

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/132



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-4103
Naslov projekta	Vedenje disipativnih sistemov pri ekstremnih termo-mehanskih obremenitvah
Vodja projekta	4316 Igor Emri
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	6892
Cenovni razred	D
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106 Institut "Jožef Stefan" 1446 GORENJE gospodinjiski aparati, d.d.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.05 Mehanika 2.05.02 Eksperimentalna mehanika
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.03 Mehanika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Glavni cilj projekta je razvoj tehnologije, ki izkorišča ekstremne termo-mehanske robne pogoje, za sprožitev nelinearnih procesov formiranja polimernih struktur. To privede do strukturnih oblik, ki izkazujejo za velikostne razrede različne mehanske in ostale fizikalne lastnosti.

Projekt je bil razdeljen v tri delovne sklope:

1) Delavni sklop 1: Teoretične napovedi

Cilj tega delovnega sklopa je vzpostaviti nabor orodij za modeliranje nelinearnega viskoelastičnega vedenja disipativnih sistemov.

V obdobju projekta smo intenzivirali sodelovanje s skupino prof. Liechtija iz University of Texas at Austin, ki je nadgradila Knauss-Emrijev (KE) model v Knauss-Emri-Liechtijev (KEL) model. Nadgrajeni model omogoča še natančnejše napovedovanje nelinearnega časovno-odvisnega vedenja polimerov in njihovih nano-, mikro- in makro-kompozitov. Nelinearni viskoelastični konstitutivni model (KEL) je bil vpeljen v subrutino programskega paketa Abaqous.

Kot dodatna možnost modeliranja viskoelastičnega vedenja disipativnih sistemov je bil vpeljan pristop z uporabo nevronskih mrež. Rezultati te primerjave so pokazali, da izbrani tipi nevronskih mrež ne podajajo zadovoljivih rezultatov. Izhajajoč iz slednjih ugotovitev, smo predlagali uporabo več različnih vhodnih podatkov ter nekatere dinamične modifikacije nevronskih mrež, kar bo izboljšalo njihovo zmogljivost ter rezultate.

V nadaljevanju raziskav na tem področju, je načrtovana uvedba modeliranja vedenja viskoelastičnih materialov, z uporabo nevronskih mrež s spremenjeno strukturo. V primerjavi s klasičnimi nevronskimi mrežami, deluje nevronska mreža s spremenjeno strukturo na podlagi fizikalnih zakonov, kar do sedaj še ni bilo vpeljano v uporabo.

2) Delavni sklop 2: Procesiranje gradientnih materialov pod vplivom ekstremnih pogojev

V tem delovnem sklopu smo združili vpliv temperature in tlaka z namenom prilagajanja termo-mehanskih robnih pogojev, da bi dosegli ekstremne variacije v mehanskih lastnostih polimernih materialov.

Z uporabo različnih robnih pogojev (temperature in tlaka) so bili pripravljene vzorci poliamida in termoplastičnega poliuretana. Uporaba teh robnih pogojev, katerim je material izpostavljen tekom njihove izdelave, vodi v formiranje različnih struktur materiala. Vrednotenje mehanskih lastnosti teh vzorcev (materialov), veljavnost koncepta prostega volumna in ekvivalentnosti temperature in tlaka so bili izvedeni v delovnem sklopu 3.

3) Delavni sklop 3: Procesiranje gradientnih materialov pod vplivom ekstremnih pogojev

V tem delovnem sklopu je bila opravljena karakterizacija materialov z različno gradientno strukturo.

Pokazano je bilo, da je mogoče s spreminjanjem gradientne strukture polimernega materiala nadzirati hitrost absorpcije in desorpcije zdravila, ki ga namestimo v človeško telo. Ta dognanja so vodila do ustanovitve nove raziskovalne smeri, s ciljem razvoja biorazgradljivih polimernih kontejnerjev, narejenih iz nanomembran, ki bodo omogočali ciljno depozicijo zdravil v človeškem telesu.

ANG

The ultimate goal of the project was development of technology, which utilizes extreme thermo mechanical boundary conditions to induce nonlinear processes of polymer structure formation which lead to material structural forms that exhibit orders of magnitude different mechanical and other physical properties.

