

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/113



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

(za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014)

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0264
Naslov programa	Inteligentni polimerni materiali in tehnologije Intelligent polymeric materials and technologies
Vodja programa	4316 Igor Emri
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	14022
Cenovni razred	D
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.04 Materiali
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.05 Materiali

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

V sklopu programa *Inteligentni polimerni materiali in tehnologije* je bil glavni cilj raziskovalne skupine razvoj temeljnih znanj in veščin potrebnih za generacijo inovativnih idej, ki predstavljajo tehnološki in ekonomski potencial Slovenije. Na

osnovi znanstvenih dognanj sta bila dosežena 2 izjemna socio-ekonomska dosežka:

- Razviti vibroakustični dušilni elementi zaščiteni z dvema EU patentoma.
- Razvita matematična metodologija za časovno-temperaturno-tlačno superpozicijo, ki je bila vključena v novi ISO standard.

Raziskave so bile usmerjene v razvoj nove generacije inovativnih polimernih materialov in tehnologij. Delo je bilo razdeljeno v 3 raziskovalne sfere:

1. Študij procesa formiranja strukture materiala na različnih skalah opazovanja.

Rezultati so pokazali, da je z omenjenimi pristopi možno spremeniti strukturo materiala in izboljšati njihovo predelovalnost, ter njihove mehanske in dušilne lastnosti. Razvito znanje smo uspešno uporabili pri razvoju nove nanoPIM tehnologije in pri razvoju nove generacije vibroakustičnih dušilnih elementov. Nadaljnje raziskave v tej sferi vključujejo razvoj kontejnerjev za lokalno depozicijo zdravilnih učinkovin na osnovi nano-membran iz bio- in sintetičnih- polimerov in razvoj tehnologije visoko tlačnega injekcijskega brizganja.

2. Razvoj merilnih tehnik in opreme za karakterizacijo časovno odvisnega vedenja polimerov in njihovih kompozitov.

Skupina je razvila več merilnih sistemov za merjenje časovno – odvisnih lastnosti polimerov, še zlasti pri visokih tlakih in hitrostih obremenjevanja, ki na trgu niso na voljo.

Obetajoča eksperimentalna naprava, ki jo skupina razvija omogoča karakterizacijo polimerov pri visokih hitrostih obremenitve in visokih tlakih. Pridobljeno znanje, ki izhaja iz razvoja te naprave bo omogočilo razvoj nove generacije naprav za testiranje gmočnostnih lastnosti polimernih materialov pri različnih tlačnih in temperaturnih pogojih. Ta naprava bo omogočila izvajanje meritev polimernih materialov v prehodnem območju med tekočim in trdnim stanjem. Rezultati, ki bodo sledili iz meritev na tej napravi bodo omogočili nadaljni razvoj nove generacije izdelkov (vibroakustična izolacija, kontejnerji za lokalno depozicijo zdravilnih učinkovin, itd).

3. Teoretična in eksperimentalna analiza vedenja konstrukcijskih polimerov in njihovih kompozitov pri ekstremnih pogojih obremenjevanja.

Razvoj te sfere je potekal v treh smereh:

- a) Skupina je preiskovala vpliv mehanskega spektra na process utrujanja ciklično obremenjenih polimernih materialov. Na podlagi rezultatov raziskav je bil razvit model za napoved trajnosti elastomernih jermenov
- b) Razvoj nove metodologije za napovedovanje procesa lezenja in/ali relaksacije na osnovi kratkih nateznih eksperimentov.
- c) Skupina je prav tako razvila algoritem za časovno-temperaturno-tlačno superpozicijo za generacijo sumarnih krivulj, ki omogočajo predikcijo lastnosti polimernih materialov v daljšem časovnem obdobju. Ta algoritem je bil vključen v prihajajoči ISO standard.

ANG

The ultimate goal of the program *Intelligent polymeric materials and technologies* was to develop the fundamental knowledge and skills needed for generating innovative ideas that represent technological potential and economic opportunities for Slovenia. Two outstanding follow-up results should be emphasized in addition to the planned results:

- Novel vibroacoustic damping elements protected by two EU patents.
- Closed form algorithm for the time-temperature superposition, which was accepted as a new ISO standard.

The research was focused on developing new generation intelligent polymeric materials and technologies. Activities were divided into 3 research spheres:

1. Study of material structure formation process at different observation scales.

Where current results show that non-chemical modifications on molecular scale lead structures that exhibit improved processability, and better mechanical and damping properties. With these knowledge we have improved feedstock materials used in powder injection moulding and develop new generation vibroacoustic damping elements.

Future research in this sphere includes developing of implantable medical devices like solid-state drug delivery system based on electrospun nanofibrous membranes made of biodegradable bio-, and synthetic- polymers, and development of new high pressure injection moulding technology.

2. Development of measurement techniques and equipment to characterize time-dependent behaviour of polymers and their composites.

During the past period our group developed several novel measuring systems for characterization of time-dependent properties of polymers, particularly at high pressures & high rates, which commercially are not available.

The apparatuses allow mechanical characterization of polymers in transition from molten to solid state. At present such investigations are not possible. Based on this knowledge further improvement of vibroacoustic damping elements and drug delivery containers are expected.

3. Theoretical and experimental analysis of the behaviour of structural polymers and their composites under extreme thermo-mechanical boundary conditions where conducted in three main directions:

- a) Investigation of the effect of material inherent structure, expressed with mechanical spectrum, on the long-term behavior of dynamically loaded polymers, which resulted in a new methodology for predicting durability of elastomeric drive belts. Methodology was implemented in the Goodyear Company.
- b) Development of a new methodology for predicting long term creep and/or relaxation material functions from short constant stress, or strain rate measurements.
- c) The group also developed a new algorithm for performing time-frequency temperature-pressure superposition to predict long-term behavior of polymers. The new algorithm was accepted as a new ISO standard.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, (vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014)²

SLO

Glavni cilj raziskovalne skupine je bil razvoj temeljnih znanj in veščin potrebnih za generacijo inovativnih idej, ki predstavljajo tehnološki in ekonomski potencial Slovenije. Na osnovi znanstvenih dognanj sta bila dosežena 2 izjemna socio-ekonomska dosežka:

- Razviti vibroakustični dušilni elementi zaščiteni z dvema EU patentoma [1,2].
- Razvita matematična metodologija za časovno-temperaturno-tlačno superpozicijo, ki je bila vključena v novi ISO standard [3,4]

Raziskave so bile usmerjene v razvoj nove generacije inteligentnih polimernih materialov in tehnologij. Delo je bilo razdeljeno v 3 raziskovalne sfere:

1. študij procesa formiranja strukture materiala na različnih skalah opazovanja;
2. razvoj merilnih tehnik in opreme za karakterizacijo časovno odvisnega vedenja polimerov in njihovih kompozitov;
3. teoretična in eksperimentalna analiza vedenja konstrukcijskih polimerov in njihovih kompozitov pri ekstremnih pogojih obremenjevanja.

Cilj 1. sfere raziskovanja je bilo ugotoviti:

- kako lahko spremenimo strukturo materiala na molekularnem nivoju ne da bi spreminjali njegovo kemijsko sestavo,
- kako je struktura materiala povezana z njegovimi fizikalnimi lastnostmi in funkcionalnostjo izdelkov narejenih iz teh materialov.

Skupina je raziskovala različne načine fizikalnega spreminjanja strukture polimerov:

- z dodajanjem mikro in nanodelcev [5,6]
- s spreminjanjem porazdelitve molekulskih mas [7,8]
- s spreminjanjem termomehanskih robnih pogojev [12].

Raziskovalna smer sledi našemu sodelovanju s korporacijo BASF, kjer je bilo ugotovljeno, da trajnost multimodalnih poliamidov preseže monomodalne materiale za več velikostnih razredov [Patenti: 9,10].

Rezultati so pokazali, da je z omenjenimi pristopi možno izboljšati predelovalnost materialov, ter njihove mehanske in dušilne lastnosti. Razvito znanje smo uspešno uporabili pri razvoju nove nanoPIM tehnologije [7] in pri razvoju nove generacije viboraksutičnih dušilnih elementov [11,30].

Ugotovljeno je bilo, da je:

- Z ustreznimi termomehanskimi robnimi pogoji možno izdelati poliamidne implante z gradientno strukturo, ki je podobna biološkemu tkivu, npr. kosti [13].
- S tlakom in temperaturo mogoče regulirati velikost medmolekularnega prostora v polimernem materialu v katerega lahko shranimo zdravilne učinkovine za njihovo lokalno ciljno sproščanje [14,15,30].
- Strukturno materiala možno spreminjati z mehansko strižno obremenitvijo, kar je ključno za razvoj tehnologij mehanskega recikliranja materialov [16,29].

Nadaljne raziskave v tej sferi vključujejo razvoj implantabilnih medicinskih naprav, npr. kontejnerjev za lokalno depozicijo zdravilnih učinkovin na osnovi nano-membran iz bio- in sintetičnih- biorazgradljivih polimerov in razvoj tehnologije visokotlačnega injekcijskega brizganja.

Cilj 2. sfere je bil nadaljni razvoj unikatne merilne opreme [17,18], za meritve časovnoodvisnih lastnosti polimerov, še zlasti pri visokih tlakih in visokih hitrostih obremenitve, ki na trgu (zaenkrat) ne obstajajo. Skupina razvija več merilnih sistemov za:

- Merjenje volumetričnih dinamičnih mehanskih lastnosti polimerov [19], pri različnih tlakih in temperaturah, med procesom solidifikacije;
- Karakterizacijo pretočnosti granuliranih materialov, ki so izpostavljeni tlaku [20];
- Karakterizacijo (patentiranih) viskoelastičnih dušilnih elementov;
- Študij balističnih lastnosti polimerov [21]; ter
- Razvoj adaptivnih plezalnih vrvi in varnostnih pasov [22,23,24].

3. sfera je bila namenjena matematičnemu modeliranju časovnoodvisnega vedenja polimerov, karakterizaciji materialov in obdelavi eksperimentalnih podatkov.

