. This treatment lead to better blood compatibility properties of PET materials for medical applications. The free hemoglobin method was applied to determine the antithrombotic activity of these surfaces. The experiments showed that dextran Sulfate and sulphated chitosan with high concentrations of sulfur demonstrated the same antithrombotic activity as heparin. The relationship between the sulfur content and antithrombotic properties was demonstrated.
Objavljeno v	Biomacromolecules, 2010, 11, 2, str. 377-381, doi: 10.1021/bm9010084	
Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID		

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO Poliestrski biomaterial s površino, ki ima antitrombotične lastnosti, in postopek njegove izdelave
		ANG Polyester biomaterial with the antithrombogenic properties surface and it' s working out procedure
Opis	SLO	Predmet izuma je poliestrski, prednostno polietilen tereftalatni material, ki je obdelan tako, da je na poliestrski biomaterial, prednostno polietilen tereftalatni material, nanosena obloga, ki v bistvu sestoji iz dveh plasti, in sicer prve plasti, katero tvori hitozan in ki služi kot podplast za vezavo na njo nanosene druge plasti, in druge plasti, katero tvori sulfoniran polisaharid, ki ima antikoagulativne lastnosti, prednostno fukoidan.
	ANG	The patents' objective is a polyester, preferentially polyethylene(terephthalate) biomaterial, treated in the way, which enables coating with two layers. The first layer consists from chitosan and serves as a basic layer for the second layer. Second layer is made from sulphated polysaccharide, which has anticoagulative properties, preferentially fucoidan.
Šifra		Izboljšanje obstoječega izdelka
Objavljeno v		Patent št. 22467, št. prijave 200700097 z dne 19.04.2007, podeljen dne 31.10.2008. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, 2008. 1 f.
Tipologija		Druge monografije in druga zaključena dela
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO Krvno skladni filmi na sintetičnih polimerih
		ANG Antithrombotic coating of synthetic polymers
Opis	SLO	Adsorpcija naravnih polimerov (chitozana, derivatov chitozana (chitozan sulfat), sulfatiranega fukoidana in sulfatiran galaktoglukomanan) na aktivirane PET filme je bila spremljana z uporabo QCM. Lastnosti modificiranih površin so bile določene s pomočjo elektrokinetičnih meritev, XPS in AFM. Rezultati in vitro testiranja s pomočjo APTT metode, metode določanja prostega hemoglobina, RBC metode, adsorpcije proteinov kažejo na izboljšanje biokompatibilnosti s pomočjo polisaharidov modificiranih PET filmov.
	ANG	The adsorption of biopolymers (onto the activated PET surface under different conditions) was monitored using QCM; the properties gained by biopolymer adsorption were investigated using XPS, electrokinetic measurements and AFM. The results of in-vitro measurements: thromboplastine time (APTT), clotting time, RBC clothing, protein adsorption, endothelial cell seeding showed that PET surface modification using sulphated polysaccharides significantly improve their biocompatibility.
Šifra		Vabljen predavanje
Objavljeno v		Polymer Congress APA-2009 "Polymer science and technology: vision and scenario", December 17-20, 2009, New Delhi, India COBISS.SI-ID

		13863702
	Tipologija	Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	SLO EPNOE Znanstveno poslovno srečanje , Maj 2009, Utrecht, Nizozemska
		ANG EPNOE Scientific Meeting & 2nd Business and Industry Club Meeting, May 2009, Utrecht, Netherlands
	Opis	SLO Karin Stana-Kleinschek je bila predsednica organizatorskega in znanstvenega odbora konference: EPNOE Scientific Meeting & 2nd Business and Industry Club Meeting, Maj, 2009, Utrecht, Nizozemska. Na znanstvenem posvetovanju so bili predstavljeni najnovejši izsledki s področja polisaharidov. Znanstveno srečanje je bilo namenjeno predstavitvi znanstvenih rezultatov evropski industriji. Na srečanju so predstavili svoja doktorska dela tudi študentje, kar je bilo zanimivo s stališča prenosa znanja iz znanstvenih sfer v industrijsko prakso.
		ANG Karin Stana-Kleinschek was the president of the organisation and scientific board of the: EPNOE Scientific Meeting & 2nd Business and Industry Club Meeting, May, 2009, Utrecht, Netherlands. On the meeting the newest research activities on the field of polysaccharides were presented. The meeting was dedicated to presentation of the newest research trends to the European industry. The young researcher presented their PhD thesis, what was interesting for the transformation of the knowledge from the scientific sphere to the industrial one.
	Šifra	Uredništvo tujega/mednarodnega zbornika/knjige
	Objavljeno v	[COBISS.SI-ID 63074049]
	Tipologija	Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	SLO EPNOE Projektni načrt 2010-2020.
		ANG EPNOE Road map 2010-2020.
	Opis	SLO Evropska mreža odličnosti polisaharidnih materialov EPNOE ima dve pomembni nalogi na področju uporabe polisaharidov na področju materialov, prehrane in farmacije/medicine in sicer je to organizacija izobraževanj iz področja polisaharidov in pa izvedba bazičnih in uporabnih znanstvenih raziskav pri proizvodnji novih produktov iz polisaharidov. Projektni načrt je pripravljen na osnovi različnih socialnih, političnih, industrijskih in znanstvenih vidikov. Nov vpogled v strukturo in funkcijo polisaharidov v naravi odpira nove možnosti uporabe in razvoja le teh s pomočjo inženiringa polisaharidov.
		ANG The European Polysaccharide Network of Excellence (EPNOE) has two main missions in the field of polysaccharide applications in materials, food, and pharmacy/medicine, which are to organise education in polysaccharide science and to perform basic and applied research for the development of new products derived from polysaccharides. The research road map was prepared from various social, political, industrial and scientific inputs. EPNOE. New insights in the structure and functions of polysaccharides in Nature open new ways for application developments though polysaccharide engineering.
	Šifra	Upravljanje in razvoj raziskovalnega dela
	Objavljeno v	Paris: EPNOE Association, 2010. 25 str.
	Tipologija	Elaborat, predštudija, študija
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	SLO In vitro določanje emokompatibilnosti z uporabo kremenove mikrotehnice z disipacijsko enoto (QCM-D).
		ANG In vitro hemocompatibility assessment using quartz crystal microbalance with dissipation (QCM-D).
	Opis	SLO Kremenova mikrotehnica z disipacijsko enoto je bila uporabljena za spremljanje adsorpcije krvnih proteinov (fibrinogena) na PET površino in za spremljanje koagulacijske kaskade krvne plazme na neobdelanih PET površinah in površinah z adsorbiranim heparinom. Iz tako pridobljenih eksperimentalnih podatkov s pomočjo QCM-D so pridobljene koristne informacije glede kinetike koagulacije, depozicije fibrina in viskoelastičnih lastnosti novonastalega strdka na površini. QCM-D se je izkazala kot zelo

		uporabno orodje za testiranje hemokompatibilnosti PET površin.
	ANG	The Poly(ethylene terephthalate) (PET) model surface was prepared by spin coating technique. The quartz crystal microbalance with dissipation unit (QCM-D) were used for fibrin adsorption studies and for the online measurements of blood coagulation on the model PET surfaces treated with a conventional anticoagulant heparin and non-treated PET surfaces. From the QCM-D experimental data valuable information about clotting kinetics, fibrin deposition rate and viscoelastic properties of the clot were derived, which make the QCM-D very useful and helpful technique.
Šifra		Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v		Proceedings of Autex 2010. Kaunas: Kaunas University of Technology, Faculty of Design and Technologies, Department of Textile Technology, 2010, 4 f
Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		

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

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

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

SLO

Preučene so bile možnosti uporabe alternativnih (naravnih) protitrombotskih substanc v smislu obdelav sintetičnih površin, predvsem polietilentereftalata, ki se večinoma uporablja za izdelavo sintetičnih vsadkov, kakor tudi v pomožnih napravah in aparatih, skozi katere je potrebno občasno speljati pacientovo kri.

Uporaba hitozana, fukoidana, dekstrana in galaktoglukomanana ter njihovih derivatov predstavlja novost v razvoju protitrombogenih površin. Bistven pomen za razvoj znanosti imajo, v okviru tega projekta pridobljena znanja s področja uporabe in kemične modifikacije alternativnih polisaharidov za izdelavo protitrombogenih površin. Poleg zgoraj naštetih polisaharidov smo preiskali še sulfatirani hitozan, sulfatirani galaktoglukomanani in sulfatirano celulozo. Ugotovljeno je bilo, da so njihovi protitrombogeni učinki sorazmerni z vsebnostjo sulfatnih skupin. Izbrani polisaharidi so bili ustrezno kemično modificirani (sulfatirani) tako, da njihove protitrombogene lastnosti in-vitro dosegajo lastnosti heparina. Ti znanstveni rezultati bistveno prispevajo k napredku na področju iskanja rešitev za zvišanje hemokompatibilnosti biomaterialov.

Izvedene so bile obširne študije uporabe kremenove mikrotehtnice za in-vitro določanje hemokompatibilnosti s pomočjo analize adsorpcije proteinov na površine sintetičnih polimerov. Metoda določanja sproščenega hemoglobina je bila optimirana z vidika vpliva pH na konformacijo hemoglobina, disperzije prostega hemoglobina v raztopini, vpliva obdelave krvi z antikoagulantami in ohlajanje krvi po njenem odvzemu, kar omogoča uporabo te tehnike za in-vitro analizo hemokompatibilnosti kemično podobnih biomaterialov.

Največ nejasnosti pa še vedno obstaja pri in-vitro vrednotenju protitrombogenosti realnih polimernih površin. Rezultati projekta so bistveno doprinesli k razvoju teh metod, saj je bila uspešno uvedena metoda določanja hemokompatibilnosti modelnih površin s pomočjo analize adsorpcije proteinov in spremljanja procesa strjevanja adsorbirane plasti s pomočjo kremenove tehtnice. Poleg tega je bila uvedena in optimirana metoda določanja sproščenega hemoglobina, ki se izvaja na realnih vzorcih. Opravljena pa je bila tudi študija uporabnosti metode določanja števila in oblike trombocitov po kontaktu z relano površino.

Rezultati pridobljeni v okviru tega projekta so bistveno doprinesli k boljšemu razumevanju procesov, ki se sprožijo ob kontaktu biomateriala s krvjo.

ANG

The usability of the alternative (natural) antithrombogenic substances for the synthetic materials surfaces modification, i.e. poly(ethylene terephthalate; PET) was studied. PET is frequently used material for production of synthetic vascular grafts as well as for medical devices, which are used for the external blood circulation.

The most important knowledge for the scientific development achieved in this project is the knowledge about the application and chemical modification of different alternative polysaccharides for production of antithrombotic surfaces. The use of chitosan, fucoidan, dextran and galactoglucomannan for the development of antithrombogenic surfaces represents a

new approach. Beside above mentioned substances sulphated chitosan, sulphated galactoglucomannan and cellulose were studied. It was established that the amount of sulphated groups is proportional to the antithrombogenic effects. Chemically modified (sulphated) PS were modified in the way, that their antithrombogenic properties reach that ones of heparin. These scientific achievements contribute to the progress in searching for new solutions in biomaterials' hemocompatibility improvement.

QCM technique was studied in order to its application for in-vitro determination of hemocompatibility with the protein adsorption onto synthetic polymers' surfaces.

The "released haemoglobin method" was optimised regarding pH of incubation solution, haemoglobin dispersion in solution, anticoagulant addition and blood cooling. This optimization procedure enabled application of the method for in-vitro testing of hemocompatibility of chemically similar surfaces.

The main problem in the field of biomaterials hemocompatibility is still the in-vitro evaluation of the real surfaces. The project results essentially contributed to the development of these methods. The method of hemocompatibility determination of model surfaces with the analysis of protein adsorption and investigation of the coagulation process of adsorbed layer using quartz crystal microbalance with dissipation unit was successfully introduced.

Furthermore, the "haemoglobin free method", which is suitable for real surfaces was introduced and optimised. Beside this the study of the applicability of the determination of the form and number of adhered thrombocytes onto real polymer surface was performed.

The results achieved in this project essentially contributed to better understanding of the processes, which are triggered after the contact of real biomaterials' surfaces with blood.

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

SLO

Možnost uporabe polisaharidov za doseganje protitrombogenosti PET površin predstavlja potencialno možnost za razvoj novih tehnoloških postopkov. Razvoj oz. uporaba alternativnih polisaharidov za izdelavo hemokompatibilnih (protitrombogenih) PET površin sodi v področje priorit, definiranih v nacionalnem programu RS. Oporaba v tem projektu modificiranih polisaharidov in tehnik za njihovo fiksacijo na PET površine lahko bistveno prispeva k zmanjšanju števila pooperativnih komplikacij, s tem pa k zmanjšanju števila bolnišničnih dni in tako k izboljšanju splošne kvalitete življenja pacientov tako v Sloveniji kot v svetu. Rezultati projekta predstavljajo obširno bazo informacij o protitrombogeni učinkovitosti novih alternativnih sulfatiranih polisaharidih. To je lahko osnova za razvoj novih obnovljivih biomaterialov in ustanavljanje majhnih podjetij za njihovo proizvodnjo v Sloveniji. Razvoj in-vitro metod za spremljanje protitrombogenosti realnih površin biomaterialov predstavlja dragoceno platformo za nadaljnje raziskovanje materialov in substanc, ki bi v bodočnosti lahko nadomestile konvencionalna sredstva proti strjevanju krvi živalskega izvora in predstavlja v slovenskem prostoru novost.

ANG

Ability to use polysaccharides for achievement of antithrombogenic characteristics of PET surfaces shows potential development of new technology. Development of procedures for preparation of alternative polysaccharides for hemocompatible (antithrombogenic) PET surfaces preparation is among the priorities defined in Slovenian national research program. The application of the polysaccharides and techniques prepared and modified in this project, will significantly contribute to the decrease of post-surgical complications and will consequently lower the time spent in the hospital and markedly improve overall quality of a patient's life. Rehabilitation of patients will be better and quicker and they will be returned to their private care. This will result in the disburdening of the health care system. The results of the project represent large information database about the antithrombotic effects of new alternative sulphated polysaccharides. This will be the basis for the development of new sustainable biomaterials and establishment of SMEs for their production in Slovenia. The development of the methods for the determination of the antithrombotic properties of real surfaces represent the precious platform for further research of materials and substances, which could in the future replace conventional antithrombotic drugs based on animal sources and is a novelty in Slovenia area.

## 10. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki <sup>12</sup>

1.	Sofinancer		
----	------------	--	--



<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>		<b>EUR</b>
<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>		<b>%</b>
<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>		<b>Šifra</b>
	1. Dvig tehnološke ravni	
	2. Izboljšanje obstoječega izdelka	
	3. Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	4. Upravljanje in razvoj raziskovalnega dela	
	5. Vabljen predavanje	
<b>Komentar</b>	<p>Polietilentereftalat se večinoma uporablja za izdelavo sintetičnih srčno žilnih vsadkov, kakor tudi v pomožnih napravah in aparatih, skozi katere je potrebno občasno speljati pacientovo kri. Nastanek krvnih strdkov je v takšnih primerih pereč problem, ki se trenutno rešuje z naplastitvijo s heparinom, kar pa lahko močno zakomplicira postkirurško zdravljenje. Poskusi zmanjšanja trombogenosti implantatov so bili do sedaj v glavnem osredotočeni na izboljšanje biokompatibilnosti njihovih površin. Za zmanjšanje trombogenosti je bilo predlaganih mnogo metod, na primer izboljšanje fizikalno kemičnih lastnosti, pred-obdelava s proteini, vgrajevanje negativnih nabojev, uporaba antikoagulantov, kakor tudi vzgoja oz. oblaganje sintetičnih implantatov z endotelnimi celicami, itd. Kljub vsem naštetim pristopom, je tromboza in zamašitev žilnega vsadka po vstavitvi še vedno velik problem. V okviru predstavljenega projekta so bile natančno preučene možnosti uporabe alternativnih (naravnih) protitrombotskih substanc kot so: sulfatiran hitozan, fukoidan, sulfatirani manani in celuloza. Razviti so bili postopki in metode za trajno vezavo hemokompatibilnih substanc na PET površine, saj je trenutno odstranjevanje naplasterjenih protitrombogenih substanc s krvjo pereč problem. Kot ena izmed še neraziskanih možnosti za doseg protitrombogene površine je bila razvita metoda obdelave s plinsko plazmo in s tem povečanje negativnega naboja PET površin. Do danes še ni bila razvita dovolj senzibilna metoda za karakterizacijo hemokompatibilnosti površin sintetičnih polimerov. Literarni viri navajajo posamezne različne pristope, ki pa imajo vsak svojo slabost, v glavnem pa so vsi pristopi premalo občutljivi za ločevanje različno obdelanih površin istega sintetičnega polimera. V projektu sta bili analizirani in optimirani metodi določanja sproščene hemoglobina in določanja količine in oblike adsorbiranih trombocitov. Kot novost bo na to področje vpeljana kvarčna mikrotehnika. Poleg navedenega pa je bila razvita in-vitro metoda spremljanja adsorpcije proteinov in procesov nastajanja krvnega strdka s pomočjo kremenove mikrotehnice. Pomen projekta je za nas kot sofinancerja torej mnogoplasten in kompleksen. Znanstveni rezultati projekta bistveno prispevajo k napredku na področju iskanja rešitev za zvišanje kakovosti hemokompatibilnih biomaterialov, s tem pa h kakovosti zdravljenja tovrstnih pacientov. Površine sintetičnih polimerov, obdelane z novimi protitrombogenimi substancami predstavljajo močno bazo za razvoj novih hemokompatibilnih površin implantatov, predvsem za žilne vsadke, srčne zaklopke in žilne opornice.</p>	
	<p>Rezultati projekta bodo imeli učinkovit vpliv na projektiranje in izdelavo novih medicinskih žilnih implantatov z visoko dodano vrednostjo. Aktivno sodelovanje v projektu nam bo, kot sofinancerju, omogočilo nadaljnji razvoj teh izdelkov, kar bo ustvarjalo nova delovna mesta, ki bodo predstavljala izziv predvsem za visoko izobražen kader. Nove rešitve, razvite v okviru tega projekta nam bodo omogočile boljši plasma na trgu specialnih medicinskih materialov in naprav, saj je naš osnovni cilj postati eden od ključnih ponudnikov te vrste izdelkov na slovenskem in vzhodnoevropskih trgih. Predvidena optimizacija PET površin za stik s krvjo bo bistveno omejila komplikacije in s tem stroške zdravljenja, saj pacient pri katerem se pojavijo post-operativne komplikacije 10 do 20-krat poveča stroške zdravljenja v</p>	



<b>Ocena</b>	<p>primerjavi s pacientom pri katerem do komplikacij ne pride. Poleg navedenega pa lahko nadaljnji razvoj tega področja vodi do nove generacije implantatov, npr. žilnih vsadkov. Nova rešitev oz. izdelek na trgu sintetičnih žilnih vsadkov, ki bi prihajala iz evropske unije, bi predstavljala ogromno prednost za evropsko zdravstveno industrijo, saj trenutno 75 % tega trga obvladujejo Združene države Amerike in Kanada.</p> <p>Proizvodnja novih izdelkov z visoko dodano vrednostjo in predviden nadaljnji razvoj teh izdelkov bo ustvarjal nova zanesljiva delovna mesta, ki bodo predstavljala izziv predvsem za visoko izobražen kader. Obstoječe vrste visoko zahtevne proizvodnje v na našem področju bo vplival na razvoj številnih spremljevalnih dejavnosti in zadržal visoke prihodke znotraj regije. Sodelovanje pri tem projektu in rezultate projekta ocenjujemo kot izjemno uporabne za nadaljnji razvoj našega podjetja.</p>
--------------	--

# ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	
Naslov projekta	Obdelava odpadnih voda iz pralnic v membranskem bioreaktorju
Vodja projekta	
Tip projekta	
Obseg raziskovalnih ur	
Cenovni razred	
Trajanje projekta	-
Nosilna raziskovalna organizacija	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	Kemijski inštitut
Družbeno-ekonomski cilj	

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

Šifra	
Naziv	

#### 2. Sofinancerji<sup>2</sup>

1.	Naziv	Salesianer Miettex Periteks, Negovanje in izposoja tekstila, d.o.o.
	Naslov	Blatnica 2, 1236 Trzin
2.	Naziv	Pralnica Lucija d.o.o.
	Naslov	Liminjanska cesta 102, 6320 Portorož
3.	Naziv	
	Naslov	

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Glavna cilja raziskovalnega projekta «Obdelava odpadnih voda iz pralnic v membranskem bioreaktorju» sta bila uvedba primerne kemijsko-termičnega postopka pranja v industrijski pralnici, ki bi bil po učinkovitosti primerljiv konvencionalnemu termičnemu procesu pranja in preučitev možnosti uvajanja čiščenja odpadnih pralnih vod s pomočjo pilotne naprave membranskega bioreaktorja.

V prvem delu raziskovalnega projekta smo v industrijski pralnici uvajali kemijsko-termični postopek pranja bolnišničnih tekstilij, in sicer s perocetno kislino kot učinkovitim belilnim, razkuževalnim in nevtralizacijskim sredstvom, z namenom zmanjšanja porabe kemikalij tekom procesa pranja. Z nižjimi temperaturami pranja (t.j. 70 °C) smo želeli doseči manjšo porabo električne energije, skrajšati postopke pranja glede na konvencionalni termični postopek pranja (t.j. 90 °C) in doseči primerljivo čistost, razkuženost in neoporečnost opranih tekstilij.

Najprej smo izvedli optimizacijo kemijsko-termičnega postopka pranja bolnišničnih tekstilij, in sicer najprej s simulacijo v laboratorijskem pralnem stroju, nato pa preizkušen proces pranja prenesli v obe industrijski pralnici. Pri tem smo spremljali razkuževalni učinek postopka pranja z uporabo standardnih bioindikatorjev *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 in *Enterococcus faecium* ATCC 6057, spremljali kakovost pranja s standardno bombažno tkanino v skladu s kakovostnimi in kontrolnimi določili po RAL-GZ 992 in spremljali morebitne negativne vplive odpadne pralne vode v skladu z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz naprav za pranje in kemično čiščenje tekstilij (U.I. RS 41/07). S spremljanjem uvedenega kemijsko-termičnega postopka pranja v industrijski pralnici smo ugotovili, da uveden postopek pranja zadosti vsem predhodno postavljenim zahtevam, saj je bilo z analizami preživetja standardnih bioindikatorjev, analizo testnih tkanin in odpadne vode ugotovljeno, da ima uveden postopek pranja razkuževalni učinek, saj postopka pranja ni preživel noben bioindikator, zagotavlja primerno kakovost opranih tekstilij v skladu z zahtevami po RAL-GZ 992 in nima negativnih vplivov na okolje, saj so bile vrednosti odpadne vode nižje od predpisanih mejnih vrednosti.

V drugem delu raziskovanja smo proučevali delovanje membranskega bioreaktorja (MBR) in možnost vpeljave tehnologije v industrijsko okolje, z namenom zmanjšanja porabe sveže vode in ponovno uporabo reciklirane odpadne vode v procesih pranja. Pralnice namreč za pranje tekstilij porabijo povprečno 5 L vode/kg suhega perila, za celoten proces pranja pa povprečno 8 L vode/kg suhega perila. Glede na to, da obe proučevani industrijski pralnici pereta do 10 ton perila dnevno, je poraba vode in s tem kemikalij enormna. Sestava odpadne pralne vode je pri tem zelo kompleksna, saj so v njej prisotne nečistoče, ki izvirajo z umazanih tekstilij, in sicer v obliki vodotopnih nečistoč, v vodi emulgiranih in nabreklih nečistoč ter v vodi netopnih nečistoč. Poleg nečistoč se v pralni kopeli nahajajo tudi ostanki pralnih in pomožnih sredstev, kot npr. tenzidov, alkalij, encimov, kompleksantov, belilnih/razkuževalnih sredstev in ostalih pomožnih sredstev, z nalogo pospeševanja procesa pranja. Te spojine bolj ali manj negativno vplivajo na mikrobiološko razgradljivost v odpadni vodi prisotnih organskih in anorganskih spojin. Določene spojine, ki izvirajo iz pralnih sredstev, lahko pomembno vplivajo na mikrobiološko razgradljivost, in sicer v obliki aktiviranja organskih onesnaževalcev in zaviranja bioloških procesov ter na ta način povzročajo toksičen učinek na vodne organizme.

Najprej smo izvedli preliminarne raziskave vpeljave tehnologije membranskega bioreaktorja (MBR) s potopljeno membrano, in sicer v laboratorijski pilotni napravi. Delovanje naprave smo dnevno spremljali z določevanjem osnovnih parametrov odpadne vode pred in po čiščenju ter spremljali delovanje bioreaktorja. V prvi fazi smo najprej izvedli čiščenje sintetične pralne vode, ki je bila simulacija odpadne pralne vode iz pralnic. Nato smo postopek čiščenja optimirali, saj smo morali doseči optimalne pogoje delovanja reaktorja. Tekom raziskave se je tudi večkrat izkazalo, da se koncentrat akumulira na površini membrane in s tem povzroča zmanjšan pretok vode skozi membrano pri danem transmembranskem tlaku (TMP) oziroma povzroči obratno povečanje TMP, kar je občasno vodilo do zmanjšanja permeabilnosti oziroma pretoka skozi membrano. S povratnim pretokom smo pore zopet odmašili.

V MBR čiščenje odpadne vode poteka kot kombinacija biološke razgradnje odpadne vode z

aktivnim muljem in fizikalnega procesa filtracije skozi membrano. V praksi to poteka tako, da odpadna voda priteče v aerobni del bioreaktorja, kjer poteče oksidacija organskih snovi z aktivnim muljem, nato pa se tako prečiščena voda vodi skozi membrano, kjer se zadržijo flokule aktivnega mulja in vse suspendirane snovi. Za učinkovito delovanje MBR morajo biti zagotovljene naslednje zahteve: dobra oskrba aktivnega blata s kisikom, mešanje v bazenu z aktivnim blatom, tlak za potek membranske filtracije (transmembranski tlak) in konstantni pretok na membrano (crossflow). Postopek čiščenja odpadne vode z aktivnim blatom je metoda s suspendirano biomaso v aerobnih pogojih, pri čemer se pri metaboličnih reakcijah mikroorganizmov, s pretvorbo in odstranjevanjem različnih snovi v vodi porablja kisik. Pomemben vpliv na okolje ima odpadna voda iz postopkov pranja, saj poleg nečistoč vsebuje tudi ostanke pralnih in pomožnih sredstev, ki po eni strani pospešijo postopek pranja, po drugi strani pa bolj ali manj negativno vplivajo na mikrobiološko razgradljivost v odpadni vodi prisotnih organskih in anorganskih snovi. Določene spojine, ki izvirajo iz pralnih sredstev, npr. površinsko aktivne substance (tenzidi), natrijev perborat tetrahidrat in natrijev silikat, pa pomembno vplivajo na razgradljivost v odpadni vodi prisotnih organskih in anorganskih snovi. Zaradi tega je zelo pomembna dobra mikrobiološka razgradljivost posameznih komponent, saj te prehajajo v čistilne naprave in so posledično prisotne tudi v iztoku iz čistilne naprave, zaradi česar prispevajo svoj delež k celotni toksičnosti iztoka. V projektu uporabljena MBR tehnologija je vsebovala kombinacijo reaktorja, v katerem je potekal proces biološkega čiščenja in membransko enoto, v kateri je potekal proces ločevanja aktivnega blata (biomase) od čiščene vode. Pri tem procesu je odpadna voda pritekala v sistem za biološko čiščenje, mešanica aktivnega blata in vode pa nato v filtracijsko celico z membranami za mikro-ozioroma ultrafiltracijo. Po filtraciji, se je aktivno blato vračalo nazaj v proces biološkega čiščenja, očiščeno vodo pa se je lahko ponovno uporabilo kot tehnološka voda, brez suspendiranih delcev oziroma je bila tako pripravljena primerna za izpust v vodotok. Bioreaktor v katerem smo določali stopnjo eliminacije komponent odpadne vode je bil sestavljen iz aerobnega in anoksičnega dela. Odpadna voda se je najprej filtrirala preko membranske enote, ki je vsebovala mikrofiltracijsko membrano z velikostjo por  $0,4 \mu\text{m}$ . Vtok odpadne vode in filtriranje permeata smo dosegli z uporabo dveh Masterflex L/S digitalnih črpalk. V aerobnem delu je bila nameščena klorirana polietilenska mikrofiltracijska membrana, z velikostjo por  $0,4 \mu\text{m}$  in efektivno površino  $0,1 \text{m}^2$ . V prvem delu MBR so aerobni pogoji omogočili mikroorganizmom, da so ob prisotnosti raztopljenega kisika pretvorili organsko razgradljive snovi v vodo, ogljikov dioksid in biomaso, v anaerobnih pogojih pa se je izvedlo biološko odstranjevanje dušikovih (nitrifikacija/denitrifikacija) in fosforjevih spojin. Za zagotavljanje optimalnih pogojev delovanja bioreaktorja smo dnevno spremljali osnovne parametre odpadne vode pred in po čiščenju (pH, temperaturo, KPK,  $\text{BPK}_5$ , dušikove in fosforjeve spojine) ter obratovalne parametre MBR (koncentracijo in usedljivost aktivnega blata, volumski indeks blata, volumsko obremenitev čistilne naprave, obremenitev blata, zadrževalni čas in aktivnost blata). Pri tem je bilo ugotovljeno, da na razgradnjo vplivajo številni dejavniki: fizikalno-kemijski pogoji, biološki in kemijski parametri. Tako je bilo ugotovljeno, da MBR deluje tudi pri višjih koncentracijah aktivnega blata ( $\gamma = 6-8 \text{ g/L}$ ) oziroma pri višji starosti blata. To je ugodno vplivalo na samo kinetiko bioloških procesov in razvoj specifičnih mikroorganizmov, ki pospešijo proces nitrifikacije, hkrati pa se je zmanjšala količina priraslega (odvečnega) blata. Zaradi ločevanja trdnih delcev od tekočine, se je dosegla dobra kakovost izhodne vode, pod  $2 \text{ mg/L}$ , saj so se v vodi suspendirani delci zadržali na membrani v reaktorju. V zadnjem delu raziskave smo optimizirali delovanje MBR sistema, in sicer pod tistimi pogoji delovanja, ki so se izkazali za najoptimalnejši glede na sestavo odpadnih voda iz pralnic in pri katerih smo dosegli najboljše rezultate v aerobnem delu in pretvorbo organskih snovi ob dovajanju zadostne koncentracije zraka (večje od  $0,5 \text{ mg/L}$ ) in anaerobne pogoje za proces denitrifikacije in odstranitve fosforja. Pri izvajanju analiz smo dnevno spremljali skupni dušik (N-skupni), skupni fosfor (P-skupni), KPK na vhodu v sistem in iztoku iz sistema ter koncentracijo nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) in amonijevega dušika ( $\text{N-NH}_4^+$ ) na iztoku iz sistema. Z meritvami so se tako dnevno spremljala morebitna nihanja in spremembe pogojev v MBR sistemu. Pri tem smo ugotovili, da višja koncentracija aktivnega blata pomeni daljši zadrževalni čas blata pri določenem hidravličnem zadrževalnem času, kar pomeni, da starost blata (SRT) omogoči bolj stabilen biološki proces, ki se je izkazala z nižjo porabo kisika pri

iztočni odpadni vodi, ki smo jo spremljali s pomočjo BPK<sub>5</sub>. Višji SRT tako zagotavlja zadostno odstranjevanje organskih snovi, popolno nitrifikacijo, razmnoževanje mikroorganizmov, ki odstranijo tudi tiste organske snovi, ki težje in počasneje razpadejo. Med delovanjem naprave smo redno spremljali tudi ostale parametre, ki so pomembni za rast mikroorganizmov: koncentracijo aktivnega blata (g/L), usedljivost blata-VU in volumski indeks blata-VIB (mL/g).

S predhodnimi analizami odpadnih pralnih vod iz pralnic smo ugotavljali onesnaženost odpadnih vod z razgradljivimi in nerazgradljivimi organskimi spojinami (KPK) in biološko razgradljivimi organskimi in/ali anorganskimi spojinami (BPK<sub>5</sub>). Pri tem smo ugotovili, da so vrednosti dokaj visoke, kar je pomenilo, da je v odpadnih pralnih vodah prisotnih veliko snovi, ki so se tekom procesa oksidirale oziroma so bile pokazatelj, da so v odpadni vodi prisotne snovi dobro biološko razgradljive. Žal pa na biološko razgradljivost vplivajo v vodi prisotni ostanki pralnih in pomožnih sredstev, ki lahko bolj ali manj zavirajo sam proces oksidacije snovi oziroma proces biološke razgradnje celo zavirajo. V naslednji fazi smo določevali vsebnost neionskih/anionskih tenzidov v pralnem sredstvu, in sicer s potenciometrično metodo, z avtomatskim titratorjem 794 Basic Tetrino, proizvajalca Methrom. S spremljanjem razgradljivosti tenzidov je bilo ugotovljeno, da so v pralnem sredstvu prisotni anionski in neionski tenzidi, kar je pomembno vplivalo na samo razgradljivost odpadne pralne vode. Pri tem je bilo ugotovljeno, da na razgradnjo tenzidov vpliva koncentracija prisotnega kisika, dolžina alkilne verige pri anionskih tenzidih oziroma število etoksiliranih skupin pri neionskih tenzidih. Ostanek tenzidov se je absorbiral na aktivno blato, saj imajo tenzidi (neionski>anionski) relativno visoko sposobnost vezanja na blato, sediment in nečistoče. Pri tem je bilo ugotovljeno, da na razgradljivost tenzidov vplivajo koncentracija prisotnega kisika, dolžina alkilne verige pri anionskih tenzidih oziroma število etoksiliranih skupin pri neionskih tenzidih. Toksičnost nerionskih tenzidov se povečuje z zmanjševanjem stopnje etoksilacije in podaljševanjem hidrofobne alkilne verige, kar pomembno vpliva na biološko razgradljivost komponent v odpadni pralni vodi. Rezultati so pokazali, da sta potencial biorazgradljivosti tenzidov in kinetika razgradnje zelo odvisna od koncentracije tenzidov, kar pomembno vpliva na rast mikroorganizmov (celične mase v stacionarni masi in stopnji rasti).

Tekom raziskave je bilo ugotovljeno, da je pomembna prednost MBR tehnologije v primerjavi s klasičnimi postopki predvsem nižja količina po čiščenju nastalega odvečnega blata, višja kakovost očiščene odpadne vode, višja stopnja razgradnje raztopljenih organskih substanc in odstranjevanje morebiti prisotnih virusov in bakterij (kar je posebej pomembno pri obdelavi odpadne pralne vode bolnišničnih tekstilij) ter dopušča večjo koncentracijo biomase v reaktorju. MBR sistemi omogočajo tudi nižjo stopnjo rasti biomase pri višji starosti blata, krajši zadrževalni čas, visoko odstranitev trdnih in organskih snovi, dobro zadrževanje aktivnega blata, zaradi česar je delovanje sistema bolj fleksibilno v primerjavi s klasičnimi čistilnimi napravami.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

V prvem delu raziskovalnega projekta smo v industrijski pralnici vpeljali kemijsko-termični postopek pranja, ki omogoča doseganje optimalnih rezultatov pranja, primerljivih termičnim postopkom in hkrati dosegli zmanjšanje stroškov pralnih pomožnih sredstev z vpeljavo perocetne kisline kot kombiniranega belilnega, razkuževalnega in nevtralizacijskega sredstva. Pri optimizaciji postopka smo ugotovili, da se z niževanjem temperature pranja in sočasnim povečevanjem koncentracije razkuževalnega sredstva doseže primerna čistost in razkuženost tekstilij, nižja poraba električne energije in manjše poškodbe tekstilij, kar pomembno vpliva na njihovo življenjsko dobo.