The project was subdivided into three main work packages:

1) Work package 1: Theoretical predictions

The goal was to establish a set of tools for modeling nonlinear viscoelastic behavior of dissipative systems.

Within the project we have intensified the cooperation with the group of prof. Liechtie from University of Texas at Austin, and upgraded the Knauss-Emri (KE) model into Knauss-Emri-Liechtie (KEL) model. The upgrade enables more precise prediction of nonlinear time-dependant behavior of polymers and their nano-, micro- and macro- composites. The nonlinear viscoelastic constitutive model (KEL) was incorporated as subroutine into the Abaqous software package.

As an additional possibility for modeling viscoelastic behavior of dissipative system neural network approach was introduced. It was found out that the proposed classical structures of neural networks are not providing adequate results for proper solution of the inverse problem appearing in viscoelasticity. Therefore, types of neural networks are changed to various modifications of multilayer perceptron with different data feeding structures and dynamic configurations.

In our future work we are planning to introduce an approach of modelling behavior of viscoelastic materials using structurally modified neural networks. Structural modification will bring physical background into neural

networks, which represents a new research direction in this field.

2) Work package 2: Processing of gradient materials under extreme conditions

Within this work package we combined the effects of temperature and pressure in order to tailor the thermo-mechanical boundary conditions to achieve extreme variations in mechanical properties of polymeric materials.

Using different boundary conditions (temperature and pressure) samples of polyamide and thermoplastic polyurethane were prepared. Using different boundary conditions to which materials were exposed during their production led to different structural forms of the material. Evaluation of mechanical properties of these samples, validity of free volume concept and equivalency of temperature and pressure was investigated as a part of WP3.

3) Work package 3: Characterization of gradient materials

Within this work package, experiments were performed in order to characterize structure of materials.

It was shown that by changing the gradiency of material we can control the speed of absorption and desorption of the medicine that is placed into human body. These findings led to establishment of the new research direction, which goal is to develop solid-state drug delivery system based on electrospun nanofibrous membranes made of biodegradable polymers.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Končni cilj projekta je razvoj tehnologije, ki z izkoriščanjem ekstremnih termomehanskih robnih pogojev sproži nelinearne procese formiranja polimerne strukture, ki vodi do strukturnih oblik v materialu, ki izkazujejo za velikostne razrede različne mehanske in druge fizikalne lastnosti. Takšna tehnologija npr. omogoča izdelovanje izdelkov z gradientno strukturo.

Z znanstvenega vidika razvoj tovrstne tehnologije zahteva razumevanje interakcij na različnih skalah; med makroskopskimi robnimi pogoji in nano molekularnimi prerazporeditvami v materialu. Materiali, ki so bolj občutljivi na manjše variacije robnih pogojev, so zato z vidika omenjenih aplikacij bolj zaželeni. Izhodišče predlaganega projekta predstavlja nova generacija multimodalnih poliamidnih materialov, katerih razvoj temelji na patentno zaščitenem tehnološkem preboju, ki je bil dosežen v sklopu večletnega sodelovanja Centra za eksperimentalno mehaniko in nemškega koncerna BASF Aktiengesellschaft. Ti materiali izkazujejo izjemno nelinearno vedenje in so pri določenih termomehanskih robnih pogojih (visokih tlakih in hitrih spremembah temperature in tlaka) sposobni formiranja zelo različnih struktur, ki izkazujejo za velikostne razrede drugačne lastnosti in celo gradientno funkcionalnost.

DS1 Teoretične napovedi

Cilj delavnega sklopa 1 je vzpostaviti nabor orodij za modeliranje nelinearnega viskoelastičnega vedenja disipativnih sistemov.

V obdobju poročanja smo intenzivirali sodelovanje s skupino prof. Liechtija iz University of Texas, Austin, ki je nadgradila Knauss-Emrijev (KE) model v Knauss-Emri-Liechtijev (KEL) model. Nadgrajeni model upošteva vpliv strižnih obremenitev na spremembo prostega volumna in s tem omogoča še natančnejše napovedovanje nelinearnega časovno-odvisnega vedenja polimerov in njihovih nano-, mikro- in makro-kompozitov.