Ta sfera temelji na enem izmed znanstvenih stebrov skupine, KnaussEmri (KE) nelinearnem viskoelastičnem modelu [25]. Skupina je raziskovala vpliv mehanskega spektra na proces utrujanja ciklično obremenjenih polimerov [26]. Na osnovi te teorije je bila v sodelovanju s Goodyearom razvita in v podjetju uporabljena programska oprema, ki omogoča napovedovanje trajnosti elastomernih pogonskih jermenov. V okviru tega je bila razvita tudi nova metodologija za napovedovanje življenjske dobe izdelkov na osnovi kratkotrajnih meritev pri konstantnih hitrostih obremenjevanja.

Za reševanje inverznih problemov, ki se pojavijo pri reševanju tovrstnih problemov smo uporabili matematični pristop regularizacije in hibridno metodo strukturiranih nevronske mreže [28]. Skupina je razvila tudi algoritem za izvedbo časovno-frekvenčnotemperaturnotlačne superpozicije za izgradnjo materialnih funkcij, ki omogoča napovedovanje dolgoročnega vedenja polimerov [3]. Ta algoritem je bil vključen v nov ISO standard za karakterizacijo dinamičnih lastnosti viskoelastičnih materialov [4]. Razviti algoritem smo v sodelovanju s korporacijo Danfoss uporabili pri razvoju nove generacije ventilov za daljinsko ogrevanje, ki so na svetu prvič izdelani iz polimernih materialov.

Pomemben korak pri časovnoodvisnem konstitutivnem modeliranju je bil dosežen v sodelovanju s skupino profesor Liechty-ja iz univerze »University of Texas at Austin. Nelinearni viskoelastični model Knauss-Emri je bil nadgrajen v KnaussEmriLiechtiejev model in vgrajen v komercialni program ABAQUS in plasiran na svetovni trg preko spin-off podjetja Psylotech.

Nadaljnje raziskava v tej sferi vključujejo nadaljen razvoj in validacijo KnaussEmri-Liechtiejevega modela, kot tudi implementacijo v ostale komercialne programske pakete za analizo z metodo končnih elementov.

V tem programskem obdobju je skupina sodelovala s številnimi tujimi partnerji: Prof. W.G. Knauss Caltech, ZDA, Prof. A. Voloshin Lehigh Univeristy, ZDA, Prof. H. Lu-University of Texas at Dallas, ZDA, Prof. K. Liechti University of Texas at Austin, ZDA, Prof. M. Sutton University of South Carolina, ZDA, Prof. R. Simonyants Bauman State Moscow Technical University, Rusija, Prof. P. Saha Tomas Bata University in Zlin, Češka, Prof. J.F. Tassin University of Maine, Francija, Dr. T. Bhatti National University of Science & Technology, Pakistan, Dr. B. Kosoy Odessa State Academy of Refrigeration, Ukrajina, Dr. B. von Bernstorff BASF, Nemčija, Prof. C. Gallegos-Fresenius Kabi, Nemčija, Dr. F. Brehmer ITB, Nemčija, Dr. C. Kunisch Schott, Nemčija, R. Mukhomodiyarov - Saratov State University, Rusija in L. Kossovich - precdnik Saratov State University, Rusija.

Reference so v priponki.

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

SLO

Program dela je bil zaključen v skladu z zastavljenimi cilji. Na osnovi znanstvenih rezultatov so bili, kot nadaljevanje raziskav, uresničena dva pomembna družbeno-ekonomska dosežka (glej poglavje 3). Pridobljeni rezultati predstavljajo osnovo za nov raziskovalni program.

1. Študij procesa formiranja strukture materiala na različnih skalah opazovanja;

Pridobljeno znanje o strukturnih lastnostih polimernih materialov in načinu kako robni pogoji vplivajo na strukturo in funkcionalnost materialov bo uporabljeno za razvoj novih izdelkov, npr. vibroakustičnih materialov, implantatov, ter novih obdelovalnih tehnologij. V nadaljevanju programa bomo preučevali kako nadzirati strukturo na več nivojih s ciljem, da: i) pridobimo materiale z različno temperaturno & tlačno občutljivostjo, ii) spremenimo velikost prostega volumna, iii) prilagodimo pretočnost materiala, iv) izboljšamo dušilne/izolacijske lastnosti.

Razvito bazično znanje skupina uspešno prenaša v industrijsko okolje:

- S podjetjem ODELO razvijamo visokotlačno tehnologijo injekcijskega brizganja za proizvodnjo zadnjih avtomobilskih luči.
- S podjetjem Fresenius-Kabi razvijamo tehnologijo za shranjevanje zdravilnih učinkovin v medmolekularni prostor biorazgradljivih poliamidov in njihovo ciljno sproščanje v obolelo tkivo.

2. Razvoj merilnih tehnik in opreme za karakterizacijo časovno odvisnega vedenja polimerov in njihovih kompozitov;

Skupina je razvila naprave za karakterizacijo polimerov pri ekstremnih termomehanskih obremenitvah. Pridobljeno znanje smo uporabili za razvoj nove naprave za testiranje volumetričnih materialnih lastnosti v odvisnosti od temperature & tlaka. S tem so omogočene raziskave mehanskih lastnosti polimerov pri prehodu iz tekočega v trdno stanje, kar trenutno ni mogoče izmeriti, ter poglobljene raziskave vibroakustičnih dušilnih lastnosti časovnoodvisnih materialov in razvoj novih generacij izdelkov in tehnologij. Primer takih izdelkov so izolacijski materiali za globokomorsko črpanje nafte.

3. Teoretična in eksperimentalna analiza vedenja konstrukcijskih polimerov in njihovih kompozitov pri ekstremnih pogojih obremenjevanja.

Skupina je razvila teoretične pristope za uporabo mehanskih spektrov pri napovedovanju utrujanja polimerov, ter matematične in numerične postopke za reševanje inverznih problemov pri določevanju mehanskih spektrov iz podatkov pridobljenih pri »slabo definiranih« eksperimentalnih pogojih. Na podlagi tega znanja bo naša skupina razvila nove tehnike za diagnostiko v medicini.

Skupina je v preteklem obdobju, skupaj s tujimi raziskovalnimi partnerji, vgradila nelinearni viskoelastični model Knauss-Emri-Liechti v komercialni FEM programski paket ABAQUS. Eksperimentalni podatki, pridobljeni na napravi razviti v sklopu 2. raziskovalne sfere in ta nelinearni model bosta omogočila, naprimer, razvoj novih tehnologij za globokomorsko pridobivanje nafte (preko 3000 metrov).

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

SLO

Ni bilo sprememb.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

	Znanstveni dosežek		
1.	COBISS ID	11702043	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	t-T-P shifting (CFS) algoritem v zaključeni obliki
		ANG	The closed form t-T-P shifting (CFS) algorithm
	Opis	SLO	Karakterizacija časovno in/ali frekvenčno odvisnih materialnih lastnosti navadno zahteva premikanje merjenih segmentov v skladu s časovno temperaturnim superpozicijskih principom. V članku je predstavljen CFS algoritem v zaključeni obliki, s katerim je odpravljena pomanjkljivost premikanja segmentov zaradi neenoličnosti trenutno uporabljenih pristopov. Prikazana je izpeljava algoritma in preverjena pravilnost njegovega delovanja na simuliranih in realnih eksperimentalnih podatkih. Pokazano je, da je napaka CFS algoritma vsaj 10-50 krat manjša od eksperimentalne napake v podatkih.
		ANG	Time-dependent material functions of engineering plastics within the exploitation range of temperatures extend over several decades of time. For this reason material characterization is carried out at different temperatures and/or pressures within a certain experimental window. Using the timetemperature and/or time-pressure superposition principle, these response function segments can be shifted along the logarithmic time scale to obtain a master curve at selected reference conditions. This shifting is commonly performed manually (by hand) and requires some experience. Unfortunately, manual shifting is not based on a commonly agreed mathematical procedure which would, for a given set of experimental data, yield always exactly the same master curve, independent of a person who executes the shifting process. Thus, starting from the same set of experimental data two different researchers could, and very likely will, construct two different master curves. In this paper, we propose a closed form mathematical methodology (CFS), which completely removes ambiguity related to the manual shifting procedures. This paper presents the derivation of the shifting algorithm and its validation using several simulated and real experimental data. It has been shown that error caused by shifting performed with CFS is at least 10-50 times smaller then the underlying experimental error.
Objavljeno v	J. Wiley for the Society of Rheology; Journal of rheology; 2011; Vol. 55, no. 1; str. [1-16]; Impact Factor: 2.978;Srednja vrednost revije / Medium		