V drugem delu raziskovalnega projekta smo izvedli simulacijo čiščenja odpadne pralne vode v membranskem bioreaktorju (MBR) s potopljeno membrano, in sicer v laboratorijskem merilu. Z uvajanjem nove tehnologije obdelave odpadnih vod smo želeli zmanjšati stroške pralnic pri dobavi sveže vode za pranje in zmanjšati stroške pri odvajanju odpadnih pralnih vod v kanalizacijo ter na ta način vzpodbuditi ekološko ravnanje z vodo. Pri proučevanju MBR tehnologije je bilo ugotovljeno, da je glavna prednost tega sistema malo ali skoraj

nič suspendiranih snovi v očiščeni vodi in s tem posledično nižje KPK-vrednosti, očiščena voda skoraj ne vsebuje mikroorganizmov in virusov, kar je obetavno predvsem za čiščenje odpadnih pralnih vod iz zdravstvenih ustanov in domov za ostarele, zaradi daljšega zadrževalnega časa v procesu pa poteka boljša biološka razgradnja spojin. Sam sistem pa ima tudi slabosti, predvsem pogosto mašenje membran, kar pomembno vpliva na kroženje blata in dobro aeracijo sistema, pri čemer preprečevanje in nadzor nad zamašitvijo zahtevata veliko energije in časa ter visoke cene membran.

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

Pri izvajanju aplikativnega raziskovalnega projekta ni bilo bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta.

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

		Znanstveni rezultat	
1.	Naslov	SLO	Obdelava pralne odpadne vode v reaktorju z uporabo pritrjene biomase
		ANG	Laundry wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor
	Opis	SLO	Onesnaženost odpadne vode iz pralnic je odvisna od izvora tekstilij, stopnje umazanosti in procesa pranja. Onesnaženje povzročajo raztopljene organske in anorganske spojine ter usedle in toksične spojine. V raziskavi so se preučevale možnosti obdelave pralne odpadne vode v reaktorju z uporabo pritrjene biomase (MBBR) z aktivno biomaso kolonizirano na polietilenske nosilce. Proces z uporabo pritrjega biofilma omogoča v primerjavi s klasičnim postopkom višjo učinkovitost in stabilnost procesa, posebno pri nižjih temperaturah in višjih fluktuacijskih obremenitvah.
		ANG	The pollution of laundry wastewater is dependant on the origin of linen, soil degree of linen and laundering process. It is caused by dissolved organic and inorganic substances, as well as sedimented and toxic substances. In this research a moving bed biofilm reactor (MBBR) was used with active biomass colonised onto polyethylene carriers. Processes using attached biofilm in comparison to classical procedures with suspended biomass enable higher efficiency and stability of the process, especially at lower temperatures and high fluctuating loads.
	Objavljeno v	ALTENBAHER, Brigita, LEVSTEK, Marjetka, NERAL, Branko, ŠOSTAR-TURK, Sonja. Laundry wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor = Čiščenje odpadnih voda u bioreaktorju s pričvrščenom biomasom. Tekstil, Aug. 2010, vol. 59, no. 8, str. 333-347.	
Tipologija	Izvirni znanstveni članek		
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Ekološki parametri in razkuževalni učinek nizko-temperaturnega postopka pranja v bolnišnicah v Sloveniji
		ANG	Ecological parameters and disinfection effect of low-temperature laundering in hospitals in Slovenia
	Opis	SLO	Kljub temu, da je pranje energijsko intenziven proces, lahko znižamo porabo energije z natančnim specifikiranjem pogojev pranja. Namen raziskave je bil določiti vpliv procesov pranja na ekološke parametre odpadnih vod iz pralnic in opredelitev porabe električne energije. Proces pranja je bil simuliran v laboratorijskem pralnem stroju, s spreminjanjem parametrov pranja.
		ANG	Although laundering is an energy intensive process we can minimize the energy consumption by accurately specifying washing conditions. The aim of this research was to determine the influence of laundering procedures on the ecological parameters of wastewater and the electric energy consumption. Laundering procedures were simulated in a laboratory washing machine by varied laundering conditions.
	Objavljeno v	ALTENBAHER, Brigita, ŠOSTAR-TURK, Sonja, FIJAN, Sabina. Ecological parameters and disinfection effect of low-temperature laundering in hospitals in Slovenia. J. clean. prod.. [Print ed.], 2011, vol. 19, iss. 2/3, str. 253-258, doi: 10.1016/j.jclepro.2010.10.002.	

	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	SLO Antimikrobiološka aktivnost izbranih razkuževalnih sredstev uporabljenih pri nizko-temperaturnem procesu pranja tekstilij
		ANG Antimicrobial activity of selected disinfectants used in a low temperature laundering procedure for textiles
	Opis	SLO Glavni namen pranja tekstilij je odstranitev nečistoč in mikroorganizmov z okuženih in umazanih tekstilij in doseganje čistih, svežih in razkuženih tekstilij primernih za ponovno uporabo. Umazane tekstilije lahko vsebujejo različne vrste mikroorganizmov, ki so lahko tudi patogeni, in sicer glede na izvor tekstilij. Namen študije je bila izvedba primerjave razkuževalnih učinkov treh različnih razkuževalnih sredstev (natrijevega klorata (I) kombinacije peroksiocetne kisline in vodikovega peroksida ter vodikovega peroksida) v procesu pranja, pri nižjih temperaturah (30 °C).
		ANG The main aim of washing laundry is to remove soils and microorganisms from infected as well as dirty textiles and attain clean, fresh and disinfected textiles ready for use. Dirty textiles may contain many types of microorganisms that may be pathogenic depending on the origin of textiles. The aim of this study was to compare the disinfection effect of three disinfection agents (sodium chlorate (I), a combination of peroxyacetic acid and hydrogen peroxide, and hydrogen peroxide alone) in washing procedures at low temperature (30 °C).
	Objavljeno v	FIJAN, Sabina, ŠOSTAR-TURK, Sonja. Antimicrobial activity of selected disinfectants used in a low temperature laundering procedure for textiles. <i>Fibres Text. East. Eur.</i> , 2010, vol. 18, no. 1, str. 89-92.
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
4.	Naslov	SLO SMILES: trajnostni ukrepi za strategije industrijskih pralnic: Pametna pralnica-2015
		ANG SMILES: Sustainable measures for industrial laundry expansion strategies: Smart laundry-2015
	Opis	SLO Cilj raziskovalnega projekta EU FP7 z naslovom: "Trajnostni ukrepi za strategije industrijskih pralnic: Pametna pralnica-2015", z akronimom SMILES, je oblikovati pametno pralnico in z raziskavami, nadaljnjim razvojem ter prilagoditvijo preneseti tehnologije s praktičnimi koristmi v industrijsko okolje. Raziskave vključujejo: možnost zmanjšanja porabe vode, varčevanje z energijo, zmanjšanje emisij CO2, vpeljavo novih energijskih sistemov in izboljšanje zaporedja procesov ter s tem večjo higieno tekstilij.
		ANG The research project of the EU FP7 entitled: "Sustainable Measures for Industrial Laundry EXPANSION STRATEGIES: SMART Laundry-2015 with the acronym SMILES has the aim to design a smart laundry through research, further development and adaptation of sustainable technologies with its practical utilisations (combined for green sites or individual for existing plant augmentation). These include water reduction, energy savings, green fuel substitutions for CO2 reductions, new energy systems and improved sequencing of the process and greater textile hygiene.
	Objavljeno v	ŠOSTAR-TURK, Sonja, FIJAN, Sabina, ALTENBAHER, Brigita, MLAKAR, Vid. SMILES : sustainable measures for industrial laundry expansion strategies : smart laundry-2015. V: DRAGČEVIĆ, Zvonko (ur.). 5th International Textile, Clothing & Design Conference [also] ITC&DC, October 3rd to October 6th, 2010, Dubrovnik, Croatia. Magic world of textiles : book of proceedings. Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2010, str. 396-400, ilustr.
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanja)
COBISS.SI-ID		
5.	Naslov	SLO ACCEPT: Napredno CO2 čiščenje kot ekološka procesna tehnologija
		ANG ACCEPT: Advanced CO2 cleaning as an ecological process technology
	Opis	SLO Glavni cilj raziskovalnega projekta z naslovom: "Napredno CO2 čiščenje kot ekološka procesna tehnologija", z akronimom ACCEPT je izboljšanje in promocija konkurenčne, prenosljive, higienske in okoljsko prijazne tehnologije čiščenja na osnovi ogljikovega dioksida, ki bo nadomestila konvencionalna organska topila, kot so ogljikovodikova in halogenirana organska topila. V prvem delu raziskave se je raziskovanje osredotočilo na vpliv CO2 na preiščane bakterije in glivo. Razkuževalni učinek se je raziskoval v čistem LCO2, pri različnih delovnih pogojih (tlakih, obdelavah in

		dekompresijskih časih).
	ANG	The research project entitled: "Advanced CO2 Cleaning as an Ecological Process Technology" with the acronym ACCEPT has a main aim of improving and promoting a competitive, sustainable, hygienic, environmentally and labour-friendly carbon dioxide based cleaning technology to replace the conventional hydrocarbon and halogenated organic solvents. In the first period the research focused on the impact of CO2 inactivation towards bacteria and fungi. The germicidal effect was investigated with pure LCO2 under different working conditions (pressures, treatment and decompression times).
Objavljeno v		FIJAN, Sabina, NERAL, Branko, ALTENBAHER, Brigita, ARNUŠ, Suzana, ŠTANC, Darko, ŠOSTAR-TURK, Sonja. ACCEPT : advanced CO2 cleaning as an ecological process technology. V: DRAGČEVIĆ, Zvonko (ur.). 5th International Textile, Clothing & Design Conference [also] ITC&DC, October 3rd to October 6th, 2010, Dubrovnik, Croatia. Magic world of textiles : book of proceedings. Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2010, str. 915-919, ilustr.
Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanja)
COBISS.SI-ID		

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO EU FP7-SME projekt "ACCEPT"
		ANG EU FP7-SME project "ACCEPT"
Opis	SLO	Cilj projekta "ACCEPT- Napredno čiščenje s CO2 kot ekološka procesna tehnologija" z LCO2 je doseči izboljšane učinke čiščenja prepustnih (tekstil in usnje) in neprepustnih trdnih površin (medicinske naprave, implantanti in fini kovinski deli), doseganje višje kakovosti končnih produktov, večje varnosti nizkotemperaturne higijene produktov (razkuževanja), sterilizacije in doseganje nižjih stroškov.
	ANG	The first goal of the EU FP7-SME 222051 project "ACCEPT- Advanced CO2 Cleaning as an Ecological Process Technology" is to achieve an improved LCO2 cleaning performance of pliable (textiles and leathers) and hard surfaces (medical devices, implants and fine metal parts), and reach a higher end-product quality, more secure cold temperature hygiene (disinfection ) sterilisation and lower economic costs, at the full-scale level.
Šifra		Vabljeni predavanja
Objavljeno v		NERAL, Branko, ŠOSTAR-TURK, Sonja, FIJAN, Sabina, ARNUŠ, Suzana, ALTENBAHER, Brigita, ŠTANC, Darko. EU FP7-SME project "ACCEPT" = EU FP7-SME projekt "ACCEPT". V: SAVANOVIĆ, Goran (ur.). Drugi naučno-stručni skup sa međunarodnim učeščem "Tendencije razvoja u tekstilnoj industriji - Dizajn, Tehnologija, Menadžment", Beograd, 4-5. 06. 2010. Zbornik radova. Beograd: Visoka tekstilna strukovna škola za dizajn, tehnologiju i menadžment, 2010, str. 237-240.
Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanja)
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO Higienično pranje tekstilij
		ANG Hygienically textile laundering
Opis	SLO	Higienski menedžment pranja tekstilij vključuje: dovoz opranih tekstilij iz pralnice, prenos in skladiščenje tekstilij v ustrezne oddelke vrtca, uporaba tekstilij in nato pravilno zbiranje umazanih tekstilij na posameznih mestih uporabe, odvoz tekstilij do pralnice in pranje tekstilij. Umazane in čiste tekstilije morajo biti strogo ločene, pri čemer se poti ne smejo križati. V primeru, da se v istem prostoru zbirajo umazanetekstilije pred prevozom v pralnico in odlagajo čiste tekstilije po prihodu iz pralnice, je treba zagotoviti časovni odmik in vmesno temeljito čiščenje prostora.
	ANG	Hygienic management of textile laundry includes: washed textiles supplying from laundry to departments, textiles storage in suitable nursery school departments, usage and collecting the dirty cloths in the place of usage, dirty textile transporting to the laundry and laundering. Dirty and clean textiles must be strict separated and crossing the ways is not allowed. In



		case of collecting of dirty and clean textiles in the same storage place, must be assured a intermediate time and perfectly area cleaning.
Šifra		Vabljeno predavanje
Objavljeno v		FIJAN, Sabina, ŠOSTAR-TURK, Sonja. Higienično pranje tekstilij. V: Posvetovanje o negi tekstilij v otroških vrtcih v okviru EU projekta SMILES : Terme Ptuj, 16. april 2010. Ljubljana: Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije, 2010, str. [1-7], ilustr.
Tipologija		Objavljeni strokovni prispevek na konferenci (vabljeno predavanje)
COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	<i>SLO</i> EU projekt SMILES-razkuževalni učinek pri nizko-temperaturnem pranju
		<i>ANG</i> EU Project SMILES-disinfection effect at a low temperature laundering procedure
	Opis	<i>SLO</i> V okviru projekta SMILES ("Sustainable Measures for industrial Laundry Expansion Strategies: Smart Laundry-2015") so se s pomočjo bioindikatorjev določali pogoji nizko-temperaturnega pranja, ki bi omogočal primerno stopnjo razkuževanja tekstilij pri različnih temperaturah pranja (40 °C, 50 °C in 60 °C) in s tem istočasno doprinesiti k znižanju porabe energije, zmanjšanju onesnaževanja okolja ter s tem prihranek.
		<i>ANG</i> In framework of Project SMILES ("Sustainable Measures for industrial Laundry Expansion Strategies: Smart Laundry-2015") were determined low-temperature laundering conditions, degree of textile disinfection at different laundering temperatures (40 °C, 50 °C and 60 °C), reduced energy consumption, decreased the environment pollution and increased the savings.
	Šifra	Vabljeno predavanje
	Objavljeno v	FIJAN, Sabina, ŠOSTAR-TURK, Sonja, ALTENBAHER, Brigita. EU projekt SMILES - rezultati : razkuževalni učinek pri nizko temperaturnem pranju. V: Strokovno srečanje vzdrževalcev tekstilij, Otočec, 10. in 11. december 2010. Zbornik predavanj. Ljubljana: Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije, Sekcija vzdrževalcev tekstilij, 2010, [41] pros.
	Tipologija	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
	COBISS.SI-ID	
4.	Naslov	<i>SLO</i> Določevanje razkuževalnega učinka postopka pranja bolnišničnih tekstilij z uporabo indikatorske bakterije Mycobacterium terrae
		<i>ANG</i> Determining the disinfection effect of a laundering procedure for hospital textiles using the indicator bacteria Mycobacterium terrae
	Opis	<i>SLO</i> V raziskavi smo določevali razkuževalni učinek pranja bolnišničnih tekstilij s simulacijo procesa pranja pri različnih temperaturah pranja in z uporabo indikatorske bakterije Mycobacterium terrae kot reprezentativne bakterije iz družine Mycobacterium. Pri tem je bilo ugotovljeno, daje bakterija M. terrae preživela proces pranja pri temperaturi 35 °C in 45 °C, inaktiviranje bakterije pa se je doseglo pri temperaturi 60 °C. Izbrani postopek pranja je imel, glede na termični postopek, tako razkuževalni kot ekološki in ekonomski učinek.
		<i>ANG</i> In our research we determined the antimicrobial effect of laundering hospital textiles by simulating a common laundering procedure for hospital textiles in the laboratory washing machine at different temperatures by the use of the indicator bacteria: Mycobacterium terrae as a representative of Mycobacterium family. It was found that M. terrae survived laundering at 35° and 45°C but was completely inactivated at 60°C. The chosen laundering procedure has an effective disinfection effect and at the same is more ecological and economical than thermal laundering procedures.
	Šifra	Vabljeno predavanje
	Objavljeno v	Determining the disinfection effect of a laundering procedure for hospital textiles using the indicator bacteria Mycobacterium terrae. V: KUŠAR, Darja (ur.), BIDOVEC, Urška (ur.). 31st Annual Congress of the European Society of Mycobacteriology, 4-7 July, 2010, Bled, Slovenia. Abstract book. Golnik: Bolnišnica - Klinični oddelek za pljučne bolezni in alergijo; Ljubljana: Veterinarska fakulteta, 2010, str. 186, PP-94.
	Tipologija	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
	COBISS.SI-ID	
5.	Naslov	<i>SLO</i> Higieniski in ekološki postopki pranja tekstilij iz živilske industrije
		<i>ANG</i> Hygienic and ecological laundering procedures for textiles from the food-processing industry

Opis	SLO	Stopnja higiene tekstilij iz živilske industrije je bila določena v Slovenskih pralnicah v skladu z nemškimi priporočili po RAL-GZ 992 za kontrolo kakovosti, evropskem standardu RABC in HACCP-sistemu (Hazard Analysis Critical Control Points) ter v Norveških pralnicah s štejem aerobnih, koliformnih in Escherichia coli bakterij na kritičnih kontrolnih točkah (CCP). Z upoštevanjem ukrepov razkuževanja in rednega čiščenja naprav in površin s strani vseh zaposlenih ter doseganje razkuževalnega učinka pralnih postopkov, lahko dosežemo ustrezno stopnjo higiene.
	ANG	The hygiene level of textiles from the food-processing industry were evaluated using German RAL-GZ 992 quality assurance system, European standard RABC and HACCP-systems (Hazard Analysis Critical Control Points) in Slovenian laundries and aerobic, coliform and Escherichia coli count at critical control points (CCP) in Norwegian laundries. Using regular cleaning and disinfecting devices and surfaces measures by all staff members and achieving a disinfection effect of laundering procedures are most important in achieving an appropriate hygiene level in laundries.
Šifra	Zaključno poročilo o tujem/mednarodnem projektu	
Objavljeno v	FIJAN, Sabina, GUNNARSEN, Jan Tore H., ŠOSTAR-TURK, Sonja, ALTENBAHER, Brigita. Higienski in ekološki postopki pranja tekstilij iz živilske industrije, projektno poročilo 2007-2009 = Hygienic and ecological laundering procedures for textiles from the food-processing industry, project report for 2007-2009. Maribor: Faculty of Mechanical Engineering; Fredrikstad, Norway: Norske Vaskeriers Kvalitetstilsyn, 2010. 3 f., ilustr.	
Tipologija	Končno poročilo o rezultatih raziskav	
COBISS.SI-ID		

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

---

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

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

SLO

Z uvajanjem kemijsko-termičnega postopka pranja bolnišničnih tekstilij v industrijski pralnici smo:

- uvedli postopek pranja pri nižjih temperaturah (t.j. 70 °C),
- dosegli ekološke učinke, saj parametri pralnih odpadnih vod niso presegli predpisanih vrednosti po Uredbi (U.I. RS 41/07),
- dosegli ekonomske učinke, saj se je uveden postopek pranja izkazal kot varčnejši glede na konvencionalni termični postopek pranja pri 90 °C,
- dosegli primerno čistost in razkuženost opranih tekstilij, kar pomeni, da uveden postopek pranja zagotavlja primerno kakovost in higieničnost.

S preučevanjem delovanja in možnostjo uporabe membranskega bioreaktorja s potopljeno membrano v industrijske pralnice smo ugotovili, da:

- so pri načrtovanju reaktorja pomembni: membrana, njena konstrukcija in vzdrževanje permeabilnosti, vhodna odpadna voda, njene značilnosti in njena predobdelava, aeracija membrane in aktivnega blata, zadrževalni čas blata in izpust iz sistema ter biološka aktivnost in narava biomase, pri čemer so elementi medsebojno odvisni,
- zadrževalni čas določa koncentracijo biomase, kar vpliva na karakteristiko biologije, kot je biološka aktivnost in mikrobiološka sestava blata, fizikalne lastnosti kot sta viskoznost in snovni prenos kisika,
- sestava vhodne odpadne vode prispeva največji delež za delovanje bioreaktorja oziroma nagnjenosti k mašenju membrane,
- očiščena odpadna voda vsebuje zelo malo suspendiranih snovi, posledica česar so nižje KPK vrednosti,
- očiščena voda ne vsebuje mikroorganizmov
- zaradi daljšega zadrževalnega časa je biološka razgradnja spojin boljša.

ANG

With chemo-thermal washing procedure in industrial laundries we are:

- introduced washing procedure at a low-temperature (70 °C),
- reached the ecological effects of waste water treatment according to the Slovenian Official Gazette, No. 41/07,
- reached the economical effects with saving system of washing procedure at low-temperature in comparison with thermal washing procedure,
- reached the sufficiently cleaned and disinfected textiles that means that introduced washing procedure provides appropriate quality and textile hygiene.

With research work of activity and application possibility treatment in membrane bioreactor with submerged membrane we are established that:

- in the membrane bioreactor projecting are importante: construction and keeping the membrane, waste water input, characteristic of waste water, aeration of membrane and active sludge, loading rate of active sludge, release from system and biological activity and nature of biomass, where are elements interdependent,
- loading rate provides a concentration of biomass and impacts on biological characteristic like biology activity and microbiological composition of sludge and physical properties like viscosity and oxygen transferring,
- composition of waste water input contributes to operation of membrane bioreactor and tendency to membrane blocking,
- cleaned waste water contains a very little suspended substances and result is low chemical oxygen demand (COD),
- cleaned waste water contains no microorganism,
- because of long loading rate is biological degradation of substance better.

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

SLO

Z raziskavami na področju vpeljave kemijsko-termičnega postopka pranja in obdelave odpadnih voda iz pralnic v membranskem bioreaktorju smo:

- prispevali k znanju na področju nizkotemperaturnega pranja in pomenu obdelave odpadne pralne vode, in sicer v obliki znanstvenih člankov in prispevkov na domačih ter mednarodnih konferencah, kjer smo spoznanja predstavili širši strokovni javnosti,
- rezultate smo aplicirali v dve industrijski pralnici in s tem povečali konkurenčnost malih ter srednje velikih industrijskih pralnic.

ANG

With chemo-thermal washing procedure and treatment of waste waters from laundries in membrane bioreactor we are:

- contributed to the knowledge in the field of low-temperature laundering and importance of waste water treatment in the form of scientific articles and contributions at local and international conferences where were findings presented to the broad public,
- the results were applied in two industrial laundries and thus increased the competitiveness of small and medium industrial laundries.

## 10. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki <sup>12</sup>

1.	Sofinancer		
		<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>	<b>EUR</b>
		<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>	<b>%</b>
		<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>	<b>Šifra</b>
	1.	Implementiranje postopkov kemijsko-termičnega postopka pranja v industrijske pralnice z namenom zmanjšanja obremenjevanja odpadnih pralnih vod in doseganje primerne razkuževanja opranih tekstilij.	
	2.	zvedena raziskava na področju določevanja razkuževalnih postopkov pranja bolnišničnih tekstilij z različnimi bioindikatorji in pri različnih temperaturah pranja.	
	3.	Uporabna znanja s področja recikliranja odpadnih voda, pomen ponovne uporabe recikla v procesih pranja, posledični prihranki pri porabi sveže vode in zmanjšanje	

		strošev okoljskih dajatev.	
	4.	Raziskave na področju zniževanja stroškov energije, vode in povečanja kapacitet pranja kot posledice uvajanja nizko-temperaturnih postopkov pranja v industrijske pralnice.	
	5.	Ocena higiene v pralnici v skladu z evropskimi standardi na kontrolnih točkah, ki pomenijo nevarnost za rast, prenos in širjenje bakterij, predvsem na področju rokovanja s čistimi tekstilijami.	
<b>Komentar</b>		Obdelava odpadne pralne vode s tehnologijami, ki so praktično primerne za prenos v industrijske pralnice tekstilij in predstavljajo v prihodnjosti dejanski doprinos k omejevanju porabe sveže vode in možnost ponovne uporabe prečiščene odpadne vode v procesih pranja, pomeni pomemben napredek na področju ravnanja z vodnimi viri. Glede na dobljene rezultate obdelave odpadne pralne vode v laboratorijskem merilu in glede na predvidene prednosti prenosa tehnologije bioreaktorja v industrijsko okolje, je v prihodnjosti pričakovati bolj ekonomično porabo sveže pitne vode in ekološko ravnanje tudi v ostalih panogah, ki so poleg pralnic prav tako velik porabnik sveže vode.	
<b>Ocena</b>		Obdelava odpadnih pralnih vod je že nekaj let ena izmed stalnic v raziskovanju, saj so količine odpadnih vod po pranju res velike in predstavljajo za pralnice določen strošek, najprej kot poraba sveže vode, nato pa še kot odvedena odpadna voda v centralno čistilno napravo. Kljub povratnemu toku pranja tekstilij in s tem vračanju ter ponovni uporabi pralne vode v procesu pranja, so potrebe po sveži vodi še vedno visoke, predvsem v področju izpiranja tekstilij in področju nevtralizacije. Glede na to, da nova tehnologija čiščenja odpadnih vod v bioreaktorju obljublja boljše rezultate čiščenja in določene prednosti pri dimenzioniranju naprave glede na količino odpadnih vod in boljše prostorske izrabe, predstavlja prenos tehnologije v industrijo celostno rešitev in možnost ekonomičnejšega ravnanje z vodami. Kot srednje velika industrijska pralnica perila predstavljamo zaradi velike porabe sveže vode, pralnih in pomožnih sredstev določeno obremenitev za okolje. Posebej se to odraža na visokih stroških energentov, porabi sveže vode in pralnih ter pomožnih sredstev, kar predstavlja določeno okoljsko in finančno obremenitev za pralnico. Kot velik potrošnik energentov, kemikalij in vode zato od projekta pričakujemo predvsem znižanje stroškov okoljskih dajatev in v določeni meri tudi povečanje konkurenčnosti. Eden izmed motivov za pristop k projektu je bil tudi uvajanje kemijsko-termičnih postopkov pranja, kar predstavlja dodatni prihranek energentov, doseganje večje čistosti, higieničnosti in kakovosti tekstila, njihovo podaljšano življenjsko dobo ter povečanje pralnih in sušilnih kapacitet v pralnici. Od projekta prav tako v prihodnjosti pričakujemo prenos praktičnih znanj s področja recikliranja odpadnih voda in ponovne uporabe prečiščenih odpadnih voda v procesu pranja, poglobitev tehničnega znanja in veščin na tem področju ter na ta način znižanje strošev proizvodnje in trajnostni razvoj pralnice.	
2.	<b>Sofinancer</b>		
		<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>	<b>EUR</b>
		<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>	<b>%</b>
		<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>	<b>Šifra</b>
	1.	Študija vpeljave nižjih temperatur pranja in vpliv razkuževalnih sredstev na učinkovitost procesov pranja.	
	2.	Obdelava odpadne pralne vode in možnosti njene ponovne uporabe v procesu pranja.	
	3.	Vpeljava bioreaktorja v industrijske pralnice in morebiten vpliv na že obstoječ tehnološki proces.	
	4.	Uvajanje postopkov pranja z namenom znižanja stroškov proizvodnje, porabe energije in pralnih/pomožnih sredstev.	
	5.	Pomen vpeljave novih tehnologij čiščenja odpadnih vod na tehnološki razvoj pralnic in konkurenčnost proizvodnje.	

<b>Komentar</b>	<p>Razvoj in vpeljava novih tehnologij čiščenja odpadnih vod iz pralnic pomeni gospodarnejše ravnanje z vodnimi viri in povečanje konkurenčnosti na trgu v smislu manjše porabe energentov, pralnih/pomožnih sredstev, ponovne uporabe pralne odpadne vode in večje produktivnosti. Z vlaganji v nove tehnologije pričakujemo doseganje dolgoročnih ciljev na področju prihrankov ravnanja z odpadnimi vodami in porabe sveže vode. Obdelava odpadnih vod iz pralnic zaradi količin porabljene vode pomeni tudi tehnološki razvoj pralništva v smeri manjše porabe vode, možnosti recikliranja in ponovne uporabe vode ter dolgoročno doseganje ekonomskih učinkov. Z uvajanjem kemijsko-termičnih postopkov pranja se pričakujejo dodatni učinki, in sicer na področju nižje porabe električne energije, povečanja kakovosti postopkov pranja in čistosti/higieničnosti opranih tekstilij.</p>
<b>Ocena</b>	<p>Dandanes je za industrijske pralnice zelo pomembno doseganje čim boljših učinkov pranja s čim nižjo porabo energentov, vode in kemikalij, kar pa včasih zaradi vrste perila, nečistoč in izvora perila ni možno. Termični postopki pranja (t.j. 90 °C oziroma 85 °C) zahtevajo večjo porabo energije za segrevanje vode, kar posledično tudi podaljšuje sam proces pranja. Tudi sama količina vode, ki znaša povprečno 5 L/kg perila, prinaša določene stroške, povezane z dobavo sveže vode in večjimi količinami nastale odpadne vode, ki v večini pristane v kanalizaciji. Tudi sama uporaba belilnih/razkuževalnih sredstev v procesih pranja in nato na koncu še nevtralizacijskega sredstva, pomeni veliko porabo kemikalij, katerih poraba mora biti naravnana na vrsto in izvor perila, kar predstavlja za pralnice dodaten strošek pranja. Kemijsko-termični postopek pranja pri 70 °C oziroma 60 °C, pomeni prihranek pri času in elektriki, po drugi strani pa s pravilnim doziranjem pralnih in razkuževalnih sredstev, doseganje primernih razkuževalnih učinkov pranja perila. Z uporabo primerne belilnega, razkuževalnega in nevtralizacijskega sredstva pa se dosega še dodatna čistost, higieničnost, razkuženost in nevtralizacija perila, kar pomeni prihranek pri nižjem ponovnem pranju perila zaradi ostankov madežev in z nevtralizacijskim sredstvom doseganje nevtralnega območja tekstilij in s tem preprečevanja slabših rezultatov likanja in možnih alergenijskih reakcij na ostanke alkalij v perilu. Tako kemijsko-termični postopki pranja pomenijo za industrijsko pralnico manjšo porabo energije za segrevanje vode, s tem pa krajše čase pranja, manjšo porabo kemikalij in na ta način manjše vplive na okolje. Ker je poraba sveže vode v procesih pranja velik finančni zalogaj za pralnice, je vpeljava primerne postopka čiščenja nastalih odpadnih vod še kako dobrodošla, predvsem pri zniževanju stroškov. Poraba sveže vode je posebej velika pri izpiranju in nevtralizaciji perila. Zaradi vsebnosti pralnih in pomožnih sredstev v odpadni pralni vodi pomeni njeno čiščenje izziv, predvsem zaradi visokih vsebnosti organskih in anorganskih spojin, ki izvirajo s perila in iz samega postopka pranja. Ravno zaradi teh snovi pralna odpadna voda pomeni dodatno obremenitev za čistilne sisteme in s tem posledično obremenitev pralnice zaradi okoljskih taks. Vpeljava nove tehnologije čiščenja odpadnih vod iz postopkov pranja bi pomenila možnost recikliranja nastalih odpadnih vod na mestu nastanka, s čimer bi se zmanjšali izpusti obremenjene vode v kanalizacijo in manjša poraba sveže vode zaradi ponovne uporabe očiščene odpadne vode v procesih pranja. Seštevek vseh teh dejavnikov pa za večjo industrijsko pralnico pomeni znižanje stroškov pranja, povečanje kapacitet pranja in s tem večjo produktivnost ter konkurenčnost na trgu.</p>

# ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	
Naslov projekta	Razvoj optičnega senzorskega sistema za nedestruktivno kontrolo kvalitete embaliranih mesnih izdelkov
Vodja projekta	
Tip projekta	
Obseg raziskovalnih ur	
Cenovni razred	
Trajanje projekta	-
Nosilna raziskovalna organizacija	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Družbeno-ekonomski cilj	Industrijska proizvodnja in tehnologija

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

Šifra	
Naziv	

#### 2. Sofinancerji<sup>2</sup>

1.	Naziv	Messer Slovenija, d.o.o.
	Naslov	Jugova 20, 2342 Ruše
2.	Naziv	Perutnina ptuj, d.d.
	Naslov	Potrčeva c. 10, 2250 Ptuj
3.	Naziv	
	Naslov	

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

V zadnjem času narašča pritisk na proizvajalce prehrane v smislu zagotavljanja njene varnosti, kvalitete in zasledovanja. Pakiranje svežega mesa se izvršuje, da se prepreči njegova okužba, da se podaljša čas obstojnosti, encimatski procesi izboljšujejo mehko, znižuje se izguba na teži ter zagotavlja se obarvanost mesa na trgovskem ali potrošniškem nivoju. Mikroorganizmi povzročajo kvar hrane preko njihovega razmnoževanja ali indirektno s pridelavo metabolnih produktov, ki so lahko toksični. Medtem ko je pri nepakirani hrani bakterijska dekompozicija enostavno zaznana preko vonjav, pa njena detekcija v primeru pakiranih živil ni zaradi onemogočenega prodiranja plinskih produktov bakterijske dekompozicije, ki povzročajo vonj, skozi embalažo. Spremljajoči učinki pokvarjene hrane so produkcija plinov, kot so amonijak, vodikov sulfid, organski amini ali zaznane spremembe v O<sub>2</sub> ali CO<sub>2</sub> parcialnem tlaku. Cilj projekta je bil razviti optični kemijski senzorski sistem, za določevanje amonijaka, kisika in aminov, ki bo preko zaznavanja teh parametrov dal informacijo o kvaliteti mesnega proizvoda, kvaliteti in poškodbi pakirnega materiala in bo obenem zadovoljil vsem zahtevam aplikacij prehrabnega pakiranja: (a) delovno območje senzorja (prilagoditev vrsti pakiranja zaradi različnih produktov, ki morajo biti pakirani v različnih modificiranih atmosferah), (b) temperaturna odvisnost (delovanje senzorja v širokem temperaturnem območju, od -20 do +30°C), (c) hiter odzivni čas (pomemben za trenutno, kontinuirano kontrolo kvalitete), (d) stabilnost (senzorji, ki so vgrajeni v mesna pakiranja, morajo delovati in biti zanesljivi do več tednov, od časa pakiranja do časa odprtja; izpostavljenost vidni svetlobi, kakor tudi UV razstavnih svetlobi v trgovini lahko povzroči postopno degradacijo nekaterih barvil in staranje polimerov) in (e) netoksičnost senzorskih elementov (ki bi lahko zaradi direktnega stika s pakirano hrano le-to zastrupili).

V okviru prve faze projekta smo naredili obširen pregled literature in primerna indikatorska barvila, ki bi jih lahko uporabili za nadaljnji razvoj senzorjev. Sama indikatorska barvila so bila izbrana na podlagi njihovih spektralnih lastnosti, reaktivnosti, fotostabilnosti in združljivost z preprosto in cenovno ugodno optoelektronsko merilno napravo (LED, fotodiode, itd). Barvilo aminofluorescein (AF) smo izbrali, ker je komercialno dostopno, relativno poceni in ima močno fluorescenco. AF je kompatibilen z cenovno ugodno optoelektronsko merilno napravo, ker ima vzburjanje pri valovni dolžini 490 nm. Barvilo za amine smo izbrali 4-N,N-dioctilamino 4'-trifluoroacetyl azobenzen, ki se odziva na amine in ne na amonijak. Za določevanje kisika smo izbrali rutenijev kompleks, ki ima dolgi čas vzburjenega stanja in velik Stokesov premik.