V okviru tega sodelovanja smo nelinearni viskoelastični konstitutivni model, ki ga je razvila skupina pripeljali do faze industrijske uporabe. Nadgrajeni KE model, ki je sedaj znan kot KEL model, je bil vključen v komercialni programski paket Abaqus

Za izvedbo preprostejših izračunov smo implementirali nelinearni viskoelastični KEL model v Matlab okolje z razvojem programa *NLVEMKE* [1,2]. Program omogoča izbiro vhodnih parametrov v obliki časovno odvisnih materialnih karakteristik, ter izbiro obremenitvenih pogojev (enoosna mehanska obremenitev, termične obremenitve in obremenitve s tlakom). Pridobitev informacije o materialnih lastnostih, ki jih je potrebno vključiti v analizo nelinearnega vedenja v skladu s modelom, zahteva izvedbo zahtevnejših eksperimentov v širšem temperaturnem in tlačnem območju, zato je v literaturi težko zaslediti tovrstne podatke. V našem primeru smo delovanje programa preizkusili na podatkih, objavljenih v [3] za materiala poliamid 6 (PA6) in polivinil acetat (PVAc).

Kot dodatna možnost za modeliranje viskoelastičnega vedenja disipativnih sistemov je bil vpeljan pristop z

uporabo nevronske mreže. Glede na to, da so polimerni materiali na molekularni skali opazovanja sestavljeni iz molekul različnih mas/dolžin, ki vplivajo ena na drugo, lahko te materiale štejemo med tipične predstavnike disipativnih sistemov. Umetne nevronske mreže so definirane kot vzporedni distribuirani procesorji in so zaradi svoje narave (v smislu vzporednosti procesov) ter močnih računalniških zmogljivosti, primerno orodje za modeliranje vedenja polimernih materialov.

Prvi del raziskav se je nanašal na pridobivanje informacij o možnosti in učinkovitosti uporabe klasičnih nevronske mreže za reševanje inverznih problemov v teoriji viskoelastičnosti, predvsem za pridobitev časovno - odvisnih lastnosti (relaksacijski modul in voljnost lezenja) iz poskusov, ki uporabljajo nestandardne načine obremenjevanja. Za pridobitev informacij o relaksacijskem modulu in voljnosti lezenja je bilo predlaganih več različnih tipov umetnih nevronske mreže: »multilayer perceptron«, »multilayer perceptron with tapped delay line«, »radial basis function« in »generalized regression« nevronska mreža.

Pridobljeni rezultati so bili nato primerjani z rezultati, pridobljenimi z matematičnim pristopom, ki je bil razvit v okviru drugega raziskovalnega programa v okviru naše raziskovalne skupine [4]. Ta matematičen pristop rekonstruira relaksacijski modul in voljnost z uporabo nelinearne eksponentne aproksimacije.

Rezultati te primerjave [5] so pokazali, da izbrani tipi nevronske mreže v primerjavi z numeričnim pristopom eksponentne aproksimacije ne podajajo zadovoljivih rezultatov. Izhajajoč iz slednjih ugotovitev smo predlagali uporabo več različnih vhodnih podatkov ter nekatere dinamične modifikacije nevronske mreže, kar bo izboljšalo njihovo zmogljivost ter rezultate.

V nadaljevanju raziskav na tem področju je načrtovana uvedba modeliranja vedenja viskoelastičnih materialov, z uporabo nevronske mreže s spremenjeno strukturo. V primerjavi s klasičnimi nevronske mreže, nevronska mreža s spremenjeno strukturo deluje na podlagi fizikalnih zakonov, kar do sedaj še ni bilo vpeljano v uporabo.

DS2 Procesiranje gradientnih materialov pod vplivom ekstremnih pogojev

V sklopu tega delavnega sklopa smo združili vpliv temperature in tlaka z namenom prilagajanja termo-mehanskih robnih pogojev, da bi dosegli ekstremne variacije v mehanskih lastnostih polimernih materialov.