		Category Impact Factor: 1.301; A': 1; WoS: PU; Avtorji / Authors: Gergesova Marina, Zupančič Barbara, Saprunov Ivan, Emri Igor	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	4044977	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Časovno - odvisno vedenje plezalnih vrvi pod vplivom udarnih obremenitev
		ANG	Examination of the time-dependent behaviour of climbing ropes under impact loading
	Opis	SLO	Razvita eksperimentalna-numerična-analitična metodologija, ki je predstavljena v članku bazira na preprostem ne-standardnem eksperimentu padajoče uteži. Metodologija je bila uporabljena za karakterizacijo mokrih plezalnih vrvi. Analiza maksimalne udarne sile, viskoplastične komponente deformacije, količino shranjene, povračljive in disipirane energije, togost in maksimalna vrednost prvega odvoda pojemka (jolt) pokažejo, da vlaga pomembno vpliva na funkcionalnost in življensko dobo vrvi.
		ANG	Mokre vrvi povzročijo večjo maksimalno silo, disipirajo manj energije in generirajo večji delež povračljive energije, ki se prenese na plezalca. Lastnosti mokrih vrvi so tudi bolj občutljive na število padcev. Velike razlike vseh fizikalnih lastnosti so, po pravilu, bile opažene med prvimi tremi do štirimi padci. Pokazano je bilo, da sta za varnost plezalca najbolj pomembni lastnosti disipirana energija in jolt (prvi odvod plezalčevega pojemka). Razmerje disipirane in povrnjene energije bi lahko bil uporabljeno kot kriterij za oceno kvalitete plezalnih vrvi.
		ANG	Recently by our group developed experimental-numerical-analytical (ENA) methodology, based on a simple non-standard falling weight experiment, was used for mechanical characterization of dry and wet climbing ropes. Analysis of the maximum impact force; the visco-plastic component of rope deformation; the amount of stored, retrieved and dissipated energy; the stiffness of the rope; and the maximum value of the first derivative of the deacceleration (jolt) showed that moisture significantly affects the functionality and durability of ropes. Wet ropes create larger maximum force, dissipate less energy, and generate larger retrieved energy that propels climbers in the opposite vertical direction. Properties of wet ropes are also more sensitive to number of repeated drops. Major changes of all physical quantities are, as a rule, observed during the first three to four drops. It has been shown that for the safety of climbers the most indicative properties are dissipated energy and jolt (first derivative of climber de-acceleration). The ratio of dissipated and retrieved energy, $\psi = W_{dys} / W_{ret}$, could be used as a criterion for evaluation of the quality of climbing ropes.
	Objavljeno v	Fakulteta za šport, Inštitut za kineziologijo; Kinesiologia Slovenica; 2010; Vol. 16, no. 3; str. 7-13; Avtorji / Authors: Nikonov Anatolij Viktorovič, Burnik Stojan, Emri Igor	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	12490267	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv ekstenzivnega mehanskega recikliranja na lastnosti polietilena nizke gostote
		ANG	The effect of extensive mechanical recycling on the properties of low density polyethylene
			Polietilen nizke gostote (LDPE) je bil izpostavljen stotim zaporednim ekstruzijskim ciklom s čemer je bil simuliran vpliv mehanske reciklaže. Karakterizacija vzorcev je bila opravljena s pomočjo oscilatornih meritev za določitev reoloških lastnosti, za določitev molekularne teže je bila uporabljena metoda gel permeation chromatography (GPC) in diferenčni kalorimeter (DSC) za določitev termičnih lastnosti. Določene so bile tudi

	Opis	SLO	časovno-odvisne mehanske lastnosti - voljnost materiala. Rezultati raziskave so pokazali, da simulacija recikliranja bistveno ne vpliva na spremembo temperature taljenja in kristalizacije LDPE. Rezultati reoloških meritev, stopnja kristaliničnosti, voljnost in GPC kažejo, da se pojavi termična degradacija in gelacija LDPE po večih ciklih reciklacije, ki vodi do simultane procesa zamreževanja in sekanja verig. Zaključiti je mogoče, da se procesibilnost izmerjena preko reoloških parametrov pri visokih frekvencah in življenska doba LDPE (voljnost materiala) začneta spreminjati šele po 40 ciklih ekstruzije. Te ugotovitve so v skladu s spremembami molekularne teže izmerjene preko GPC, MFI in stopnje kristaliničnosti.	
		ANG	Low density polyethylene (LDPE) was exposed to one hundred (100) consecutive extensive extrusion cycles to simulate mechanical recycling. Collected samples were characterized by means of small amplitude oscillatory measurements to investigate rheological properties, by gel permeation chromatography (GPC) to measure molecular weight, and with differential scanning calorimetry (DSC) to study thermal properties. Finally, solid time-dependent mechanical properties were characterized by measuring creep compliance. The results show that simulated recycling did not significantly change the melting and crystallization temperatures of LDPE. However, results from rheological measurement, crystallinity, creep measurements and GPC suggest that thermal degradation and gelation of LDPE occur after extensive extrusion, which leads to simultaneous chain scission and crosslinking of the polymer chains. It can be concluded that processability, measured by rheological parameters at high frequency and durability of LDPE measured by creep compliance, are only affected after the 40th extrusion cycle. These observations correspond to the molecular changes of LDPE measured through GPC, MFI and crystallinity calculations obtained from DSC measurements.	
	Objavljeno v		Applied Science Publishers Ltd; Polymer degradation and stability; 2012; Vol. 97, iss. 11; str. 2262-2272; Impact Factor: 2.770; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.005; A': 1; WoS: UY; Avtorji / Authors: Jin Huiying, Gonzalez-Gutierrez Joamin, Oblak Pavel, Zupančič Barbara, Emri Igor	
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID		13309211	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Napovedovanje viskoelastičnih materialnih funkcij na osnovi eksperimenta, izvedenega pri dani hitrosti obremenitve v obliki napetosti ali deformacije	
		ANG	Prediction of viscoelastic material functions from constant stress- or strain-rate experiments	
	Opis	SLO	Za napovedovanje trajnosti polimernih konstrukcij je pomembna informacija o vedenju polimerov v daljšem časovnem obdobju, ki ga predstavljata relaksacijski modul in/ali voljnost materiala. Znano je, da predstavlja določanje relaksacijskega modula ali voljnosti iz eksperimentalnih podatkov reševanje inverznega problema, ki zaradi prisotnosti eksperimentalnih napak v vhodnih podatkih postane slabo pogojen. V članku je predlagana metodologija, ki obide pot reševanja slabo pogojene integralske enačbe in omogoča določitev časovno odvisnih lastnosti relaksacije in lezenja na osnovi eksperimenta, izvedenega pri dani hitrosti obremenitve v obliki napetosti ali deformacije pri različnih temperaturah. Predlagani pristop je mogoče aplicirati tako v primeru polimerov v trdnem stanju kot v primeru polimerov v tekočem stanju. Članek predstavlja podrobnosti predlagane metode in preverbo njenih zmogljivosti na večih primerih simuliranih in realnih eksperimentalnih podatkov. Pokazano je, da	

			predlagani pristop lahko natančno rekonstruira časovno odvisne lastnosti, ki so sicer pridobljene na klasičen način (npr. iz eksperimenta s koračno obremenitvijo).
		ANG	To predict durability of polymeric structures information on polymers long term properties in the form of relaxation modulus and/or creep compliance is required. It is well known that determination of relaxation or creep properties from experimental data is an inverse problem, which, due to presence of experimental errors in input data, becomes ill-posed. To find a stable solution using standard integration schemes is practically impossible. In this paper we propose a hands on methodology which bypasses the solution of ill-posed integral equation and allows finding longterm relaxation or creep properties from simple constant strain rate or constant stress rate experiments performed at different temperatures. The proposed approach can be applied not only for characterization of viscoelastic materials in solid state but can also be used for prediction of time-dependent properties of polymer melts. The paper presents the detailed steps of the proposed method as well as its validation on several simulated and real experimental data. It has been shown that the proposed approach can accurately reconstruct the desired long-term time-dependent properties obtained in traditional way (i.e., from step loading).
	Objavljeno v		Kluwer; Mechanics of time-dependent materials; 2014; Vol. 18, issue 2; str. 349-372; Impact Factor: 1.472; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.802; A': 1; WoS: PU, QF; Avtorji / Authors: Saprunov Ivan, Gergesova Marina, Emri Igor
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID		11702299 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Modeliranje procesa akumulacije deformacij ciklično obremenjenih pogonskih jermenov
		ANG	Modelling of strain accumulation process in cyclically loaded transmission belts
	Opis	SLO	Knjiga predstavlja analizo časovnoodvisnega vedenja polimernih (viskoelastičnih) materialov izpostavljenih cikličnim obrmoneitvenim pogojem, katerim so polimerni izdelki, kot na primer pogonski jermeni, izpostavljeni med svojim delovanjem. Časovna-odvisnost ciklično obremenjenga pogonskega jermena je preučevana s pomočjo novo razvite metodologije za analizo procesa akumulacije deformacij, ki bi lahko bil eden izmed mehanizmov odgovornih za otrdelost materiala, začetka razpok in na koncu za porušitev polimernih produktov.
		ANG	This book presents the analysis of time-dependent behaviour of polymeric (viscoelastic) materials under cyclic loading conditions that polymeric products, such as transmission belts, are exposed to during their operation. Time dependent behaviour of cyclically loaded transmission belts is studied through the newly developed methodology for analyzing strain accumulation process that may be one of the mechanisms responsible for the hardening of material, crack formation, and ultimately for the failure of polymeric products.
	Objavljeno v		Nova Science Publishers; 2011; VII, 57 str.; A': 1; A': 1; Avtorji / Authors: Zupančič Barbara, Emri Igor
	Tipologija		2.01 Znanstvena monografija

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek

1.	COBISS ID	3749403	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i>	Glavni urednik v mednarodni reviji Mechanics of Time Dependent Materials, Springer
		<i>ANG</i>	Editor in Chief of the International Journal Mechanics of Time Dependent Materials, Springer
	Opis	<i>SLO</i>	Mechanics of Time-Dependent Materials (MTDM) je mednarodna revija, ki jo izdaja založniška hiša Springer. Revija je se posvečenaa raziskovanju vedenja časovno odvisnih materialov in struktur. Revija izhaja štirikrat letno od 1996 dalje, pod pokroviteljstvom in sodelovanju Društva za eksperimentalno mehaniko in (ameriškega) Društva inženirjev plastike. MTDM promovira prenos znanja v različne discipline, ki se ukvarjajo z lastnostmi časovno odvisnih materialov in k tovrstni problematiki pristopajo iz različnih zornih kotov. Prof. Igor Emri je izvoljeni glavni in odgovorni urednik te revije (za področje Evrope, Azije in Afrike), ki jo izdaja založniška hiša Springer, Science+Business Media Dordrecht. Uredniška pozicija mu omogoča odličen vpogled v trenutno stanje znanstvenih dognanj na področju časovno odvisnih materialov.
		<i>ANG</i>	Mechanics of Time-Dependent Materials (MTDM), publishe by Springer, is an international journal devoted to the time-dependent behavior of materials and structures. A quarterly journal is published through a joint arrangement between the Society of Experimental Mechanics and (SEM) and the Society of Plastic Engineers (SPE) since 1996. MTDM promotes the transfer of knowledge between various disciplines that deal with properties of time-dependent materials, approaching from different angles. Professor Igor Emri is elected Editor-in-Chief (for Europe, Asia and Africa) of MTDM, published by Springer Science+Business Media Dordrecht. Position of an Editor-In-Chief provides a solid insight into the current state of the art in the field of behavior of time-dependent materials.
	Šifra	C.04	Uredništvo mednarodne revije
	Objavljeno v	Dordrecht; Norwell, MA: SpringerKluwer, 1997 -. ISSN 1385-2000.	
	Tipologija	3.25	Druga izvedena dela
2.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i>	Evropski podiplomski (magistrski) študij inženirske reologije – EURHEO
		<i>ANG</i>	The European Masters in Engineering Rheology – EURHEO
	Opis	<i>SLO</i>	Evropski podiplomski (magistrski) študij inženirske reologije – EURHEO in njen spin-off Psylotech, ponuja sodoben integrativen interdisciplinaren izobraževalni program s področja Reologije z namenom izobraziti nove strokovnjake z vsemi kompetencami, potrebnimi za razumevanje pomena in uporabe znanj reologije pri delu z materiali, pri obvladovanju tehnologij in pri reševanju inženirskih problemov. Študent raziskovalno delo opravlja na vsaj treh univerzah v treh državah. Ob zaključku študija študent pridobi dve diplomi.
		<i>ANG</i>	The European Masters in Engineering Rheology – EURHEO offers an advanced integrative interdisciplinary education programme & his spin-off company Psylotech; on Rheology and its applications to different Engineering areas. EURHEO combines the expertise of seven leading European Universities. Pursuant to the rules of the European postgraduate schools, each student participating in the EURHEO programme has to do research work in at least three different universities in three different EU countries. Upon completion of their studies, students receive two diplomas.
	Šifra	D.02	Ustanovitev raziskovalnega centra, laboratorija, študija, društva