V okviru faze 2 smo posamezna testiranja odzivnosti indikatorskih barvil v raztopinah na tarčne analite izvedli na spektrofotometru in spektrofluorometru. Vsa indikatorska barvila so pokazala dobro občutljivost na izbran analit. V nadaljevanju smo posamezna indikatorska barvila imobilizirali v različne hibridne sol-gel materiale (faza 3). Ti materiali so lahko po svoji naravi hidrofilni ali hidrofobni. Sol-gel proces omogoča pripravo steklu podobnih poroznih materialov pri sobni temperaturi. Sol-gel mreža se oblikuje preko reakcij hidrolize in kondenzacije. S kontrolo procesnih parametrov (pH,

tip in koncentracija sol-gel prekursorja, količina vode, pogoji sušenja, vrsta topila) in staranjem sola in sol-gela lahko vplivamo na mikroporoznost in polarnost sol-gela ter posledično tudi na senzorske karakteristike. Za izdelavo sol-gel membran smo uporabili tako kisló kot bazično kataliziran sol-gel postopek. Preučevali smo tudi vpliv razmerja med vodo in prekursorjem ter vpliv vsebnosti organsko modificiranih sol-gel prekursorjev na mikrostukturo membrane. Priprava primernege togega nosilca indikatorja je ključnega pomena, saj izbira primernege matriksa signifikantno vpliva na delovanje senzora. Namen je bil izdelati stabilne, transparentne in homogene sol-gel membrane. Izkazalo se je, da ima poleg prej navedenih parametrov (pH, topilo, čas staranja, temperatura, R) močan vpliv na tvorbo membran tudi samo indikatorsko barvilo.

V okviru faze 4 je potekala validacija senzorskih membran. Validacija je zajemala določanje meja zaznave, občutljivosti, odzivnega časa, selektivnosti, izpiranje in fotostabilnost barvila. Meritve so potekale na spektrofotometru in spektrofotometru. Z imobilizacijo indikatorjev v sol-gel mrežo se je fotostabilnost indikatorjev izboljšala. Testirali smo odzivnost membrane dopirane z rutenijevim kompleksom na kisik v plinski fazi, kjer smo merili intenziteto fluorescence. Membrana ima odličen odzivni čas (2 s) v delovnem območju od 0-100% O<sub>2</sub>. Prav tako so se membrane izkazale za stabilne. Senzorska membrana z imobiliziranim AF je uporabna v delovnem območju od 1 do 20 ppm. Odzivni čas membrane na prisotnost amonijaka je 150 s in je obstojna dlje kot 6 mesecev. Razvili smo tudi sol-gel membrane za določevanje propilamina, ki temeljijo na reverzibilnem kemijskem zaznavanju. Odzivni čas membrane je 20-30 s. Meja detekcije je 0,1 mmol/L ter delovno območje od 0,003- 0,3 mol/L. Senzorska membrana je uporabna več kot 9 mesecev.

V okviru faze 5 smo preučevali postopke za pripravo seta senzorskih čipov na raznovrstnih polimernih nosilcih, ki omogočajo večjo robustnost seta senzorskih čipov in pocenitev postopka priprave. Preizkusili smo različne tehnike (tiskanje, premazovanje) nanašanja senzorjev na folijo tako brez aktivacije kot z aktivacijo PET površine po hidroliznem, redukcijskem in glikoliznem postopku. Izkazalo se je, da se pri postopku tiskanja senzorska raztopina prehitro strjuje zaradi povišane temperature, zato smo za nanašanje senzorske raztopine na folije uporabili premazovanje. Folijo smo pred tem površinsko obdelali po hidroliznem postopku, ki je cenovno ugoden in eno stopenjski, ter zahteva majhno količino kemikalij.

Po pripravi nanosov senzorskih čipov na polimerne nosilce smo testirali senzorski sistem v laboratoriju. Testirali smo karakteristike senzorskega sistema kot so občutljivost, meja zaznave, delovno področje, odzivni čas ter stabilnost. V tem primeru smo dali večji poudarek na stabilnost senzorskih čipov kot so izpiranje indikatorja iz polimerne mreže, saj regulativa EC 1935/2004 namreč zahteva, da komponente materiala, ki so v kontaktu s hrano, ne prehajajo vanjo v takšnih količinah, da bi ogrožale človeško zdravje in povzročale organoleptične spremembe hrane. Z uporabo belega mikroporoznega politetrafluoroetilena (PTFE), ni prišlo do izpiranja indikatorja iz polimerne osnove pri namakanju senzorskih čipov 3 dni v destilirani vodi. Karakteristike senzorskega sistema z uporabo PTFE niso spremenile.



V okviru faze 7 smo testirali kvalitete različnih komercialnih materialov za pakiranje. Pakirni materiali, ki jih uporablja prehrabna industrija, so lahko enokomponentni (polietilen ali polivinil klorid) ali večkomponentni (laminirani ali koekstrudirani različni polimeri). Prepustnost materiala za pline lahko variira in ima signifikanten vpliv na rok uporabe in kvar embalaranega produkta. Testirali smo embalarne material kot so biaksialno orientirani poliamid z polietilnskim premazom (PA/PE), večkomponentno folijo iz poliestra, polivinilalkohola in polietilena (PET/PVA/PE) ter amorfni poliester z polietilenskim premazom (PET/PE) na prepustnost na kisik, amonijak in propilamin. Testiranje embalarne folije na prepustnosti posameznih parametrov kot so kisik, propilamin in amonijak je pomembno, saj lahko vdor ali izhajanje teh plinov vpliva na lažni pozitivni oz. negativni rezultat. Folija PA/PE ima prepustnost na kisik do  $25 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  24 h bar ter prepustnost na propilamin in amonijak do  $15 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  24 h bar. Folija PET/PVA/PE ima prepustnost na kisik do  $1,5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  24 h bar, na propilamin manj kot  $0,2 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  24 h bar in na amonijak manj kot  $0,1 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  24 h bar. Folija PET/PE ima prepustnost na kisik do  $14 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  24 h bar in na amonijak ter propilamin do  $2,3 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  24 h bar.

Pred samo integracijo senzorjev v izdelke pakirane z modificirano atmosfero (MAP) smo skupaj z investitorjem preučevali posamezne faze avtomatizirane pakirne linije. Na podlagi tega smo želeli določiti fazo, v kateri bi bilo najbolj optimalno integrirati senzor v MAP pakiranje ter možnost priprave senzorjev po in-situ postopku. Izkazalo se je, da priprava senzorjev po in-situ postopku in možna zaradi same priprave senzorskih raztopin in nanašanja le teh na folijo. Senzorje bi bilo potrebno nanašati na folijo pred samim postopkom pakiranja. Obstoječi avtomatiziran pakirni sistem bi bilo potrebno v ta namen modificirati, za kar bi bile potrebne dodatne investicije. Posamezne senzorje smo v laboratoriju integrirali v MAP pakiranje. Senzorji z zunanjo detekcijsko enoto so se odzivali v skladu s pričakovanji. Prihajalo je le do manjših odstopanj (do 3 %), kar je lahko vpliv prehajanja posameznih plinov preko folije in nizke temperature.

Razvili smo optične kemijske senzorje za merjenja kisika, amonijaka in aminov. Pri samem razvoju senzorjev smo upoštevali zahteve prehrabnega pakiranja. Kisikov senzor ima odzivni čas 2 s in prekriva delovno območje od 0-100% O<sub>2</sub>. Senzor za amonijak ima odzivni čas 150 s in delovno območje od 1 do 20 ppm. Senzor za določanje aminov ima mejo zaznave 0,1 mmol/L, delovno območje od 0,003- 0,3 mol/L in odzivni čas 20 s. Vsi senzorji so se izkazali kot stabilni.

Z integracijo the senzorjev v pakirani mesni izdelek v modificirani atmosferi lahko senzorji podajo informacijo o svežosti oz. kakovosti pakiranega mesnega izdelka brez, da pri tem odpremo izdelek. Optični kemijski senzorji, ki zadostijo pogojem prehrabne industrije, predstavlja nov in aktualen prispevek tako k uporabni strani znanosti kot tudi potrošnikom. Poleg tega optični kemijski senzorski sistem sledi novim smernicam Evropskih in drugih direktiv na področju sledljivosti kvalitete živil in varnosti živil.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Cilj raziskav je bil razvoj senzorjev za določanje kisika, aminov in amonijaka, preko katerih lahko pridobimo informacijo o kvaliteti mesnega proizvoda, kvaliteti in poškodbi pakirnega materiala. Največji poudarek je bil na doseganju visokih standardov prehranske industrije. Senzorji z zunanjo detekcijsko enoto so se odzivali v skladu s pričakovanji. Izkazalo se je, da jih je možno uporabiti v predvidene namene. Da bi to pridobljeno znanje lahko spravili v produkt in na tržišče, je potrebno še izdelati detekcijsko enoto z visoko občutljivostjo in ki bo primerna za uporabo nestrokovno usposobljenih uporabnikov. Prav tako je potrebno izvesti še testiranje teh senzorjev v skladu z regulativa EC 1935/2004, ki namreč zahteva, da komponente materiala, ki so v kontaktu s hrano ne prehajajo vanjo v takšnih količinah, da bi ogrožale človeško zdravje in povzročale organoleptične spremembe hrane ter postaviti masovno proizvodnjo in izdelati marketinško strategijo.

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

Sprememba sestave projektne skupine:

Do spremembe sestave projektne skupine je prišlo zaradi odhoda dr. Matejke Turel na porodniški dopust. V letu 2010 smo za dr. Turelovo obračunali 204 ure od predvidenih 304 ur. Preostalih 100 ur je izvedel dr. Aljoša Košak, ki smo ga vključili v projektno skupino in to tudi javili na ARRS.

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

		Znanstveni rezultat
1.	Naslov	<i>SLO</i> Direct UV-LED lifetime pH sensor based on a semi-permeable sol-gel membrane immobilized luminescent Eu <sup>3+</sup> chelate complex
		<i>ANG</i> Direct UV-LED lifetime pH sensor based on a semi-permeable sol-gel membrane immobilized luminescent Eu <sup>3+</sup> chelate complex
	Opis	<i>SLO</i> Razvili smo nov optični kemijski senzor za detektiranje pH z uporabo evropskega kompleksa imobiliziranega v sol-gel matriks.
		<i>ANG</i> A new optical luminescent-lifetime pH sensor based on the sol-gel doped europium chelate has been developed.
	Objavljeno v	Sensors and Actuators B: Chemical 131(1): 247-253, 14 Apr. 2008
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i> Nanostructured materials use in sensors: their benefits and drawbacks
		<i>ANG</i> Nanostructured materials use in sensors: their benefits and drawbacks
	Opis	<i>SLO</i> Pomen razvoja materialov nanovelikosti za pripravo optičnih kemijskih senzorjev je v zadnjih desetletjih vse večji. Široka paleta nanomaterialov kakor tudi številne oblike senzorjev nas omejujejo v predstavitvi, zato se osredotočamo na kvantne pike ter delce na osnovi polimerov in sol-gel materialu. Opisane so prednosti in slabosti uporabljenih nanomaterialov, ki so bili uporabljeni v optični detekciji ter nedavno razviti optični kemijski senzorji in probe. Prav tako so podane smernice razvoja optičnih kemijskih senzorjev na osnovi nanomaterialov.
		<i>ANG</i> The development of nanoscale materials for optical chemical sensing applications has emerged as one of the most important research areas of interest over the past decades. Our presentation concentrates on nanomaterials, such as quantum dots, polymer- and sol-gel-based particles. The benefits and drawbacks of the properties of these nanomaterials used in optical sensing applications are given, and the recently developed optical chemical sensors and probes based on photoluminescence are overviewed. Finally, some future trends of the nanomaterial-based optical chemical sensors are given.

	Objavljeno v	Objavljen samostojen znanstveni sestavek v monografiji; Springer 2011 <a href="http://cobiss6.izum.si/scripts/cobiss?ukaz=DISP&amp;id=1357121182050860&amp;rec=-14514198&amp;sid=0&amp;fmt=10">http://cobiss6.izum.si/scripts/cobiss?ukaz=DISP&amp;id=1357121182050860&amp;rec=-14514198&amp;sid=0&amp;fmt=10</a>
	Tipologija	Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
	COBISS.SI-ID	
3.	Naslov	<i>SLO</i> pH responsive sol-gel hybrid material doped with colorimetric sulfonephthalein pH indicators
		<i>ANG</i> pH responsive sol-gel hybrid material doped with colorimetric sulfonephthalein pH indicators
	Opis	<i>SLO</i> Optično zaznavanje pH sprememb nudi številne prednosti pred konvencionalnimi metodami, in sicer neobčutljivost na električne interference, enostavnost imobilizacije in zmožnost zaznavanja na daljavo ter in vivo. V tej raziskavi smo testirali funkcionalni anorgansko-orhanski hibridni materrila ter vplive epoksi-modificiranih silikatnih matric z ujetim pH sulfonftaleinskim kolorimetričnim indikatojem. Razviti senzorji na osnovi hibridnih sol-gel matric imajo dinamična pH območja, ki ustrezajo naši aplikaciji, kot sta okoljsko inženirstvo in bioproceniranje.
		<i>ANG</i> Optical pH sensing offers numerous advantages over conventional eferences, ease of miniaturization and the possibility of remote electrochemical techniques, for example, immunity to electrical intsensing and in vivo measurement. In this work, we have studied the effects of epoxy-modification of silicate matrices containing entrapped pH sulfonephthalein colorimetric indicators as functional inorganic-organic hybrid materials.The developed sensors based on the hybrid sol-gel matrixes have dynamic pH ranges that are amenable to applications, such as environmental monitoring and bioprocessing.
	Objavljeno v	10th European Conference on Optical Chemical Sensors and Biosensors, Europt(r)ode X, Prague 2010, March 28-31 Book of abstracts. Prague: Institute of Photonics and Electronics, 2010, str. 163
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		
4.	Naslov	<i>SLO</i> Nano-based optical chemical sensors
		<i>ANG</i> Nano-based optical chemical sensors
	Opis	<i>SLO</i> Pomen razvoja materialov nanovelikosti za pripravo optičnih kemijskih senzorjev je v zadnjih desetletjih vse večji. Nanomateriali so zelo prilagodljivi tako po velikosti kakor tudi po obliki kemijskih in fizikalnih lastnosti, imajo zelo specifično kemijo površin, termalne in električne lastnosti, visoko specifično površino ter velik volumen por na masno enoto površine. Zaradi svojih lastnosti lahko pripomorejo k izboljšanju občutljivosti, odzivnega časa in meja zaznav senzorjev. Predstavljamo nedavno razvite fotoluminiscentne optične kemijske nanosenzorje.
		<i>ANG</i> The development of nanoscale materials for optical chemical sensing applications has emerged as one of the most important research areas of interest over the past decades. Nanomaterials exhibit highly tunable size- and shape-dependent chemical and physical properties, show unique surface chemistry, thermal and electrical properties, high surface area and large pore volume per mass unit area. Because of their features they can help to improve sensitivity, response time and detection limit of sensors. Recently developed photoluminescence-based optical chemical nanosensors are presented.
	Objavljeno v	J. nano res. (Print). [Print ed.], 2011, vol. 13, str. 99-110
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
5.	Naslov	<i>SLO</i> Microtiterplate phosphate assay based on luminescence quenching of a terbium complex amenable to decay time detection
		<i>ANG</i> Microtiterplate phosphate assay based on luminescence quenching of a terbium complex amenable to decay time detection
	Opis	<i>SLO</i> V članku je predstavljen nov luminescentni evropijev kompleks za določevanje fosfatnih ionov v mikroploščah. V primerjavi z drugimi razvitimi metodami za določevanje anorganskega fosfata, je EuTc v prednosti, saj deluje v nevtralnem pH 7 območju in je zato primeren za določevanje

		fosfatov v bioloških in biokemijskih sistemih. Meja zaznave fosfatnih ionov je bila 3 $\mu\text{mol/L}$ . Ta senzorski sistem je hiter, enostaven, specifičen in občutljiv in tako predstavlja prednostno alternativo pred ostalimi razvitimi metodami za določevanje fosfatov.
	ANG	In this paper, a new luminescent europium probe is presented for the determination of phosphate (P) in microtiter plate format. Compared to other developed methods for inorganic phosphate determination, the present assay is advantageous since it works best at a neutral pH 7 range and is therefore suitable for phosphate determination in biological and biochemical systems. The limit of detection was 3 $\mu\text{mol/L}$ of P. This sensor system is fast, easy, specific and sensitive and thus presents an advantageous alternative to other developed methods for phosphate detection.
Objavljeno v	Anal. chim. acta. [Print ed.], 2010, vol. 675, iss. 1, str. 42-48, doi: 10.1016/j.aca.2010.06.034.	
Tipologija	Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID		

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO Optični kemijski senzorji in njihova uporaba
		ANG Optical chemical sensors and their applications
Opis	SLO	Predavanja na Chemistry Department seminars, Buenos Aires, Gerencia de Química, CNEA Centro Atómico Constituyentes, Avda. Gral. Paz 1499, (B1650KNA) San Martín, Pcia. de Buenos Aires, Argentina. Buenos Aires, 2009
	ANG	Lecture, presented in the Framework of the Chemistry Department seminars, Buenos Aires, Gerencia de Química, CNEA Centro Atómico Constituyentes, Avda. Gral. Paz 1499, (B1650KNA) San Martín, Pcia. de Buenos Aires, Argentina. Buenos Aires, 2009
Šifra		Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
Objavljeno v		Buenos Aires, 2009
Tipologija		Predavanja na tuji univerzi
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO Optični kemijski senzorji in njihova uporaba
		ANG Optical chemical sensors and their applications
Opis	SLO	Predavanja na Electrical and Electronics Engineering Department, Universiti Teknologi Petronas, Bandar Seri Iskandar, Tronoh, Perak, Malaysia, 22. September 2008
	ANG	Lecture delivered at the Electrical and Electronics Engineering Department, Universiti Teknologi Petronas, Bandar Seri Iskandar, Tronoh, Perak, Malaysia, 22. September 2008
Šifra		Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
Objavljeno v		Bandar Seri Iskandar, Tronoh, Perak, Malaysia, 2008
Tipologija		Predavanja na tuji univerzi
COBISS.SI-ID		
3.	Naslov	SLO Dodana vrednost univerze : Aleksandra Lobnik, naj raziskovalka po mnenju gospodarstva za leto 2010 Univerze v Mariboru.
		ANG Added value of the University:»Aleksandra Lobnik, best researcher of the University of Maribor in 2010«
Opis	SLO	Do nagrade je prišla po zaslugi Centra za senzorsko tehniko, katerega tudi vodi, saj se center aktivno vključuje v reševanje problematike varovanja okolja s pomočjo izvajanja različnih monitoringov, pilotnih poskusov čiščenja voda, raziskav na področju odpadkov in razvijanja novih metod za spremljanje ekoloških in procesnih parametrov. Tako so lani patentirali projekt senzorjev za organofosfate, veliko pa se ukvarjajo tudi z razvojem senzorjev za visoke temperature.
		The award was granted based on the research work done in the »Centre of sensor technology«, where Prof. Lobnik is the head. The Centre is active in the field of environmental protection, wastewater treatment, waste

		ANG	management and development of new methods in determination of environmental and process parameters (environmental metrology). Last year (2010) a patent was filed in the field of sensors for organophosphates, latest major occupation are also high temperature sensors.
	Šifra		Domače nagrade
	Objavljeno v		Večer (Marib.). [Tiskana izd.], 26. jan. 2011, 67, [št.] 21, str. 13, ilustr
	Tipologija		Intervju
	COBISS.SI-ID		
4.	Naslov	SLO	Optični senzorji za varno hrano
		ANG	Optical sensors for food safety
	Opis	SLO	Vsebina/poglavja: Optični senzorji in njihova uporaba Uporaba spektroskopskih metod za optične senzorje Optično merjenje temperature Optični senzorji za varno hrano Mikrobiologija živil Klasične mikrobiološke metode v higieni in varnosti živil Optični biosenzorji za določanje kakovosti živil
		ANG	Content/Chapters: Optical sensors and their use Use of spectroscopic methods for optical sensors Optical temperature measurment Optical sensors for food safety Foodstuff microbiology Classical microbiological methods in food hygiene and safety Optical biosensors for determination of food quality
	Šifra		Uredništvo nacionalne monografije
	Objavljeno v		FRANČIČ, Nina, KORENT UREK, Špela, BAJSIČ, Ivan, NAHBERGER MARČIČ, Vidā, LOBNIK, Aleksandra, SENICA, Heda, TUREL, Matejka, KRIŽAN, Janez, MOŽINA, Janez, LOBNIK, Aleksandra (ur.), TUREL, Matejka (ur.), BAUMAN, Maja (ur.). Optični senzorji za varno hrano : strokovna monografija. Maribor: IOS - Inštitut za okoljevarstvo in senzorje, 2010. III
	Tipologija		Strokovna monografija
	COBISS.SI-ID		
5.	Naslov	SLO	Vlaknasti optični kemijski senzorji
		ANG	Fiber optic chemical sensors
	Opis	SLO	Predavanje na Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University as part of global COE program "International Center of Excellence on Fiber Engineering", October 25th-October 28th, 2010, Tokida, Ueda-city, Nagano, Japan
		ANG	Lecture, presented at the Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University as part of global COE program "International Center of Excellence on Fiber Engineering", October 25th-October 28th, 2010, Tokida, Ueda-city, Nagano, Japan
	Šifra		Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
	Objavljeno v		Nagano, Japan, 2010
	Tipologija		Predavanje na tuji univerzi
	COBISS.SI-ID		

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

### 1.25 Drugi članki ali sestavki:

Testing food safety with optical sensors [Elektronski vir] / Špela Mojca Korent, Aleksandra Lobnik, and Gerhard J. Mohr  
<http://dx.doi.org/10.1117/2.1200810.1295>  
 TI=SPIE newsroom [Elektronski vir] ISSN: 1818-2259 (2008).- [2] str.  
 COBISS.SI-ID 12760598

### 1.06 objavljen znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)

Optical sensors incorporated into textile materials [Elektronski vir] / A. Lobnik, Š.M. Korent, M.

Turel (2008)  
TI=Futurotextiel 08 [Elektronski vir].- [5] str.  
COBISS.SI-ID 12880406

Doktorska disertacija/ Mentor pri doktorski disertaciji  
Razvoj novih optičnih kemijskih senzorjev za določevanje aminov in organofosfatov : doktorska disertacija / Špela Korent Urek; mentor: Aleksandra Lobnik  
Ljubljana : [Š. Korent Urek], 2010  
COBISS.SI-ID 253817344

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

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

SLO

Razvili smo optične kemijske senzorje za merjenja kisika, amonijaka in aminov. Pri samem razvoju senzorjev smo upoštevali zahteve prehrabnega pakiranja. Kisikov senzor ima odzivni čas 2 s in prekriva delovno območje od 0-100% O<sub>2</sub>. Senzor za amonijak ima odzivni čas 150 s in delovno območje od 1 do 20 ppm. Senzor za določanje aminov ima mejo zaznave 0,1 mmol/L, delovno območje od 0,003- 0,3 mol/L in odzivni čas 20 s. Vsi senzorji so se izkazali kot stabilni.

Z integracijo teh senzorjev v pakirani mesni izdelek v modificirani atmosferi lahko senzorji podajo informacijo o svežosti oz. kakovosti pakiranega mesnega izdelka brez, da pri tem odpremo izdelek. Optični kemijski senzorji, ki zadostijo pogojem prehrabne industrije, predstavljajo popolnoma nov znanstveni izziv in aktualen prispevek k znanosti na področju razvoja novih optičnih kemijskih senzorjev. Po drugi strani pa so ti senzorji zanimivi tudi za potrošnika, proizvajalca mesnih izdelkov, kar pa kaže na njihovo uporabno vrednost. Ocenjujemo, da prav ta dvojnost, ki jo projekt izraža s stališča znanosti kot tudi uporabnosti, je velika kvaliteta zaključenega projekta.

ANG

We have developed an optical chemical sensors for measuring of oxygen, ammonia and amines. For the development of sensors, we took into account the requirements of food packaging. Oxygen sensor has a response time of 2 s and covers the operating range from 0 to 100% of O<sub>2</sub>. Ammonia sensor has a response time of 150 s and the operating range of 1 to 20 ppm. Sensor for amines has a limit of detection of 0.1 mmol/L, working range from 0.003 to 0.3 mol/L and response time of 20 s. All sensors have proven to be stable.

By integrating the sensors in packaged meat products in modified atmosphere sensors can give information about the freshness or quality of packed meat product without opening the product. Optical chemical sensors that satisfy the requirements of the food industry, represent a new and up-to-date contribution to the science dealing with the development of optical chemical sensors. On the other hand, they are highly interesting for consumers as well as for producers, which points out their applicability. A great quality of the completed project is precisely because of the duality in which the project reflects the views of the science as well as the utility.

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

SLO

Za Slovenijo imajo rezultati projekta predvsem uporabno vrednost, saj so kot sofinancerji bili v projekt vključeni tako PP kot mesni proizvajalec in Messer, ki je proizvajalec plinov, ki se uporabljajo za modificirano atmosfero pri pakiranju perutnine.

Proizvajalcem mesnih embaliranih proizvodov bo senzorski sistem omogočil optimizacijo in kontrolo pogojev pakiranja, skladiščenja in transportiranja. Senzorski sistem jim bo prav tako omogočil natančnejšo določitev učinkovitega časa uporabnosti proizvoda preko vizualnih meritev svežosti vzporedno z rokom uporabnosti in s tem znižanja možnosti napak. Znižanje odpadkov (skozi mnogo bolj natančno oceno roka uporabnosti) in zaupanje proizvodu je velikega pomena za preprodajalce in proizvajalce, saj morajo biti proizvodi po roku trajanja odstranjeni ne glede na to ali so še vedno primerni za uživanje ali ne. Bolj učinkovito zasledovanje kvalitete hrane vpliva na višjo dodano vrednost proizvoda, večji ekonomski učinek in s tem večji proizvajalčev ugled. Proizvajalci bodo lahko z uporabo optičnega kemijskega senzorskega sistema sledili na novo in v prihodnosti izdanim Evropskim in drugim direktivam na področju sledljivosti kvalitete živil in varnosti živil.

ANG

For Slovenia, the findings of the project are of particular practical value, because the co-

financiers involved in the project were PP, a meat producer, and Messer, a producer of gas which was used for modified atmosphere packaging of poultry. The sensor system will enable optimization and control of the conditions of packaging, storage and transport for the producers of packaged meat products. Sensor system will also enable more precise determination of the effective time use of the product by visual measurement of freshness in parallel with the shelf life and thus reducing the likelihood of errors. Reduction of waste (through a much more accurate estimation of the shelf life) and the confidence in the product is of great interest to dealers and manufacturers, as the products must be removed from the shelves after the date of expiration regardless of whether they are still suitable for consumption or not. More effective pursuit of food quality has a higher added value of the product, a greater economic impact and consequently better reputation of the manufacturer. Manufacturers will be able to use an optical chemical sensor system to follow the new and future European and other directives on traceability, food quality and food safety.

## 10. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki [12](#)

1.	<b>Sofinancer</b>			
	<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>		<b>EUR</b>	
	<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>		<b>%</b>	
	<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>		<b>Šifra</b>	
		1.	Optični senzorji za varno hrano	
		2.	Optični kemijski senzorji in njihova uporaba	
		3.	Testing food safety with optical sensors	
		4.	Red.prof.dr. Aleksandra Lobnik: "Naj raziskovalka po mnenju gospodarstva za leto 2010"	
		5.		
		<b>Komentar</b>	Raziskovalni rezultati so bili že objavljeni v domačih in tujih publikacijah, prijavitelj projekta pa je napovedal tudi patentiranje optičnega senzorskega sistema za nedestruktivno kontrolo kvalitete embaliranih mesnih izdelkov. S tem smatramo, da so rezultati projekta inovativni in mednarodno priznani ob možnosti aplikacije v realnem okolju v roku treh let. Sodelovanje med gospodarstvom in raziskovalnimi institucijami podpiramo, zato smo na osnovi dobrega sodelovanja predlagali vodjo projekta za nagrado "Naj raziskovalec UM po mnenju gospodarstva za leto 2010", katero je tudi prejela. Nagrado ocenjujemo kot pomemben dosežek sodelovanja v projektu.	
	<b>Ocena</b>	Podjetje Messer Slovenija d.o.o. kot proizvajalec in distributer tehničnih plinov razvit senzorski sistem ocenjuje kot potencialno zelo pomemben napredek v tehnologiji embaliranja mesnih izdelkov v modificirani atmosferi (MAP). Na podlagi dobljenih rezultatov bo možno optimirati modificirano atmosfero in s tem povečati prodajo posameznih plinov.		
2.	<b>Sofinancer</b>			
	<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>		<b>EUR</b>	
	<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>		<b>%</b>	
	<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>		<b>Šifra</b>	
		1.	Optični senzorji za varno hrano	

	2.	Optični kemijski senzorji in njihova uporaba	
	3.	Testing food safety with optical sensors	
	4.	Nano-based optical chemical sensors	
	5.		
<b>Komentar</b>	Rezultati raziskovanja v okviru projekta "Razvoj optičnega senzorskega sistema za nedestruktivno kontrolo kvalitete embaliranih mesnih izdelkov", ki so z vidika podjetja Perutnina Ptuj d.d. najpomembnejši, so publicirani v tujih znanstvenih revijah in strokovni monografiji ter predstavljeni v sklopu predavanj na tuji univerzi. Mednarodno priznavanje daje raziskovalnim rezultatom nesporno veljavo in relevantnost.		
<b>Ocena</b>	Razviti senzorski sistem predstavlja za podjetje Perutnina Ptuj d.d. pomemben korak na področju kontrole embaliranega perutninskega mesa in izdelkov v verigi embaliranje - skladiščenje - transport - uporabnik. Tehnološka izpopolnitev senzorskega sistema bo omogočila implementacijo v proizvodnji, kar bo za podjetje pomenilo možnost nedestruktivne kontrole neoporečnosti izdelka in s tem konkurenčno prednost. Uvedba optične kontrole svežosti perutninskega mesa in izdelkov predstavlja večjo dodano vrednost embaliranim proizvodom.		



ZAKLJUČNO POROČILO  
O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

**A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU**

**1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu**

Šifra projekta	L3-0361	
Naslov projekta	RAZVOJ FUNKCIONALNIH MEDICINSKIH CELULOZNIH TAMPONOV ZA GINEKOLOŠKO UPORABO	
Vodja projekta	14113	Igor But
Tip projekta	L	Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4.650	
Cenovni razred	C	
Trajanje projekta	02.2008	01.2011
Nosilna raziskovalna organizacija	334	Univerzitetni klinični center Maribor
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	381	Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta
	795	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
	2318	"TOSAMA" - tovarna sanitetnega materiala d.d.
Družbeno-ekonomski cilj	13.	Splošni napredek znanja - RiR financiran iz drugih virov (ne iz splošnih univerzitetnih fondov - SUF)

**1.1. Družbeno-ekonomski cilj**

Šifra	07.
Naziv	Zdravje

**2. Sofinancerji**

1.	Naziv	TOSAMA - Tovarna sanitetnega materiala d.d.
	Naslov	Šaranovičeva cesta 35, 1230 Domžale
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

**B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA**

**3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta**

Okužbe nožnice (vnetja, spolno prenosljive bolezni STDs) so zelo pogoste in prizadenejo tako ženske kot tudi njihove partnerje. Na tržišču je kar nekaj preparatov oz. pripravkov, ki naj bi delovali zaščitno, ki so v obliki raztopin, gelov, vaginalet in izkazujejo nekatere slabosti.

Sodobni način življenja narekuje čedalje pogostejšo uporabo tamponov, ki ne omogočajo le zaščito v času menstrualne krvavitve, ampak predstavljajo tudi zaščito pred fiziološkimi ali patološkimi izcedki iz vagine. Kot take jih je moč uporabiti tudi na področju ginekološkega zdravljenja. Glavni cilj raziskovalnega projekta je bil tako razvoj celuloznega tampona osnovanega na vnosu antimikrobnih mikro/nanodelcev (mikrokapsul) kot protimikrobno sredstvo oz. potencialni nosilec zdravila za alternativno lokalno zdravljenje vaginalnih infekcij ter STDs.

V okviru projekta smo tako s spreminjanjem različnih parametrov uspešno sintetizirali nanodelce iz polielektrolitov hitozana in natrijevega tripolifosfata. Ugotovili smo da na njihov nastanek vplivajo koncentraciji obeh polielektrolitov in njuno masno razmerje v disperziji. S povečanjem masnega razmerja hitozan/TPP se povečujejo: množina prostih amino skupin in s tem naboj, hidrodinamski radij ter zeta potencial kakor tudi protimikrobni učinek na nekatere testirane mikroorganizme.

Ugotovili smo, da dodatek stabilizatorja polietilen glikola (PEG) k disperziji nanodelcev, ne vpliva izrazito na spremembe hidrodinamskega premera nanodelcev, medtem ko znižuje heterodisperznost velikosti nanodelcev in tako povečuje termodinamsko stabilnost suspenzije nanodelcev. S povišanjem koncentracije in/ali molekulske mase PEG v disperziji, se  $\zeta$ -potencial disperzije zmanjša in tako naredi disperzije manj stabilne. Iz tega sklepamo, da PEG proučevanih molekulskih mas ni najustreznejši stabilizator za disperzije hitozanskih nanodelcev. Potrebne bodo še dodatne raziskave, ki bi vključevale še zraven optimizacije molekulskih mas in koncentracij PEG tudi druge potencialne stabilizatorje. Kakorkoli, ker se nanodelci pri aplikaciji na tekstilijo uporabljajo takoj po njihovi pripravi, to za uporabnost ni bistvenega pomena.

Ocenili smo protimikrobno učinkovitost pripravljenih nanodelcev (mikrodilucijska metoda, standard SIST EN 1040:2006 Kemična razkužila in antiseptiki - Kvantitativni suspenzijski preskus za vrednotenje osnovnega baktericidnega delovanja kemičnih razkužil in antiseptikov ter Stresalni test (ASTM E 2149 )) in ugotovili, da delujejo protibakterijsko. Ugotovili smo da nanodelci pripravljeni s postopkom ionotropnega geliranja bolje inhibirajo rast mikroorganizmov v primerjavi z raztopinami hitozana samega. Protimikrobno učinkovitost disperzij nanodelcev smo testirali na tri patogene bakterije: Gram-pozitivni *Staphylococcus aureus* in *Streptococcus agalactiae*, ter Gram-negativno *Escherichia coli*, ter na dve patogeni glivi: *Candida albicans* in *Candida glabrata*. Disperzije nanodelcev izkazujejo v povprečju boljše celokupno redukcijo patogenov kot sama raztopina hitozana z enako koncentracijo hitozana. Nanoformulacija hitozana omogoča njegovo optimalno in nadzorovano difuzijo v celice patogenih mikroorganizmov in je tako njihova degradacije še učinkovitejša. V drugem delu projekta smo nanodelce hitozana popršili na viskozna celulozna vlakna. Funkcionalizirana vlakna smo fizikalno-kemijsko okarakterizirali iz vidika naboja (določitve aminskih skupin –titracije in spektroskopija), hidrofilitnosti/hidrofobnosti (tenziometrija), atomske in elementarne površinske sestave (ATR FTIR ter XPS in Raman), kakor tudi iz mikrobiološkega vidika.