V skladu s zastavljenim ciljem so bili na laboratorijskem nivoju izdelani cilindrični vzorci poliamida (PA) pri različnih, izbranih temperaturno-tlačnih pogojih. Ti vzorci so bili uporabljeni za preverjanje veljavnosti koncepta prostega volumna, preko ekvivalentnosti vpliva tlaka in temperature na gmočnostne lastnosti poliamida. V okviru tega delavnega sklopa so bili prav tako pripravljene vzorci termoplastičnega poliuretana (TPU) z enakim ciljem kot v primeru poliamida (PA). Ti vzorci, ki so bili narejeni pri različnih termo-mehanskih pogojih (tlakah in temperaturah) so bili uporabljeni v sklopu delavnega sklopa 3 na merilni napravi CMS [6, 7].

Razumevanje temperaturno-tlačne ekvivalence je ključnega pomena za določitev tehnoloških parametrov brizganja materialov pri ekstremno visokih tlakah (več 100 MPa). Tovrstna tehnologija se uvaja predvsem v avtomobilski industriji (npr., proizvodnji vzvratnih luči). Na osnovi teh dognanj je skupina vzpostavila tesno sodelovanje z nemškim podjetjem ODELO.

DS3 Karakterizacija gradientnih materialov

V sklopu DS3 je bila opravljena karakterizacija materialov z različno gradientno strukturo.

Eden izmed načinov spremembe strukture materiala je sprememba robnih pogojev v procesu izdelave. V ta namen smo preiskovali vpliv različnih hitrosti ohlajanja polimernih materialov na proces kristalizacije z uporabe DSC metode. Ugotovljeno je bilo, da so razlike v procesih kristalizacije bolj zaznavne pri nižjih hitrostih ohlajanja, medtem ko diagrami relativne kristaliničnosti pri višjih hitrostih ohlajanja kažejo podoben trend pri vseh preiskovanih materialih. Ugotovljeno je bilo tudi, da je z Avrami modelom mogoče

napovedovati ne-izotermalno kinetiko kristalizacije. Rezultati so bili povzeti v [8]. Ti rezultati bi v prihodnje lahko bili uporabljeni pri procesu injekcijskega brizganja z namenom, a bi nadzorovali strukturo materiala z izbiro ustrezne hitrosti hlajenja taline.

V sklopu tega DS smo preiskovali tudi gnotnostne in strižne lastnosti polimernih materialov z uporabo unikatnega CEM merilnega sistema [6,7]. Za izbrana materiala termoplastični poliuretan (TPU) in poliamid (PA) smo preverili ekvivalentnost temperature in tlaka skozi prosti volumen. TPU je bil karakteriziran v tlačnem območju 1-200MPa in temperaturah -20÷60°C. Rezultati so pokazali, da za TPU v preiskanem območju temperaturno – tlačna ekvivalenca drži tako za primer volumske in strižne obremenitve. To je bilo dokazano s primerjavo sumarnih krivulj dobljenih s časovno-tlačno superpozicijo in sumarnimi krivuljami dobljenimi s pomočjo časovno-temperaturne superpozicije. Rezultati tega dela raziskav so povzeti v publikacijah [9,10,11], magistrskih nalogah [12,13,14,15] in predstavitvah na konferencah [16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26].

V primeru PA smo preverjali veljavnost koncepta prostega volumna s primerjavo strižnih relaksacijskih modulov pri ekvivalentnem specifičnem in prostem volumnu. Spremembe tega pa so bile dosežene s spremembo temperature in/ali tlaka. V tem primeru je relaksacijski modul, ki je bil izmerjen pri enakem prostem volumnu izkazoval precej različne rezultate, odvisno od tega ali je bil ta volume dosežen s tlakom ali temperaturo. To nakazuje na dejstvo, da temperaturno – tlačna ekvivalenca ne drži za primer PA, kljub temu pa so načrtovane nadaljne raziskave, da bomo z zagotovostjo lahko to potrdili. Tukaj predstavljeno delo je bilo del magistrske naloge [12].

Druga smer raziskav znotraj DS3 je zajemala eksperimentalno preverjanje možnosti uporabe polimernih materialov kot kontejnerjev za lokalno dostavo zdravil v človeško telo. S spremembo gradientne strukture material lahko nadzorujemo hitrost absorpcije in desorpcije zdravilnih učinkovin, ki bodo v človeškem telesu. Preizkusi so bili izvedeni na PA vzorcih, ki so bili izpostavljeni različnim raztopinam (distilirana voda, raztopina sladkorja in razpoina natrija in klora). Po izpostavitvi the materialov tem raztopinam so bile uporabljene različne metode za oceno globine penetracije molekul v material. Rezultati so pokazali, da je Na in Cl homogeno razporejen po volumnu PA, prav tako je sladkor peetriral v polimerni vzorec [27].