3.	Objavljeno v		http://eurheo.eu/rheology
	Tipologija		3.25 Druga izvedena dela
	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Predsedovanje Znanstvenemu odboru za inženirske in tehnološke vede (ENGITECH) pri Science Europe
		ANG	Chairmanship of the Scientific Committee on Engineering and Technology Sciences (ENGITECH), at Science Europe
	Opis	SLO	Znanstvena komite za inženirske vede (ENGITECH) svetuje članom Science Europe na temah povezanih s inženirsko znanostjo, vključno z biologijo, kemijo, gradbeništvo, komunikacijami, elektroniko, mehanskimi in sistemskimi inženiringom, ter tudi računalništvom in informatiko. Komite sestavlja 15 verodostojnih evropskih akademikov, ki zastopajo široko paleto inženirskih znanstvenih disciplin. Komiteju predseduje Igor Emri, profesor na Univerzi v Ljubljani.
		ANG	The Scientific Committee for Engineering Sciences (ENGITECH) advises Science Europe members on subjects related to engineering sciences, including biological, chemical, civil, communication, electrical, mechanical and systems engineering, as well as computer science and informatics. It comprises 15 highly authoritative European academics representing a wide range of engineering sciences disciplines; it is chaired by Igor Emri, Professor of Mechanics at the University of Ljubljana, Slovenia.
	Šifra		D.03 Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih
	Objavljeno v		http://www.scienceeurope.org/scientificcommittees/thescientificcommittees/
	Tipologija		3.25 Druga izvedena dela
4.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Eksperimentalna določitev materialnih časovno odvisnih lastnosti (poglavje v enciklopediji "Encyclopedia of Thermal Stresses")
		ANG	Experimental Determination of Material Time-Dependent Properties (chapter in the Encyclopedia of Thermal Stresses)
	Opis	SLO	Na povabilo založniške hiše Springer Science+Business Media Dordrecht je naša raziskovalna skupina pripravila poglavje Experimental Determination of Material Time Dependent Properties v enciklopediji Encyclopedia of Thermal Stresses. Poglavje vključuje eksperimentalno metodo in metodologijo oz. matematični pristop, ki jih je razvila naša raziskovalna skupina. Predstavljena eksperimentalna metoda, CEM merilni sistem, omogoča določanje številnih časovno – odvisnih materialnih lastnosti v širokem temperaturnem in tlačnem področju, ki jih z napravami, ki so trenutno komercialno dostopne ni možno doseči. Razvita metodologija, ki je prav tako vključena v enciklopedijo pa omogoča določanje vedenja polimernih materialov na daljše časovno obdobje s pomočjo časovno temperaturno-tlačne superpozicije. Metoda je postala nov ISO standard. Pomen dosežka: Merilna metoda in matematičen pristop, ki sta bili razviti v sklopu naše raziskovalne skupine in omogočata napovedovanje dolgoročnega vedenja polimernih materialov, pri različnih ekstremnih robnih pogojih, sta na povabilo ene najuglednejših založniških hiš, vključeni v poglavje enciklopedije, ki predstavlja človeško zakladnico znanja.
			Based on the invitation of the publishing house Springer Science + Business Media Dordrecht our research group prepared a chapter on "Experimental Determination of Material Time Dependent Properties" in the encyclopedia: "Encyclopedia of Thermal Stresses". This review chapter

			includes also experimental and mathematical methods developed by our research group within this research program. The presented experimental method "CEM measuring system" allows determination of numerous time dependent material properties over a wide temperature and pressure range that is with commercial apparatuses currently not possible. The methodology for close-form time-frequency-temperature-pressure superposition, which became a new ISO standard is also presented in this chapter. The importance of the achievement: Measuring methods and mathematical approaches that allow prediction of long term behavior of polymeric materials in a variety of extreme boundary conditions, developed within this research program, were recorded in an encyclopedia of prestigious publishing house.
	Šifra	F.35	Drugo
	Objavljeno v	Emri I. et al. Experimental Determination of Material Time-Dependent Properties. V: Encyclopedia of Thermal Stresses. Hetnarski, Richard B. (Ed.); 2014, LXXXII, 6638 p. 3306 illus., 1174 illus. in color. In 11 volumes, not available separately; ISBN 9789400727380.	
	Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji	
5.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Znanstveni odbor za nastajajoča in na novo ugotovljena tveganja za zdravje (SCENIHR)
		ANG	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR)
	Opis	SLO	Pri pripravi politik in predlogov povezanih z varstvom potrošnikov, javnega zdravja in okolja, se evropska Komisija zanaša na neodvisne Znanstvene komiteje z namenom, da zagotovi znanstveno svetovanje in usmeri pozornost komisije na nove in nastajajoče težave. Znanstveni komiteji lahko na pomoč pokličejo dodatne strokovnjake iz baze znanstvenih svetovalcev in strokovnjakov. Eden izmed Znanstveni odborov je Znanstveni odbor za nastajajoča in na novo ugotovljena zdravstvena tveganja (SCENIHR). Odbor daje mnenja o nastajajočih ali na novo ugotovljenih zdravstvenih in okoljskih tveganjih. Mnenja podaja tudi o širokih, zapletenih ali multidisciplinarnih vprašanjih, ki zahtevajo obsežno oceno tveganj za varstvo potrošnikov ali javnega zdravja ter s tem povezanih vprašanj, ki niso zajeti v drugih organih za ugotavljanje tveganja. Prof. Igor Emri je član tega odbora.
		ANG	When preparing its policy and proposals relating to consumer safety, public health and the environment, the Commission relies on independent Scientific Committees to provide it with sound scientific advice and draw its attention to new and emerging problems. The Scientific Committees can call on additional expertise from a pool of scientific advisors and a database of experts. One of the committees is Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). The Committee provides opinions on emerging or newly-identified health and environmental risks and on broad, complex or multidisciplinary issues requiring a comprehensive assessment of risks to consumer safety or public health and related issues not covered by other Community risk assessment bodies. Prof. Igor Emri is a member of this committee.
	Šifra	D.03	Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih
	Objavljeno v	http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/index_en.htm	
	Tipologija	3.25 Druga izvedena dela	

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine⁷

Eden izmed najpomembnejših (uporabnih) rezultatov programske skupine je ISO standard Mechanical vibration & shock characterization of the dynamic mechanical properties of visco-elastic materials : ISO TC 108/SC/WG 28. Part 6, Time temperature shifting [COBISS.SIID 13265691]

Gre za matematično eksaktno metodo, ki omogoča, da na osnovi laboratorijsko izvedenih meritev, napovemo vzdržljivost konstrukcij in konstrukcijskih elementov izdelanih iz polimerov na daljše časovno obdobje. Matematični algoritem je bil izbran kot osnova za pripravo mednarodnega standarda ISO. To je eden redkih, če ne celo prvi ISO standard, ki predstavlja implementacijo bazičnih raziskav Slovenije.

Ostali pomembni dosežki skupine so:

- Tretja nagrada na Rektorjeva nagrada za naj inovacije Univerze v Ljubljani, 2014
- Druga nagrada za najbolj inovativno idejo v Sloveniji (Forum inovacij), 2014
- Patent: Dissipative bulk and granular systems technology, 2012
- Patent: Sleeper with damping element based on dissipative bulk or granular technology, 2012
- Organizacija conference: 8th International Conference on Modification, Degradation and Stabilization of Polymers, 2014
- Monografija: Experimental determination of material time-dependant properties. V: HETNARSKI, Richard B. (ur.). Encyclopedia of thermal stresses. Dordrecht: Springer Reference, 2014
- Monografija: Time-dependent behavior of solid polymers. V: Rheology. Vol. 1, (Encyclopedia of life support systems). Oxford: EOLSS, 2010
- Monografija: Powder injection molding of metal and ceramic parts. V: WANG, Jian (ur.). Some critical issues for injection molding. Rijeka: InTech, 2012
- Ustanovitev spin-off podjetja Institute for Sustainable Innovative Technologies ISIT, 2011

Mentorstva: končani 4 doktorati, 14 magistrskih nalog in 17 diplomskih nalog.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

V sklopu programa Inteligentni polimerni materiali in tehnologije je bil glavni cilj raziskovalne skupine razvoj temeljnih znanj in veščin potrebnih za generacijo inovativnih idej, ki predstavljajo tehnološki in ekonomski potencial Slovenije. Na osnovi znanstvenih dognanj sta bila dosežena dva izjemna socio-ekonomski dosežka:

- Razviti vibroakustični dušilni elementi zaščiteni s EU patentoma.
- Algoritem zaključene oblike za časovno – temperaturno superpozicijo, ki je bil sprejet kot nov ISO standard

Raziskave so bile usmerjene v razvoj nove generacije inteligentnih polimernih materialov in tehnologij. Delo je bilo razdeljeno v 3 raziskovalne sfere:

1. Študij procesa formiranja strukture materiala na različnih skalah opazovanja. Rezultati so pokazali, da je z omenjenimi pristopi možno izboljšati predelovalnost materialov, ter njihove mehanske in dušilne lastnosti. Razvito znanje smo uspešno uporabili pri razvoju nove nanoPIM tehnologije in pri razvoju nove generacije vibroakustičnih dušilnih elementov. Nadaljnje raziskave v tej sferi vključujejo razvoj kontejnerjev za lokalno depozicijo zdravilnih učinkovin na osnovi nano-membran iz bio- in sintetičnih- polimerov in razvoj tehnologije visoko tlačnega injekcijskega brizganja.