Po optimizaciji parametrov pršenja smo iz celuloznega traku naredili serijo tamponov, ki smo jo fizikalno kemijsko okarakterizirali kot že omenjeno. Glavni cilj projekta je bil podrobna in vitro mikrobiološka karakterizacija tamponov. Uporabili smo zgoraj naštetih metode.

Tako smo izvedli teste na sledeče mikroorganizme *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*, *Candida albicans*, *Candida Glabrata*, *Streptococcus agalactiae* in na *Lactobacillus*. Ugotovili smo, da tamponi uspešno inhibirajo patogene bakterije in glive, medtem ko na inhibicijo laktobacilov nimajo bistvenega vpliva.

Vzorci tamponov smo starali v komori v skladu s farmacevtskimi predpisi staranja zdravil in ugotovili, da ohranijo svojo mikrobiološko aktivnost do pol leta.

Zaključek: Tamponi inhibirajo rast Gram-pozitivnih ter Gram-negativnih bakterij ter specifičnih patogenih gliv, ki lahko med drugim povzročajo tudi vaginalne infekcije. Ko taki so lahko tamponi uporabni kot preventivno sredstvo v ginekologiji.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev

V projektu smo dosegli več kot polovico zastavljenih ciljev. Tako smo vpeljali tehnologijo za razvoj hitozanskih nanodelcev in pršenje le – teh na celulozna vlakna, ki so osnovni material tamponov. Uspeli smo zagotoviti kontrolirane in ponovljive fizikalno-kemijske parametre vlaken, kakor tudi mikrobiološko aktivnost površine tamponov. Ugotovili smo, da so tamponi stabilni do pol leta in bi se kot taki lahko aplicirali na tržišče tamponov z dodano vrednostjo za vsakodnevno uporabo. Preostali in zelo pomemben cilj je še ponovitev *in vivo* testiranja tamponov na širši populaciji žensk. Delo je v teku. Prav tako je potrebno dodelati aspekt raziskav, kjer hitozanski nanodelci adsorbirani na površino tampona delujejo kot dostavni sistem zdravila za zdravljenje spolno prenosljivih bolezni. Delu je v teku. Vsekakor smo v projektu ugotovili, da sami nanodelci hitozana adsorbirani na površino tamponskih vlaken delujejo inhibitorno na bakterije in glive, ki povzročajo vaginalne infekcije kot so bakterijska vaginoza, glivična vnetja, itd.

#### 5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine

Projektno delo ni bistveno odstopalo od predvidenega programa raziskovalnega projekta. Opravljenih je bilo večina zastavljenih nalog, vendar zaradi časovne omejitve v limitiranem aspektu. Projektna skupina je ostala v času izvajanja projekta enaka in ni bilo sprememb v konzorciju projekta. Izvedeni so bili v glavnem vsi delovni sklopi. Je pa potrebno poudariti, da smo ogromno časa porabili na vzpostavitev zanesljivih in ponovljivih metod testiranja celuloznega materiala; t.j. funkcionaliziranega tampona. Na področju raziskav interakcij med bakterijskimi in glivnimi sistemi ter bioaktivnimi površinami polimernih materialov, obstaja še vedno velika vrzel, saj večina testiranj poteka le v tekočih medijih in ne na kompleksnih heterogenih sistemih kot so funkcionalizirani vlaknotvorni polimeri. Tako smo porabili nekoliko dlje časa za sklop protimikrobnega testiranja. Rezultati so tako doprinesli tudi dodatna znanja za razvoj ostalih polimernih materialov, ki so lahko aplicirani kot protimikrobni material v različnih industrijskih segmentih.

Podrobno delo nam ostane še v sklopu zadnjega dela; to je in vivo testiranje. V teku so priprave na testiranje na širši populaciji uporabnic.

#### 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine

Znanstveni rezultat	
1. Naslov	SLO Carboxyl groups in pre-treated regenerated cellulose fibres
	ANG Carboxyl groups in pre-treated regenerated cellulose fibres
Opis	SLO Članek podaja vpliv predobdelav regeneriranih celuloznih vlaken (celulozno viskozni tamponski trak) na vsebnost karboksilnih skupin. Le -te so bile določene s različnimi titracijskimi tehnikami ter primerjane s strukturnimi parametri (stopnja kristalinnosti).
	ANG The influence of peroxide bleaching and slack-mercerization on the amount of acidic groups in regenerated fibres (viscose, modal and lyocell) were studied. Conductometric titration was used to determine the total content of acidic carboxylic groups. Polyelectrolyte titration was used for surface and total charge determination, and to obtain information about the charge distribution and accessibilities of charged groups. Changes in fibre crystallinity to pre-treatment processes were characterized using iodine sorption.
Objavljeno v	FRAS ZEMLJIČ, Lidija, PERŠIN, Zdenka, STENIUS, Peer, STANA-KLEINSCHKEK, Karin. Carboxyl groups in pre-treated regenerated cellulose fibres. Cellulose (Lond.), Oct. 2008, vol. 15, no. 5, str. 681-690.; QJ - materials science, textiles ; 2/16 ; kvartil: 1 ; x=0.672 ; IFmin: 0.779 ; IFmax: 2.507
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID	12194582
2. Naslov	SLO Improvement of chitosan adsorption onto cellulosic fabrics by plasma treatment.
	ANG Improvement of chitosan adsorption onto cellulosic fabrics by plasma treatment.
Opis	SLO Članek opisuje uporabo kisikove plazme z namenom izboljšanja adsorpcije hitozana na površino celuloznih vlaken. Modifikacija površine, kakor tudi adsorpcija hitozana je bila analizirana s tehniko XPS, merjenjem stičnega kota ter konduktometrično titracijo. Posledica uporabe kisikove plame je zvišana hidrofilnost vlaken. Prav tako je moč zaznati večjo vsebnost karboksilnih skupin (za 20%), ki delujejo kot vezna mesta za vezavo hitozana. Posledično je izboljšana adsorpcija hitozana, kakor tudi protimikrobna aktivnost končnega celuloznega materiala.
	ANG Modification of the surface and adsorption of chitosan was monitored by determination of XPS spectra, determination of contact angles from rates of water imbibition, and conductometric titration. The plasma treatment resulted in hydrophilization of the surfaces through oxidation. The treatment also yielded binding sites that resulted in over 20% increase of the amount of chitosan adsorbed over that adsorbed on nontreated fabric. Layers of chitosan adsorbed after plasma treatment were substantially more active as antimicrobial agents.
Objavljeno v	FRAS ZEMLJIČ, Lidija, PERŠIN, Zdenka, STENIUS, Peer. Improvement of chitosan adsorption onto cellulosic fabrics by plasma treatment. Biomacromolecules, 2009, 10, 5, str. 1181-1187, UY - polymer science ; 6/76 ; kvartil: 1 ; x=1.873 ; IFmin: 2.31 ; IFmax: 23.753
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID	13080854
3. Naslov	SLO Solitarni in multipli miomi maternice pri belkah: dve različni motnji?
	ANG Solitary and multiple uterine leiomyomas among caucasian women : two different disorders?.
Opis	SLO Proučili smo morebitno povezanost miomov maternice z genskimi polimorfizmi ESR1, CYP17A1, PTPN22 in IL23R ter epidemiološke in genetske razlike med bolnicami z boleznijo maternice z enim miomom (BMS) in tistimi, z boleznijo maternice z več miomi (BMM). BMS je po naših rezultatih lahko posledica naključne mutacije, povezane s hormonskimi spremembami, BMM pa ima pomembnejšo družinsko predispozicijo ter obremenitev z zunanjimi dejavniki tveganja. Genetsko predispozicijo lahko deloma razložimo z razporeditvijo CYP17A1 polimorfizmov.
	ANG We assessed whether gene polymorphisms in ESR1, CYP17A1, IL23R and PTPN22 are associated with uterine leiomyomas (ULM) and evaluated differences in epidemiological and genetic factors among women with solitary and multiple ULM. According to our results solitary ULM may be a consequence of a random spontaneous mutation associated to hormonal environment, in contrast to multiple ULM, where familiar predisposition and exposures predominant. Genetic predisposition may partly be associated to CYP17A1 gene polymorphism.
Objavljeno v	PAKIŽ, Maja, POTOČNIK, Uroš, BUT, Igor. Solitary and multiple uterine leiomyomas among caucasian women : two different disorders?. Fertil. steril.. [Print ed.], nov. 2010, vol. 94, iss. 6, str. 2291-2295, doi: 10.1016/j.fertnstert.2009.12.072.
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID	13900822
4. Naslov	SLO Complications and short-term results of two different transobturator techniques for surgical treatment of women with urinary incontinence.
	ANG Complications and short-term results of two different transobturator techniques for surgical treatment of women with urinary incontinence.
Opis	SLO The aim of the study was the analysis of peri-operative complications in women who were randomly assigned to receive two different techniques for the treatment of stress and mixed urinary incontinence. Our study included 120 women in whom we performed either TVT-O or Monarc procedure in local anesthesia. In conclusion, inside-out and outside-in procedures are equally successful methods for the treatment of urinary incontinence at 4 months, however, inside-out procedure appears to be more painful.
	ANG The aim of the study was the analysis of peri-operative complications in women who were randomly assigned to receive two different techniques for the treatment of stress and mixed urinary incontinence. Our study included 120

		women in whom we performed either TVT-O or Monarc procedure in local anesthesia. In conclusion, inside-out and outside-in procedures are equally successful methods for the treatment of urinary incontinence at 4 months, however, inside-out procedure appears to be more painful.
Objavljeno v		BUT, Igor, FAGANELJ BUT, Metka. Complications and short-term results of two different transobturator techniques for surgical treatment of women with urinary incontinence: a randomized study. Int Urogynecol J, 2008, vol. 19, no. 6, str. 857-861.
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID	2970431	
5. Naslov	SLO	Irritative symptoms are the main predictor of satisfaction rate in women after transobturator tape procedures.
	ANG	Irritative symptoms are the main predictor of satisfaction rate in women after transobturator tape procedures.
Opis	SLO	Introduction and hypothesis. A study was performed to assess the satisfaction rate (SR) after transobturator procedures in pad negative women. Conclusions. Irritative symptoms are the main reason for dissatisfaction of patients with surgical outcome.
	ANG	Introduction and hypothesis. A study was performed to assess the satisfaction rate (SR) after transobturator procedures in pad negative women. Conclusions. Irritative symptoms are the main reason for dissatisfaction of patients with surgical outcome
Objavljeno v		BUT, Igor, PAKIŽ, Maja. Irritative symptoms are the main predictor of satisfaction rate in women after transobturator tape procedures. Int Urogynecol J, 2009, vol. 20, no. 7, str. 791-796, doi: 10.1007/s00192-009-0868-z.
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID	3341887	

#### 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat	
1. Naslov	SLO	International urogynecology journal. But, Igor (član uredniškega odbora 2007-2010).
	ANG	International urogynecology journal. But, Igor (member of editorial board 2007-2010).
Opis	SLO	International urogynecology journal. But, Igor (član uredniškega odbora 2007-2010).
	ANG	International urogynecology journal. But, Igor (member of editorial board 2007-2010).
Šifra	C.04	Uredništvo mednarodne revije
Objavljeno v		International urogynecology journal. But, Igor (član uredniškega odbora 2007-2010). London: Springer Internat. ISSN 0937-3462. <a href="http://www.springerlink.com/content/102824">http://www.springerlink.com/content/102824</a> .
Tipologija	4.00	Sekundarno avtorstvo
COBISS.SI-ID	764180	
2. Naslov	SLO	But Igor: Mentor pri doktorski disertaciji
	ANG	But Igor: Tutoring for postgraduate students
Opis	SLO	Mentor pri doktorski disertaciji
	ANG	Tutoring for postgraduate students
Šifra	D.09	Mentorstvo doktorandom
Objavljeno v		But Igor: mentor pri doktorski disertaciji 1. PAKIŽ, Maja. Genska variabilnost v genih ESR1, CYP17A1, PTPN22 in IL23R kot dejavnik tveganja za razvoj miomov maternice : doktorska disertacija. V Ljubljani: Medicinska fakulteta, 2010. 83 str., ilustr.
Tipologija	4.00	Sekundarno avtorstvo
COBISS.SI-ID	252331520	
3. Naslov	SLO	But Igor: recenzent za mednarodne revije.
	ANG	But Igor: reviewer for international scientific journals
Opis	SLO	Pisec recenzij za mednarodne revije.
	ANG	Reviewer for international scientific journals
Šifra	D.11	Drugo
Objavljeno v		But Igor: pisec recenzij za mednarodne revije : 1. The Journal of urology. Baltimore, Md.: Williams and Wilkins Co. ISSN 0022-5347. 2. British Journal of Cancer. London: H K Lewis and Co, Ltd. ISSN 0007-0920. 3. European journal of obstetrics, gynecology, and reproductive biology. [Print ed.]. Amsterdam: Excerpta Medica, ISSN 0301-2115. 4. International urogynecology journal. London: Springer Internat. ISSN 0937-3462. <a href="http://www.springerlink.com/content/102824">http://www.springerlink.com/content/102824</a> .

Tipologija	4.00	Sekundarno avtorstvo
COBISS.SI-ID	6596871	
4. Naslov	SLO	Vabljeno predavanje: BUT, Igor. Head to head: how can we compare treatment options?
	ANG	Guest lecture: BUT, Igor. Head to head: how can we compare treatment options?
Opis	SLO	Vabljeno predavanje: BUT, Igor. Head to head: how can we compare treatment options?
	ANG	Guest lecture: BUT, Igor. Head to head: how can we compare treatment options?
Šifra	B.04	Vabljeno predavanje
Objavljeno v	Vabljeno predavanje na konferenci brez natisa 1. BUT, Igor. Head to head: how can we compare treatment options? : 2nd Leading Lights in Urogynecology, Madrid, Spain, 3-5 December 2009. Madrid, 2009.	
Tipologija	3.16	Vabljeno predavanje na konferenci brez natisa
COBISS.SI-ID	3491647	
5. Naslov	SLO	Urednik mednarodne monografije
	ANG	Editor of international monography
Opis	SLO	Urednik mednarodne monografije
	ANG	Editor of international monography
Šifra	C.01	Uredništvo tujega/mednarodnega zbornika/knjige
Objavljeno v	Urednik 1. DŽANIĆ, Dževad, ROTH, Andreas, TOMAŽEVIČ, Tomaž (ur.), RIBIČ-PUCELJ, Martina (ur.), LUKANOVIČ, Adolf (ur.), IZETBEGOVIĆ, Sebiha (ur.), LJUCA, Dženita (ur.), KOBAL, Borut (ur.), CVJETIČANIN, Branko (ur.), BUT, Igor (ur.). Mikroinvazivna kirurgija u ginekologiji. Bihać: Grafičar, 2010. 399 str., ilustr. ISBN 978-9958-781-38-4.	
Tipologija	4.00	Sekundarno avtorstvo
COBISS.SI-ID	15591513	

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine

/

## 9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine

### 9.1. Pomen za razvoj znanosti

SLO

Z raziskovalnega vidika so bila razvita nova znanja na področju funkcionalizacije vlaknotvornih polimernih materialov za pridobitev biološko aktivnih lastnosti. Razvit je bil postopek za reverzibilno vezavo nanodelcev hitozana na površino celuloznega materiala ter preučeno sproščanje le -tega iz površine vlaken. Izvedene so bile obširne študije uporabe mikrobioloških testiranj za in-vitro določanje protimikrobnosti površine funkcionaliziranih vlaken (tampona). To je pomemben prispevek k področju znanosti, ki se ukvarja z razvojem in-vitro metod za določanje protimikrobnosti vlaknotvornih orientiranih polimernih materialov. Dana znanja lahko služijo kot platforma za razvoj številnih medicinskih tekstilij oz. pripomočkov.

Raziskave na področju vnetij nožnice so do sedaj potekale povsem empirično, s premalo znanstvene pozornosti in poglobljenih študij. Z vidika medicinske znanosti tovrstni projekt pomeni izvirni znanstveni prispevek, saj so bili natančno preučeni mehanizmi interakcij protimikrobnih/zdravilnih učinkovin z vaginalno sluznico, na podlagi in-vitro ter in-vivo testiranja novih medicinskih tamponov. Korelacija med polimerno kemijo, fizikalno-kemijskimi in medicinskimi znanji oz. pristopi bo omogočila razvoj novih medicinskih tamponov za zdravljenje vaginalnih infekcij in s tem omogočila Tosami d.d. razvoj novega kvalitetnega produkta z visoko dodano vrednostjo.

ANG

The project significantly advanced our understanding of cellulose material modification control regarding physicochemical treatment in order to develop new functionalised medical tampons for gynaecological treatment.

The results of the proposed research lead to a better or new knowledge of interfaces between aqueous medium and chitosan, chitosan and cellulose, as well as chitosan/cellulose composites and mucous membranes.

Methods for reversible binding of chitosan microcapsules onto cellos tampons were developed, as well as for their release.

The project knowledge provided the development of a medical tampon as a gynaecological treatment based on the incorporation of microscale antimicrobial particles. These newly developed products-medical tampons produce an increase in the Tosama d.d. competitive position, and a massive breakthrough of new product onto the existing market, possible.

### 9.2. Pomen za razvoj Slovenije

SLO

Za trajnostni družbeno-ekonomski razvoj Slovenije ključno povečanje tehnološke ravni slovenske polimerne in tekstilne industrije in s tem delež proizvodnje izdelkov z višjo dodano vrednostjo. Znanje o funkcionalizaciji materialov za doseganje bioaktivnih (protimikrobnih) lastnosti vlaken oz. orientiranih polimerov je zaželen produkt projekta za sedanje pa tudi bodoče potencialne industrijske partnerje. Triletno projektno delo je Tosami d.d. omogočilo dvig konkurenčnosti na tržišču, kar bo prispevalo k zmanjševanju zaostajanja slovenskega industrijskega partnerja v tehnološki razvitosti za najrazvitejšimi državami. Higienski tamponi so Tosamin najbolj uspešen proizvod, kar zahteva nenehno spremljanje in nadgrajevanje strojne opreme, uporabljenih materialov, nenehna izboljševanja kvalitete tampona ter sledenje konkurenci in standardom. Nov medicinski tampon bo v paleti obstoječih izdelkov dobil posebno mesto zaradi večje dodane vrednosti in nenazadnje zato, ker je rezultat

domačega znanja in izkušenj. Tosama d.d. bo razširila svoje prodajne niše na medicinske in farmacevtske veje, kar vključuje sledeče proizvode: medicinski tampon za zdravljenje vaginalnih infekcij ter spolno prenosljivih bolezni, medicinski tampon za preprečevanje vnetij po vaginalni ginekološki operativi, medicinske tampone za nosečnice, ter tampone za paciente z inkontinenco. Pričakuje se formiranje dodatnih 20 % novih (evropskih in svetovnih) tržnih poti v primerjavi s sedanjim trgom. Proizvodnja inovativnih izdelkov z visoko dodano vrednostjo in predviden nadaljnji razvoj teh izdelkov je že in še bo ustvarjal nova zanesljiva delovna mesta, ki bodo predstavljala izziv predvsem za visoko izobražen kader. V Tosami d.d. dani projekt pomeni dvig števila zaposlenih, saj sta se v tem času zaposlili dve visoko izobraženi sebi. Tehnologija, ki je bila razvita v okviru projekta se kot taka lahko aplicira za produkcijo visoko kvalitetnih inovativnih produktov tudi na druga industrijska področja v Sloveniji, kot recimo:

- papirna industrija
- kemijska industrija
- farmacija in medicina.

Tako je v teku že prenos znanja v papirno industrijo ter farmacijo.

ANG

Although several new antimicrobial agents have been developed in recent years and successfully used against sexually transmitted microbes, the prevention and treatment of majority of VAGINAL INFECTIONS and STDs still represent a significant challenge. With this medical tampon, gynaecological sector will get alternative therapies to offer them to the women suffering of vagina infections which increases from year to year.

These newly developed products-medical tampons will therefore, produce an increase in the Tosama d.d. competitive position, and a massive breakthrough of new product onto the existing market, possible. Turning point from traditional industry to the production of high-added sanitary products will extend Tosama d.d. market niches to medical and pharmaceutical, including: therapy by vaginal infections and those infections regarding sexually transmitted diseases, post-operative materials, tampons for pregnant women, anal plugs and tampons for incontinent people. It is expected that additionally about 20 % of new (European, World) market channels would be formed in comparison with present market. The initial sales projection is 100 million items, with the further growth of about 1 % per annum. Consequently new jobs will be created (especially for educated people).Already two educated people were employed in Tosama

Moreover, new cellulose materials can, due to their specific bioactive properties (in addition to biodegradability and the potential of renewability) replace some materials and, thus, they could find new commercial applicability. The technology that was developed during this project could in this way also be applied in other industrial fields within Slovenia such as:

- the paper industry,
- the chemical industry and
- pharmacy and medicine.

At the moment technology is transferred to paper industry and pharmacy.

#### 10. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki

1.	<b>Sofinancer</b>	TOSAMA - Tovarna s	
	<b>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</b>	51.474,00	EUR
	<b>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</b>	31,50	%
	<b>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</b>	<b>Šifra</b>	
	1.	Medicinski higienski tampon za preventivno uporabo in kurativno uporabo.	F.05
	2.	Avtomatiziran postopek pršenja suspenzij nanodelcev v fazi izdelave tamponov.	F.09
	3.		
	4.		
	5.		
	<b>Komentar</b>		
	<b>Ocena</b>	<p>Tampon z nanosom hitozana je dober za deklet/žensko (ker bo rešil njene težave) in hkrati dober za okolje (biorazgradljiv). V prihajajoči generaciji mladih Tosama d.d. ocenjuje povečan tržni potencial. Poleg tega je z izdelavo prototipa Tosama d.d. razširila ponudbo tudi na izdelke s katerimi bomo pokrivali tudi ostale starostne ciljne skupine (nosečnice – medicinski tampon za nosečnice; starostnice- tampone za pacientke z inkontinenco). S tako tržno strategijo bomo zajeli žensko populacijo od začetka rodne dobe do smrti.</p> <p>V prvem letu po lansiranju tampona z zdravilnim učinkom bo Tosama povečala svoj trenutni tržni delež za 5 o.t. Izdelek se bo tržil skozi medicinski prodajni kanal (lekarne, specializirane trgovne), zato ocenjujemo v drugem prodajnem letu 10%, v tretjem pa še za dodatnih 10% prodajno rast.</p>	

***LETNA POROČILA O REZULTATIH RAZISKOVALNIH  
PROJEKTOV V LETU 2010***





### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Na podlagi raziskave in selekcije primernih UV absorberjev, ki smo jo izvedli v preteklem letu smo se v tem času ukvarjali zlasti z možnostjo njihove aplikacije ter izborom primernih vlaknotvornih polimerov v obliki tkanin in pletenin. V eksperimentalnem delu smo tako uporabili v prvi vrsti bombaž, za določene primerjave pa še bombaž/PES, PES, in PA. To so materiali, ki se najpogosteje uporabljajo za izdelavo poletnih oblačil. V eksperimentalnem delu raziskave smo jim določili osnovne parametre, ki imajo vpliv na propustnost materialov. Pri izboru primernih UV absorberjev smo se prvotno odločili za raziskave na substancah, kot so  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ , lignin in derivati ekstrahirani iz lesa rdečega bora, ki smo ga dobili na podlagi sodelovanja z Laboratory of Wood and Paper (sestavljeno je iz več komponent med katerimi prevladuje monometil pinosylvin in pinosylvin, hydroxymatairesinoli kot so oxo-matairesinol in ArMe.X-lignin ter njegovi derivati) in temu v tem letu dodali še  $\text{TiO}_2$  v obliki paste, ki je proizvod podjetja Cinkarna Celje in vsebuje 25%  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  in 30% delež suhega  $\text{TiO}_2$ . Za primerjavo nanosa posameznih izbranih UV absorberjev smo izbrali še industrijsko pripravljen produkt podjetja Bezema pod trgovsko oznako Isys Sun, ki je zlasti primeren za impregnacijski postopek nanosa. Za vse izbrane UV absorberje smo uporabili različne postopke aplikacije, torej impregnacijske in izčrpalne.

Po meritvah absorbance v UV področju smo v raziskavah ekstrakta rdečega bora ugotovili, da je le ta najvišja v UVB področju. Lignin je stabilen visoko zamrežen aromatski polimer, ki nastane s polimerizacijo aromatskih alkoholov (*p*-koumaril, koniferil in sinapil). Titanov dioksid ( $\text{TiO}_2$ ) je bel pigment, ki ima visoko moč pokrivanja in se nahaja v dveh tržno in raziskovalno zanimivih kristalnih oblikah – antrasi in rutilni. Antrasi pigment je zelo občutljiv na svetlobo in hitro spremeni barvo, zato je pomembnejši rutilni, ki ima boljšo pokrivnost ter boljše svetlobne in vremenske obstojnosti, kar je posledica širše optične vrzeli v frekvenčnem pasu.  $\text{TiO}_2$  ima visoko oksidacijsko sposobnost, če ga izpostavimo svetlobi, visoko hidrofilnost ter kemično obstojnost. Je anorganski polprevodnik z vrzeljo 3,2 eV in ga lahko aktivira svetlobna energija pri 388 nm. Cinkov oksid ( $\text{ZnO}$ ) ima sicer ožje področje uporabe, kot  $\text{TiO}_2$  ima pa enako vrzel v frekvenčnem pasu (3,2 eV). Uporabljen  $\text{TiO}_2$  v obliki paste je prav tako po strukturi rutilni  $\text{TiO}_2$  in daje boljše rezultate pri obdelavi, kot titanov dioksid v prahu, kar pomeni, da predstavlja izboljšano obliko za različne vrste aplikacij.

Izbranim UV absorberjem smo določili njihove UV absorpcije v raztoipinah s pomočjo merjenja absorbance v področju med 200 in 400 nm na spektrofotometru Varian Cary 50, ter po nanosu na materialih z merjenjem UPF faktorjev. Te meritve so potekale prav tako na istem spektrofotometru, vendar s pomočjo dodatne opreme za merjenje UV zaščitnega faktorja in absorpcije v UVA in UVB področju. Največ in najširšo raziskavo smo opravili na bombažni tkanini, ki v surovem stanju ni izpolnjevala pogojev za varno uporabo, kar pomeni, da je imela izmerjeno UPF vrednost 10. Z raziskavo ugotavljamo, da lahko s pomočjo impregnacijskega postopka dosežemo zadostno in industrijsko pripravljenemu produktu primerljivo zaščito z ekstraktom rdečega bora, kjer dosežemo UPF vrednost 35, kar pomeni zelo dobro zaščito, še boljše rezultate pa dosegamo na posameznih tkaninah in pleteninah v mešanici s sintetičnimi materiali in elastani, ki zaradi strukture pletenja v kombinaciji z obdelavo omogočajo kljub višjim zračnim propustnostim materiala doseganje odličnih UPF vrednosti. Da bi lahko izvedli realno primerjavo posameznih ploskih tekstilij med seboj, smo v analizo vključili zraven UV propustnosti še vpliv teže, gostote tkanja ali pletenja in debeline tudi meritve zračne propustnosti materialov, ki je pogosto, ne pa izključno pomemben parameter in nam omogoča določitev primerljivih ploskih tekstilij, kar je za realne učinke posameznih nanosov UV absorberjev pogoj. Ugotavljamo, da večja propustnost sicer pomeni nižje zaščitne vrednosti, vendar jih ne moremo direktno primerjati, saj na zaščito v večji meri vpliva material, barva materiala in impregnacija z UV absorberjem.

Pri delovnem sklopu, kjer preučujemo vpliv kemijsko različnih barvil na UV absorpcijo smo z raziskavo ugotovili, da predstavlja globina barve pomemben dejavnik pri doseganju optimalne zaščite in da le ta z povečano globino zelo narašča. Vendar za doseganje popolne zaščite pri zelo transparentnih tkaninah in pleteninah ne zadošča samo obarvanje v primerni globini, potreben je tudi ustrezen dodatek UV absorberja. Istočasno ugotavljamo, da je mogoče združevanje postopka barvanja in nanosa posameznega UV absorberja, kar se je zlasti pokazalo kot uspešno pri uporabi  $\text{TiO}_2$  v obliki paste in pri uporabi ekstrakta

rdečega bora. Na poseben problem pa smo naleteli pri uporabi ultrazvoka v procesih aplikacije. Iz predhodnih raziskav vemo, da UZ pozitivno vpliva na postopek navzemanja barvil pri izčrpalnih postopkih barvanja, česar pa po prvih rezultatih dela na področju aplikacije UV absorberjev ne moremo trditi.

Na podlagi dosedanjih raziskav pa pričakujemo realizacijo zastavljenih ciljev, saj nam dajejo izbrani materiali in UV absorberji dobre rezultate. Med izbranimi UV absorberji ima ekstrakt rdečega bora, ki predstavlja novost, pri postopku nanosa z impregnacijo in fiksiranjem z visoko temperaturo, odlične zaščitne lastnosti (UPF 50<sup>+</sup>) še boljše lastnosti pa dosegamo pri uporabi TiO<sub>2</sub> v obliki paste, ki nam omogoča doseganje še višjih UPF vrednosti, na podlagi SEM posnetkov pa vidimo tudi, da je mogoče s pomočjo postopka obdelave doseči enakomeren nanos. Omejitve vidimo le pri tkaninah, ki imajo pred barvanjem in nanosom UV absorberja vrednost UPF pod 10 in zračno propustnost višjo kot 1000L/m<sup>2</sup>s.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Projekt poteka skladno z načrtovanimi aktivnostmi, ki so definirane v časovnem planu. Tako smo v okviru DS1 opravili raziskavo in selekcijo primernih UV absorberjev in proučili možnosti njihove aplikacije na izbrane ploske tekstilije. Pri raziskavi smo uporabili TiO<sub>2</sub> in ZnO, lignin in derivate ekstrahirane iz lesa rdečega bora in TiO<sub>2</sub> v obliki paste z dodanim Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Izbranim UV absorberjem smo določili UV absorpcijo v raztoipinah s pomočjo merjenja absorbance v področju med 200 in 400 nm na spektrofotometru Varian Cary 50, izvedli analizo določitve kemijskega naboja (zeta potencial) in s SEM posnetki ugotavljali uspešnost nanosa glede na koncentracijo in pogoje nanosa. Nanos izbranih UV absorberjev je potekal po impregnacijskem, kot izčrpalnem postopku, ki je primeren tudi pri analizah učinkovitosti istočasne obdelave z UV absorberjem pri barvanju. Količino in obliko nanosa posameznih UV absorberjev smo spremljali z opazovanjem vlaken z vrstičnim elektronskim mikroskopom SEM Zeiss Gemini supra 35 VP.

V okviru DS2 smo izbrali materiale, ki se najpogosteje uporabljajo za izdelavo poletnih oblačil in sicer tkanine in pletenine iz bombaža, mešanice bombaž/PES, PES, in PA, viskoza in različne mešanice z Lycro. Na materialih smo izvedli analize strukturnih lastnosti in zračne propustnosti, ki so se gibale med 20 in 3147 L/m<sup>2</sup>s in imajo vpliv na propustnost sončne svetlobe, ter sorpcijskih lastnosti, ki imajo vpliv na sposobnost navzemanja apreta. Vse navedene analize uporabljenih ploskih tekstilij so osnova za pravilno vrednotenje analize vplivov posameznih vlaknotvornih polimerov ter njihovih obdelav na učinke posameznih izbranih tehnologij obdelave z različnimi UV absorberji. Za ugotavljanje učinkov UV absorberjev različnih koncentracij na različnih ploskih tekstilijah smo uporabili standardne metode po mednarodno usklajenih standardih za določanje fotozaščite tekstilij pred sončno svetlobo, ki temelji na določanju UPF faktorja. Pri raziskavi smo želeli na različnih materialih doseči primerno zaščito pred UV sevanjem, kar pomeni, da smo upoštevali, kot uspešen postopek pri materialih z SPF 30 in več. Za merjenje UVA in UVB zaščite in izračuna SPF uporabljamo spektrofotometer Varian Cary 50, ki ga nadgradimo z enoto za merjenje UV prepustnosti ploskovnih materialov in programsko opremo.

V okviru DS3 smo preučevali vpliv kemijsko različnih barvil na UV absorpcijo in ugotovili, da globina barve, ki smo jo izrazili s K/S (Kubelka Munk funkcija) pomembno vpliva na UV zaščito in pri analizi kompatibilnosti procesa barvanja in nanosa UV absorberja ugotovili ustreznost tovrstnih izčrpalnih postopkov.

Pri DS4 smo se ukvarjali z možnostjo uporabe ultrazvoka in njegovega vpliva pri procesih aplikacije. Prvi rezultati ne dajejo vzpodbudnih rezultatov, vendar delo v tem sklopu še poteka in bomo končne rezultate podali v naslednjem poročilu.

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

Program raziskovalnega projekta se ni spremenil, smo pa povečali projektno skupino za eno članico iz "Laboratorija za tekstilno tehnologijo in konstrukcijo tekstilij", ki je že

vključen v projekt, vendar raziskovalka Simona Jevšnik (Štev: 13714) po prvotnem načrtu ni bila vključena. Predlagamo, da jo dodatno vključimo, zaradi izvajanja analiz tkanin, ki vplivajo na otip, saj je na tem področju ena izmed noslinih raziskovalk.