Te ugotovitve so vodile v formiranje novega sodelovanja s korporacijo Fresenius Kabi, Nemčija, BASF; Nemčija; Saratov State University, Rusija in Onkološkim inštitutom, Slovenija. Institute of Oncology Ljubljana. Glavni cilj tega novega projekta je razvoj sistema za lokalno depozicijo zdravilnih učinkovin na osnovi nanomembran narejenih iz bio-, in sintetičnih. Polimerov.

Tekom projekta je skupina sodelovala s številnimi partnerji: Prof. W.G. Knauss Caltech, USA, Prof. A. Voloshin Lehigh Univeristy, USA, Prof. H. Lu University of Texas at Dallas, USA, Prof. K. Liechti University of Texas at Austin, USA, Prof. M. Sutton University of South Carolina, USA, Prof. R. Simonyants Bauman State Moscow Technical University, Russia, Dr. T. Bhatti National University of Science & Technology, Pakistan, Dr. B. Kosoy Odessa State Academy of Refrigeration, Ukraine, Dr. B. von Bernstorff BASF, Germany, Prof. C. Gallegos Fresenius Kabi, Germany, Dr. C. Kunisch Schott, Germany, R. Mukhomodyarov - Saratov State University, Russia and L. Kossovich - precdnik of Saratov State University, Russia.

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

Aktivnosti projekta so v večji meri sledile predlogu raziskovalnega projekta.

Na osnovi rezultatov projekta so se pokazale številne nove raziskovalne smeri in industrijska sodelovanja, kjer v nadaljevanju omenjamo samo tri najpomembnejše.

1) Danfoss Trata d.o.o.:

V sodelovanju s podjetjem Danfoss Trata d.o.o. razvijamo tlačne regulatorje za uporabo v sanitarni tehniki, kjer razvijamo ohišje tlačnih regulatorjev, ki bo narejeno iz polimernih materialov. Cilj projekta je vzpostavitev metodologije za razvoj polimernih izdelkov, kjer je trajnost teh izdelkov pod ekstremnimi pogoji obremenjevanja (temperatura in tlak) mogoče oceniti in napovedati.

2) Odelo:

Glavni cilj projekta je zmanjšati količino izmeta in izdelkov z napakami pri izdelavi avtomobilskih luči. To bomo dosegli na način skupne metodologije za nastavljanje procesnih parametrov (temperature in tlaka), ki bo poenotila delo vseh tehnologov in posledično prispeala k stabilizaciji procesa in zmanjšanju izmeta. Metodologija bazira na teoretičnem znanju, ki uporablja vse informacije, ki so na voljo in se ustvarjajo tekom izdelovalnega procesa, še zlasti pri dizajniranju orodja in njegovega testiranja.

3) Fresenius Kabi AG:

V sklopu projekta razvijamo mikro kentejnerje za lokalno depozicijo zdravilnih učinkovin v zdravljenju karcergenih tumorjev, izdelanih iz nano poroznih membrane. Membrane bodo izdelane z metodo "electrospinninga". S spreminjanjem distribucije velikosti por in prilagodljivo hitrostjo biorazgraditve, bo zagotavljena željeno hitrost depozicije zdravilnih učinkovin. Možnost izdelovanja tankih membran (nekaj 10 mikronov) omogoča izdelovanje mikro kontejnerjev za zdravilne učinkovine, ki jih bo možno natančno aplicirati direktno v tumor, s pomočjo injekcijske igle.