2. Razvoj merilnih tehnik in opreme za karakterizacijo časovno odvisnega vedenja polimerov in njihovih kompozitov. Skupina je razvila več merilnih sistemov za merjenje časovno – odvisnih lastnosti polimerov, še zlasti pri visokih tlakih in hitrostih obremenitev, ki komercialno niso na

voljo na trgu. Obetajoča eksperimentalna naprava, ki jo skupina razvija omogoča karakterizacijo polimerov pri visokih hitrostih obremenitve in visokih tlakih. Pridobljeno znanje, ki izhaja iz razvoja te naprave bo omogočilo razvoj nove generacije naprav za testiranje gmostnostnih lastnosti polimernih materialov pri različnih tlačnih in temperaturnih pogojih. Ta naprava bo omogočila izvajanje meritev polimernih materialov v prehodnem območju med tekočim in trdnim stanjem. Rezultati, ki bodo sledili iz meritev na tej napravi bodo omogočili nadaljni razvoj vibro-akustičnih dušilnih elementov.

3. Teoretična in eksperimentalna analiza vedenja konstrukcijskih polimerov in njihovih kompozitov pri ekstremnih pogojih obremenjevanja. Razvoj te sfere je potekal v treh smereh:

- Skupina je preiskovala vpliv mehanskega spectra na process utrujanja ciklično obremenjenih polimernih materialov. Na podlagi rezultatov raziskav je bil razvit model za napoved trajnosti elastomernih jermenov. Razvito metodologijo uporablja sedaj Goodyear.
- Razvoj nove metodologije za generacijo sumarnih krivulj lezenja ali relaksacije na osnovi kratkih eksperimentov.
- Skupina je prav tako razvila algoritem za časovno-temperaturno-tlačno superpozicijo za generacijo sumarnih krivulj, ki omogočajo predikcijo lastnosti polimernih materialov v daljšem časovnem obdobju. Ta algoritem je bil vključen v prihajajoči ISO standard.

ANG

The ultimate goal of the program Intelligent polymeric materials and technologies was to develop the fundamental knowledge and skills needed for generating innovative ideas that represent technological potential and economic opportunities for Slovenia. Two outstanding follow-up results should be emphasized in addition to the planned results:

- Novel vibroacoustic damping elements protected by two EU patents.
- Closed form algorithm for the time-temperature superposition, which was accepted as a new ISO standard.

The research was focused on developing new generation intelligent polymeric materials and technologies. Activities were divided into 3 research spheres:

1. Study of material structure formation process at different observation scales. Where current results show that non-chemical modifications on molecular scvale lead structures that exhibit improved processability, and better mechanical and damping properties. With these knowledge we have improved feedstock materials used in powder injection moulding and develop new generation vibroacoustic damping elements.

Future research in this sphere includes developing of implantable medical devices like solid-state drug delivery system based on electrospun nanofibrous membranes made of biodegradable bio-, and synthetic- polymers, and development of new high pressure injection moulding technology.

2. Development of measurement techniques and equipment to characterize time-dependent behaviour of polymers and their composites. During the past period our group developed several novel measuring systems for characterization of time-dependent properties of polymers, particularly at high pressures & high rates, which commercially are not available.

The apparatuses allow mechanical characterization of polymers in transition from molten to solid state. At present such investigations are not possible. Based on this knowledge further improvement of vibroacoustic damping elements and drug delivery containers are expected.

3. Theoretical and experimental analysis of the behaviour of structural polymers and their composites under extreme thermo-mechanical boundary conditions where conducted in three main directions:

- Investigation of the effect of material inherent structure, expressed with mechanical spectrum, on the long-term behavior of dynamically loaded polymers, which resulted in a new methodology for predicting durability of elastomeric drive belts. Methodology was implemented in the Goodyear Company.
- Development of a new methodology for predicting long term creep and/or relaxation material functions from short constant stress, or strain rate measurements.
- The group also developed a new algorithm for performing time-frequency temperature-pressure superposition to predict long-term behavior of polymers. The new algorithm was was

accepted as a new ISO standard.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

V sklopu programa Inteligentni polimerni materiali in tehnologije je bil glavni cilj raziskovalne skupine razvoj temeljnih znanj in veščin potrebnih za generacijo inovativnih idej, ki predstavljajo tehnološki in ekonomski potencial Slovenije. Na osnovi znanstvenih dognanj sta bila dosežena 2 pomembna socioekonomska dosežka:

- Razvita je bila nova generacija vibroakustičnih dušilnih elementov, ki smo jih zaščitili z dvema EU patentoma.
- Razvita je bila matematična metodologija za časovnotemperaturnotlačno superpozicijo, ki je bila vključena v novi ISO standard.

V sklopu programa so bile naše raziskave usmerjene v tri raziskovalne sfere, kjer je bil naš cilj implementirati generirano znanje v inovacijski proces, ki lahko vodi do novih tehnoloških rešitev in novih funkcionalnosti in/ali izboljšano trajnostjo obstoječih rešitev v različnih področjih implementacije.

1. V prvi raziskovalni sferi, kjer smo raziskovali procesa formiranja strukture materiala na različnih skalah opazovanja smo preučevali granulirane disipativne sisteme, kar je vodilo do razvoja vibro-akustičnih dušilnih elementov. V ta razvojni proces so bili vključeni tudi dodiplomski in podiplomski študentje. Razviti in patentirani dušilni elementi predstavljajo velik korak proti zagotavljanju boljše kvalitete sonaravnega življenja v urbanih okoljih. Obenem predstavljajo izhodišče za formiranje novega spin-off podjetja, ki bo v prvi fazi delovalo znotraj Inštituta za sonaravne inovativne tehnologije.

Pridobljeno znanje bo prav tako uporabljeno pri razvoju kontejnerjev za lokalno depozicijo zdravilnih učinkovin v medicini in pri razvoju medicinskih vsadkov.

2. Ena izmed naprav razvitih v sklopu druge raziskovalne sfere bo uporabljena za določitev meje linearne teorije viskoelastičnosti, ki je ključni mejnik pri krepitvi uporabe polimernih materialov v konstruiranju. V nadaljevanju bomo to znanje, v sodelovanju z industrijskimi partnerji, uporabili za razvoj nove generacije daljinsko nadzorovanih v svetu prvih polimernih ventilov v toplotni tehniki.

3. Raziskovalni rezultati iz tretje sfere bodo uporabljeni za razvoj nove generacije polimernih zobnikov. Poleg tega bomo matematični algoritem za časovno-frekvenčno-temperaturno-tlačno superpozicijo, ki je postal novi ISO standard, implementirali v programsko opremo, in jo v sodelovanju z ISO plasirali na svetovni trg.

ANG

The ultimate goal of our research program Intelligent polymeric materials and technologies was to develop fundamental knowledge and skills needed for generating innovative ideas that represent technological potential and economic opportunities for Slovenia. In this respect two outstanding follow-up results should be emphasized:

- Developed vibroacoustic elements protected by EU patents.
- Developed closed form shifting methodology accepted as a new ISO standard.

The ultimate goal of the research program was to implement newly generated knowledge into innovation process that will lead to new innovative solutions and new functionalities and/or improved durability of existing solutions in different areas of implementation.

1. Utilizing knowledge and research results developed within the first research sphere, where we have studied material structure formation process at different observation scales, we have developed and patented new generation vibro-acoustic damping elements. Into this innovation process we included also undergraduate and graduate students. The novel damping elements represent a big leap in ensuring quality of sustainable living in urban environments. At the same time this represents an opportunity for formation of a new spin-off company, which will initially operate within the Institute for Sustainable Innovative Technologies.

Generated knowledge will also be used for developing solid-state drug delivery system and

medical implants.

2. One of the measuring devices developed within this research sphere will be used for determination of the limit of linear theory of viscoelasticity, which is the key milestone in intensifying the use of polymeric materials for construction purposes. It is planned to implement this knowledge, together with our industrial partners, for development of new generation remotely operated polymeric valves for heating systems.

3. Research from the third sphere will be utilized for development of new generation polymeric gears. In addition, the developed mathematical algorithm for time-frequency-temperature pressure superposition, which became a new ISO standard, will be implemented into a software packages and with the help of ISO offered to the world market.