## 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>6</sup>

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Vpliv UV absorberjev in barvil na zaščito pred UV sevanjem
		<i>ANG</i> The impact of UV absorbers and dyestuffs on protection against UV radiation
	Opis	<i>SLO</i> Namen predstavljenega dela je bila raziskava dveh kemisko različnih barvil v dveh barvnih tonih, v dveh koncentracijah, ki smo jih uporabili pri procesu barvanja skupaj z različnimi UV absorberji (TiO <sub>2</sub> , lignin, ekstrat rdečega bora) in ugotavljali njihov vpliv in zaščitno delovanje v področju UV sevanja na dveh strukturno različnih tkanin izdelanih iz PA in PES vlaken. Iz rezultatov raziskave izhaja, da ima uporaba barvil pomemben vpliv na zaščitne lastnosti materialov, ki se ob sočasni uporabi UV absorberjev in barvil še povečajo in dajejo odlično UV zaščito.
		<i>ANG</i> The purpose of the presented research was to investigate the impact of two chemically different dyestuffs in two colours and two concentrations, together with application of various UV absorbers (TiO <sub>2</sub> , lignin and extract from pine wood) on blocking properties against UV radiation of two structurally different fabrics made from PA and PES fibres. The obtained results indicated important impact of dyestuffs and selected absorbers have also great influence on UPF values and, therefore, the combination of both, absorbers and dyestuffs offer maximum UV protection.
	Objavljeno v	6th Central European Conference 2010, 13 - 14. September, 2010, Bratislava, Slovak Republic. Fibre-grade polymers, chemical fibres and special textiles : [proceedings]. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanja)
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i> Vpliv globine barve in UV absorberjev na UV zaščitne lastnosti tekstilnih materialov
		<i>ANG</i> The effect of colour strength and UV absorbers on UV protection properties of textile materials
	Opis	<i>SLO</i> Cilj te študije je raziskava vpliva barvil in naravnih UV absorberjev še posebej lignina in posameznih derivatov ekstrahiranih iz lesa rdečega bora na UV zaščito posameznih poletnih oblačil. Med temi smo proučili pinosylvin in pinosylvin monometyl eter, ki imata visoke vrednosti absorpcije v UVB področju ter oksidirane hydroxymatairesinole kot je oxo-matairesinol in ArMe.X-lignin ter njihove derivate z visoko absorpcijo pri valovnih dolžinah med 200 in 340 nm, in so pomembni tudi za UVA področje.
		<i>ANG</i> The aim of the presented paper was to assess the effect of dyes and natural (bio) UV absorbers, particularly lignin and other derivatives extracted from pine wood on UV protection properties of various fabrics for summer cloths. Also, the oxidized hydroxymatairesinols such as oxo-matairesinol, ArMe.X-lignin and their derivatives, which have high absorption capacity in the UVB region, as well as pinosylvines with conjugated double bonds that are important for the UVA region, were examined closely.
	Objavljeno v	5th International Textile, Clothing & Design Conference [also] ITC&DC, October 3rd to October 6th, 2010, Dubrovnik, Croatia. Magic world of textiles : book of proceedings. Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>7</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat	

1.	Naslov	SLO	Uporaba ultrazvoka pri barvanju in beljenju tekstila
		ANG	The use of ultrasound in textile bleaching and dyeing
	Opis	SLO	Mokri procesi obdelave tekstilij pogosto niso ekonomsko in ekološko primerni. Zanje porabimo preveč energije, poraba vode za njihovo izvedbo je prevelika in po končanem procesu je odpadna voda umazana in vsebuje ostanek barvil in tekstilnih pomožnih sredstev. Z željo, da presežemo te probleme, se izvajajo številne študije in načrtujejo novi procesi. Med temi so še posebej pomembni procesi, ki izkoriščajo energijo ultrazvoka. Raziskave na tem področju potekajo že nekaj časa in predstavljajo veliko možnost pri razvoju alternativnih postopkov, ki lahko zamenjajo konvencionalne.
		ANG	Textile wet processes are usually not economically and ecologically favorable. They consume too much energy, water and produce enormous amounts of textile wastewater which is heavily charged with unconsumed dyes and other chemicals. In order to overcome these problems novel processes are being introduced or studied. Although several studies on ultrasound have been performed since a long time, it is considered only in recent years as a possible serious alternative to the conventional methods for accelerating mass transfer in textile materials and as pretreatment of textile surface materials.
	Šifra		Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v		XXII IFATCC International congress (International Federation of the Association of Textile Chemists and colorists), Lago Maggiore (Italy), May 5-7th, 2010. From textile chemistry to fashion : multifunctionality, sustainability, competitiveness : proceedings of the XXII IFATCC International congress, Stresa, Lago Maggiore (Italy), May 5-7th, 2010. Milano
	Tipologija		Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Izboljšanje okoljskih kazalcev z uporabo biotehnologije pri plemenitenju tekstilij
		ANG	Improving the environmental indicators using biotechnologies in textile processing
	Opis	SLO	Cilj študije pri bilateralnem sodelovanju je bila raziskava učinkovitosti encimov v čistilnih procesih narvanih predvsem celuloznih in volnenih vlaken pri uporabi pektinaz, proteaz in celulaz ter njihovih mešanic v biotehnologiji in ekološka primerjava biotehnoloških procesov s klasičnimi konvencionalnimi.
		ANG	The aim of the presented studies is investigate the effectiveness of enzymes on the removal of impurity from fibres by using pectinase, protease, cellulase and their mixture in the biopreparation and to compare the effectiveness of biotechnologies in accordance to conventional treatments.
	Šifra		Zaključno poročilo o tujem/mednarodnem projektu
	Objavljeno v		Maribor: Fakulteta za strojništvo; Bucharest: The Research-Development National Institute for Textile and Leather, 2010 Romania-Slovenia cooperation in science and technology, 2008-2009, project report.
	Tipologija		Končno poročilo o rezultatih raziskav
COBISS.SI-ID			

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>8</sup>

Sodelovali smo tudi pri mednarodnem projektu: Lifelong Learning program - Leonardo da Vinci - Innovation Transfer in Textiles, kjer smo soustvarjali izobraževalen program za e-učenje na področju tekstila.

Veliko smo se ukvarjali tudi s čiščenjem odpadnih vod barvarn, kjer ugotavljamo, da lahko kot nosilce biomase uporabimo različne naravne materiale, ki v nasprotju z umetnimi, aktivno sodelujejo pri čiščenju odpadnih vod. V sistemih s pritrjeno biomaso lahko potekajo procesi kot so: filtracija, adsorpcija, ionska izmenjava, tvorba kompleksov, biološka aerobna in anaerobna razgradnja.

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

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

SLO

Raziskava novih UV absorberjev je pomemben prispevek k temeljnemu znanju o sposobnosti UV absorpcije posameznih snovi, kot so ekstrakti lignina, ki so pokazali visoke vrednosti absorpcije v področju med 200 in 400 nm. Raziskava zajema analizo UV absorpcije lignina in njegovih derivatov ekstrahiranih iz lesa rdečega bora ter razvoj metode aplikacije na vlaknotvorne polimere, kar predstavlja pomemben prispevek na področju raziskav UV zaščitnih materialov.

Ekstrakt je sestavljen iz več komponent med katerimi prevladuje monometil pinosylvin in pinosylvin, hydroxymatairesinoli kot so oxo-matairesinol in ArMe.X-lignin ter njihovi derivati z visoko absorpcijo pri valovnih dolžinah med 200 in 350 nm, Posebej pa so za UVA področje pomembni pinosylvini z konjugiranimi dvojnimi vezmi. Dodatno še preučujemo UV absorberje, kot so TiO<sub>2</sub>, 25% Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> - 30% TiO<sub>2</sub> in cinkov oksid ter barvila, ki prav tako vplivajo na stopnjo UV zaščite. S projektom preučujemo tudi različne možnosti aplikacije, kot je možnost nanosa s pomočjo različnih pomožnih sredstev in aditivov po izčrpalnem in impregnacijskem postopku, raziskujemo njihovo reaktivnost in topnost v različnih medijih in proučujemo sposobnost sorpcije s pomočjo energije ultrazvoka.

ANG

Development of new UV absorbers will be an important contribution to the fundamental knowledge about UV absorption of individual substance such as extract of lignin that was shown high absorbance values in the UV region of 200-400 nm. The research include analysis of UV absorption of lignin and its derivatives extracted from pine wood, and development of application method for fibre-forming polymer materials, which will represent an authentic scientific contribution on the field of textile materials with UV protective properties. This extract is composed from different components, i.e. mainly from pinosylvine and pinosylvine monomethyl ether, followed by oxo-matairesinol and ArMe.X-lignin and their derivatives with high absorption maximum between wavelength of 200 and 350 nm, and are important also for UVA region. Additionally, TiO<sub>2</sub>, 25% Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> - 30% TiO<sub>2</sub> and zinc oxide as the most common UV absorbers were examined as well as dyestuffs that also impact on UV protective properties. With proposed project we study different application possibilities, according to various exhaustion or impregnation processes using different auxiliaries and additives and ultrasound. Hence, UV absorbers reactivity, solubility and sorption ability we investigated.

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

SLO

Novo pridobljena znanja na področju razvoja in temeljnih raziskav UV absorberjev, ki izhajajo iz naravnih materialov, kot je les, ki se nahaja v naravi, ekstrakti lignina pa predstavljajo stranski produkt predelave, predstavljajo pomemben potencial za razvoj realnih materialov, ki bodo omogočali zaščito tekstilnim materialom v UV področju. Sposobnost izdelave takšnih materialov pomeni za gospodarstvo proizvodnjo specialnih produktov z višjo dodano vrednostjo, ki imajo glede na škodljive posledice UV žarkov na zdravje ljudi, tudi visok tržni potencial. Pomemben del projekta predstavlja tudi razvoj aplikacije UV absorberjev in s tem razvoj tehnologije obdelave različnih, v poletju najpogosteje uporabljenih, materialov. Iz navedenega izhaja, da ima raziskava velik vpliv tudi na razvoj novih, UV zaščitnih proizvodov v gospodarskih družbah, ki se danes ukvarjajo s proizvodnjo tekstilnih materialov in izdelkov, istočasno pa omogoča tudi proizvodnjo UV absorberjev, katerih osnova je ekstrakt rdečega bora, lignin in ostali derivati. Na podlagi tega lahko zaključim, da ima izvedba tega projekta vpliv na razvoj več panog, posamezne proizvode bo mogoče izdelovati v okviru obstoječih proizvodenj, kakor tudi z ustanovitvijo posebnih obratov.

ANG

The obtained knowledge on the field of development and fundamental research of UV absorbers extracted from wood and lignin absorbers will represent the important potential for development of real textile materials with UV protective properties. Processing of such materials means the production of special products with high added value and with high market potential, because of the harmful UV radiation for people health. The important part of the project will be development of UV absorbers application and consequently development of technology for different textile materials for summer cloths. From the statements above, it could be concluded that the presented project will have significant impact on development of new products in business companies, and thus on progress and successfulness of the society. As mentioned above, the presented research has also an important influence on the development of new UV protective products in the companies, which deal with textile materials and products. At the same time, the production of UV absorbers on the basis on pine wood extract, lignin and others derivatives will be feasible. We could conclude that the realization of





### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

V okviru faze 3 smo izvedli testiranje odzivnosti posameznih senzorskih membran na putrescin, raztopljen v 100 mM fosfatnem pufru s pH 11,2. Vse membrane so pokazale odzivnost na putrescin. V primeru membrane z absorpcijski indikatorjem (A) je prišlo ob dodatku putrescina do poviševanja absorpcije pri 418 nm in zniževanja vrha pri 479 nm. V primeru membrane z fluorescentnim indikatorjem (F) smo merili spreminjanje intenzitete fluorescence pri 576 nm, kjer je prišlo od dodatku analita do ugašanja fluorescence in pri 426 nm, kjer je prišlo do naraščanja fluorescence. Membrana A1 (absorpcijski indikator, R je 15:1, razmerje med TEOS in MTriEOS je 1:9, pH 13) ima mejo zaznave 0,1 M, odzivni čas 15-20 s in regeneracijski čas 20-25s. Delovno območje membrane A1 je od 0,1-1,5 M. Z uporabo fluoriranega ormosila smo izboljšali mejo zaznave, odzivni in regeneracijski čas membrane. Membrana A2 (absorpcijski indikator, R je 3:1, razmerje med FPTriMOS in PTriMOS je 2:1, pH 1) ima mejo zaznave 5 mM, odzivni čas 3-6 s in regeneracijski čas 7-9 s. Membrane A1 in A2 so stabilne več kot 6 mesecev.

Pri membranah F1 (fluorescentni indikator, R je 15:1, razmerje med TEOS in MTriEOS je 1:9, pH 13) in F2 (fluorescentni indikator, R je 3:1, razmerje med FPTriMOS in PTriMOS je 2:1, pH 1) smo imeli velike težave s stabilnostjo. V primeru F1 je po 2 dneh prišlo do popolne deaktivacije barvila. Ta pojav smo poskusili odpraviti tako, da smo 1 dan stare membrane shranili v destilirano vodo, čisti etanol in 20 % raztopino etanola. S tem smo želeli preprečiti izhlapevanje etanola in vode iz sol-gela ter zmanjšati možnosti interakcij med silanolnimi skupinami in indikatorjem. Prav tako smo s tem poskušali vplivati na smer hidrolizne reakcije, ki lahko poteka v obratni smeri (re-estrifikacija), pri kateri alkoholno molekulo zamenja hidroksilna skupina ter nastane alkoksidni ligand in voda kot stranski produkt. Z nobenim postopkom aktivacije nismo uspeli ponovno aktivirati delovanja indikatorja. V primeru membrane F2 je prišlo do močnega izpiranja indikatorja iz membrane. Po eni uri omakanja se je izpralo 80 % barvila.

V okviru aktivnosti 4.1. je na izbor tipa mesnega produkta vplivala cena proizvoda, pokvarljivost proizvoda in % odpada zaradi pretoka roka trajanja. Izbrali smo piščančje fileje, ki dosegajo visoko ceno in imajo relativno kratek rok uporabe.

V okviru aktivnosti 4.2. smo preučevali možnosti integracije senzorskega elementa v pakiran mesni izdelek. Pri tem smo poskušali čim manj posegati v avtomatsko pakirno linijo in s tem preprečiti možnosti kontaminacije samega izdelka. Najmanjši poseg v pakirno linijo smo dosegli tako, da smo senzorski element namestili na embalarino folijo pred samim pakiranjem izdelka. Iskali smo tudi primerna lepila, ki zadovoljujejo visoke standarde mesne industrije, za pritrditev senzorskega elementa.

V okviru aktivnosti 4.3. smo pričeli s testiranjem mesnega produkta pod različnimi pogoji. Izkazalo se je, da ima povišanje temperature nad 8°C in sprememba atmosfere zaradi poškodbe embalaže močan vpliv na rast mikroorganizmov, ki povzročajo kvar živil.

Prva testiranja v okviru aktivnosti 4.4 so pokazala, da se senzorski element odziva na prisotnost BA. Vendar je potrebno izboljšati odzivni čas, ko zaznamo prisotnost biogenih aminov. To lahko dosežemo s primernejšim mestom namestitve senzorja.

### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Cilj raziskav za preteklo leto projekta je bil razvoj in optimizacija senzorjev za določevanje biogenih aminov, integracija teh v pakirani mesni izdelek in preveriti učinkovitost delovanja senzorja. Senzorji se odzivajo na prisotnost biogenih aminov. Prav tako smo definirali način integracije senzorskega elementa v pakirani mesni proizvod s čim manjšim poseganjem v avtomatizirano pakirno linijo. Aktivnosti 4.3. in 4.4. se nadaljujejo v leto 2011. Zastavljeni cilji projekta so bili do sedaj v celoti izvedeni in uresničeni.

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

Sprememba sestave projektne skupine:

Do spremembe sestave projektne skupine je prišlo zaradi odhoda dr. Matejke Turel na porodniški dopust. V letu 2010 smo za dr. Turelovo obračunali 400 ur od predvidenih 900 ur iz prijave projekta. Preostalih 500 ur je izvedel dr. Aljoša Košak, ki smo ga vključili v projektno skupino in to tudi javili na ARRS.

## 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>6</sup>

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Nanostructured materials use in sensors: their benefits and drawbacks
		<i>ANG</i> Nanostructured materials use in sensors: their benefits and drawbacks
	Opis	<i>SLO</i> Pomen razvoja materialov nanovelikosti za pripravo optičnih kemijskih senzorjev je v zadnjih desetletjih vse večji. Široka paleta nanomaterialov kakor tudi številne oblike senzorjev nas omejujejo v predstavitvi, zato se osredotočamo na kvantne pike ter delce na osnovi polimerov in sol-gel materialu. Opisane so prednosti in slabosti uporabljenih nanomaterialov, ki so bili uporabljeni v optični detekciji ter nedavno razviti optični kemijski senzorji in probe. Prav tako so podane smernice razvoja optičnih kemijskih senzorjev na osnovi nanomaterialov.
		<i>ANG</i> The development of nanoscale materials for optical chemical sensing applications has emerged as one of the most important research areas of interest over the past decades. Our presentation concentrates on nanomaterials, such as quantum dots, polymer- and sol-gel-based particles. The benefits and drawbacks of the properties of these nanomaterials used in optical sensing applications are given, and the recently developed optical chemical sensors and probes based on photoluminescence are overviewed. Finally, some future trends of the nanomaterial-based optical chemical sensors are given.
	Objavljeno v	Objavljen samostojen znanstveni sestavek v monografiji; Springer 2011 <a href="http://cobiss6.izum.si/scripts/cobiss?ukaz=DISP&amp;id=1357121182050860&amp;rec=-14514198&amp;sid=0&amp;fmt=10">http://cobiss6.izum.si/scripts/cobiss?ukaz=DISP&amp;id=1357121182050860&amp;rec=-14514198&amp;sid=0&amp;fmt=10</a>
	Tipologija	Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
	COBISS.SI-ID	
2.	Naslov	<i>SLO</i> Nano-based optical chemical sensors
		<i>ANG</i> Nano-based optical chemical sensors
	Opis	<i>SLO</i> Pomen razvoja materialov nanovelikosti za pripravo optičnih kemijskih senzorjev je v zadnjih desetletjih vse večji. Nanomateriali so zelo prilagodljivi tako po velikosti kakor tudi po obliki kemijskih in fizikalnih lastnosti, imajo zelo specifično kemijo površin, termalne in električne lastnosti, visoko specifično površino ter velik volumen por na masno enoto površine. Zaradi svojih lastnosti lahko pripomorejo k izboljšanju občutljivosti, odzivnega časa in meja zaznav senzorjev. Predstavljamo nedavno razvite fotoluminiscenčne optične kemijske nanosenzorje.
		<i>ANG</i> The development of nanoscale materials for optical chemical sensing applications has emerged as one of the most important research areas of interest over the past decades. Nanomaterials exhibit highly tunable size- and shape-dependent chemical and physical properties, show unique surface chemistry, thermal and electrical properties, high surface area and large pore volume per mass unit area. Because of their features they can help to improve sensitivity, response time and detection limit of sensors. Recently developed photoluminescence-based optical chemical nanosensors are presented.
	Objavljeno v	J. nano res. (Print). [Print ed.], 2011, vol. 13, str. 99-110
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>7</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat
--



1.	Naslov	SLO	Dodana vrednost univerze : Aleksandra Lobnik, naj raziskovalka po mnenju gospodarstva za leto 2010 Univerze v Mariboru.
		ANG	Added value of the University:»Aleksandra Lobnik, best researcher of the University of Maribor in 2010«
	Opis	SLO	Do nagrade je prišla po zaslugi Centra za senzorsko tehniko, katerega tudi vodi, saj se center aktivno vključuje v reševanje problematike varovanja okolja s pomočjo izvajanja različnih monitoringov, pilotnih poskusov čiščenja voda, raziskav na področju odpadkov in razvijanja novih metod za spremljanje ekoloških in procesnih parametrov. Tako so lani patentirali projekt senzorjev za organofosfate, veliko pa se ukvarjajo tudi z razvojem senzorjev za visoke temperature.
		ANG	The award was granted based on the research work done in the »Centre of sensor technology«, where Prof. Lobnik is the head. The Centre is active in the field of environmental protection, wastewater treatment, waste management and development of new methods in determination of environmental and process parameters (environmental metrology). Last year (2010) a patent was filed in the field of sensors for organophosphates, latest major occupation are also high temperature sensors.
	Šifra	Domače nagrade	
	Objavljeno v	Večer (Marib.). [Tiskana izd.], 26. jan. 2011, 67, [št.] 21, str. 13, ilustr	
	Tipologija	Intervju	
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Optični senzorji za varno hrano
		ANG	Optical sensors for food safety
	Opis	SLO	Vsebina/poglavja: Optični senzorji in njihova uporaba Uporaba spektroskopskih metod za optične senzorje Optično merjenje temperature Optični senzorji za varno hrano Mikrobiologija živil Klasične mikrobiološke metode v higieni in varnosti živil Optični biosenzorji za določanje kakovosti živil
		ANG	Content/Chapters: Optical sensors and their use Use of spectroscopic methods for optical sensors Optical temperature measurement Optical sensors for food safety Foodstuff microbiology Classical microbiological methods in food hygiene and safety Optical biosensors for determination of food quality
	Šifra	Uredništvo nacionalne monografije	
	Objavljeno v	FRANČIČ, Nina, KORENT UREK, Špela, BAJSIČ, Ivan, NAHBERGER MARČIČ, Vida, LOBNIK, Aleksandra, SENICA, Heda, TUREL, Matejka, KRIŽAN, Janez, MOŽINA, Janez, LOBNIK, Aleksandra (ur.), TUREL, Matejka (ur.), BAUMAN, Maja (ur.). Optični senzorji za varno hrano : strokovna monografija. Maribor: IOS - Inštitut za okoljevarstvo in senzorje, 2010. III	
	Tipologija	Strokovna monografija	
COBISS.SI-ID			

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>8</sup>

1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci:  
New optical chemical sensor for biogenic amines detection / H. Senica ... [et al.]  
Soavtorji: Š. Korent Urek, M. Turel, N. Frančič, A. Lobnik  
Book of abstracts / X. European Conference on Optical Chemical Sensors and Biosensors, Europt(r)ode X, Prague 2010, March 28-31 ; conference chair Jiří Homola  
COBISS.SI-ID 14003222

1.25 Drugi članki ali sestavki:  
Testing food safety with optical sensors [Elektronski vir] / Špela Mojca Korent, Aleksandra Lobnik, and Gerhard J. Mohr  
<http://dx.doi.org/10.1117/2.1200810.1295>

TI=SPIE newsroom [Elektronski vir] ISSN: 1818-2259 (2008).- [2] str.  
COBISS.SI-ID 12760598

1.06 objavljen znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavatelj)  
Optical sensors incorporated into textile materials [Elektronski vir] / A. Lobnik, Š.M. Korent, M. Turel (2008)

TI=Futurotextiel 08 [Elektronski vir].- [5] str.  
COBISS.SI-ID 12880406

Doktorska disertacija/ Mentor pri doktorski disertaciji  
Razvoj novih optičnih kemijskih senzorjev za določevanje aminov in organofosfatov : doktorska disertacija / Špela Korent Urek; mentor: Aleksandra Lobnik  
Ljubljana : [Š. Korent Urek], 2010  
COBISS.SI-ID 253817344

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

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

SLO

Razvili smo optično kemijske senzorje na osnovi sol-gel materiala za določevanje biogenih aminov, ki so pokazatelji svežosti hrane. Poizvedba v slovenskih in tujih virih je pokazala, da do sedaj še ni bilo objavljenih znanstvenih člankov, ki bi poročali o sol-gel optičnih kemijskih senzorjih za določevanje biogenih aminov.

ANG

We have developed an optical chemical sensors based on sol-gel material for the determination of biogenic amines, which are freshness indicators for food. To the best of our knowledge there have not been published any scientific papers that would report on the sol-gel optical chemical sensors for the determination of biogenic amines.

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

SLO

Sodobni potrošniki so postali bolj zahtevni glede kakovosti živil, saj zahtevajo sveže in okusne prehranske izdelke, z majhno vsebnostjo konzervansov, s podaljšanim rokom trajanja in kontrolirano kvaliteto. Senzorska membrana zaznava biogene amine, ki so pokazatelji pokvarljivosti in s tem tudi svežosti pakirane hrane. Senzorske membrane imajo velik tržni potencial in so za podjetja v prehranski industriji pomembna novost. Z uporabo inteligentnega pakiranja bo uporabnik imel dodatno zagotovilo o varnosti izdelka z vidika svežosti živila. Za podjetja to predstavlja možnost doseganja višje dodane vrednosti proizvoda, določeno primerjalno prednost pred drugimi podjetji v branži in širše ter nadaljnje izgrajevanje lastnega ugleda.

ANG

Modern consumers have become more demanding about food quality; they require fresh and tasty food, with a low concentration of preservatives, prolonged shelf life and controlled quality. Sensor membranes detect biogenic amines, which are indicators of perishableness and thus the freshness of packaged food. Sensor membranes have great market potential and are an important innovation for food industry enterprises. By using intelligent packaging user will have the additional product safety assurance in terms of food freshness. For companies, it represents the potential to achieve higher added value to the product, provides a comparative advantage over other companies in the industry and wider and further build of its own reputation.



## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

V letu 2010 smo nadaljevali z delovnim paketom **Priprava selektivnih tekstilnih filtrov**. b ciklodekstrin (b-CD) smo s pomočjo 1,2,3,4-butan-tetrakarbonsilne kisline (BTCA) ob prisotnosti katalizatorja cianamida (CA) kovalentno vezali na štiri različne vrste tekstilnih substratov in sicer celulozno pulpo, tkan bombaž, tkano in netkano viskozo, ter tkan in netkan poliester. Kot tekstilni substrat smo pripravili še PET 3D in PET 2D "spacer materials".

Najpomembnejši korak pri postopku obdelave tekstilnega materiala je toplotna obdelava b-CD z BTCA, ob prisotnosti katalizatorja CA. b-CD se preko estrske vezi veže na hidroksilno skupino celuloze. Nanos b-CD na različne tekstilne substrate smo določili z gravimetrično metodo po standardu DIN 53814. Nanos b-CD na različne tekstilne substrate je znašal: celulozna pulpa ( $C_P$ ) 25 %, bombažna tkanina ( $B_T$ ) 10 %, netkana viskozni material ( $V_N$ ) 35 %, viskozna tkanina ( $V_T$ ) 12%, poliesterna tkanina ( $P_T$ ) 12 %, netkani poliesterni material ( $P_N$ ) 20 %.

V delovnem paketu **Laboratorijski testi s pripravljenimi tekstilnimi filtri na modelnih molekulah** smo se osredotočili na modelno molekulo fenol. Fenol je visoko toksična spojina in meja njegovemu izpostavljanju mora biti strogo kontrolirana. Smrt povzroči že pri koncentraciji raztopine 1 mg/L. Pri stiku s tkivom razgrajuje beljakovine. Maksimalna dovoljene koncentracija v zraku za delovne prostore je 1,2 mg/kg ali 5 mg/m<sup>3</sup>. Oralna letalna (smrtna) doza (LD<sub>50</sub>) znaša 414 mg/kg.

Za odstranjevanje fenola iz vodnih raztopin smo proučevali možnost uporabe b-CD samega, vezanega v polimer, ter vezanega na različne tekstilne materiale.

V prvi fazi raziskav smo proučevali vpliv koncentracije b-CD in fenola, temperature, pogoje nastanka supermolekularnega kompleksa (mirovanje/stresanje) in pH na tvorbo kompleksa. Iz rezultatov, ki smo jih dobili pri proučitvi vpliva pH na absorpcijo fenola pri maksimalni valovni dolžini smo ugotovili, da je pri pH vrednosti nad 10 maksimalna absorpcija pri valovni dolžini 288 nm; pri pH vrednosti pod 9,5 pa je maksimum pri valovni dolžini 270 nm. Glede na rezultate smo se odločili, da bomo proučevali nastanek supermolekularnega kompleksa b-CD/fenol pri pH nad 10, pri sobni temperaturi ob konstantnem stresanju.

Za laboratorijske teste tvorbe kompleksa b-CD vezanega na tekstilni material s fenol smo uporabili naslednje obdelane materiale in sicer  $C_P$ ,  $B_T$ ,  $V_T$ ,  $P_T$ ,  $P_N$ . Netkanega viskozne materiala s 35 % nanosom b-CD nismo mogli uporabiti za nadaljnje študije, ker smo imeli težave pri uravnavanju pH vrednosti raztopine na 10. b-CD je na tekstilni material vezan s polikarboksilno kislino in znaša pH obdelanega materiala 2,3. Zaradi previsokega nanosa b-CD/BTCA nam ni uspelo uravnati pH na 10.

Laboratorijske teste smo izvajali tako, da smo k raztopini fenola dodali določeno količino tekstilnega materiala obdelanega z b-CD; ob stresanju smo 5 dni pustili, da se je tvoril kompleksa b-CD/fenol. Preostali fenol, ki se ni vezal v kompleks, smo po 1., 2., 3., 4. in 5. dnevu določili spektrofotometrično pri valovni dolžini 288 nm. pH vseh raztopin smo uravnali na 10. Pokazalo se je, da je najbolj optimalni čas stresanja za nastanek kompleksa b-CD/fenol 5 dni. Po petih dneh stresanja se je okoli 30-70 % fenola vezalo v kompleks. Temperatura ne vpliva na učinkovitost nastanka kompleksa b-CD/fenol, zato smo vse nadaljnje raziskave opravili pri sobni temperaturi.

S pomočjo merjenja preostalega fenola v raztopini smo proučevali učinkovitost tvorbe supermolekularnega kompleksa b-CD/fenol. Za ta namen smo uporabili UV/Vis spektroskopijo.

Od vseh testiranih materialov, ki smo jih obdelali z b-CD do sedaj, je najboljše adsorpcijske sposobnosti pokazal netkan poliesterni material obdelan z 20 % nanosom b-CD. Po 3 dneh

mešanja vzorca v fenolni raztopini se je adsorbiralo okoli 50 % fenola po 5 dneh mešanja pa se je adsorbiralo okoli 95 % fenola.

Da bi izključili možnost, da se absorbanca manjša kot posledica sorpcije fenola na tekstilni substrat, smo pripravili eksperiment, v katerem smo uporabili namesto obdelanega surov poliesterni netkan material. Pogoji priprave raztopin so bili enaki kot pri obdelanem materialu. Ugotovili smo, da tudi po petih dneh stresa ni prišlo do adsorpcije fenola na sam material. S tem smo potrdili, da nastane supermolekularni kompleks med fenolom in b-CD vezanim na obdelanem materialu.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

V našem dosedanjem delu smo realizirali zastavljen cilje za leto 2010 drugo leto projekta. Raziskovalno delo smo izvajali glede na organizacijsko shemo projekta. Delo smo nadaljevali na delovnim paketu **Priprava selektivnih tekstilnih filtrov** in delovnem paketu **Laboratorijski testi s pripravljenimi tekstilnimi filtri na modelnih molekulah**. V delovnem paketu **Priprava selektivnih tekstilnih filtrov** smo izvajali modifikacijo pripravljenih tekstilnih materialov z različnimi ciklodekstrinskimi nanokapsulami. Optimirali smo eksperimentalne pogoje kovalentne vezave ciklodekstrina s pomočjo BTCA ob prisotnosti katalizatorja CA na različne tekstilne substrate; celulozno pulpo, tkan bombaž, tkano in netkano viskozo, ter tkan in netkan poliester ter PET 3D in PET 2D "spacer materials". Raziskave vezave b-CD na tekstilna substrata PET 3D in PET 2D še potekajo. Pripravili smo različne selektivne tekstilne filtre. Najboljši nanos b-CD smo dobili pri netkana viskozem materialu in sicer 35 % nanos. V delovnem paketu **Laboratorijski testi s pripravljenimi tekstilnimi filtri na modelnih molekulah** smo pripravljene selektivne tekstilne filtre testirali glede učinkovitosti in selektivnosti za fenol. Fenol velja za pogosto zastopano toksično spojino. Glede na naše dosedanje raziskave smo ugotovili, da je najboljše adsorpcijske sposobnosti za fenol pokazal netkan poliesterni material obdelan z 20 % nanosom b-CD.

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

V letu 2010 ni sprememb in odstopanj od previdenega programa raziskovalnega projekta.

#### 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>6</sup>

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<p><i>SLO</i> Strategija vključitve reciklirane vode v slovenskih tekstilnih tovarnah</p> <p><i>ANG</i> Strategies for water recycling implementation in Slovene textile companies</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> V prispevku je predstavljena možnost ponovne uporabe odpadne vode v dveh tekstilnih tovarnah v Sloveniji. Izdelali smo obsežno bazo podatkov, v kateri smo zbrali in okarakterizirali vodne tokove glede na posamezne tekstilne procese kakor tudi podatke o porabi vode, kemikalij in energije glede na posamezni tekstilni proces. Izpuste po posameznih tekstilnih procesih smo okarakterizirali z ekološkimi parametri.</p> <p><i>ANG</i> This paper presents proposed solutions for water reuse implementation in two Slovene textile finishing companies. As a first step a very complete database was obtained with the collection and characterization of all relevant water related textile production processes. On the one hand, data concerning water use, chemicals and energy were collected for all relevant production processes. On the other hand, all relevant batch discharges from each process were analyzed by measuring relevant ecological parameters.</p>
MAJCEN LE MARECHAL, Alenka, VAJNHANDL, Simona, JERIČ, Tina,		

	Objavljeno v	MATTIOLI, Davide, GRILLI, Selene. PERRIN AKCAKOCA, E. (ur.). 12th International Izmir Textile and Apparel Symposium, 28-30 October 2010, Izmir, Turkey. Proceedings : IITAS 2010. Izmir: Ege University, Department of Textile Engineering: Ege University Textile and Apparel Research - Application Center, 2010, str. 146-150, ilustr.
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeni predavanja)
	COBISS.SI-ID	
2.	Naslov	<i>SLO</i> Optimizacija UV/H2O2 postopka za obarvano odpadno vodo <i>ANG</i> Optimization tools for the treatment of colored wastewater by UV/H2O2
	Opis	<i>SLO</i> UV/H2O2 postopek je pogosto predstavljen kot učinkovit postopek za odstanitev obarvane odpadne vode. Pogosto se tudi povdarja, da postopek ni tako ugoden iz ekonomskega vidika kot so ostale tehnologije. Za zagotovitev učinkovitih in ekonomsko ugodnih operacijskih pogojev, je potrebno UV/H2O2 postopek istočasno optimirati tako iz obratovalnega kot tudi ekonomskega vidika. <i>ANG</i> The UV/H2O2 process has often been proposed as an effective treatment technology for remediation of colored wastewater. It has frequently been noted that it is not as economically efficient as other treatment technologies. In order too assure and economically efficient operation, the UV/H2O2 process should be simultaneously optimized from the perspective of both operation and economic efficiency.
	Objavljeno v	NOVAK, Nina, MAJCEN LE MARECHAL, Alenka. VII ANQUE International Congress, 13th-16th June 2010, Oviedo, Spain. Integral Water Cycle : present and future: "a shared commitment" : abstracts book. Madrid: Asociación Nacional de Químicos de España (ANQUE), 2010, 1 str.
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>7</sup>

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat	
1.	Naslov	<i>SLO</i> Globalen pristop k recikliranju odpadne vode v Slovenskih tekstilnih podjetjih <i>ANG</i> Global approach to water recycling in Slovene textile companies
	Opis	<i>SLO</i> V dveh slovenskih tekstilnih tovarnah smo izvedli celoviti popis vodnih tokov. Vodne tokove smo klasificirali na visoko in nizko koncentrirane tokove, z namenom ločene obdelave in kasnejše ponovne uporabe. Del raziskav je bilo tudi laboratorijsko barvanje z reciklirano vodo z namenom barvnometrične primerjave končanega produkta pripravljenega z obdelano in reciklirano vodo. <i>ANG</i> In two Slovenian finishing companies the complete data of the textile effluents have been done. Textile effluents were classified in high and low concentrated, in view of their separate treatments and further reuse possibilities. The distinction between low and high concentrated effluents was based on effluents potential treatability by membrane and AOP technologies and their reusability in textile processes. As final step laboratory scale dyeing with recycled water and process water was realized with the aim of colour difference determination between normal process water and recycled water.
	Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	MAJCEN LE MARECHAL, Alenka, VAJNHANDL, Simona, JERIČ, Tina, MATTIOLI, Davide, GRILLI, Selene. 6th Central European Conference 2010, 13 - 14. September, 2010, Bratislava, Slovak Republic. Fibre-grade polymers, chemical fibres and special textiles : [proceedings]. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Chemical and Food Technology, Department of Fibres and Textile Chemistry, 2010, [4] str.
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	
2.	Naslov	<i>SLO</i> Zahtevana kvaliteta vode v tekstilni industriji

	ANG	Required water quality in textile finishing industry
Opis	SLO	Tekstilne tovarne uporabljajo vodo iz različnih virov, kot so na primer reke, jezera in podtalnica. Vode za vsak posamezni proces mora biti takšne kvalitete, da ustreza vsem procesom in da ne vpliva na kvaliteto končnega produkta (stabilnost in kvaliteta produkta). V prispevku so predstavljene zahteve in omejitve glede kvalitete vode za različne procese kot so pranje, barvanje, tiskanje, hlajenje, gretje in čiščenje.
	ANG	Water for a textile plant comes from various sources like rivers, lakes and subterranean water from wells. Water quality for all processes should be of such quality to avoid any process and final product quality problems (product quality and stability). Water quality requirements or restrictions will be collected for different water functions, like washing, dyeing, printing, cooling, heating, cleaning and requirement for different water quality standards will be described.
Šifra	Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
Objavljeno v	GOLOB, Darko, MAJCEN LE MARECHAL, Alenka, BRODNJAK-VONČINA, Darinka, VAJNHANDL, Simona. Required water quality in textile finishing industry. V: 10th Autex Conference, June 21-23, 2010, Vilnius, Lithuania. Proceedings of Autex 2010. Kaunas: Kaunas University of Technology, Faculty of Design and Technologies, Department of Textile Technology, 2010, 4 f.	
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID		

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>8</sup>

-

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

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

SLO

Z raziskavami na področju novih selektivnih materialov za odstranitev organskih onesnaževal iz odpadnih vod bomo prispevali k obogatitvi osnovnih in aplikativnih znanj s tega področja ter k razvoju multifunkcionalnih tehničnih tekstilnih materialov in ustreznih tehnologij čiščenja odpadnih vod. Razvili bomo nove tehnične tekstilije za specifično uporabo in sicer kot industrijske filtre. Prispevali bomo k razvoju znanj s področja priprave nanoenkapsuliranih sistemov ter s področja plemenitenja tekstilnih materialov za specifične namene. Prispevali bomo k razvoju znanj o učinkovitosti metod razbarvanja in oporečnosti posameznih barvil ali njihovih razgradnih produktov. Predlagali bomo zamenjavo oporečnih barvil z manj oporečnimi. Širili bomo znanja o toksičnih organskih mikropolutantih (aromatski amini, fenoli, formaldehid, POPs), ki so prisotni v tekstilnih materialih in odpadnih tekstilnih vodah.