Projekt združuje partnerje iz različnih držav: Center za experimentalno mehaniko, Univerza v Ljubljani, Sloevnija; Fresenius Kabi, Nemčija; korporacija BASF, Nemčija; Saratov State University, Rusija in Onkološki inštitut, Slovenija.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Tekom projekta ni bilo večjih sprememb oziroma odstopanj od predlaganega raziskovalnega projekta, prav tako to velja za sestavo raziskovalne skupine.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

		Znanstveni dosežek	
1.	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 preko poznavanja relaksacijskega modula in/ali voljnosti 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 an 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 long-term 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).
		ANG	
	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
2.	COBISS ID	513991543	Vir: COBISS.SI
	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	Gre za poglavje v enciklopediji založniške hiše Springer, ki obravnava eksperimentalne metode za karakterizacijo časovno-odvisnega vedenja materialov pri različnih termo-mehanskih pogojih. V delu je dana metodologija za določitev sumarnih krivulj izbranih materialnih funkcij v časovnem prostoru. Materialne funkcije v frekvenčnem protoru v tem delu niso obravnavane. Časovno odvisno vedenje je pogojeno s strukturo materiala na molekularnem nivoju in je močno odvisno od termo-mehanskih pogojev, ki jim je material izpostavljen. Termične lastnosti analiziramo z eksperimentalno metodo, imenovano deferencialna kalorimetrija. V poglavju je posebej analiziran tudi vpliv tlaka in predstavljena merilna metoda, ki omogoča predikcijo vedenja polimernih materialov na daljšo časovno obdobje.
		ANG	This entry provides a brief overview on experimental approaches commonly used to determine the thermal and the time-dependent mechanical properties in shear and bulk of materials along with the numerical procedures for obtaining the unique master curve of the selected material function. However, characterization of the frequency dependent properties is not discussed here. Many important materials, such as natural and synthetic polymers, can be considered as time-dependent materials, since their properties change with time and thus their functionality and applicability can change considerably after a certain period of time. The time dependency of materials is an inherent property of their structure, which further depends on the initial kinetics and applied thermo-mechanical boundary conditions. Therefore, material structure depends on its thermal properties, which are generally measured through differential scanning calorimetry. Time-dependent properties are experimentally determined in a segmental form at different temperatures and/or pressures, which can be then combined into master curves that provide a more complete description of the material behavior over a prolonged period of time. This book-chapter, among others, provides a review of the existing experimental techniques used for prediction of long-term behavior of polymeric materials.
			Emri I. et al. Experimental Determination of Material Time-Dependent Properties. V: Encyclopedia of Thermal Stresses. Hetnarski, Richard B.