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

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	3
bolonjski program - II. stopnja	6
univerzitetni (stari) program	14

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
28608	Barbara Zupančič	☐	☒	☐	
33012	Ivan Saprunov	☐	☒	☒	
30976	Marina Gergesova	☐	☒	☒	
0	Joamin Gonzalez-Gutierr	☐	☒	☐	
33893	Huiying Jin	☒	☐	☐	
33894	Arman Boromand	☒	☐	☐	
0	Jamal Umer	☒	☐	☐	
0	Jesús Alejandro Moreno I	☒	☐	☐	
0	Selami Bayeg	☒	☐	☐	
0	Galina Kubyshkina	☒	☐	☒	
0	Abdulkobi Gafurovich Par	☒	☐	☐	
0	Gustavo Beulke Stringari	☒	☐	☐	

Legenda:

Mag. - Znanstveni magisterij

Dr. - Doktorat znanosti

MR - mladi raziskovalec

11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
33012	Ivan Saprunov	☐	☒	E - Tujina	
30976	Marina Gergesova	☐	☒		

				E - Tujina	
33893	Huiying Jin			E - Tujina	
33894	Arman Boromand			E - Tujina	

Legenda zaposlitev:

- A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
B - gospodarstvo
C - javna uprava
D - družbene dejavnosti
E - tujina
F - drugo

12.Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
35924	Hongbing Lu	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
35923	Arkady S. Voloshin	B - uveljavljeni raziskovalec	7	
35753	Rostislav Simonyants	B - uveljavljeni raziskovalec	10	
0	Abdul Qadir Bhatti	B - uveljavljeni raziskovalec	2	
0	Boris Kosoy	B - uveljavljeni raziskovalec	2	
0	Crispulo Gallegos	A - raziskovalec/strokovnjak	1	
0	Arun Shukla	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Jean Francois Tassin	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Boris Semenov	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Zaki Ajji	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Leonid Liashenko	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Virginia Carrera Pérez	C - študent – doktorand	5	
0	Alex Dumansky	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Vladimir Danilov	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Bernd Steffen von Bernst	A - raziskovalec/strokovnjak	2	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
B - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
C - študent – doktorand iz tujine
D - podoktorand iz tujine

13.Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹⁵

SLO

- 29238-IC-1-2002-1-PT-ERASMUS-PROGUC-1, European postgraduate programme in rheology – EURHEO (v projekt vključeni član programske skupine: prof. dr. Igor Emri)

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

SLO

Projekti povezani s gospodarstvom:

- 00/4501462507/RTP5: SCHOTT AG – Development & production of 10% lighter windshields for military & civil armoured vehicles (prof. dr. Igor Emri, dr. Ivan Saprunov)
- SRRP09/II/116: Gorenje ABEN Adaptive Absorbers of Impact Energy (prof. dr. Igor Emri, dr. Saprunov)
- ISIT0108 Tovarna asfalta Pomurje d.o.o – Polymer additives in the stone fractions for the needs of the production of asphalt (prof. dr. Igor Emri)
- ISIT0208 SGP POMGRAD – GM d.o.o. Polymer additives in stone and gravel aggregates for concrete production needs (prof. dr. Igor Emri)
- ISIT0308 Interling Holding d.o.o. A new generation of osteointegratable dental implants with gradient structure (prof. dr. Igor Emri)
- ISIT0408 SGP POMGRAD – ABI, d. o. o. Polymer additives and stone & gravel aggregates for concrete production (prof. dr. Igor Emri)
- ISIT0109 CP Murska Sobota d.d. Analysis of asphalt mixtures with polymer additives bituminous binder at installation and after installation (prof. dr. Igor Emri)
- Kmetijsko gospodarstvo Rakičan d.d: Research in the field of agriculture and agricultural industry for the group of Panvita, (prof. dr. Igor Emri)
- Kmetijsko gospodarstvo Rakičan d.d Research in the field of agriculture and agricultural industry (prof. dr. Igor Emri)
- Panvita, Prašičjereja Nemščak d.o.o.: Research in the field of agriculture and agricultural industry, (prof. dr. Igor Emri)
- Elektromaterial Lendava d.d.(prof. dr. Igor Emri)
- Nº5/0042013 Javni razpis raziskovalni vavčer: (ODELO Slovenija d.o.o.) The development of highpressure injection molding technology of thermoplastic materials, Ministry of Education, Science, Culture and Sport (prof. dr. Igor Emri)
- 5/0052013 Javni razpis raziskovalni vavčer (DANFOSS Trata, d.o.o.) Prediction of lifetime durability of thermoplastics exposed to combined pressuretemperature loading conditions, Ministry of Education, Science, Culture and Sport (prof. dr. Igor Emri)

TIA projekt:

- MR10/148: Young researchers from industry generation 2010, Marko Bek, Gorenje, d.d. (prof. dr. Igor Emri)

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

SLO

PIM tehnologija:

Ocenjujemo, da imajo v okviru programa najvišjo stopnjo tehnološke zrelosti za implementacijo v praksi rezultati, ki so vezani na optimizacijo polioksimetilenskega veziva in sestave surovine za postopek izdelovanja preciznih komponent s postopkom injekcijskega brizganja prahov (PIM tehnologija). Rezultati raziskovalnih aktivnosti v tej smeri bodo vodili do optimalne sestave polioksimetilenskega veziva in optimalne distribucije velikosti prašnatih kovinskih delcev, v končni fazi pa preko mešanja obeh komponent do optimalne sestave vhodne surovine za injekcijsko brizganje prahov. Možnost implementacije rezultatov vidimo po eni strani preko vzpostavitve proizvodnje surovine same, drugo možnost, ki predstavlja dopolnitev prejšnje, pa

preko vzpostavitve proizvodnje izdelkov, ki vključuje fazo izdelave zelenega kosa z injekcijskim brizganjem prahov, fazo izdelave rjavega kosa z odstranjevanjem veziva ter fazo sintranja, ki vodi do izdelave končnega produkta zahtevne geometrije. Raziskave in inovativni razvoj poteka v sodelovanju s korporacijo BASF.

Tehnologija disipativnih granuliranih materialov:

Tehnološko zrelost izkazujejo tudi rezultati, vezani na dušilne sposobnosti granuliranih materialov za dušenje hrupa in vibracij. Pripravljeni sta bili dve mednarodni patentni prijavi, vezani na (i) tehnologijo uvajanja in izkoriščanja lastnosti granuliranih elastomernih materialov v območju, kjer izkazujejo največjo sposobnost absorpcije energije, ter (ii) razvoj železniških pragov z nameščenimi dušilnimi elementi za absorpcijo mehanskih vibracij. Predlagana rešitev je bila izbrana in nagrajena tudi kot ena izmed »NAJBOLJ INOVATIVNIH« idej v okviru Univerze v Ljubljani, ter druga najbolj inovativna ideja v Sloveniji leta 2014 (Forum inovacij). Predstavitev ideje je opravil mladi raziskovalec Marko Bek.

Tržno plasiranje patentirane ideje dušilnih elementov je načrtovana v sodelovanju s nemškimi železnicami iz Düsseldorfa za razvoj dušilnih elementov za železniške tire, ter indijsko korporacijo Fairwood za razvoj vibracijske zaščite strojev in naprav.

16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali

možnost ustanovitve spin-off podjetja	☒ DA ☐ NE
potrebni finančni vložek	5.000.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	V primeru vzpostavitve proizvodnje izdelkov preciznih in zahtevnih geometrij s PIM tehnologijo, ki vključuje fazo izdelave zelenega kosa z injekcijskim brizganjem prahov, fazo izdelave rjavega kosa z odstranjevanjem veziva ter fazo sintranja, ki vodi do izdelave končnega produkta je že iz števila korakov operacij jasno, da bi vzpostavitev take proizvodnje zahtevala delovno okolje z ustrezno infrastrukturo in industrijsko opremo, ki bo pokrivala vse faze PIM postopka in zagotavljala vse potrebne varnostne ukrepe. Velik potencial predstavlja tudi patentirana tehnologija elastomernih granuliranih dušilnih elementov za potrebe vibro-akustične zaščite. Za testiranje dušilnih elementov 'v naravi' so potrebna dovoljenja in dostop do železniških prog, kjer bi lahko preizkusili delovanje tega sistema. Z implementacijo te tehnologije smo pričeli v sodelovanju z Deutsche Bahn, Nemčija in Fairwood, Indija

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Nova metoda karakterizacije termo-mehanskega časovno odvisnega vedenja polimerov in njihovih kompozitov

Pomen dosežka:

Razvili smo matematično eksaktno metodo, ki omogoča, da na osnovi laboratorijsko izvedenih meritev, napovemo vzdržljivost konstrukcij in konstrukcijskih elementov izdelanih iz polimerov na daljše časovno obdobje. Matematični algoritem je bil izbran kot osnova za pripravo mednarodnega standarda ISO. To je eden redkih, če ne celo prvi ISO standard, ki predstavlja implementacijo bazičnih raziskav Slovenije.

Doseženi rezultat:

Izpeljan je bil matematični algoritem za časovno-temperaturno- tlačno-superpozicijo, ki predstavlja rešitev več kot 50 let starega problema 'ročnega' izvajanja superpozicijskega principa. Izpeljani algoritem temelji na fizikalni zakonitosti, da je v procesu relaksacije in/ali lezenja spreminjanje proste notranje energije na enoto logaritemskega časa pri dveh različnih konstantnih temperaturno-tlačnih pogojih enaka.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

ISO standard v okviru delovne skupine ISO/TC 108/WG 28, Mechanical vibration and shock

Izhodišče:

Izhodišče družbeno ekonomskega dosežka je matematični algoritem za časovno, temperaturno-, tlačno superpozicijo, ki predstavlja rešitev več kot 50 let starega problema na področju mehanike časovno odvisnih materialov.

Doseženi rezultati:

Razviti algoritem je bil vključen v ISO standard, ki bo vpeljan v okviru delovne skupine ISO/TC 108/WG 28, Vibration Materials. Vsebina standarda obsega standardizacijo CFS algoritma, nadgrajenega za implementacijo frekvenčno temperaturnega superpozicijskega principa za premikanje segmentov vzdolž frekvenčne skale in izdelavo sumarnih krivulj.