ANG

Research in the field of development new selective materials for the elimination of organic pollutants from wastewater will contribute to the basic and applicative knowledge from this field and to the development of multifunctional technical textile materials and corresponding technologies as well as to the development of new eco-friendly wastewater treatments. We will development new technical textiles for specific us, as industrial filters. We will contribute to the development of knowledge from the field of preparation of nanoencapsulated systems and from the field of finishing of textile materials for special purposes. We will also contribute to the development of knowledge about efficiency and harmfulness of decolouration of the target dyes and their decompose product. We will suggest replacing harmful dyes with less harmful one. We will contribute to the knowledge about toxic organic micro pollutants (aromatic amine, phenols, formaldehyde, POPs) in textile material and textile wastewater.

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

SLO

Raziskave na področju razvoja novih materialov za tehnične namene in razvoj novih inovativnih tehnologij za odstranjevanje toksičnih mikro polutantov iz tekstilnih in drugih odpadnih vod bodo imele neposreden pomen za Slovenijo tako za gospodarstvo kot tudi za družbo. Uspešno izveden projekt bo koristen ne le za sodelujoče podjetje (proizvodnja novih materialov z dodano vrednostjo), temveč tudi za vsa tekstilna podjetja z močno onesnaženimi odpadnimi vodami, ki bodo tako dobila priložnost, da svoje vode reciklirajo in sledijo splošnim razvojnim smernicam slovenskih in EU direktiv (SRA EU TP za vode in tekstil). Seveda se bodo lahko novi tehnični materiali uporabili tudi v drugih sektorjih, kjer je recikliranje tehnološke vode prav tako pomembno. Z novimi znanji bomo prispevali k osveščanju javnosti o ekološko primernejših procesih in materialih ter tako prispevali k trajnostnemu razvoju, varovanju okolja in zdravja ter posledično k dvigu kvalitete življenja.

ANG

Research in the field of development new materials for technical purposes and development of new innovative technologies for the elimination of toxic micro pollutants from textile and other wastewater will have direct impact for the economy and society in Slovenia. Positive results obtained from the project will be beneficial not just for the companies directly involved in the project (development of materials with added values) but for the textile companies which have heavy polluted wastewater. Because of the results from the project textile companies in Slovenia would be able to recycle their waste waters and with this to follow Slovenian and EU directives for wastewater treatments (SRA EU TP for textile wastewaters). New prepared filter materials can be used as new technical materials in other sectors of industry, where recycling of wastewater is crucial. With the new knowledge from the project we will contribute to the awareness about the ecology, water recycling and sustainable development.





## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Raziskava je v letu 2010 zajemala pripravo organsko anorganskih hibridnih materialov, ki temeljijo na konvencionalnih regeneriranih celuloznih vlaknih, kot so viskoza, modal in liocelna vlakna, na katerih smo oblikovali plast anorganskih delcev, ki izboljšajo obstoječe lastnosti vlaken in jim nudijo nove aplikacijske možnosti.

V okviru projekta smo razvijali nano - kompozitne materiale. Razvoj postopka je potekal v dveh stopnjah in to študij sinteze nano delcev ter oplašanje celuloznih vlaken z nano delci. Za nanomodifikacijo smo uporabili nanodelce magnetita.

Raziskali smo sintezne postopke so-obarjanja magnetita z namenom kasnejše aplikacije teh postopkov za *in situ* sintezo delcev na vlaknih. V sinteznih postopkih smo spreminjali molarna razmerja železovih soli, ki služijo kot prekursor in zaporedja ter način dodajanja reagentov v reakcijski sistem. Na podlagi določanja velikosti kristalitev magnetita, elektroforetične mobilnosti in velikosti aglomeratov v vodnih disperzijah ter njihovih magnetnih lastnosti, lahko zaključimo, da smo s postopkom nadzorovanega dodajanja katalizatorja v raztopino železovih soli sintetizirali delce z večjimi kristaliti, v primerjavi z ostalima dvema postopkoma. Večji delci dajejo višje vrednosti nasičene magnetizacije, prav tako pa se ponašajo z višjo stabilnostjo v vodnih disperzijah

Molarno razmerje med dvovalentnimi in trivalentnimi železovimi ioni vpliva na velikosti kristalitev nastalih delcev. V primeru nestehiometričnih razmerij, kjer v reakcijskem sistemu obstaja presežek dvovalentnih železovih ionov, nastajajo večji delci. Ta dejavnik zahteva pozornost še posebej v primeru izvedb sintez v prisotnosti kisika, zaradi česar lahko pride do prezgodnje oksidacije raztopin dvovalentnih železovih soli.

Postopek so-obarjanja z dodajanjem raztopine prekursorja v raztopino katalizatorja ter postopek takojšnjega mešanja prekursorja in katalizatorja je manj primeren za aplikacijo na vlakna iz vidika nezadostnega nadzora nad nastankom delcev, medtem ko je slabost postopka z nadzorovanim dodajanjem katalizatorja v raztopino železovih soli nizki pH v začetni fazi reakcije.

Viskozna vlakna smo oplašali z magnetnimi nano delci na različne načine in sicer z *in situ* so-obarjanjem delcev v prisotnosti vlaken, ter z adsorpcijo že oblikovanih delcev iz stabilne disperzije in določili lastnosti modificiranih vlaken s poudarkom na funkcionalni učinkovitosti. Predobdelava vlaken in sintezni pogoji so vplivali na morfologijo plasti delcev (gostota sloja in pokritost vlaken) ter na njihove lastnosti.

### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Uspešno smo uvedli metodo priprave magnetnih nanoprevlek na celuloznih vlaknih. Proučili smo vpliv procesnih parametrov na funkcionalne lastnosti prevlek, na možnosti poškodbe vlaken in na uporabne lastnosti modificiranih materialov.

Rezultati raziskave predstavljajo prispevek na področju funkcionalizacije polimernih

materialov. Program raziskave za leto 2010 smo uresničili in rezultate raziskave predstavili v znanstveni reviji (v postopku tiska) ter na znanstvenih konferencah in simpozijih.

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

Program raziskovalnega projekta se ni spremenil.

## 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>6</sup>

		Znanstveni rezultat
1.	Naslov	<i>SLO</i> Uporaba površinsko aktivnega sredstva Gemini za stabilizacijo TiO <sub>2</sub> P25 koloidnih disperzij
		<i>ANG</i> Use of Gemini surfactants to stabilize TiO <sub>2</sub> P25 colloidal dispersions.
	Opis	<i>SLO</i> Proučili smo fotokatalitično-aktivne TiO <sub>2</sub> P25 nanodelce, ki se mnogo uporabljajo v nanotehnoloških postopkih. Nazivna velikost delcev je 21nm, vendar pa v vodnih medijih v odvisnosti od pH delci zlahka aglomerirajo. Da bi preprečili aglomeracijo, smo TiO <sub>2</sub> vodne disperzije stabilizirali s kationskim površinsko aktivnim sredstvom Gemini. Določili smo optimalne pogoje za pripravo stabilnih disperzij. Velikosti delcev in oceno stabilnosti disperzij smo določili z DLS (metodo dinamičnega sipanja svetlobe) in z določanjem zeta potenciala delcev.
		<i>ANG</i> Photocatalytically active TiO <sub>2</sub> P25 nanoparticles, widely used for practical applications, were investigated. The nominal size of TiO <sub>2</sub> P25 nanoparticles is 21 nm, but they easily agglomerate in aqueous media, depending on pH and ionic strength. TiO <sub>2</sub> P25 aqueous dispersions were stabilized by cationic Gemini surfactant. The optimal conditions required to obtain stable dispersions, without formation of large agglomerates, were experienced.
	Objavljeno v	Colloid polym. sci., Feb. 2010, vol. 288, no. 4, str. 387-394, doi: 10.1007/s00396-009-2133-x. IF = 2.057 EI - chemistry, physical ; 58/121 ; kvartil: 2 ; x=2.855 ; IFmin: 2 ; IFmax: 3.471 UY - polymer science ; 23/76 ; kvartil: 2 ; x=1.873 ; IFmin: 1.203 ; IFmax: 2.156
	Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i> GREGOR-SVETEC, Diana, SFILIGOJ-SMOLE, Majda. Homogeneity of poly(propylene) and poly(ethylene terephthalate) fibers.
		<i>ANG</i> GREGOR-SVETEC, Diana, SFILIGOJ-SMOLE, Majda. Homogeneity of poly(propylene) and poly(ethylene terephthalate) fibers.
	Opis	<i>SLO</i> Difuzno malokotno rentgensko sipanje SAXS povzroča nehomogena porazdelitev elektronskih gostot. V polimernih materialih ga pripisujemo mikro-votlinam. Z analizo malokotnega sipanja lahko določimo vsebnost, dimenzije in relativno površino sistema mikro-votlin. Dimenzije koherentno sipajočih domen in velikosti nehomogenosti povezuje faktor oblike. Spremembe tega faktorja odražajo strukturne spremembe polimernih vlaken, ki jih povzročajo različni postopki obdelav vlaken. V prispevku sta proučena sistema mikro-votlin različno obdelanih polietilentereftalatih PET in polipropilenskih PP vlaken.
		<i>ANG</i> Diffuse SAXS is caused by inhomogeneity in the electron density distribution of a material and is often attributed to the existence of microvoids in polymers. The content, dimensions and relative surfaces of the microvoid system can be determined thereby. The dimensions of the coherently scattering domains and the sizes of the inhomogeneities are related by the form factor. Changes in this factor highlight structural changes in polymer fibers caused by different treatments. In the paper the microvoid system of differently treated PET and PP fibers were studied.
Objavljeno v	Tex. res. j., 2010, vol. 80, no. 15, str. 1569-1580, ilustr., doi: 10.1177/0040517510363190 IF = 1.096	

	QJ - materials science, textiles ; 4/19 ; kvartil: 1 ; x=0.706 ; IFmin: 0.654 ; IFmax: 2.855
Tipologija	Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID	

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>7</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Oblikovanje plasti anorganskih delcev na površinah aktiviranih regeneriranih celuloznih vlaken. <i>ANG</i> Formation of layers of inorganic particles on surfaces of activated regenerated cellulose fibres.
	Opis	<i>SLO</i> Prispevek zajema pripravo nanoprevlek na regeneriranih celuloznih vlaknih, ki izboljšajo obstoječe lastnosti vlaken in jim nudijo nove možnosti uporabe. Viskozna vlakna smo pred nano-modifikacijo pred-obdelali. Pripravili smo dva tipa prevlek iz anorganskih delcev. V prispevku smo pojasnili tudi strukturne spremembe vlaken, ki so nastale s pred-obdelavo vlaken in ki vplivajo na kasnejši postopek oblikovanja nano-delcev na površini in v notranjosti vlaken in s tem na funkcionalnost modificiranih vlaken. <i>ANG</i> The nanocoatings preparation procedure on regenerated cellulose fibres is presented. Viscose fibres, were, prior to any application of particles, pre-treated. Two types of inorganic particles were grown on cellulose surfaces. Structure of modified fibres was thoroughly investigated in order to determine its effect on subsequent growth of particles. Results have shown that the structure of the cellulose materials influences morphology of formed particles' layers and, consequently, their functionality.
Šifra		Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v		10th Austrian Polymer Meeting and 2nd Joint Austrian - Slovenian Polymer Meeting - ASPM 2010 in Leoben, Austria, from September 8th-10th, 2010. ASPM 2010 : book of abstracts. Leoben: Montan Universität: Polymer Competence Center: = PCCL: Materials Cluster Styria, 2010,
Tipologija		Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	<i>SLO</i> Pomočnik glavnega urednika revije Tekstilec <i>ANG</i> Co-editor of Tekstilec periodical
	Opis	<i>SLO</i> Urejanje znanstveno - strokovne revije Tekstilec, ki objavlja znanstvene članke domačih in tujih avtorjev s področja tekstilnih materialov, tekstilne tehnologije in oblikovanja. <i>ANG</i> Editorial work for scientific - professional review Tekstilec, which publishes scientific articles of slovene and foreign authors. The topics are: textile materials, textile technology and design.
Šifra		Uredništvo nacionalne revije
Objavljeno v		Tekstilec. Sfiligoj Smole, Majda (urednik 2007, 2008, 2009). Ljubljana: Društvo inženirjev in tehnikov tekstilcev Ljubljana, 1973-. ISSN 0351-3386.
Tipologija		Druge monografije in druga zaključena dela
COBISS.SI-ID		

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>8</sup>

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

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

*SLO*

Rezultati raziskave predstavljajo znanstveni prispevek na področju modifikacije celuloznih polimerov. Z vključevanjem celuloznih materialov kot naravno obnovljivih surovin sega raziskava na področje trajnostnega razvoja.

Pridobljena so bila nova znanja na področju funkcionalizacije vlaknotvornih polimernih materialov. Razvit je bil postopek modifikacije celuloznih vlaken z namenom izdelave zaščitnih materialov. Modificirane tekstilije služijo kot zaščita pred EMS sevanjem.

Pojasnjene so bile strukturne spremembe vlaken in njihov vpliv na nastanek in oblikovanje nanoprevlek na vlaknih.

ANG

New knowledge in the field of cellulose polymers' modification was obtained. By studying of cellulose materials, which are renewable materials, the research results contribute to the sustainable development.

The research comprehends the procedure of fibres functionalization for obtaining protective textiles. Modified fibers protect against EMS radiation which is an actual problem.

In addition to, structural changes due to the fibres pre-treatment process were explained and their influence on coatings formation was determined.

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

SLO

Rezultati prispevajo k razvoju naprednih tehnologij, ki vključujejo nanomateriale. Razvoj postopkov za izdelavo funkcionalnih tehničnih tekstilij s spremenjenimi površinami na nano nivoju prispeva k uvajanju visokozahtevni tehnologij z višjim deležem znanja (višjo dodano vrednostjo) v slovensko tekstilno industrijo, kar dviguje nivo konkurenčnosti slovenskega gospodarstva.

Ker zajema raziskava Funkcionalizacija vlaken z nanoprevlekami področje nanotehnoških raziskav, ki so eno od prioritarnih nacionalnih in evropskih raziskovalnih področij, zato bodo rezultati pomembno prispevali k obsegu nacionalnih znanj.

ANG

Research results contribute to the development of advanced processes in the field of nanotechnologies. Development of processes for production of functional textiles with modified surfaces by nano coatings contributes to the introduction of high technology products with high added knowledge (high added value products) into the slovene textile industry and thereby to improvement of its competitive position.



## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Eksperimentalna izvedba projekta je potekala v primerno opremljenih laboratorijih Fakultete za strojništvo v Mariboru, na Inštitutu za inženirske materiale in oblikovanje v treh delovnih sklopih po posameznih aktivnostih v skladu z zastavljenimi cilji programa raziskovalnega projekta.

Na osnovi pregleda relevantne znanstvene in strokovne literature ter analize obstoječega stanja na področju odstranjevanja različnih onesnaževal iz odpadne vode smo pripravili nabor možnih kompaktnih vlaknotvornih tekstilij, ki smo jih uporabili kot filtre in/ali nosilne materiale v biološkem postopku čiščenja odpadnih vod. Zaradi delovanja materialov v bioloških sistemih, morajo biti le ti odporni na biološko razgradnjo, mehansko obrabo in različna onesnaževala. Za raziskavo smo izbrali štiri različne tekstilne materiale, dve tkanini iz poliamida in poliestra ter dve netkani tekstiliji izdelani po termičnem postopku iz PP preje (30% Trevos and 70% Danaklon, 2.2 dtex) in dvokomponentne PP/PE preje (Danaklon ES-C, 2.2 dtex). Izbranim tekstilijam smo v prvem delovnem sklopu projekta določili fizikalno-mehanske lastnosti kot so debelina, teža, pretržna trdnost, raztezek pri pretrgu, elastičnost in zračna prepustnost. Za analizo strukture tekstilnih materialov smo uporabili FT-IR metodo, površinsko aktivnost in hidrofilitnost/hidrofilnost vlaken pa smo okarakterizirali z merjenjem elektroforetične mobilnosti (Zeta potencial) in stičnega kota. Ker mora biti za učinkovito prirast biomase na razpolago dovolj velika in strukturirana površina s porami, ki omogoča nemoten pretok odpadne vode skozi sistem, smo materialom izmerili površino por/mm<sup>2</sup>, delež površine por v %, obseg por v mm, ter število por/mm s pomočjo Axiotech 25 HD (+pol) mikroskopa (Zeiss), opremljenega z AxioCam MRc (D) kamero visoke ločljivosti ter KS 300 Re. 3.0 softwar-om. Določali smo tudi sposobnost adsorpcije in filtracije različnih onesnaževal na izbrane tekstilije v odvisnosti od pH, temperature, časa ter vrste in količine onesnaževala. Ugotavljali smo mikrobiološko odpornost s preskusom zakopavanja v zemljo po standardu SIST EN 12225:2001, kakor tudi odpornost proti kislim in alkalnim tekočinam po standardu 14030:2002.

V drugem delovnem sklopu (ki bo po časovni razporeditvi potekal tudi naslednje leto) je sledila izvedba eksperimentalnega dela na laboratorijskih biofiltrih, napolnjenih s kombinacijo peska (oz. zeolitnega tufa) in izbranimi tekstilijami v plasteh glede na različne vhodne parametre (organska obremenitev, količina in sestava odpadne vode) in hidravlične spremenljivke (pretok, zadrževalni čas, čas trajanja posameznega eksperimenta). Za primerjalno študijo smo eno kolono napolnili s peskom (oz. zeolitnim tufom), kot zelo pogosto uporabljenim naravnim nosilcem biomase. Pripravili smo dve, po sestavi različni obarvani odpadni vodi (različna barvila – kislino in reaktivno barvilo, kemikalije in tekstilna pomožna sredstva), ki sta s konstantnim pretokom tekli skozi kolone napolnjene z različnimi materiali. Da bi ugotovili učinkovitost čiščenja odpadnih vod, smo vsak dan (razen sobot, nedelj in praznikov), v odvzetih vzorcih, merili izbrane parametre onesnaženja kot so absorbanca (SAK), pH, TOC, električna prevodnost in oksidacijsko redukcijski potencial. Izvajanje monitoringa oz. metodologija vzorčenja in merjenja parametrov odpadnih vod je potekala po predpisanih standardiziranih metodah usklajenih s slovensko in evropsko zakonodajo /Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition, New York 1992, APHA//Ur.l. RS, 2007//Directive EEC, 1991//. V sistemih s kompaktnimi tekstilijami se obarvanost zniža do 52% (odpadna voda z reaktivnim barvilom) oz. celo do 71% (odpadna voda s kislim barvilom). Prav tako se znižajo TOC vrednosti odvisno od časa trajanja. V kontrolnih kolonah s peskom oz. zeolitom se tako obarvanost kot TOC znižata maksimalno za 30%. Biofilter kaže izrazito puferno sposobnost, medtem ko se količina soli v sistemu ne znižuje, v določenih primerih celo narašča. Največji učinek

čiščenja smo dosegli v sistemu v katerem je bila kombinacija zeolita in netkanih tekstilij. PA in PES tkanini sta manj primerni za biološke sisteme čiščenja, ker sta manj porozni, stopnja adsorpcije in filtracije je nižja ter prirast biomase manjši.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

V našem dosedanjem delu smo izvedli vse aktivnosti ter realizirali zastavljene raziskovalne cilje predvidene v okviru prvega leta projekta (3 mesece v letu 2009, ostalo v letu 2010/2011). Raziskovalno delo smo izvajali glede na organizacijsko shemo projekta. Delo smo pričeli s preučevanjem novejših strokovne in znanstvene literature s področja odstranjevanja različnih onesnaževal iz odpadne vode s poudarkom na vlaknotvornih sintetičnih materialih. Nadaljevali smo z izborom in analizo tekstilij, ki smo jih kasneje uporabili kot filtre in/ali nosilne materiale v bioloških sistemih čiščenja odpadnih vod s pritrjeno biomaso. Uspešno smo uvedli nov postopek/tehnologijo razbarvanja in odstranjevanja organskih onesnaževal iz obarvanih odpadnih vod s specifičnimi nosilci biomase v odvisnosti od različnih vhodnih in hidravličnih spremenljivk.

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

Ni odstopanj od predlaganega in načrtovanega programa.

#### 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>6</sup>

		Znanstveni rezultat	
1.	Naslov	SLO	Kompaktne tekstilije za čiščenje odpadnih vod
		ANG	Compact textiles for wastewater treatment
	Opis	SLO	V referatu smo predstavili osnove o tekstilijah za čiščenje odpadnih vod, to je vrsto in lastnosti vlaknotvornih polimerov za obdelavo različnih odpadnih vod. Izbor primerne materiala je odvisen od vrste faktorjev kot so odpornost na mikrobiološko razgradnjo, ustrezne mehanske lastnosti, površinske lastnosti, cena materiala in vrste odpadne vode. V nadaljevanju smo predstavili biofiltre napolnjene s tekstilijami kot tudi mehanizme odstranjevanja onesnaževal v takšnih sistemih ter rast biofilma na tekstilijah.
		ANG	In the paper the fundamentals on textiles for treatment of various wastewaters were described, i.e. the types and the properties of fibre-forming polymers for treatment of various wastewaters. The selection of appropriate material depends on many factors including resistance to microbial degradation, mechanical strength, surface characteristics, the cost of the material, and the type of wastewater. Additionally, biofilters using textiles as packing material were presented as well as the removal mechanisms in such systems and biofilm growth in textiles.
	Objavljeno v	6th Central European Conference 2010, 13 - 14. September, 2010, Bratislava, Slovak Republic. Fibre-grade polymers, chemical fibres and special textiles : [proceedings]. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Chemical and Food Technology, Department of Fibres and Textile Chemistry, 2010, [4] str.	
	Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Razbarvanje sintetičnih tekstilnih odpadnih vod v sistemu s pritrjeno biomaso
		ANG	Decolorization of simulated textile wastewaters in fixed-bed treatment system



Opis	SLO	V referatu smo predstavili biofilter napolnjen z zeolitnim tufom, ki z optimalnimi fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi pogoji posnema samočistilno sposobnost naravnih vodnih ekosistemov. S sistemom smo uspešno znižali izbrane parametre onesnaževanja treh, po sestavi različnih sintetično pripravljenih tekstilnih odpadnih vod, pod mejne vrednosti, v skladu s slovensko in evropsko zakonodajo; obarvanost se zniža do 80%, TOC do 75% pH pa iz 9,6 na 7,5, odvisno od kemijske strukture barvila, organske obremenitve, zadrževalnega časa, pretoka, časa trajanja preskusa, itd.
	ANG	The experiment demonstrated a biofilter packed with zeolitic tuff, which imitating the self-cleaning ability of natural wetland ecosystems by establishing optimal physical, chemical and biological conditions. The system appreciably reduced selected pollution parameters in three different, synthetically-prepared textile wastewaters in accordance with Slovenian and EU legislation; colour by up to 80%, TOC by up to 75%, and decreased the pH from 9.6 to 7.5, depending on dye' chemical structure, organic load, retention time, trial duration, flow velocity, etc.
Objavljeno v	DRAGČEVIČ, Zvonko (ur.). 5th International Textile, Clothing & Design Conference [also] ITC&DC, October 3rd to October 6th, 2010, Dubrovnik, Croatia. Magic world of textiles : book of proceedings. Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2010, str. 938-943, ilustr.	
Tipologija	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID		

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>7</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Izboljšanje okoljskih kazalcev z uporabo biotehnologije pri plemenitjenju tekstilij
		ANG	Improving the environmental indicators using biotechnologies in textile processing
Opis	SLO	Razvoj čistejših tehnologij za plemenitjenje z vključevanjem encimov kot biokatalizatorjev namesto kemikalij lahko občutno zmanjša obremenjenost okolja, ki ga povzroča tekstilna industrija. Kot rezultat predlaganega skupnega raziskovalnega projekta smo pridobili poglobljeno teoretično in tehnološko znanje o določenih biotehnoških obdelavah naravnih vlaken na osnovi izvedbe laboratorijskih preskusov, ki simulirajo procese v industriji. Optimizirali smo biotehnoške postopke predobdelave, barvanja in apretiranja z vidika tehnologije, ekologije in kvalitete.	
	ANG	Development of cleaner pre-treatment, dyeing and finishing technologies by using enzymes as catalysts instead of harsh chemicals could effectively decrease the environmental pollution caused by textile industry. As a result of this co-operative research project, fundamental and technological knowledge of some biotechnology treatment for natural fibres was explained by laboratory simulated industrial processes. Bio-pretreatment, dyeing and finishing processes using chemically differ dyes was optimised from technological, quality and ecological point of view.	
Šifra	Zaključno poročilo o tujem/mednarodnem projektu		
Objavljeno v	FAKIN, Darinka, POPESCU, Alina, OJSTRŠEK, Alenka, DOLIŠKA, Aleš. Romania-Slovenia cooperation in science and technology, 2008-2009, project report. Maribor: Fakulteta za strojništvo; Bucharest: The Research-Development National Institute for Textile and Leather, 2010. [7] f.		
Tipologija	Končno poročilo o rezultatih raziskav		
COBISS.SI-ID			
2.	Naslov	SLO	Ponovna uporaba različno obdelanih odpadnih vod v procesih barvanja : poročilo za projekt AquaFit4Use
		ANG	Re-use of differentially treated wastewaters in dyeing processes: report for project AquaFit4Use
Opis	SLO	Z raziskavo smo želeli ugotoviti ali je tekstilna odpadna voda po procesu čiščenja in razbarvanja z naprednimi oksidacijskimi postopki in membransko tehnologijo dovolj kvalitetna za ponovno uporabo v procesu plemenitjenja ter kako obdelane odpadne vode vplivajo na barvo in globino izbarvanja pri ponovnem barvanju.	
			With this research we want to determine the quality of dye-rich textile

	ANG	wastewaters after treatment and decoloration with advance oxidation processes and membrane technology for re-use in finishing processes as well as the influence of treated wastewaters on colour and colour strength after repeated dyeing.
Šifra		Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
Objavljeno v		FAKIN, Darinka, OJSTRŠEK, Alenka, BOŽIČ, Mojca. FAKIN, Darinka, OJSTRŠEK, Alenka, BOŽIČ, Mojca. Ponovna uporaba različno obdelanih odpadnih vod v procesih barvanja : poročilo za projekt AquaFit4Use. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za barvanje, barvno metriko in ekologijo plemenitenja, 2011. 10 f., graf. prikazi.
Tipologija		Elaborat, predštudija, študija
COBISS.SI-ID		

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>8</sup>

Sodelovala sem tudi pri mednarodnem projektu: Lifelong Learning Program - Leonardo da Vinci - Innovation Transfer in Textiles, ki predstavlja izobraževalni program za e-učenje na področju tekstila.

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

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

SLO

Z novimi dognanji o fizikalno-mehanskih lastnostih kompaktnih vlaknotvornih polimernih materialov, kot specifičnih nosilcih biomase v sistemih biološkega čiščenja, njihovi prepustnosti po daljšem času delovanja sistema, odpornosti na biološko razgradnjo, mehansko obrabo in različna onesnaževala smo prispevali k obogatitvi temeljnega znanja o poteku procesov v mikroekosistemu posameznega vlaknotvornega materiala in reakcijah v različnih sistemih kakor tudi uporabnega znanja na področju čiščenja odpadnih vod (razvoj novih biotehnoloških procesov/tehnologij za odstranjevanja različnih onesnaževal iz, po sestavi različnih, odpadnih vod).

Rezultate o uporabnosti razvitih polimernih materialov za čiščenje odpadnih vod, ki smo jih pridobili tekom projekta, bomo kemometrijsko ovrednotili z osnovnimi statističnimi metodami in izbranimi tehnikami multivariantnih analiz kot so metoda glavnih osi in linearna diskriminantna analiza, s čimer bomo prikazali vpliv posamezne spremenljivke (vrsta in lastnosti vlaknotvornih polimernih materialov, sestava odpadne vode, hidravlične spremenljivke, konstrukcija biofiltra, itd.) na učinek čiščenja, kakor tudi originalnost pristopa pri obdelavi podatkov. Rezultate tega projekta smo/bomo objavili v svetovno odmevnih revijah in na mednarodnih konferencah, ter na tak način izmenjali izkušnje in ideje, kar bo povečalo možnosti za sodelovanje s tujimi strokovnjaki na področju varstva okolja. S tem se bo povečala tudi možnost vključevanja v različne bilateralne projekte in raziskovalne projekte EU. Razen tega bo prenos znanja, ki ga bomo pridobili v sklopu projekta, potekal na različnih nivojih (promocija, informiranje, sodelovanje, povečanje zavedanja) in bo namenjen različnim skupinam, npr.: znanstveni skupnosti, potencialnim industrijskim uporabnikom, piscem zakonov, zainteresiranim porabnikom, itd.

ANG

With new findings on physical-mechanical properties of compact fibre-forming materials as specific biomass supports in biological treatment systems, their permeability after long-term system operation, resistance on biological degradation, mechanical usage and different pollutants will contribute to a better fundamental knowledge of processes in the micro ecosystems of individual fibre-forming material and reactions that occur in various systems as well as to applicable knowledge on the field of wastewaters treatment (faster development of biotechnological processes/technologies for numerous pollutants removal from differentially composed wastewaters).

Results about applicability of developed polymer materials for wastewater treatment obtained during the project will be chemometrically evaluated by basic statistic methods and chosen techniques of multivariant analyses such as method of principal component analysis (PCA), and linear discriminant analysis with the intention to establish the impact of individual variable (type and characteristics of fibre-forming polymeric materials, wastewater composition, hydraulic parameters, biofilter construction, etc.) on treatment efficiency as well as originality of data handling. The results of this project were/will be published in international reviews and

at conferences world-wide sharing the experiences and ideas, and also provide the possibility for collaboration with foreign experts on the field of environmental protection. Therefore, the possibility for submitting research proposals for bilateral programmes and EU funding programmes will be enhanced. Moreover, the dissemination of the project results will be focused on different objectives (to raise awareness, to inform, to engage, to promote) and on different target groups, e.g. the scientific community, potential industrial users, regulatory authorities, interested consumers and general society.

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

SLO

Raziskave na področju razvoja kompaktnih vlaknotvornih polimernih materialov predstavljajo pomemben potencial za razvoj novih materialov, ki bodo delovali kot filtri in/ali specifični nosilci za različne vrste mikroorganizmov v bioloških sistemih s pritrjeno biomaso. Pomemben del projekta predstavlja tudi razvoj poceni, enostavnega in okolju prijaznega dolgoročnega biološkega postopka, za odstranjevanje različnih onesnaževal, ki so najpogosteje vzrok za onesnaženje tal/voda v Sloveniji in ki bo zagotavljal učinkovito zmanjšanje parametrov onesnaženja glede na vrsto med seboj neodvisnih spremenljivk (sestava odpadne vode, vrsta in lastnosti vlaknotvornih polimerov, hidrološke spremenljivke, itd.), kar je v skladu s ključnimi okoljskimi cilji in z razvojnimi prioritetami države, opredeljenimi v Strategiji razvoja Slovenije. Na osnovi pridobljenega teoretičnega znanja in eksperimentalnih rezultatov raziskovalnega dela bo mogoča komercializacija in tržna uporaba znanja pri neposrednem prenosu v industrijsko prakso in pri svetovanju o izbiri najustreznejših vlaknotvornih materialov v odvisnosti od sestave in količine odpadne vode. Prav tako vidimo potencialno uporabnost izbranih kompaktnih vlaknotvornih polimerov na področju vključevanja v obstoječe sisteme ter za izgradnjo prepustnih vodnih pregrad za zaščito podtalnic, vodnih zajetij in ostalih ekološko občutljivih vodnih ekosistemov pred dotokom onesnaženih voda. Vse te aktivnosti lahko v veliki meri prispevajo k varovanju okolja in zdravja ter posledično k dvigu kvalitete življenja.

ANG

Researches on the field of development of compact fibre-forming materials represent an important potential for development of new materials, which will operate as filters and/or specific biomass supports for various microorganisms in fixed-bed biological systems. The important benefit of the proposed project will be the permanent development of inexpensive, easily operated, and environmentally-friendly, long-term operating biological procedure for reduction of diverse pollutants, which are most frequently the source for soil and water pollution in Slovenia, and thus, assuring the efficacious reduction of pollution parameters regarding mutually-independent variables (wastewaters composition, type and properties of fibre-forming polymers, hydrological parameters, etc.), which is in accordance with the fundamental environmental goals, and with the priority of development, determined within the Slovenian development strategy (Strategija razvoja Slovenije). On the basis of the theoretical proficiency and experimental results of the research work, the commercialization and market potential of the obtained knowledge will be feasible due to the direct transfer of bioremediation during industrial usage. Moreover, we could advise in the selection of appropriate fibre-forming materials, depending on the composition and amount of wastewater, respectively. We could also find a potential applicability of selected compact fiber-forming polymers on the field of incorporation in existing systems, and for construction of permeable water barriers for protection of underground water, water stem and others ecological sensitive water ecosystems prior to the influent of hazardous waters. Listed activities could contribute, in large extend, to environmental and health protection and consecutively, raising the quality of life.

# LETNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA V LETU 2010

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L4-3641	
Naslov projekta	Biotehnološki procesi obdelave lignoceluloznih materialov	
Vodja projekta	5248 Franc Pohleven	
Tip projekta	L Aplikativni projekt	
Obseg raziskovalnih ur	skupaj: 7.560 od tega v letu 2010: 1.680	
Cenovni razred	D	
Trajanje projekta	05.2010 - 04.2013	
Nosilna raziskovalna organizacija	481 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta	
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106	Institut "Jožef Stefan"
	795	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
	2316	Javni zavod Republike Slovenije za varstvo kulturne dediščine
	2849	INSTITUT ZA LESARSTVO IN TRAJNOSTNI RAZVOJ, raziskovanje, razvoj, svetovanje in izobraževanje d.o.o.
Družbeno-ekonomski cilj	13.02 Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)	

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

Šifra	13.02
Naziv	Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

#### 2. Sofinancerji<sup>2</sup>

1. Naziv	RIKO-HIŠE d.o.o.,
----------	-------------------

	Naslov	Bizjanova 2, 1000 Ljubljana
2.	Naziv	KOLPA d.d.
	Naslov	Rosalnice 5, 8330 Metlika
3.	Naziv	GOZD LJUBLJANA d.d.
	Naslov	Tržaška cesta 2, 1000 Ljubljana

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Za lažjo opredelitev dostopnosti in reaktivnost lignina v morfološko kompleksni strukturi izbranih lignoceluloznih vlaken (sisal, juta in kokos) z različno vsebnostjo (9%, 12% in 43%) in strukturo (HGS-, GS- in G-lignin) lignina, smo: i) vlakna pred njihovo analizo različno predobdelali, t.j. oprali pri 50°C za 60 min ob in brez prisotnosti neionske PAS, s čimer smo odstranili površinsko vezane nečistoče in primesi; ii) vlakna obdelali z izbranimi (nekoliko modificiranimi) klasičnimi postopki obdelave, t.j. kislno obdelavo za odstranitev voskov in nečistoč, alkalno vročo obdelavo za odstranitev pektinov in encimsko obdelavo s celulazami za odstranitev celulozne komponente.