	Objavljeno v	(Ed.); Springer, 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	
3.	COBISS ID	13363739	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Naprava za merjenje dinamične volumetrične voljnosti časovno odvisnih materialov
		ANG	Apparatus for measuring dynamic bulk compliance of time-dependant materials
	Opis	SLO	Ta članek opisuje novo napravo za merjenje dinamične volumetrične voljnosti $B^*(\omega)$ časovno odvisnih materialov. Sistem omogoča meritve dinamične volumetrične voljnosti pri sobnih temperaturi, tlakih do $100 \pm 1,5$ bar in frekvencah od 100 Hz do 1000 Hz. Funkcionalnost naprave je demonstrirana z izvedbo meritev dinamične volumetrične voljnosti na dveh različnih materialih: polivinil acetat (PVAc) in termoplastični poliuretan (TPU). Meritve so bile izvedene pri sobni temperaturi, atmosferskem tlaku in v frekvenčnem območju od 100 Hz do 1000 Hz.
		ANG	This paper describes a novel apparatus for measuring dynamic bulk compliance $B^*([\Omega])$ of time-dependant materials. System can measure dynamic bulk compliance at room temperature, at pressures up to 100 +/- 1,5 bar and frequencies from 100 Hz to 1000 Hz. Functionality of the apparatus is demonstrated by performing measurements of dynamic bulk compliance for two different materials, i.e., polyvinyl acetate (PVAc) and thermoplastic polyurethane (TPU). Measurements were conducted at room temperature, atmospheric pressure and frequencies from 100 Hz to 1000 Hz.
	Objavljeno v	Trans Tech Publications; Proceedings of the 14th Symposium on Experimental Stress Analysis and Materials Testing; Key engineering materials; 2014; Vol. 601; str. 3-6; Avtorji / Authors: Oseli Alen, Emri Igor	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	13741083	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Tlačna občutljivost termoplastičnega poliuretana
		ANG	Pressure sensitivity of thermoplastic polyurethane
	Opis	SLO	Mehanske materialne lastnosti polimerov se lahko spremenijo, kadar jih izpostavimo visokemu tlaku in/ali temperaturi. Vpliv hidrostatičnega tlaka na strižni modul relaksacije treh termoplastičnih poliuretanov je bil preiskovan v sklopu tega članka. Rezultati so pokazali, da imajo kemično identični materiali bistveno različno občutljivost na tlak. Pri tlaku 300 MPa se mehanske lastnosti dveh materialov spremenijo za faktor 10^5 , medtem ko se lastnosti tretjega spremenijo za 10^9 .
		ANG	Mechanical material properties of polymers may change significantly when they are exposed to high pressures and/or temperatures. The effect of hydro-static pressure on shear relaxation modulus of three thermoplastic polyurethanes has been presented in this paper. The results show that chemically identical materials may have significantly different hydro-static pressure sensitivity. At pressure of 300 MPa, mechanical properties of two materials change only for a factor of 10^5 , while for the third material, mechanical properties change 10^9 times!
	Objavljeno v	University of Niš; Facta Universitatis. Series, Working and living environmental protection; 2014; Vol. 11, no. 1; str. 35-42; Avtorji / Authors: Bek Marko, Betjes Joris, Emri Igor, Holeček Nikola	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	12607515 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Pomen viskoelastičnih lastnosti pri določanju funkcionalnosti časovno odvisnih materialov
	ANG	Importance of viscoelastic characteristics in determining functionality of time-dependent materials
Opis	SLO	Gre za poljudni strokovni članek, katerega cilj je seznaniti širšo populacijo s specifičnostjo viskoelastičnih materialov in fizikalnimi zakonitostmi njihovega časovno odvisnega vedenja v času njihove uporabe. Članek izpostavlja pomembnost in vpliv izbora viskoelastičnega materiala, v kombinaciji s termo-mehanskimi robnimi pogoji tekom procesiranja, kar vpliva na funkcionalnost in dolgoročnost uporabe izdelkov. Življenska doba izdelkov je odvisna od časovno odvisnih lastnosti materiala in tehnoloških parametrov, ki jim je material izpostavljen v fazah proizvodnje. Oboje je popisljivo s materialnimi funkcijami, opredeljenimi pri različnih termo-mehanskih robnih pogojih, zato so v delu predstavljene tudi osnove viskoelastičnih materialnih funkcij in metode njihovega določevanja.
	ANG	This paper is aimed to introduce the reader with the specifics of viscoelastic materials, and physical background of their time-dependent behaviour during exploitation period. It points out, how the selection of viscoelastic material in combination with thermo-mechanical conditions during the processing might affect the functionality and long-term behaviour of a product in use. Both can be considered and analysed by characterizing material properties through which material and technology effects are manifested in different mechanical responses to the certain loading conditions. In relation to this, fundamental viscoelastic material functions are presented in the article, as the main characteristics to evaluate functionality and long-term behaviour of time-dependent (viscoelastic) materials.
Šifra	F.30 Strokovna ocena stanja	
Objavljeno v	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas; DYNA; 2012; Año 79; str. 97-104; Impact Factor: 0.175; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.936; WoS: IF; Avtorji / Authors: Emri Igor, Zupančič Barbara, Gergesova Marina, Saprunov Ivan, Gonzalez-Gutierrez Joamin, Bek Marko	
Tipologija	1.04 Strokovni članek	
2.	COBISS ID	13174555 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Uporaba tehnologije visokotlačnih disipativnih granuliranih materialov v trajnostni protipotresni gradnji hiš
	ANG	High pressure dissipative granular material technology in earthquake-safe sustainable housing
Opis	SLO	V zadnjih letih so bili razviti različni dušilni elementi namenjeni nadzoru struktur v gradbeništvu, kjer eno izmed najbolj obetavnih rešitev predstavljajo viskoelastični dušilni elementi. V tem prispevku bomo pokazali, da je z uporabo znanja o vplivu inherentnega hidrostatičnega tlaka na časovno in frekvenčno odvisno vedenja polimerov mogoče načrtovati in zgraditi ultimatívni izolacijski sistem za uporabo v gradbeništvu. Optimalna rešitev je dosežena z uporabo multimodalnega granuliranega polimernega materiala pod visokim tlakom. Rezultati, na primeru TPU pokažejo, da se z večanjem inherentnega tlaka materiala, iz 1 bar do 2000 bar pomakne frekvenca, pri kateri material izkazuje svoje