Pomen dosežka:

Standardizirani algoritem omogoča napovedovanje vedenja polimernih materialov v širokem frekvenčnem območju na osnovi kratkotrajnih laboratorijskih meritev. To je eden redkih, če ne celo prvi ISO standard, ki predstavlja implementacijo bazičnih raziskav Slovenije.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

Podpisi:

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

in

vodja raziskovalnega programa:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
strojništvo

Igor Emri

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

10.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/113

¹ Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne

ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

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

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, navedite: "Ni bilo sprememb.". Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

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

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

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://www.sicris.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

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

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

¹¹ Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

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

¹³ Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite "MR". [Nazaj](#)

¹⁴ Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

¹⁵ Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁶ Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁷ Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

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

¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00b

B1-70-02-67-C4-FF-67-DC-4C-E3-D5-DC-C6-3D-94-45-6F-9D-79-B5

Priloga 1

REFERENCES- Inteligentni polimerni materiali in tehnologije/Intelligent polymeric materials & technologies

- [1] EMRI, I, BERNSTORFF, B S von. Dissipative bulk & granular systems technology: EP 12006059 (A1) - 2014-02-26. München: Europäisches Patentamt, 2014 [COBISS.SI-ID 12444187]
- [2] EMRI, I, BERNSTORFF, B S von, BREMER, F, KALAMAR, A, BEK, M, OBLAK, P. Sleeper with damping element based on dissipative bulk or granular technology : Anmeldenummer 12006058.7 . München: Europäisches Patentamt, 2012. [COBISS.SI-ID 12444699]
- [3] GERGESOVA, M, ZUPANČIČ, B, SAPRUNOV, I, EMRI, I. The closed form t-T-P shifting (CFS) algorithm. J. rheol, ISSN 0148-6055, 2011, 55, 1, 1-16, doi: 10.1122/1.3503529. [COBISS.SI-ID 11702043]
- [4] GERGESOVA, M, EMRI, I. ISO standard - Mechanical vibration & shock - characterization of the dynamic mechanical properties of visco-elastic materials: ISO TC 108/SC/WG 28. Part 6, Time-temperature shifting: Ver. 1, 2013. V, 23 f., ilustr. [COBISS.SI-ID13265691]
- [5] UMEK, P, HUSKIĆ, M, SEVER ŠKAPIN, A, FLORJANČIČ, U, ZUPANČIČ, B, EMRI, I, ARČON, Denis. Structural & mechanical properties of polystyrene nanocomposites with 1D titanate nanostructures prepared by an extrusion process. Polym comp, ISSN 0272-8397, 2009, 30, 9, 1318- 1325, doi: 10.1002/pc.20697. [COBISS.SI-ID 22051623]
- [5] SEDLARIK, V, EMRI, I. Structure & conditioning effect on mechanical behavior of poly(vinyl alcohol)/calcium lactate biocomposites. Polym comp., ISSN 0272-8397, 2009, 30, 8, 1158-1165, doi: 10.1002/pc.20672. [COBISS.SI-ID 10998043]
- [6] STRINGARI, G, ZUPANČIČ, B, KUBYSHKINA, G, BERNSTORFF, B S, EMRI, I. Time-dependent properties of bimodal POM - application in powder injection molding. Powder technol, ISSN 0032-5910. 2011, 208, 3, 590-595, doi: 10.1016/j.powtec.2010.12.025. [COBISS.SI-ID11702555]
- [7] GONZALEZ-GUTIERREZ, J, STRINGARI, G B, ZUPANČIČ, B, KUBYSHKINA, G, BERNSTORFF, B S von, EMRI, I. Time-dependent properties of multimodal polyoxymethylene based binder for powder injection molding. J solid mech & mater eng, ISSN 1880-9871, 2012, 6, 6, 419- 430, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmmp/6/6/6_419/_pdf. [COBISS.SI-ID 12353051]
- [8] GONZALEZ-GUTIERREZ, J, OBLAK, P, BERNSTORFF, B S von, EMRI, I. Processability & mechanical properties of polyoxymethylene in powder injection molding. V: ANTOUN, Bonnie (ur.). Challenges in Mechanics of Time-Dependent Materials & Processes in Conventional & Multifunctional Materials. Vol. 2, Proceedings of the 2013 Annual Conference on Experimental & Applied Mechanics, (ISSN 2191-5652). Springer, 2014, 49-55, doi: 10.1007/978-3-319-00852-3_7. [COBISS.SI-ID 13120027]
- [9] EMRI, I, BERNSTORFF, B S von, RAUSCHENBERGER, V, HORN, H C. Multimodal poliamides, polyesters & polyester amides: CA2449893 A1, US2004152847 A1 2004 0805: Internationale Patentklassifikation C08G 73/00: PCT no. PCT/EP02/06486. [S. I.]: Canadian Intellectual Property Office, 2004. 1 listina. [COBISS.SI-ID 7820571]
- [10] EMRI, I, BERNSTORFF, B S von, RAUSCHENBERGER, V, HORN, H C. Multimodale polymermischungen = Multimodal polymer blends: Internationales Veröffentlichungsnummer WO 03/006544 A2, Internationales Veröffentlichungsdatum 23.01.2003: Internationale Patentklassifikation C08L : Internationales Aktenzeichen PCT/EP02/06547, Internationales Anmeldedatum 14.06.2002. [S. I.], 2003.
- [11] BEK, M, HOLEČEK, N, EMRI, I. Viscoelastic damping elements for vibration reduction. V: CVETKOVIĆ, D. S. (ur.). Proceeding of Papers. Niš: Faculty of Occupational Safety, 2012, str. 149-152. [COBISS.SI-ID 588840]
- [12] FLORJANČIČ, U, ZUPANČIČ, B, EMRI, I. The effect of processing conditions on the durability of polymer products. Inter J Microstructure & Mater Prop, ISSN 1741-8410, 2009, 4, 5/6, 577-593, [COBISS.SI-ID 11292955]
- [13] KUBYSHKINA, G, ZUPANČIČ, B, ŠTUKELJ, M, GROŠELJ, D, MARION, L, EMRI, I. The influence of different sterilization techniques on the time-dependent behavior of polyamides. J biomater & nanobiotechnol, ISSN 2158-7027, 2011, 2, 4, 361-368, doi:10.4236/jbnb.2011.24045.
- [14] UMER, J. Določitev ekvivalentnosti vpliva temperature in tlaka ter preverba veljavnosti koncepta prostega volumna za poliamid-6 : master thesis. Ljubljana: [J. Umer], 2012 [COBISS.SI-ID 12461339]
- [15] SHABBIR, A. Določitev ekvivalentnosti vpliva tlaka in temperature na strižne in volumetrične lastnosti termoplastičnega poliuretana: master thesis. Ljubljana: [A. Shabbir], 2013 [COBISS.SI-ID 13161243]
- [16] JIN, H, GONZALEZ-GUTIERREZ, J, OBLAK, P, ZUPANČIČ, B, EMRI, I. The effect of extensive mechanical recycling on the properties of low density polyethylene. Polym degrad & stabil, ISSN 0141-3910, 2012, 97, 11, 2262-2272, doi:

- [17] EMRI, I, PRODAN, T. A measuring system for bulk & shear characterization of polymers. *Exp mech*, ISSN 0014-4851, 2006, 46, 4, 429-439. [COBISS.SI-ID 9497627]
- [18] NIKONOV, A V, DAVIES, A.R., EMRI, I. The determination of creep & relaxation functions from a single experiment. *J rheol*, ISSN 0148-6055, 2005, 49, 6, 1193-1211. [COBISS.SI-ID 8872219]
- [19] OSELI, Alen, EMRI, Igor. Apparatus for measuring dynamic bulk compliance of time-dependant materials. *Key eng mater*, ISSN 1013-9826, 2014, vol. 601, str. 3-6, ilustr., doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.601.3. [COBISS.SI-ID 13363739]
- [20] MORENO LÓPEZ, J A. Effect of particle size on the flow ability of micro-sized stainless steel 316LW powder analyzed with a new granular flow apparatus = master thesis. Ljubljana: [J. A. Moreno Lopez], 2012. XXIII, 116 f., [COBISS.SI-ID 12460827]
- [21] KOBAL, J, SAPRUNOV, I, GONZALEZ-GUTIERREZ, J, EMRI, I. Behaviour of polyamide PA6 under impact loading with projectiles of different mass. V: *Kuhljevi dnevi 2013, Rogaška Slatina, 25.-26. september, 2013*. HRIBERŠEK, M (ur.), RAVNIK, J (ur.). Zbornik del. Ljubljana: SDM - Slovensko društvo za mehaniko, 2013, str. 73-80, [COBISS.SI-ID 13134619]
- [22] NIKONOV, A V, SAPRUNOV, I, ZUPANČIČ, B, EMRI, I. Influence of moisture on functional properties of climbing ropes. *Inter J Impac Eng*, ISSN 0734-743X, Nov. 2010, 38, 11, 900-909, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2011.06.003. [COBISS.SI-ID 11964699]
- [23] NIKONOV, A V, BURNIK, S, EMRI, I. Examination of the time-dependent behaviour of climbing ropes under impact loading, *Kinesiologia Slovenica*, ISSN 1318-2269, 2010, 16, 3, 7-13 [COBISS.SI-ID4044977]
- [24] BURNIK, S., KOFLER, G., PERGAR, A., EMRI, I.. Nekatere mehanske lastnosti suhih in mokrih plezalnih vrvi. *Šport*, ISSN 0353-7455, 2011, letn. 59, št. 3/4, str. 132-138, ilustr., tabeli. [COBISS.SI-ID 4146865]
- [25] KNAUSS, W G, EMRI, I. Non-linear viscoelasticity based on free volume consideration. *Computers & Structures*, ISSN 0045-7949, 1981, 13, 1- 3, 123-128. [COBISS.SI-ID 8052507]
- [26] ZUPANČIČ, B, EMRI, I. Time-dependent constitutive modeling of drive belts. 2, The effect of the shape of material retardation spectrum on the strain accumulation process. *Mechanics of time-dependent materials*, ISSN 1385-2000, 2009, 13, 4, 375-400. <http://dx.doi.org/10.1007/s11043-009-9097-6>. [COBISS.SI-ID11241243]
- [27] SAPRUNOV, I, GERGESOVA, M, EMRI, I. Prediction of viscoelastic material functions from constant stress- or strain-rate experiments. *Mech of time-dependent mate*, ISSN 1385-2000, 2013, doi: 10.1007/s11043-013-9231-3. [COBISS.SI-ID 13309211]
- [28] AULOVA, A, EMRI, I. Using artificial neural networks for modelling of time-dependent material behavior. V: *ALFIREVIĆ, Ivo (ur.), SEMENSKI, D (ur.). Proceedings. Primošten: Croatian Society of Mechanics, 2013, 33-34*, [COBISS.SI-ID 13141019]
- [29] OBLAK P., GONZALEZ-GUTIERREZ J., ZUPANČIČ B., AULOVA A., EMRI I., Processability and mechanical properties of extensively recycled high density polyethylene, *Polymer Degradation and Stability*, Available online 28 January 2015, ISSN 0141-3910, <http://dx.doi.org/10.1016/>
- [30] BEK M., BETJES J., EMRI I., HOLEČEK N. Pressure sensitivity of thermoplastic polyurethane. *Facta Universitatis. Series, Working and living environmental protection*, ISSN 2406-0534. [Online ed.], 2014, vol. 11, no. 1, str. 35-42, ilustr. <http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUWorkLivEnvProt/article/view/357/219>. [COBISS.SI-ID 13741083]