Tako pripravljenim vlaknom smo uspešno opredelili molekularno strukturo lignina s spektroskopijo FTIR, ki je pokazala na vsebnost specifičnih absorpcijskih vrhov, tipičnih za vibracijska stanja siringilnih (S) in gvajacilnih (G) oz. *p*-hidroksifenilnih (H) enot lignina, odvisno od vrste vlakna. Prav tako smo z Ramansko mikroskopijo uspešno okarakterizirali ligninske dele molekul v vlaknih jute in sisala (v neobdelanih in delno obdelanih vlaknih), medtem ko je obdelava s celulazami povzročila spremembo kemijskega okolja lignina v tolikšni meri, da je bila identifikacija lignina onemogočena zaradi močne fluorescence. Pri vlaknih kokosa pa smo pri neobdelanih vlaknih določili lahko le prisotnost aromatskih obročev lignina.

Prisotnost lignina v lesu smo potrdili z valenčnim nihanjem aromatskih obročev (FTIR). S primerjavo absorpcijskih trakov v spektrih nihanja spektroskopije smo določili razliko med iglavci in listavci. Primerjali smo prisotnost in intenziteto trakov, ki predstavljajo nihanje v gvajacilnih in siringilnih enotah lignina. Z Ramansko mikroskopijo smo okarakterizirali vibracijske trakove listavcev in iglavcev in sicer za ligninski in celulozni del molekul na radialni

in tangencialni površini lesa. Ugotovili smo, da lahko razlikujemo med ligninskimi podenotami, ki so prisotne v obeh tipih lesa. V teh podenotah smo ugotovili prisotnost funkcionalnih skupin (aril-OH, aril-O-Me, alifatskih OH), ki so pomembne za nadaljnje raziskave z lakazo katalizirane vezave izbranih fenolnih substratov na funkcionalne skupine lignina.

V nadaljevanju skušamo s potenciometrično titracijo kvalitativno in kvantitativno opredeliti fenolne hidroksilne in karboksilne skupine na površini pripravljenih izbranih substratov, njihov položaj ter njihovo reaktivnost v odvisnosti od vrednosti pH medija. Rezultate bomo primerjali z elementarno analizo XPS v globini nekaj nm. Za lažjo interpretacijo rezultatov smo kot referenco uporabili tudi komercialno dostopne sintetične lignine.

Vzporedno smo z različnimi analznimi metodami na izbranih fenolnih substratih in lignoceluloznih vlaknih spremljali oksidacijsko sposobnost komercialno dostopne kisle lakaze. Z UV-Vis in ciklično voltometrijo smo tako ovrednotili kinetiko encimske oksidacije in polimerizacije fenolnih monomerov ter potrdili polimerizacijo in depolimerizacijo sintetičnih ligninov v odvisnosti od stranskih končnih skupin in vrednosti pH medija, z elektronsko paramagnetno resonanco (EPR) pa spremljali nastanek različnih stabilnih in kratkoživih kisikovih radikalov. Fenoksi radikala nismo identificirali direktno, pač pa smo identificirali radikal na substratu (primer na kafeični kislini), ki je prisoten najverjetneje v aktivnem mestu lakaze. Z uporabo DMPO kot spinskega lovilca prostih radikalov smo identificirali tudi nastanek kratkoživih radikalov tako zaradi direktnega delovanja lakaze kot tudi kot posledico sekundarnih radikalskih reakcij. Ker pa se je koncentracija spinskih aduktov zniževala s časom, kar pomeni, da so adukti (na DMPO ujeti kratkoživi radikali) razpadali ali bili reducirani oz. oksidirani, smo kinetiko pretvorbe radikalov merili tudi s stabilnimi radikali nitroksidi – ti so namreč lahko tudi mediatorji delovanja lakaz. Prav tako smo ovrednotili kinetiko porabe kisika zaradi delovanja lakaze ob prisotnosti lignoceluloznih substratov, ki se je spreminjala v odvisnosti od vrste uporabljenega vlakna. Analize nam bodo služile za opredelitev kinetike in uspešnosti vezave fenolov na površno lignoceluloznega substrata, predvsem pa morebitne istočasne razgradnje lignina.

Z optičnim mikroskopom smo na prečnem prerezu vlaken opredelili tudi porazdelitev

lignina v vlaknu ter zasledovali njegovo dostopnost po različni predobdelavi. Z diferencialnim barvanjem vseh treh površin (radialni, tangencialni in aksialni) lesnih vzorcev smreke in bukve, smo dokazali veliko prisotnost lignina. Z optičnim mikroskopom smo potrdili porazdelitev lignina v celičnih stenah in tako ugotovili, da je v lesu dovolj substrata za vezavo izbranih fenolnih monomerov.

Z molekularnimi metodami smo preiskovali zbirko izolatov *Bacillus subtilis*, ki je na voljo pri partnerju BF. S pomočjo verjetnostnih modelov genov za lakaze (ang. *Profile Hidden-Markov models*) smo v genomih petih sevov *B. subtilis*, ki so sedaj v fazi sekvenciranja, našli zelene gene ter jih uporabili za pripravo novih začetnih oligonukleotidov za pomnoževanje kratkih fragmentov ali celotnih genov. To je omogočilo nadaljnji razvoj metod, ki temeljijo na verižni reakciji s polimerazo. Kot prvi smo tako priredili gelsko elektroforezo v gradientu denaturanta (ang. *Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*, DGGE) za raziskovanje genov za lakaze v bakterijah rodu *Bacillus* in s to metodo pokazali, da je raznolikost genov tudi med ozko sorodnimi vrstami velika. Na podlagi GC vsebnosti smo tako identificirali 4 skupine genov; trenutno izvajamo kloniranje in sekvenciranje reprezentativnih genov iz vsake skupine, da bi lahko preučili razlike na nivoju dejanskih DNA zaporedij. Tako bomo identificirali lakaze, ki bodo imele potencialno drugačne encimske lastnosti od že opisanih bakterijskih lakaz. Razvili smo tudi nove oligonukleotidne začetnike za detekcijo genov bakterijskih lakaz v kompleksnih okoljih in preučili diverziteto teh encimov v šotnih tleh.

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

V skladu z zastavljenimi raziskovalnimi načrti lahko za prvo leto trajanja projekta ugotovimo, da smo:

- s spektroskopijo FTIR uspešno ovrednotili ligninske monomere v kompleksni lignocelulozni strukturi vlaken;
- z Ramansko mikroskopijo smo uspešno okarakterizirali ligninske dele molekul v vlaknih;
- prisotnost lignina v lesu potrdili z valenčnim nihanjem aromatskih obročev (FTIR)

- z Ramansko mikroskopijo okarakterizirali vibracijske trakove listavcev in iglavcev in ugotovili, da lahko razlikujemo med ligninskimi podenotami, ki so prisotne v obeh tipih lesa;
- z UV-Vis spektrofotometrijo in ciklično voltometrijo uspešno spremljali kinetike oksidacije in polimerizacije/depolimerizacije kemično različnih fenolnih monomerov in sintetičnih ligninskih substratov;
- z EPR in spinskim lovljenjem ter spremljanjem porabe kisika med delovanjem lakaze uspešno spremljali kinetike nastajanja dolgoživih in kratkoživih radikalov;
- z optičnim mikroskopom smo potrdili porazdelitev lignina v celičnih stenah in ugotovili, da je v lesu dovolj substrata za vezavo izbranih fenolnih monomerov.
- uspešno smo selekcionirali bakterijske izvore iz naravnega okolja z želeno lakazno aktivnostjo.

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

Decembra 2010 je pri naročniku sofinancerju TOM tovarna opreme d.d. prišlo do uvedbe stečajnega postopka ter s tem do razveljavitve **Pogodbe št. 280-2010-8 o sofinanciranju in sodelovanju pri izvajanju projekta »Biotehnološki procesi obdelave lignoceluloznih materialov«** z dne 30. 04. 2010. Za nemoteno nadaljevanje projekta smo se dogovorili, da delež financiranja projekta, ki ga je nosil TOM tovarna opreme d.d., prevzame ILTRA d.o.o..

OPOMBA: Zaradi pomanjkanja rubrik pri točki 2. Sofinancerji vam celoten seznam sofinancerjev podajamo v priponki.

#### 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>6</sup>

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Dvo in tro domenske lakaze so prisotne v osuševanih šotnih tleh
		<i>ANG</i> Two- and three-domain bacterial laccase-like genes are present in drained peat soils
	Opis	<i>SLO</i> To je pionirsko delo objavljeno v najboljši reviji (1/31 na področju pedologije) o diverziteti bakterijskih lakaz v tleh v katerem smo pokazali, da so bakterijske lakaze široko razširjene in bi lahko bile pomembnejše kot glivne lakaze za razgradno fenolnih spojin. Dizajnirali smo tudi nov par oligonukleotidnih začetnikov s katerim smo prvi na svetu uspeli pomnožiti gene za tro kot tudi dvo domenske lakaze iz tal. To kaže, da je naš pristop uporaben za preučevanje bakterijskih lakaz v okolju kot tudi v bakterijskih sevih.
		<i>ANG</i> This is a pioneering work published in the top journal (1/31 in soil science= on diversity of bacterial laccases in soil which demonstrates that laccases are



		widespread in bacteria and may be more important than fungal laccases. A new primer was constructed to retrieve larger fragments of the putative bacterial laccase genes and both "conventional" 3-domain laccases and the recently described 2-domain small laccases were obtained, demonstrating the potential of the primer for discovering laccase-like sequences in bacterial strains and in environmental samples.
Objavljeno v		AUSEC, Luka, ELSAS, Jan D., MANDIĆ-MULEC, Ines. Soil biol. biochem.. [Printed.], 2011, vol. 43, issue 5, str. 975-983, doi: 10.1016/j.soilbio.2011.01.013.
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		3874680
2. Naslov	SLO	Glivne lakaze : encimi neverjetnih sposobnosti
	ANG	Fungal laccases : enzymes of incredible abilities
Opis	SLO	Lakaze so zunajcelični encimi, ki spadajo med bakrove oksidaze. Pri lesnih glivah so lakaze sestavni del ligninolitičnega encimskega sistema, ki glivam omogoča razkroj lignina. Lakaze katalizirajo enoelektronske oksidacije številnih organskih substratov, obenem pa poteče redukcija molekularnega kisika do vode. Pri reakciji nastanejo kationski prosti radikali. Zaradi nespecifične oksidacijske sposobnosti so lakaze uporabne za številne biotehnoške procese, sistem lakaze in mediatorjev pa možnosti njihove uporabe še dodatno povečuje.
	ANG	Laccases are extracellular enzymes, belonging to copper-containing oxidases. Fungal laccases are part of the ligninolytic system, which enables fungi the degradation of lignin. Laccases catalyze monoelectronic oxidation of various organic substrates, which occurs concomitantly with the reduction of molecular oxygen to water. The reaction generates cation free radicals. Because of their high nonspecific oxidative capacity, laccases are useful for a wide range of biotechnological applications, which may be broadened with the use of laccase-mediator system.
Objavljeno v		ULČNIK, Ajda, VAUKNER, Maja, TAVZES, Črtomir, POHLEVEN, Franc. Les (Ljublj.), 2011, let. 63, št. 3, str. 49-54.
Tipologija		1.02 Pregledni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		1891209

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>2</sup>

	Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat	
1. Naslov	SLO	Lovljenje reaktivnih kisikovih vrst v lignoceluloznih vlaknih
	ANG	Trapping reactive oxygen species in lignocellulose fibers
Opis	SLO	V prispevku smo pokazali različno kinetiko nastajanja prostih oksidnih radikalov med lakazno-katalizirano oksidacijo lignoceluloznih vlaken (sisal in kokos) z različno vsebnostjo kemično različnega lignina. Kinetiko nastajanje dolgoživih radikalov smo ovrednotili direktno z EPR, medtem ko smo kinetiko kratkoživih radikalov določili s spinsko EPR metodo, kjer smo uporabili DMP tako za lovljenje kot tudi identifikacijo vrste in količine radikalov, ki so nastali zaradi delovanja lakaze ali kot posledica sekundarnih radikalskih reakcij.
	ANG	We demonstrated different kinetics of free oxygen radical production during laccase-catalyzed oxidation of lignocelulose fibers (sisal, coconut) containing different chemical composition of lignin. EPR technique was used to directly detect kinetics of long - living free radical formation; in addition the spin trapping method

		was used for detection of short-living radical kinetics. DMP was used for trapping and identification of radical species and their quantities formed during laccase activity and other secondary radical reactions.
	Šifra	B.06 Drugo
	Objavljeno v	KRAJNC, Helena, KURE, Sandra, ŠTRANCAR, Janez, KOKOL, Vanja. A joint Conference of 14th In Vivo EPR Spectroscopy and Imaging & the 11th International EPR Spin Trapping/Spin Labeling, San Juan, Puerto Rico, May 2-6, 2010. EPR 2010 San Juan : abstracts : a joint Conference of 11th in Vivo EPR Spectroscopy and Imaging & 8th International EPR Spin Trapping, Columbus, Ohio, September, 4-8. [S.l.: s. n.], 2010, 1 str. (P-30)
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
	COBISS.SI-ID	14101526
2.	Naslov	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Opis	<i>SLO</i>
		<i>ANG</i>
	Šifra	
	Objavljeno v	
	Tipologija	
	COBISS.SI-ID	

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>8</sup>

Razvoj novih tehnologij, materialov in izdelkov, katerega osnova bodo rezultati tega projekta, vključujemo v raziskovalni projekt v okviru ciljnega raziskovalnega programa (CRP) »Možnosti za prestrukturiranje slovenske lesne industrije«. V projektu, v katerem sodelujejo Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Gozdarski inštitut Slovenije, ZAVOD LESARSKI GROZD in INŠTITUT ZA LESARSTVO IN TRAJNOSTNI RAZVOJ, raziskovanje, razvoj, svetovanje in izobraževanje d.o.o., so rezultati projekta »Biotehnoški procesi obdelave lignoceluloznih materialov« predstavljani kot ena od možnih smeri prestrukturiranja slovenske lesne industrije.

Development of new technologies, materials, and products as results of this project, are incorporated into the research project in the frame of targeted research programs (CRP) »Possibilities for restructuring of slovenian wood industry«. In this project, carried out by University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Slovenian Forestry Institute, Wood Industry Cluster, and Institute of Wood Science and Technology, and Sustainable Development, the results of the project "Biotechnological processing of lignocellulosic materials" are presented as one of possible avenues for restructuring of Slovene wood industry.

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

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

*SLO*

Razvoj in optimizacija instrumentalnih metod, ki smo ju uresničili v prvem letu dela na projektu »L4-3641 – Biotehnoški procesi obdelave lignoceluloznih materialov« pri optimizaciji postopkov za

določevanje strukturnih lastnosti lignoceluloznih materialov ter optimizaciji postopkov encimatske aktivacije in polimerizacije izbranih fenolnih monomerov je prinesel nova spoznanja na področju instrumentalne metodologije in zelo povečal možnost uporabe večih analitičnih metod (elektronska paramagnetna resonanca z lovilci spinov (EPR ST), Ramanska in FTIR mikrospektroskopija) pri raziskavah lignoceluloznih materialov. Tako smo razvili sistem naprednih analitskih orodij za molekularno karakterizacijo strukture lignoceluloznih površin ter aktivacije fenolnih monomerov in njihove polimerizacije (premreženja) z lakazo, ki bo omogočal vrhunske raziskave na področju znanosti in tehnologije lignoceluloznih materialov.

V prvem letu izvedbe projekta smo razširili poznavanje kemijske in morfološke sestave lignina na površini lignoceluloznih materialov (lignocelulozna vlakna in les), ki je bila do sedaj le slabo raziskana. Še manj je bilo znanega o vplivih na učinkovitost aktivacije fenolnih monomerov z lakazo. V projektu smo premostili to vrzel v znanju, kar bo omogočilo optimizacijo encimske funkcionalizacije lignoceluloznih materialov. Izvirni izsledki raziskav v prvem letu izvedbe projekta bodo zato pomembno pripomogli k razvoju znanosti oziroma nekaterih strok (lesarstvo, tekstilna in tehnična vlakna, polimerna kemija, biofizika polimerov, biotehnologija).

Nekatera nova spoznanja o sestavi materialov in procesih aktivacije monomernih fenolnih spojin, ter o relevantnem napredku pri razvoju analiznih metod smo objavili v referatih na mednarodnih znanstvenih konferencah. Za slovensko javnost, ki nima dostopa do tujih revij, ter za razvoj slovenskega znanstvenega jezika smo pregledni članek predstavili tudi v slovenski znanstveni in strokovni reviji. S tem smo v okviru sofinanciranega projekta tvorno prispevali k razpravi in izmenjavi mnenj v znanstveni skupnosti, kar je prvi pogoj za uspešen razvoj znanosti.

ANG

The development and/or optimisation of the instrumental methods that was carried out in the first year of the implementation of the project "L4-3641 – Biotechnological processing of lignocellulosic materials" on the optimisation of characterization procedures for lignocellulosic materials structure determination, and optimisation of procedures to characterise the enzymatic activation and polymerization of phenolic monomers, brought about new findings in the field of instrumental methodology and significantly enhanced the ability to use several analytical methods (electron paramagnetic resonance spin trapping (EPR ST), FTIR and Raman spectroscopy) in science of lignocellulosic materials. Therefore, a system of advanced analytical tools for molecular characterization of lignocellulose surface structure, lignin and phenolic monomers activation, modification and polymerization using laccase was developed, raising the possibility to perform research in the field of lignocellulose materials science and technology at the highest level.

In the first year of the realisation of the project, the understanding of chemical and morphological lignin structure on the surface of lignocellulosic materials (e.g. lignocellulosic fibres and wood), was expanded. There was even less understanding on the efficiency of lignin and phenolic monomers activation (oxidation) by laccase(s). The work on the project bridged this knowledge gap, allowing for the optimisation of the enzymatic lignocellulosic materials functionalisation. Therefore, the original findings of the proposed research within the first year of the project's realisation will considerably contribute to the development of science and/or several scientific fields (wood science, fibre science, chemistry of polymers, biophysics of polymers, and biotechnology).

Several new discoveries on materials composition, the processes of activation of monomer phenolic compounds, and relevant advance in the development of analytical methods were presented on international scientific and professional conferences. In order to reach parts of Slovene audience that does not have the access to this literature, and to develop Slovene scientific language, a review article was featured in national scientific and professional journal. With that, the discussion and exchange of ideas within the scientific community, an unavoidable pre-condition for successful development of science, was fruitfully enhanced by the research conducted in the frame of the co-financed project.

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

SLO

Z uspešnim delom v prvem letu tega projekta smo pripravili osnovo za pripravo odlične podlage za razvoj nove, okolju prijazne tehnologije za izdelavo novih materialov z bistveno višjo dodano vrednostjo. Ta bo sofinancerjem tega projekta – industrijskim partnerjem (TOM TOVARNA OPREME d.d., SVEA LESNA INDUSTRIJA d.d., GOZD LJUBLJANA d.d., LESNA TIP Otiški Vrh d.d., Javor Pivka

d.d., Brest-pohišstvo d.o.o., Kolpa d.d., Metlika, Riko – Hiše, d.o.o.) omogočil prednost pred konkurenčnimi podjetji celotne lesnopredelovalne proizvodne verige. V ostalih podjetjih lesnopredelovalnega in pohištvenega sektorja bo to vzbudilo spoznanje, da je navezava na biotehnologijo in njen napredek za njih najbolj naravna pot do ustvarjanja novih materialov z višjo dodano vrednostjo, kar bo imelo zares velik pomen za celotno panogo. Kot okoljsko primerni in visokokvalitetni izdelki bodo encimsko funkcionalizirani lignocelulozni materiali s svojimi izboljšanimi lastnostmi zanimivi tudi kot vzorčni primer za promocijo komercializacije obnovljivih in za pridobivanje ter predelavo energetske nezahtevnih virov. Rezultati predlaganega projekta bodo tako pripomogli tudi k ohranjanju okolja in naravne dediščine Slovenije.

Povečevanje konkurenčne prednosti partnerskih podjetij bo povečalo potencial za ohranitev delovnih mest in uvajanje novih tehnologij. Uspešna izvedba projekta bo omogočila proizvodnjo novih izdelkov z visoko dodano vrednostjo in posledično pripomogla k odpiranju novih delovnih mest. Tako bodo rezultati projekta pripomogli k socialni kohezivnosti, ker pa je pridelava in predelava lesa in lesnih izdelkov izrazito regionalna dejavnost, tudi k enakomernemu regionalnemu razvoju.

Delo na projektu je potekalo v skladu s tematskimi prioritetami Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo ter raziskovalnimi področji Strateškega raziskovalnega programa (SRA) evropske "Forestry based technology platform" (FTP) in Slovenske gozdno-lesne tehnološke platforme (SGLTP) Tematika izvedenih raziskav se zato vklaplja v strategije razvoja na nacionalni in mednarodni ravni, delo in rezultati projekta pa so pripomogli h krepitvi slovenskega in evropskega raziskovalnega področja (ERA).

Razvoj in razširjanje namena analitskih metod ter pridobivanje znanja s področja izdelave, karakterizacije in obdelave biotehnološko funkcionaliziranih lignoceluloznih površin v prvem letu izvajanja projekta, pomeni ohranjanje stika s svetovno znanstveno srenjo, tako na področju lesarstva, kot tudi na področjih, kjer delujejo drugi raziskovalci projektne skupine. Predstavitev rezultatov, tudi v sprotne vključevanju v pedagoške procese na področju lesarstva in tekstilnih materialov (vključitev snovi v predavanja in vaje, vključevanje diplomantov, ki so pričeli izvajati raziskave s področja programa projekta), je imela pomemben prispevek k prizadevanju k transformaciji in dojetanju lesarstva in tekstilstva iz panog, za kateri je značilna uporaba manj zahtevnih tehnologij k visokotehnološko usmerjeni dejavnosti, ki prinaša visoko dodano vrednost. Z vključevanjem več doktorandov (tudi mladih raziskovalcev) v delo projektne skupine smo pripomogli k njihovem razvoju v vrhunske znanstvenike in strokovnjake na področju lesarstva v svetovnem merilu.

ANG

A successful effort within the first year of this project provided the basis for the preparation of an excellent foundation for the development of a new, environmentally sound technology for the production of new materials with a significantly higher added value. That will give the industrial partners – beneficiaries (TOM TOVARNA OPREME d.d., SVEA LESNA INDUSTRIJA d.d., GOZD LJUBLJANA d.d., LESNA TIP Otiški Vrh d.d., Javor Pivka d.d., Brest-pohišstvo d.o.o., Kolpa d.d., Metlika, Riko – Hiše, d.o.o.) a competitive edge over the competition in wood processing and furniture sector, and the whole forest products-based production chain. That will bring about the revelation within the wood processing and furniture sector that establishing a strong and vibrant connection to biotechnology and its advances is their most natural way to create materials with a higher added value, which will have a very profound impact on the whole sector. As environmentally sound and high-quality products, the enzymatically functionalised lignocellulosic materials, overcoming the shortcomings of the original material, will be a very good promotion opportunity for the commercialisation of renewable and not energy-demanding resources. The outcome of the proposed project will thusly contribute to Slovenia's environment and natural heritage conservation. The increase in competitive advantage of the beneficiaries will increase the potential for job retention and/or growth. The introduction of new technologies and the manufacture of new products, whose possibility of existence will be brought about by successful completion of this project, will create new employments with a high added value. The results of the project will therefore contribute to social cohesion and since wood production and manipulation are predominantly regional activities, also to balanced regional development.

The work on the project was conducted in accordance with general priorities of the Ministry of Higher Education, Science and Technology, and in agreement with the Strategic Research Agenda's (SRA) of European "Forest-Based Technology Platform" (FTP) and the Slovene "Forest-Based Technology Platform" (SFTP). The theme of performed research is therefore well embedded within development strategies of the national and European research area (ERA), and the conducted work contributed to its strengthening.

The development of analytical methods and the accumulation of knowledge in the production, characterisation, and manipulation of biotechnologically functionalised lignocellulosic surfaces in the first year of the project's realisation represent the most favourable means of keeping in touch with the world's scientific community – active participation, in wood science, as well as in the fields in which other researchers of the project consortium are active. The presentation of the results, including but not limited to incorporation in the education processes in wood science and technology, and textile materials and design (course lectures and practices, as well as hands on research work of the candidates for bachelor theses), has had an important contribution to the shift in the popular image of wood science and technology, and natural fibre science and technology from a field characteristic for utilisation of low-tech technologies to high-tech activity which generates high added value. The inclusion of several graduate school students (also Young Researchers Programme members) in the project group contributed to their gradual development into top-tier scientists and professionals on the international level.

**LETNO POROČILO  
O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA  
V LETU 2010**

**A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU**

**1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu**

<b>Šifra projekta</b>	L2-2100
<b>Naslov projekta</b>	Razvoj nove generacije trdih prevlek s pulznim naprševanjem
<b>Vodja projekta</b>	9090 Peter Panjan
<b>Tip projekta</b>	L Aplikativni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	skupaj: 4.172 od tega v letu 2010: 1.391
<b>Cenovni razred</b>	D
<b>Trajanje projekta</b>	05.2009 - 04.2012
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	106 Institut "Jožef Stefan"
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo 795 Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija

**1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>**

<b>Šifra</b>	06.
<b>Naziv</b>	Industrijska proizvodnja in tehnologija

**2. Sofinancerji<sup>2</sup>**

1.	Naziv	Kovinos d.o.o.
	Naslov	Obrtna ulica 10, 1354 Horjul
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

- a) V preteklem letu je bilo raziskovalno delo usmerjeno v razvoj nanostrukturnih trdih prevlek na osnovi AlTiN in TiN, ki je primerna za zaščito rezalnih orodij za obdelavo zelo trdih (do 62 HRC) in žilavih materialov. Izrazita modra barva je posledica selektivne absorpcije in interference v zgornjih nekaj nanoplasteh ter olajša zasledovanje obrabe orodja. Lansko leto smo prijaviли patent za postopek priprave te prevleke (patentna prijava P-20,1000399). Danes modro prevleko v proizvodnji uporablja že več kot 20 podjetij v Sloveniji. Nanoplastne prevleke na osnovi TiAlN so bile tudi tematika doktorske disertacije, ki jo je dr. Matjaž Panjan zagovarjal v preteklem letu (PANJAN, Matjaž. *Physical and chemical properties of nanolayered metal-nitride coatings prepared by sputtering : ph. d. thesis.* Ljubljana: [M. Panjan], 2010. XII, 167 str., ilustr., tabele. [COBISS.SI-ID [251813632](#)]). V njej je razložil vpliv parametrov priprave na strukturo nanoplasti, kar je potrdil tako eksperimentalno kot z računalniško simulacijo. Del rezultatov je bil predstavljen na mednarodni konferenci Joint Vacuum Conference (JVC-13, Strbske Pleso, Slovaška). Prispevek je bil sprejet v objavo v reviji Vacuum. V letu 2010 so bili rezultati doktorskega dela objavljeni tudi v reviji *RMZ-mater. geoenviron.* (Matjaž Panjan, Miha Čekada, Peter Panjan, "Simulation of multilayer coating growth in an industrial magnetron sputtering system", vol. 57, no. 3, str. 317-330, 2010. [COBISS.SI-ID [852574](#)]). Eden od rezultatov doktorskega dela je bila tudi t.i. modra prevleka. Gre za nanoplastno prevleko na osnovi AlTiN, ki je primerna za zaščito rezalnih orodij za obdelavo zelo trdih (do 62 HRC) in žilavih materialov. Izrazita modra barva je posledica selektivne absorpcije in interference v zgornjih nekaj nanoplasteh ter olajša zasledovanje obrabe orodja. Lansko leto smo prijaviли patent za postopek priprave te prevleke (Patentna prijava P-201000399: Trde zaščitne prevleke z možnostjo spreminjanja njihove barve). Danes modro prevleko v industrijski proizvodnji uporablja že več kot 20 podjetij v Sloveniji. O barvah nanoplastnih prevlek smo poročali na svetovnem vakuumskem kongresu (IVC-18 v Pekingu. Prispevek z naslovom "Variation of colour by thickness of semi-transparent hard coating materials and substrate reflectivity" (avtorji: M. Panjan, M. Klanjšek Gunde, M. Čekada, P. Panjan) je bil poslan v objavo. Na Strojni fakulteti Univerze v Ljubljani so sodelavci na projektu nadaljevali sistematične teste obrabe frezal zaščitnih z modro nanostrukturno prevleko pri obdelavi martenzitnega nerjavečega jekla, ki je bilo zakaljeno na 52 HRC. Hkrati pa so pričeli z testi obrabe rezalnih ploščic za frezanje v trdo (frezanje orodnega jekla za delo v hladnem DIN 1.2842 (90MnCrV8), trdota 61 HRC), ki smo jih zaščitili z nanoplastno prevleko na osnovi AlTiN/TiN (modro prevleko) in nanokompozitni prevleko na osnovi TiAlN, TiSiN in TiAlSiN.
- b) Nadaljevali smo z preureditvijo naprševalnika CC800/9 sinOx ML za delo v HPPMS režimu in naredili serijo testnih depozicij CrN/TiAlN nanoplastnih prevlek.
- c) S fokusiranim ionskim curkom (FIB) smo pripravili luknje mikrometrskih dimenzij v podlage iz orodnega jekla D2. Na tako pripravljene podlage smo z klasičnim in HPPMS postopkom nanесли nanoplastne prevleke z namenom, da analiziramo kako je prekritost sten v takšnih luknjah odvisna od načina naprševanja.

- d) Že nekaj let študiramo mehanizem nastanka defektov v tankih plasteh. V letu 2010 smo se podrobneje posvetili povezavi med gostoto defektov in korozijsko obstojnostjo trdih prevlek. V ta namen smo izbrane prevleke izpostavili korozijskemu mediju, z analizo površin pred in po izpostavi koroziji pa smo ugotavljali, na katerih mestih je prišlo do korozijskega napada. Izbrana mesta smo analizirali s fokusiranim ionskim curkom, kar nam omogoča vpogled v notranjo strukturo defekta. Rezultati raziskav so bili objavljeni v reviji *Vacuum* (PANJAN, Peter, ČEKADA, Miha, PANJAN, Matjaž, KEK-MERL, Darja. Growth defects in PVD hard coatings. *Vacuum*, 2010, vol. 84, no. 1, str. 209 [COBISS.SI-ID [22830887](#)]). Del raziskovalnih rezultatov je bil predstavljen na mednarodni konferenci Joint Vacuum conference (JVC-13, Strbske Pleso). Prispevek je bil sprejet v objavo v reviji *Vacuum*. O rezultatih raziskav smo proročali tudi v predavanju na mednarodni konferenci Plasma Surface Engineering (PSE-2010, Gramisch Partenkirchen).
- e) V sodelovanju z Nuklearnim inštitutom Vinča iz Beograda in Research institute for technical physics and materials iz Budimpešte, se ukvarjamo z lasersko modifikacijo tankoplastnih struktur. Rezultati raziskav so bili objavljeni v 1 znanstveni publikaciji (Suzana Petrović, Biljana Gaković, Dalibor Peruško, Bojan Radak, Tara Desai, Janez Kovač, Peter Panjan, Milan Trtica, "Composition and structure modification of aWTi/Si system by short laser pulses", *Appl. phys., A, Mater. sci. process. (Print)*, vol. 98, no. 4, str. 843-847, 2010. [COBISS.SI-ID [23406375](#)])
- f) Za študij procesov razprševanja segmentnih tarč smo uporabili metodo camera obscura. V optiki se to tehniko uporabi, kadar se želi objekt preslikati na zaslon skozi drobno luknjico v steni. Podoben poizkus smo naredili v napravi za naprševanje. Med stekleno podlago in tarčo smo postavili kovinski zaslon z drobno luknjico (1 mm v premeru). Na določeno mesto podlage so skozi luknjico prispeli samo atomi iz izbranega področja tarče. Tako se tarča direktno preslika na podlago. Profil debeline plasti na podlagi je sorazmeren toku razpršenih atomov tarče v izbrani smeri. Metodo camere obscurae smo uporabili za študij razprševanja različnih tarč, sestavljenih iz segmentov dveh različnih kovin (Ti-Al, Al-W, Al-Cu, Ti-W, Ni-C. Rezultate teh raziskav smo objavili v znanstveni publikaciji: Matjaž Panjan, Rainer Cremer, Hans-Gerd Fuss, Peter Panjan, Miha Čekada, "The use of camera obscura in sputter deposition", *Vacuum*, vol. 84, no. 1, str. 45-48, 2010. [COBISS.SI-ID [22831143](#)])

#### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Zastavljeni raziskovalni za leto 2010 so bili celoti doseženi in delno tudi preseženi. Doslej smo bili uspešni pri razvoju nanostrukturnih prevlek na osnovi AlTiN/TiN, ki smo jih uspešno uvedli v industrijsko proizvodnjo. Postopek njihove priprave je v fazi patentne zaščite (patentna prijava P-201000399). Naredili smo celovito karakterizacijo strukturnih, mikrostrukturnih, trdiboloških in optičnih lastnosti takšnih prevlek in rezultate objavili v 3 znanstvenih publikacijah. Ta problematika je bila tudi uspešno zaključenega doktorata MR Matjaža Panjana.

Posebno pozornost smo posvetili študiju jamičastih in nodularnih defektov, ki nastanejo v trdih prevlekeh zaradi mikroskopskih defektov na površini podlag ali zaradi vgrajevanja nanodelcev v rastočo plast. V preteklem letu smo uspešno raziskovali tudi korelacijo med gostoto jamičastih defektov z korozijsko obstojnostjo različnih prevlek. Za študij korozijskih procesov smo uporabili 3D-profilometrijo in vrstično elektronsko mikroskopijo v kombinaciji s FIB tehniko. Tako smo ugotovili kateri so tisti defekti, kjer



je jamičasta korozija najbolj intenzivna. S tega področja smo v letu 2010 pripravili 2 znanstveni publikaciji.

Kot je bilo predvideno v planu dela za leto 2010 smo sistematično analizirali vpliv topografije podlage na uniformnost debeline in mikrostrukture trde prevleke. Za ta namen smo v gole podlage z FIB tehniko naredili mikroskopsko majhne kanale in luknjice kvadratne oblike. Po nanosu trde prevleke s klasičnim in HPPMS postopkom smo analizirali, kako je s prekritostjo takšnih nepravilnosti na površini.

Raziskave, ki smo jih naredili mimo predvidenega programa, so povezane z lasersko modifikacijo nanoplastnih prevlek, ki smo jih naredili s klasičnim in pulznim postopkom naprševanja. Zanimal nas t.i. efekt brazdenja (ripping) površine prevlek, ki je potencialno zanimiv za izdelavo optično variabilnih zaščitnih elementov (npr. za zaščito dokumentov).

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

Sprememb raziskovalnega programa oz. sestave projektne skupine ni bilo.

## 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>6</sup>

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Nastanek defektov v trdih PVD-prevlekah
		<i>ANG</i> Growth defects in PVD hard coatings
Opis	<i>SLO</i>	Že nekaj let študiramo mehanizem nastanka defektov v tankih plasteh. V letu 2010 smo se podrobneje posvetili povezavi med gostoto defektov in korozijsko obstojnostjo trdih prevlek. V ta namen smo izbrane prevleke izpostavili korozijskemu mediju, z analizo površin pred in po izpostavi koroziji pa smo ugotavljali, na katerih mestih je prišlo do korozijskega napada. Izbrana mesta smo analizirali s fokusiranim ionskim curkom, kar nam omogoča vpogled v notranjo strukturo defekta.
	<i>ANG</i>	c) We have studied the mechanism of growth defect formation in thin films for several years. In 2010 we concentrated on the correlation between the defect density and corrosion resistance of hard coatings. For this purpose, selected coatings were exposed to a corrosion medium. The surface was analyzed both before and after corrosion treatment, in order to figure out which spots suffered localized corrosion attach. Selected spots were analyzed using focused ion beam, which enables an insight into the internal structure of the defect.
	Objavljeno v	Vacuum, vol. 84, no. 1, str. 209-214, 2010
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	22830887
2.	Naslov	<i>SLO</i> Uporaba metode "camera obscura" pri analizi procesov naprševanja
		<i>ANG</i> The use of camera obscura in sputter deposition
Opis	<i>SLO</i>	Metodo camere obscure smo uporabili za študij razprševanja različnih tarč, sestavljenih iz segmentov dveh različnih kovin (Ti-Al, Al-W, Al-Cu, Ti-W, Ni-C. Med stekleno podlago in tarčo smo postavili kovinski zaslon z drobno luknjico (1 mm v premeru). Na določeno mesto podlage so skozi luknjico prispeli samo atomi iz izbranega področja tarče. Tako se tarča direktno preslika na podlago.
	<i>ANG</i>	The camera obscura was used to study sputtering from different two-element segmental targets: Ti-Al, Al-W, Al-Cu, Ti-W, Ni-C. The thickness profiles of deposits were measured by profilometer. A similar experiment was performed in a sputter deposition system. A shield with small aperture (1 mm in diameter) was positioned between the target and the glass substrate. Only the material sputtered in direction of the aperture was deposited on the substrate. In this way a direct image of the target was recorded (similar to a

	camera obscura).
Objavljeno v	Vacuum, 2010, vol. 84, no. 1, str. 209
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID	22831143

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>7</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Patentna prijava P-201000399: Trde zaščitne prevleke z možnostjo spreminjanja njihove barve
		<i>ANG</i> Patent application code: P-201000399: PVD hard coating with changeable color
Opis	<i>SLO</i>	Predmet patentne prijave so trde zaščitne prevleke z možnostjo spreminjanja njihove barve. Prevleka je sestavljena iz spodnje zaščitne plasti trde prevleke, vmesne odbojna plasti in vrhnje polprepustne plasti, ki ščiti podlago pred obrabo in korozijo ter skupaj z vmesno plastjo določa barvo podlage. Vrhnja plast je iz materiala, ki delno prepušča vidno svetlobo in je izdelana iz nitridov, karbidov, karbonitridov, oksidov ali boridov prehodnih kovin.
	<i>ANG</i>	The subject of this patent application are PVD hard coatings with variable color. The patented coating is composed of three layer: a thick bottom hard layer, than intermediate layer with a high reflectivity in the visible range of the spectrum and a top semitransparent layer which determines the color of the whole coating. The top layer material is semitransparent for visible light and is made of nitrides, carbides, carbonitrides, oxides or borides of transition metals
Šifra		F.09 Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
Objavljeno v		Patentna prijava P-201000399, Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino
Tipologija		2.23 Patentna prijava
COBISS.SI-ID		24447271
2.	Naslov	<i>SLO</i> Npeprepustna prevleka za vodik
		<i>ANG</i> Hydrogen impermeable coating
Opis	<i>SLO</i>	V preteklem letu smo optimizirali prevleko TiAlN, za katero smo že prej ugotovili, da zmanjša prepustnost za vodik za štiri rede velikosti. Za ta dosežek smo bili po izboru financerja izpostavljeni kot »zgodba o uspehu« na področju mikro- in nanotehnologij. Rezultati raziskav so objavljeni v članku, ki je sprejet v tisk v reviji Surf. Coat. Technology.
	<i>ANG</i>	In the previous year we optimized the TiAlN coating, for which we previously established to reduce the permeability for four orders of magnitude. For this achievement we were awarded as a »success story« by the granting authority in the field of micro- and nanotechnologies. The results of these investigations will be published in Surf. Coat. Technol (accepted paper).
Šifra		E.03 Drugo
Objavljeno v		<a href="http://www.mnt-era.net/mnt-era-net-success-stories/hy-nano-im-2007">http://www.mnt-era.net/mnt-era-net-success-stories/hy-nano-im-2007</a>
Tipologija		1.25 Drugi članki ali sestavki
COBISS.SI-ID		24018471

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>8</sup>

1. Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji:  
Miha Čekada, "Properties and characterization of thin films", V: Surface properties and engineering of complex intermetallics, (Book series on complex metallic alloys, vol. 3), Esther Belin-Ferré, ur., Singapore [etc.], Hackensack, World Scientific, cop. 2010, str. 1-48.  
[COBISS.SI-ID 23845415]

1.01 Izvirni znanstveni članek:

Miha Čekada, Matjaž Panjan, Darjan Cimprič, Janez Kovač, Peter Panjan, Janez Dolinšek, Anton Zalar, "Analysis of the diffusion processes in Al/Cr and Cr/Fe multilayer using the MRI model", Vacuum, vol. 84, no. 84, str. 147-151, 2010. [COBISS.SI-ID 22079271]

1.01 Izvirni znanstveni članek:

Suzana Petrovič, Biljana Gakovič, Dalibor Peruško, Bojan Radak, Tara Desai, Janez Kovač, Peter Panjan, Milan Trtica, "Composition and structure modification of aWTi/Si system by short laser pulses", Appl. phys., A, Mater. sci. process. (Print), vol. 98, no. 4, str. 843-847, 2010. [COBISS.SI-ID 23406375]

Predavanje v državnem zboru RS v okviru projekta Znanje žanje

PANJAN, Peter. Plazemsko inženirstvo površin : osnova sodobnih tehnologij. Ljubljana: Državni zbor RS, 25. mar. 2010. [COBISS.SI-ID 23528231]

Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji

PANJAN, Peter. Oplemenitenje površin. V: KUZMAN, Karl (ur.), ANŽEL, Ivan, BALIČ, Jože, BLATNIK, Oki, ČUŠ, Franc, DRSTVENŠEK, Igor, FICKO, Mirko, GRUM, Janez, HERAKOVIČ, Niko, JUNKAR, Mihael, KAMPUŠ, Zlatko, KOPAČ, Janez, NOE, Dragica, ORBANIČ, Henri, PAHOLE, Ivo, PANJAN, Peter, POLAJNAR, Andrej, PRIVŠEK, Henrik, STARBEK, Marko, ŠMUC, Boštjan, TUŠEK, Janez, VALENTINČIČ, Joško. Moderno proizvodno inženirstvo : [priročnik]. Grosuplje: Grafis trade, 2010, str. 867-911. [COBISS.SI-ID 23569959]

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

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

SLO

Pomemben napredek na področju plazemskega inženirstva površin je bil narejen z razvojem nanostrukturnih prevlek. Zanje je značilna velika gostota mej bodisi med posameznimi plastmi v nanoplastni strukturi ali med nanokristaliti keramične faze, vgrajene v matrico amorfne materiala. Te meje ovirajo širjenje dislokacij in napredovanje mikrorazpok.

Pulzno magnetronsko naprševanje pri veliki vršni moči (HPPMS) je nov način priprave takšnih naprednih prevlek, ki se v industrijski proizvodnji šele uveljavlja. Omogoča pripravo nove generacije trdih prevlek z boljšimi lastnostmi od klasičnih. Bistvo postopka je specifično napajanje, s katerim generiramo pulze vršne moči okoli megavata, pri čemer pa je njihovo trajanje le nekaj deset mikrosekund. Pri takšni gostoti moči se material tarče ob uparitvi skoraj v celoti ionizira, kar omogoča nastanek nanokristalinične mikrostrukture in odlično adhezijo. Postopek HPPMS je z vidika industrijske uporabe zanimiv ne samo za pripravo trdih zaščitnih prevlek, ampak tudi za pripravo tankih optičnih plasti z nizko emisivnostjo, za pripravo antirefleksnih plasti z velikim lomnim količnikom (s postopkom HPPMS nanašanja lahko pripravimo tanke plasti TiO<sub>2</sub>, ki imajo rutilno strukturo in lomni količnik  $n > 2,6$ ), za pripravo dielektričnih plasti v mikroelektroniki in pomnilnikih.

Pulzno naprševanje pri manjši moči omogoča nanašanje prevlek na temperaturno občutljive podlage (jekla popuščana pri nizki temperaturi, Al- in Cu-zlitine). Nanašanje prevlek pri nizki temperaturi zahteva poznavanje fizikalnih procesov v plazmi, ki vodijo do segrevanja podlag. Z vidika kvalitete prevlek pa je pomembno vedenje o tem, kako energija uparjenih delecov vpliva na mikrostrukturo in oprijemljivost prevlek in kako lahko vplivamo na njihovo energijo.

ANG

One important step in plasma surface engineering is the development of nanostructured coatings. The nanostructured materials are predominantly marked by the interfaces. Interfaces between individual layer in nanolayer structure or nanocrystallites (3-10 nm) of ceramic phases incorporated into an amorphous matrix delimit the dislocation mobility and limit the crack propagation. The high ratio of grain boundaries causes a macroductility. This results in coatings with a high toughness. Nanostructured coatings are distinguished also by a dense, nanostructured morphology.

High power pulsed magnetron sputtering (HPPMS) is a new not still very established technique for preparation of advanced hard coatings. Its main feature is pulsed power supply, which generates pulses with a peak power of around one megawatt, but with duration of only a few tens of microseconds. At such a high power density, the target material is almost completely ionized, which enables the formation of nanocrystalline microstructure and superb adhesion.

This method is an interesting not only for deposition of hard coatings but also for other applications. Using HPPMS technique the TiO<sub>2</sub> optical coatings with rutile structure and very high refractive index  $n > 2.6$  as well as dielectric films for microelectronic applications can be deposited.

Pulsed magnetron sputtering at low power is a useful method for preparation of hard coatings on temperature sensitive materials like Al- and Cu-alloys and steel substrates tempered at temperature below 200 °C. The deep knowledge of physical processes which are responsible for heating of substrates in a low pressure plasma is necessary. We also have to know how the energy of sputtered species influences the microstructure and adhesion of hard coatings and how can we control this energy.

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

SLO

Za obdelavo in oblikovanje širokega spektra materialov potrebujemo kvalitetna orodja. Le kvalitetna orodja omogočajo zanesljivo proizvodnjo, veliko produktivnost in dobre izdelke. Novi tehnološki postopki obdelave, novi materiali, novi izdelki, zahteve po večji obstojnosti orodij, večji produktivnosti – vse to zahteva nenehen razvoj orodnih materialov in postopkov zaščite orodij. Uporaba trdih prevlek za zaščito orodij je zato neizbežna.

Ena ključnih tehnologij za oplemenitenje površine orodij in strojnih delov je plazemsko inženirstvo površin. Na tak način na površino orodnega materiala nanese nekaj mikrometrov debelo plast zelo trdega keramičnega materiala. Z orodji, ki so zaščiteni z naprednimi nanostrukturnimi trdimi prevlekami, lahko obdelujemo kaljena jekla, različne kompozite ter nikljeve in titanove zlitine, ki se sicer zelo težko obdelujejo. Plazemsko inženirstvo površin je torej osnova sodobnega orodjarstva. Orodjarstvo pa je tista gospodarska dejavnost, kjer smo Slovenci že dolgo časa med vodilnimi v Evropi.

ANG

High quality tools are necessary for machining of very different kind of materials. Only with high quality tools a reliable industrial production of high quality products at high productivity are possible. Machining of new difficult to machine materials, new products, higher productivity and larger tool life demand a development of new tool materials as well as new techniques for tool wear protection. Thus the use of hard coatings for wear protection of tool is inevitable today.

One of the key technologies for enhancement of tool surface properties is the plasma surface engineering. Using this technique, a thin film with a thickness of only a few micrometers consisting of a very hard ceramic material is deposited on the tool surface. Using tools protected by advanced nanostructured hard coatings, hard tool steels can be machined as well as various composites, nickel and titanium alloys, which are very difficult to machine. Plasma engineering is thus the foundation of modern tool industry. Indeed, tool industry is the one economic activity, where Slovenia has been among the most competitive in Europe.

Pri raziskovalnem delu v letu 2010 smo uporabljali:

pretežno elektronske vire podatkov

tiskane in elektronske vire podatkov v približno enakem razmerju

# LETNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA V LETU 2010

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	L2-2269
<b>Naslov projekta</b>	Izdelava in karakterizacija inovativnih, litih, lahkih in sestavljenih kompozitnih materialov
<b>Vodja projekta</b>	18565 Primož Mrvar
<b>Tip projekta</b>	L Aplikativni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	skupaj: 3.099 od tega v letu 2010: 1.550
<b>Cenovni razred</b>	C
<b>Trajanje projekta</b>	05.2009 - 04.2011
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	1555 Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	795 Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija

#### 1.1. Družbeno-ekonomski cilj<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	13.01
<b>Naziv</b>	Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

#### 2. Sofinancerji<sup>2</sup>

1.	Naziv	ETI d.d.
	Naslov	Obrezija 5, 1441 Izlake
2.	Naziv	
	Naslov	
3.		

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### 3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta<sup>3</sup>

Za izračun livarskih procesov za konkretni primer izdelave lahkih kompozitnih plošč sta bila uporabljena računalniška programa ProCast (metoda končnih elementov) in QuikCAST (metoda končnih diferenc). Iz rezultatov izračuna livarskih procesov smo izdelali trajno kovinsko kokilo z integriranim elektroporovnim ogrevnim in hladilnim sistemom. V kovinsko kokilo smo pred samim ulivanjem vstavili keramično peno različnih debelin in različnih velikosti por (10ppi, 20ppi in 30ppi). Uporabili smo keramično peno na osnovi  $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ . Poseben pomen ima tehnologija izdelave penjene keramike, ki je izdelana na osnovi poliuretanske pene.

Gravitacijsko smo ulili več prototipnih plošč, da smo določili robne pogoje kot so temperatura litja, temperatura kokile, temperatura penjene keramike, čas litja, itd. Spoje keramika-kompozit in mikrostrukture prototipno ulitih plošč smo karakterizirali z optičnim mikroskopom.

Za dodatne plasti smo vključili več slojev kovinskih mrežic. Le te so izdelane iz zelo tanke avstenitne nerjavne hladno vlečene žice z veliko natezno trdnostjo. Vse te plasti povezuje zelo lahek kovinski kompozit z magnezijevo zlitino AE44 in v drugem primeru aluminijevo zlitino 226, v obeh primerih so ojačitvena vlakna iz SiC. Prav tako smo raziskali možnost nanašanja plasti Kevlarja in drugih ogljikovih vlaken na sestavljeno kompozitno ploščo. Izdelava plošče temelji na inovativnem gravitacijskem kokilnem litju predhodno izdelanega kompozita. Gravitacijsko kokilno litje poteka v zaščitni atmosferi-vakuumu.

Za karakterizacijo spojev in mikrostruktur smo uporabili optično in elektronsko mikroskopijo (SEM- Scanning Electron Microscopy, EDS (EDX)-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, WDS-Wave Dispersive X-ray Spectroscopy in XPS-X-ray Photoelectron Spectroscopy ter FIB-Focused ion beam). Za določanje značilnih temperatur likvidus, solidus, temperature posameznih faznih pretvorb ter pripadajoče specifične toplote pri nastanku posameznih faz smo uporabil sodobne metode s področja termične analize (enostavna termična analiza in simultana termična analiza).

Testiranje prototipov je bilo izvedeno na dveh nivojih in sicer z večnamenskim multifunkcijskim sistemom na prirejeni aparaturi Gleeble 1500 pri visokih hitrostih deformacije (1000 mm/s) ter neposredno z direktnimi balističnimi testi. Zaključno testiranje lite lahke sestavljene kompozitne plošče je zasnovano na osnovi merjenja deformacij, pomikov in vnesene energije. V tej sekvenci smo pri testih uporabili senzorje, ki so karakterizirali dogodek trka krogle s ploščo. Na osnovi teh rezultatov so izdelani algoritmi za povezavo rezultatov preizkušanja na fizikalnem simulatorju in neposrednim preizkušanjem.

### 4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Stopnja realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev je skladna s predlaganim programom. Raziskovalni projekt se zaključuje nemoteno, pri čemer za posamezne sklope v preteklem obdobju ni prišlo do nikakršnih odstopanj. Posebej velja izpostaviti izvorno znanstveno poglavje v monografiji z naslovom Magnesium Alloys - Corrosion and Surface Treatments in patentno prijavo (več v poglavju 6.).

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

Projektna skupina se je zmanjšala za dva člana, in sicer za dr. Milana Terčelja in Mira Zdovca, tako da so se njune raziskovalne ure prerazporedile med druge člane projektne skupine.

## 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>6</sup>

Znanstveni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Oksidacijska odpornost magnezijevih zlitin AM60, AM50, AE42 in AZ91
		ANG	Oxidation resistance of AM60, AM50, AE42 and AZ91 magnesium alloys
	Opis	SLO	Mg zlitine se uporabljajo tako pri sobnih kot pri povišanih temperaturah in oksidativnih atmosferah v različnih stopnjah procesov, kot so: predgretje vložka, taljenje, litje, toplotna obdelava itn. Rezultati takih pogojev so lahko neželeni vplivi, ki povzročijo spremembo kemijskih lastnosti in vplivajo na strukturne lastnosti površinskih plasti. Zato je poznavanje oksidacije Mg zlitin pri različnih temperaturah pomembno. Preiskovali smo Mg zlitine: AE42, AZ91, AM50 in AM60, katere smo izpostavili oksidaciji pri različnih temperaturah da bi ugotovili odpornosti na visokotemperaturno oksidacijo.
		ANG	Mg alloys are usually used at room temperatures but and at higher temperatures and oxidizing atmospheres in different stages of processing, such as: overheating of the charge, melting, casting, heat treatment, etc. But those conditions result undesirable effects that change chemical properties and deteriorate structural properties of the surface layers. Therefore the knowledge of oxidation of Mg-alloys at different temperatures is important. Mg alloys: AE42, AZ91, AM50, and AM60 were exposed to oxidation at different temperatures in order to determinate high-temperature oxidation resistance.
	Objavljeno v	Magnesium alloys : corrosion and surface treatments.- Str. 15-28	
	Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji	
	COBISS.SI-ID	1105759	
2.	Naslov	SLO	Postopek izdelave kompozitnih plošč iz magnezijevih zlitin in keramične pene
		ANG	The manufacturing process of the composition plates from the magnesium alloys and the ceramic foam
	Opis	SLO	Postopek temelji na infiltriranju kovinske taline v pore keramične pene, ki deluje kot utrjevalna faza. Način litja, dimenzioniranje kokile, predgrevanje keramične pene oziroma kokile, temperatura litja, uporaba izolacijskega pokrova in vibriranje omogočajo popolno zapolnitev por s talino. Uporablja se gravitacijsko litje. Značilnost postopka je, da med litjem in strjevanjem celoten sistem vibrira.
		ANG	The process is based on the infiltration of melt in the pores of ceramic foam which acts as the hardening phase. The casting process, mould dimension, preheating of ceramic foam or mould, pouring temperature, isolation thermal cover and vibration allow perfect filling of pores with melt. The gravity casting is used. Typical for this process is that during the casting and solidification the entire system vibrates.
	Objavljeno v	Urad RS za intelektualno lastnino	
	Tipologija	2.24 Patent	
	COBISS.SI-ID	14898454	

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine v letu



2010<sup>7</sup>

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat			
1.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
	Šifra		
	Objavljeno v		
	Tipologija		
	COBISS.SI-ID		
2.	Naslov	SLO	
		ANG	
	Opis	SLO	
		ANG	
	Šifra		
	Objavljeno v		
	Tipologija		
	COBISS.SI-ID		

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine v letu 2010<sup>8</sup>

Objavljena sta bila dva prispevka na konferencah in sicer Izdelava, karakterizacija in testiranje lahkih kompozitnih plošč (COBISS.SI-ID: 1093983) in Fabrication characterization and testing of innovative cast light and composed composite plates (COBISS.SI-ID: 1065055). Drugih znanstvenih prispevkov na temo tehnologija izdelave ter karakterizacija spojev kovina-keramika nismo objavili, saj smo v postopku pridobivanja patenta.

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

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

SLO

Pomen za razvoj znanosti se nanaša na opis izdelave sestavljene kompozitne plošče, pri čemer je poudarek na karakterizaciji in modelnem opisu združevanja različnih materialov, kot so magnezijev oz. aluminijev kompozit spojen s porozno keramično peno ter fino visokotrdno kovinsko mrežico. Nadalje bo preučena možnost izdelave še kompleksnejših prototipov sestavljenih iz navedenega sistema ter nanašanja zunanjega sloja Kevlarja ali drugih ogljikovih vlaken. Pričakuje se, da bo balistična zaščita razvitega prototipa boljša na enoto mase in življenjsko dobo v primerjavi s polimernimi materiali na osnovi polietilena. Uspešno razviti in karakterizirani ter modelsko opisani prototipi bodo lahko služili za konkretno industrijsko aplikacijo, ki ima pomen tudi za države EU. Predlagane tehnologije združevanja materialov ni zaslediti v nam poznanih aplikacijah in znanstveno strokovni periodiki.

ANG

Sense for development of science is referring to description of manufacturing of composite plate where point is in characterization and model description of combining different materials as are magnesium and aluminium combined in composite with ceramic foam and fine high strength metal mesh. Further on the possibility of production of even more complicated prototypes with outer layer made of Kevlar or carbon fibers will be investigated. It is expected that the ballistic protection of such prototype will be better per volume unit and will have longer life time in comparison with polymer material on basis of polyethylene. Successfully developed and characterized prototypes will serve for industry application that has big meaning for EU countries as well. Proposed technologies of combining materials are not known in today's applications and scientific journals.



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

SLO

Policisti in vojaki uporabljajo taktične fragmentacijske jopiče imenovane tudi neprebojni jopiči starejše proizvodnje, med katerimi jih veliko izvira iz osamosvojitvene vojne iz leta 1991. Le-ti so narejeni iz polimernih materialov na osnovi polietilena imajo garantirano življenjsko dobo do 10 let, njihova teža znaša tudi do 20 kg, onemogočajo gibanje uporabnikom, uporabniki jih le stežka uporabljajo med vožnjo in si jih morajo nadeti neposredno pred uporabo, so enotne velikosti in povečujejo pregrevanje telesa, skratka obremenjujejo uporabnike. Zadnja testiranja, katera je izvedel Center za forenzične preiskave na Generalni policijski upravi in ljubljanska strojna fakulteta na policijskem vadišču v Gotenici so pokazala, da so jopiči kljub starosti še dokaj varni in jih bodo postopoma začeli nadomeščati z novimi sodobnimi jopiči v naslednjih 5 letih. Po navedbah ministrstva za notranje zadeve bi policija potrebovala okrog 4500 sodobnih neprebojnih jopičev. Glede na navedene podatke, bodo imele naše sestavljene kompozitne plošče velik pomen pri izdelavi sodobnih, lahkih in prilagodljivih neprebojnih jopičev kakor tudi za zaščito vozil ali lahkih transportnih vozil. Prednost te kombinacije materialov je zelo velika prebojna trdnost pri razmeroma nizki specifični teži v primerjavi z doslej poznanimi materiali za te namene.

ANG

Police and army are today using older ballistic protection or bulletproof vests which were made before year 1991 and were also used in Slovenian independence war in 1991. This ballistic protection is made of polymer materials on basis of polyethylene and have lifetime of 10 years and weight up to 20 kg. This makes it hard to use because it is enabling movement of user, it hinders driving so it has to be put on just before use or action, it is in uniform size and causes overheating of the body during usage. Recent testing from Center for forensic research and Faculty of machining from Ljubljana has shown that mentioned vests are still quite safe and will be slowly replaced with new ones in time of five years. According to Ministry of the Interior the police would need about 4500 pieces of modern ballistic protection. Our newly developed composite plates will have great meaning for production of modern, light and adjustable bulletproof vests and also for production of ballistic shields for armored vehicles or light transport vehicles. Big advantage of this combination of materials is high breakthrough strength at relatively low specific mass in comparison with today known materials for this purposes.

## 10. Uporaba informacijskih virov pri raziskovalnem delu.

Pri raziskovalnem delu v letu 2010 smo uporabljali:



## ***MEDNARODNI PROJEKTI V LETU 2010***

## 7. OKVIRNI PROGRAMI EU

Številka projekta: **Ga.N. 211534**  
Trajanje projekta: **1.1.2008 do 1.1.2012**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Alenka Majcen Le Marchal**  
Naslov projekta: **Sustainable Water Use in Chemical, Food, Paper and Textiles Industry, Fit-for-Use; Aquifit4use**

Številka projekta: **Ga.N. 214653**  
Trajanje projekta: **1.9.2008 do 1.9.2012**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Karin Stana Kleinschek**  
Naslov projekta: **Surface finctionalization of cellulose matrices using coatings of functionalised polysaccharides with embedded nano-particles; Surfuncell**

Številka projekta: **Ga.N. 214015**  
Trajanje projekta: **1.9.2008 do 1.9.2012**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Karin Stana Kleinschek**  
Naslov projekta: **Shaping and Transformation in the Engineering of Polysaccharides; Step**

Številka projekta: **Ga.N. 222051**  
Trajanje projekta: **1.9.2008 do 1.10.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Sonja Šostar Turk**  
Naslov projekta: **Improved LCO2 cleaning for pliable (textile and leathers) and hard surfaces (medical devices, implants and fine metal parts) - Accept**

## PROJEKTI MNT Era-Net; MATERA PLUS

Številka projekta: **3211-10-000458**  
Trajanje projekta: **1.1.2011 do 31.12.2013**  
Nosilec projekta: **izr.prof.dr. Vanja Kokol**  
Naslov projekta: **Tabana**

Številka projekta: **3211-10-000369**  
Trajanje projekta: **1.10.2010 do 30.09.2013**  
Nosilec projekta: **izr.prof.dr. Vanja Kokol**  
Naslov projekta: **MATERA PLUS Era-Net - Antimicrob peptides**

Številka projekta: **3211-07-000023**  
Trajanje projekta: **1.5.2007 do 1.5.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Ivan Anžel**  
Naslov projekta: **Production and properties of Nanostructural Metal – Ceramic Composites ; Nano-MCC**

Številka projekta: **3211-07-000024**  
Trajanje projekta: **1.2.2007 do 1.2.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Karin Stana Kleinschek**  
Naslov projekta: **Vascular Graft Interfaces**

Številka projekta: **430-94/2008/17**  
Trajanje projekta: **10.11.2008 do 10.11.2011**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Bojan Ačko**  
Naslov projekta: **Metrology for New Industrial Measurement Technologies - iMERA**

Številka projekta: **3211-08-000026**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 30.10.2010**  
Nosilec projekta: **doc.dr. Vanja Kokol**  
Naslov projekta: **MANUNET - NANOWELL**

## **PROJEKTI EUREKA**

Številka projekta: **E!5831**  
Trajanje projekta: **22.12.2010 do 30.10.2013**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Ivan Anžel**  
Naslov projekta: **Cell-Ti**

Številka projekta: **E!5851**  
Trajanje projekta: **22.12.2010 do 30.10.2013**  
Nosilec projekta: **izr.prof.dr. Simona Strnad**  
Naslov projekta: **FeVal**

Številka projekta: **E!4956**  
Trajanje projekta: **17.6.2009 do 30.10.2012**  
Nosilec projekta: **dr. Lucija Črepinšek-Lipuš**  
Naslov projekta: **Magnetna naprava za biološko obdelavo odpadnih vod; MAGNET**

Številka projekta: **E!4952**  
Trajanje projekta: **1.4.2009 do 30.10.2012**  
Nosilec projekta: **doc.dr. Lidija Fras Zemljič**  
Naslov projekta: **Development of bioactive packaging; BIOPACKING**

Številka projekta: **E!4953**  
Trajanje projekta: **1.4.2009 do 30.10.2011**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Ivan Anžel**  
Naslov projekta: **Synthesis of Gold nanoparticles for dental/medical applications; GoNano**

Številka projekta: **E!3927**  
Trajanje projekta: **1.2.2007 do 31.10.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Nenad Gubelj**  
Naslov projekta: **Mobilni sistem za zagotovitev celovitosti konstrukcij**

Številka projekta: **E!4569**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 30.10.2011**  
Nosilec projekta: **doc.dr. Vladimir Gliha**  
Naslov projekta: **Alloys for Shipbuilding – Alship**

Številka projekta: **E!4206**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 30.10.2011**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Aleksandra Lobnik**  
Naslov projekta: **Advanced technologies in landfill leachate management – Leachate TECH**

Številka projekta: **E!4477**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 30.10.2011**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Alenka Majcen Le Marchal**  
Naslov projekta: **Combination of constructed Wetland and upgraded AOP reactor for the wastewater treatment in textile finishing industr - TT4TXT**

## **PROJEKT Leonardo da Vinci**

Številka projekta: **UK/08/LLP-LdV/TOI/163\_154**  
Trajanje projekta: **1.10.2008 do 30.9.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Zoran Stjepanovič**  
Naslov projekta: **Inovation transfer in textiles – ITT**

## **PROJEKT Tempus**

Številka projekta: **144959-TEMPUS-2008-IT-JPCR**  
Trajanje projekta: **15.1.2009 do 14.1.2012**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Franci Čuš**  
Naslov projekta: **Master Studies and Continuing Education Network for Product Lifecycle Management with Sustainable Production**

## **PROJEKTI COST**

Številka projekta: **3311-07-837002**  
Trajanje projekta: **6.12.2006 do 23.2.2011**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Karin Stana Kleinschek**  
Naslov projekta: **Molecular structure-performance relationships at the surface of functionalmaterials**

## **MEDNARODNO AKADEMSKO SODELOVANJE**

Številka projekta: **KRO/006/07**  
Trajanje projekta:  
Nosilec projekta: **prof.dr. Alenka Majcen Le Marchal; prof.dr. Zoran Stjepanovič**  
Naslov projekta: **MUDRA - Learning Network**

Številka projekta: **C45146**  
Trajanje projekta: **30.5.2006 do -**  
Nosilec projekta: **prof.dr.Bojan Ačko**

Naslov projekta: **Lenght Measurement; Training in the field of Lenght Measurement**  
Številka projekta: **P-142/2007**  
Trajanje projekta: **2006 do -**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Karin Stana Kleinschek**  
Naslov projekta: **Innovative, umweltfreundliche Nanobeschichtungen fur technische Textilien**

Številka projekta: **D-34/2007**  
Trajanje projekta: **22.2.2007 do -**  
Nosilec projekta: **FS MB and Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia**  
Naslov projekta:

Številka projekta: **D-33/2007**  
Trajanje projekta: **22.2.2007 do -**  
Nosilec projekta: **FS MB and Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, R. Macedonija**  
Naslov projekta:

Številka projekta: **P-145/07**  
Trajanje projekta: **3.7.2007 do -**  
Nosilec projekta: **FS MB - Univerzitet u Beogradu Tehnologo-Metalurški fakultet, Beograd, Srbija**  
Naslov projekta:

Številka projekta: **2009 do 2010**  
Trajanje projekta: **prof.dr. Alenka Majcen Le Marchal; prof.dr. Bojana Vončina**  
Nosilec projekta: **KAUNAS University of technology – University of Maribor**  
Naslov projekta:

## **MEDNARODNO GOSPODARSKO IN TERITORIALNO SODELOVANJE**

Številka projekta: **Slovenija - Avstrija 2007- 2013 št.: 1536-09G400040**  
Trajanje projekta: **1.6.2009 - 31.3.2013**  
Nosilec projekta: **dr. Zdenka Peršin**  
Naslov projekta: **Knowledge for business in border regions; KBB**

Številka projekta: **Slovenija - Avstrija 2007- 2013 št.: SI-AT-1-1008**  
Trajanje projekta: **1.5.2009 - 30.4.2012**  
Nosilec projekta: **izr.prof.dr. Igor Drstvenšek**  
Naslov projekta: **Čezmejna implementacija okolju prijaznih ultra-lahkih vozil v Sloveniji in Avstriji; CESLA**

Številka projekta: **C45146**  
Trajanje projekta: **30.5.2006 -**  
Nosilec projekta: **prof.dr.Bojan Ačko**  
Naslov projekta: **European Commission; Service CintractLenght Measurement; Training in the field of Lenght Measurement**

Številka projekta: **P-142/2007**  
Trajanje projekta: **2006 -**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Karin Stana Kleinschek**  
Naslov projekta: **Innovative, umweltfreundliche Nanobeschichtungen für technische Textilien**

## BILATERALNO SODELOVANJE

Številka projekta: **Slovenija – Argentina; BI-AR/09-11-008**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 31.12.2011**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Nenad Gubelj**  
Naslov projekta: **Aplikacija normalizacije metode za meritev lomne žilavosti na heterogenih materialih**

Številka projekta: **Slovenija – Avstrija; BI-AT/09-10-003**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 31.12.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Ivan Anžel**  
Naslov projekta: **Nanostrukturni kovinskotermični kompoziti**

Številka projekta: **Slovenija - Francija; BI-FR/09-10-PROTEUS-013**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 31.12.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Nenad Gubelj**  
Naslov projekta: **Vpliv vodika na iniciacijo utrujenostne razpoke v jeklih za cevovod**

Številka projekta: **Slovenija – Hrvaška; BI-HR/09-10-004**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 31.12.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Franci Čuš**  
Naslov projekta: **Mreženje in modeliranje razvojnih sposobnosti malih in srednje velikih podjetij**

Številka projekta: **Slovenija – Hrvaška; BI-HR/09-10-011**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 31.12.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Alenka Majcen Le Marechal**  
Naslov projekta: **Obdelava tekstilnih substratov z ultrazvokom za multifunkcijsko zaščito**

Številka projekta: **Slovenija – Hrvaška; BI-HR/09-10-023**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 31.12.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Ivan Anžel**  
Naslov projekta: **Razvoj novih kovinskih materialov z oblikovnim spominom**

Številka projekta: **Slovenija – Japonska; BI-JP/09-11/001**  
Trajanje projekta: **1.4.2009 do 31.3.2011**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Zoran Ren**  
Naslov projekta: **Experimental and computational analysis of shock wave propagation in cellular materials**



Številka projekta: **Slovenija – Turčija; BI-TR/08-10/001**  
Trajanje projekta: **1.1.2008 do 31.12.2010**  
Nosilec projekta: **doc.dr. Simona Jevšnik**  
Naslov projekta: **Uporaba novih tehnologij za študij vpliva obdelovanih postopkov na mehanske lastnosti in drapiranje tekstilnih materialov**

Številka projekta: **Slovenija – Ukrajina; BI-UA/09-10-011**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 31.12.2010**  
Nosilec projekta: **prof.dr. Aleksandra Lobnik**  
Naslov projekta: **Sol-gel optični senzorji na osnovi novih luminiscenčnih lantanidnih kompleksov**

Številka projekta: **Slovenija – Ukrajina; BI-UA/09-10-006**  
Trajanje projekta: **1.1.2009 do 31.12.2010**  
Nosilec projekta: **doc.dr. Vladimir Gliha**  
Naslov projekta: **Uporaba determinističnih pristopov pri določanju preostale življenjske dobe konstrukcij**