Priloga 2

TEHNIKA

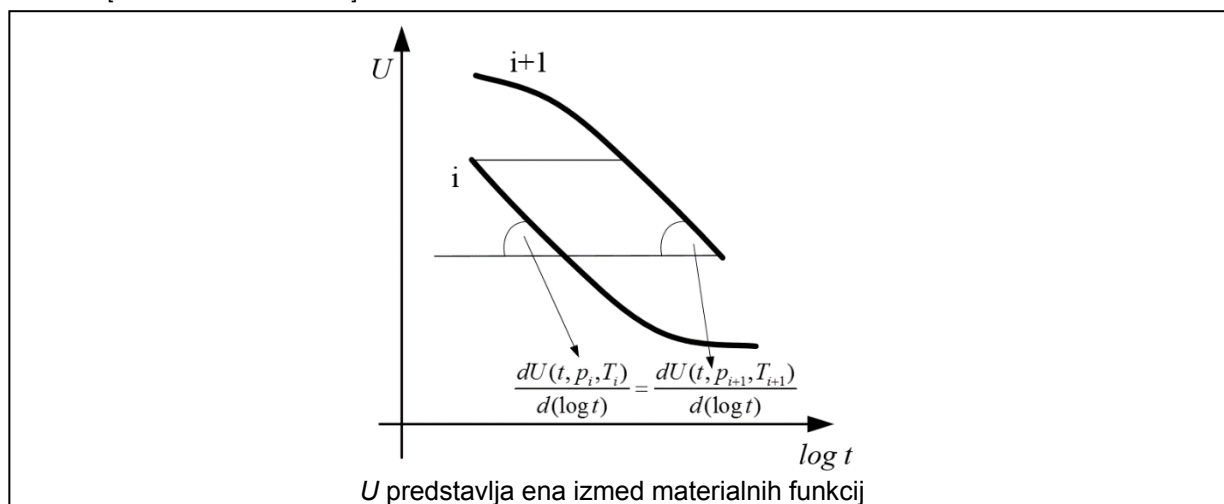
Področje: 2.04 Materiali

Znanstveni dosežek: Nova metoda karakterizacije termo-mehanskega časovno odvisnega vedenja polimerov in njihovih kompozitov

Viri:

GERGESOVA, Marina, ZUPANČIČ, Barbara, SAPRUNOV, Ivan, EMRI, Igor. The closed form t-T-P shifting (CFS) algorithm. *J. rheol. (N.Y. N.Y.)*, 2011, vol. 55, no. 1, str. [1-16], doi: 10.1122/1.3503529. [COBISS.SI-ID 11702043]

SAPRUNOV, Ivan, GERGESOVA, Marina, EMRI, Igor. Prediction of viscoelastic material functions from constant stress- or strain-rate experiments. *Mechanics of time-dependent materials*, ISSN 1385-2000, 2013, ilustr., doi: 10.1007/s11043-013-9231-3. [COBISS.SI-ID 13309211]



Pomen dosežka: Razvili smo matematično eksaktno metodo, ki omogoča, da na osnovi laboratorijsko izvedenih meritev, napovemo vzdržljivost konstrukcij in konstrukcijskih elementov izdelanih iz polimerov na daljše časovno obdobje. Matematični algoritem je bil izbran kot osnova za pripravo mednarodnega standarda ISO. To je eden redkih, če ne celo prvi ISO standard, ki predstavlja implementacijo bazičnih raziskav Slovenije.

Doseženi rezultat: Izpeljan je bil matematični algoritem za časovno-temperaturno- tlačno-superpozicijo, ki predstavlja rešitev več kot 50 let starega problema 'ročnega' izvajanja superpozicijskega principa. Izpeljani algoritem temelji na fizikalni zakonitosti, da je v procesu relaksacije in/ali lezenja spreminjanje proste notranje energije na enoto logaritemskega časa pri dveh različnih konstantnih temperaturno-tlačnih pogojih enaka.

Na osnovi omenjenega fizikalnega dejstva je bil izpeljan algoritem, ki je vsebina novega ISO standarda:

$$\log a_{T_2} = \frac{\left(\sum_{j=D_1}^{Q-1} F_{j,1} - \sum_{j=L_2}^{B-1} F_{j,2} \right) - \left(\sum_{j=P}^{L_1-1} F_{j,1} - \sum_{j=C}^{D_2-1} F_{j,2} \right)}{(Y - f_{L_2,2}) - (f_{L_1,1} - Y)}$$

$$Y = \min \{ f_{M_1}, f_{M_2} \}$$

$$F_{j,k} = \frac{\log \omega_{j,k} + \log \omega_{j+1,k}}{2} \cdot (f_{j+1,k} - f_{j,k}), \quad k = 1, 2$$

Metoda je shematično prikazana na sliki zgoraj.

Priloga 3

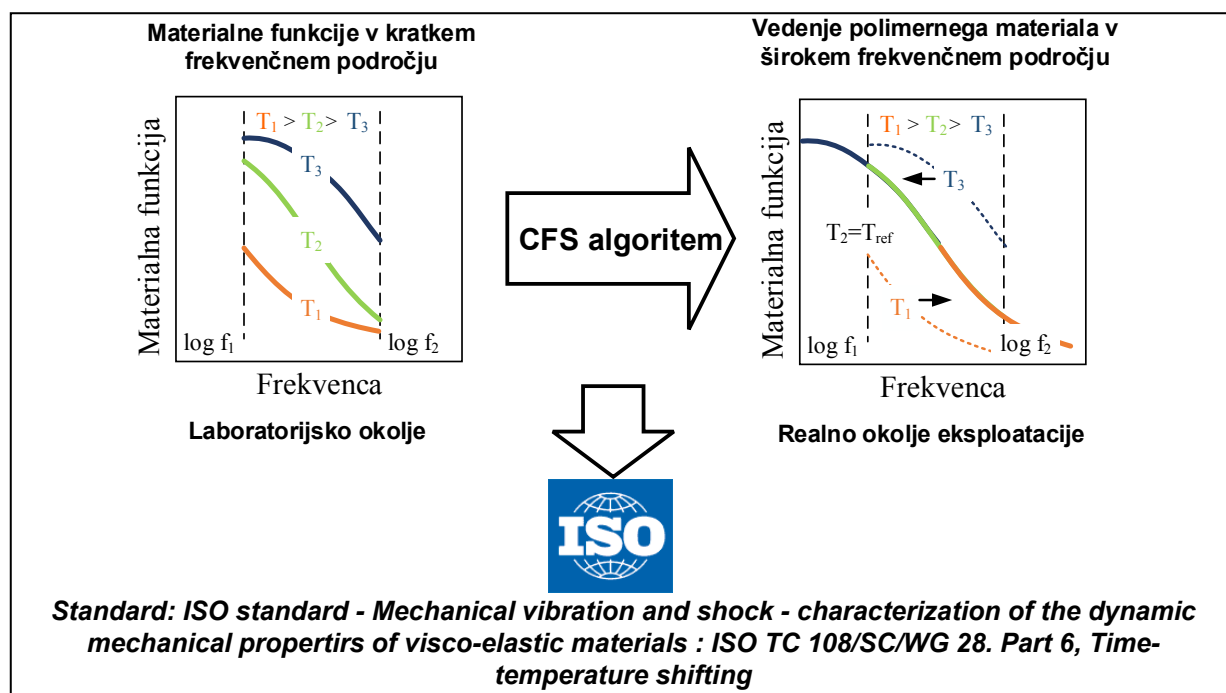
TEHNIKA

Področje: 2.04 Materiali

Družbeno-ekonomski dosežek: ISO standard v okviru delovne skupine
ISO/TC 108/WG 28, Mechanical vibration
and shock

Viri:

GERGESOVA, Marina, EMRI, Igor. *ISO standard - Mechanical vibration and shock - characterization of the dynamic mechanical properties of visco-elastic materials : ISO TC 108/SC/WG 28. Part 6, Time-temperature shifting : Ver. 1.* Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Center za eksperimentalno mehaniko, 2013. V, 23 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 13265691]



Izhodišče:

Izhodišče družbeno ekonomskega dosežka je matematični algoritem za časovno, temperaturno-, tlačno superpozicijo, ki predstavlja rešitev več kot 50 let starega problema na področju mehanike časovno odvisnih materialov.

Doseženi rezultati:

Razviti algoritem je bil vključen v ISO standard, ki bo vpeljan v okviru delovne skupine ISO/TC 108/WG 28, Vibration Materials. Vsebina standarda obsega standardizacijo CFS algoritma, nadgrajenega za implementacijo frekvenčno-temperaturnega superpozicijskega principa za premikanje segmentov vzdolž frekvenčne skale in izdelavo sumarnih krivulj. Prva verzija standarda je bila v letu 2013 predstavljena na delavnem sestanku skupine ISO/TC 108/WG 28 v Seoulu.

Pomen dosežka:

Standardizirani algoritem omogoča napovedovanje vedenja polimernih materialov v širokem frekvenčnem območju na osnovi kratkotrajnih laboratorijskih meritev. To je eden redkih, če ne celo prvi ISO standard, ki predstavlja implementacijo bazičnih raziskav Slovenije.