		maksimalno dušenje iz 37 kHz, pri P=1 bar do 235 Hz pri P=2000 bar. Hkrati, povečanje inherentnega hidrostatičnega tlaka iz 1 bar do 2000 bar spremeni togost materiala do 2,5 –krat, medtem ko so dušilne lastnosti povečajo do 5,2–krat.	
	ANG	In the recent years different types of dampers for structural control in civil engineering have been developed, where one of the most promising solutions are viscoelastic dampers. In this paper we demonstrate that by utilizing knowledge on the effect of inherent hydrostatic pressure on the time- and frequency-dependent behavior of polymers it is possible to design and build the ultimate insulation systems for civil engineering applications. An optimal solution is achieved by using highly pressurized multimodal granular polymeric materials. The results on case material, Thermoplastic Polyurethane, showed that by increasing inherent pressure of the material from 1bar to 2000bar the frequency at which material exhibits its maximal damping properties was shifted from 37 kHz, at P=1bar to 235Hz at P=2000bar. At the same time, the increase of inherent hydrostatic pressure from 1 bar to 2000 bar changes material stiffness up to 2.5 times, while the damping properties increase up to 5.2 times.	
	Šifra	B.04 Vabljeno predavanje	
	Objavljeno v	WEC]; WEC-2013; 2013; Str. 51; Avtorji / Authors: Bek Marko, Oseli Alen, Saprunov Ivan, Zhumagulov B. T., Mian S. M., Zhunusov T., Gusev B. V., Žarnić Roko, Bernstorff Bernd Steffen von, Emri Igor	
	Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljeno predavanje)	
3.	COBISS ID	13347867	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Tehnologija disipativnih granuliranih materialov (Rektorjeva nagrada)
		ANG	Technology of dissipative granular materials (Rector's award)
	Opis	SLO	Rektorjeva nagrada za naj inovacijo Univerze v Ljubljani je organizirana z namenom, da se podpre čim več inovacij in inovativnih podjetniških idej, da vstopijo na trg in se komercializirajo bodisi v lastnem podjetju bodisi v kakšni drugi obliki, na primer v obliki prodaje ali licenciranja patenta oziroma znanja. Tehnologija disipativnih granuliranih materialov omogoča optimalno izkoriščanje dušilnih lastnosti polimernih materialov in s tem maksimalno znižanje vibracij in hrupa. Za prijavljen projekt Tehnologija disipativnih granuliranih materialov, je raziskovalna skupina prejela tretje mesto 'Rektorjeva nagrada za naj inovacijo Univerze v Ljubljani'.
		ANG	Rector's award for the Best Innovation of University of Ljubljana is organized with the aim to support innovations and innovative business ideas to enter the market, either in a framework of own company or in any other form, for example in the form of sales or licensing of the patent or knowledge. Technology dissipative granular materials allows optimum utilization of the damping properties of polymeric materials and thus the maximum reduction of vibration and noise. For a project of Technology of dissipative granular materials, the research team received third place at Rector's award for the Best Innovation of University of Ljubljana.
	Šifra	E.01 Domače nagrade	
	Objavljeno v	Fakulteta za strojništvo, Center za eksperimentalno mehaniko - CEM; 2014; 30 str.; Avtorji / Authors: Bek Marko, Emri Igor	
	Tipologija	2.14 Projektna dokumentacija (idejni projekt, izvedbeni projekt)	
4.	COBISS ID	3749403	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Glavni urednik v mednarodni reviji Mechanics of Time Dependent Materials, Springer
			Editor in Chief of the International Journal Mechanics of Time Dependent

	ANG	Materials, Springer
Opis	SLO	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.
	ANG	Mechanics of Time-Dependent Materials (MTDM), published 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: Springer-Kluwer, 1997-. ISSN 1385-2000	
Tipologija	3.25 Druga izvedena dela	
5.	COBISS ID	Vir: vpis v poročilo
Naslov	SLO	Evropski podiplomski (magistrski) študij inženirske reologije – EURHEO
	ANG	The European Masters in Engineering Rheology – EURHEO
Opis	SLO	Evropski podiplomski (magistrski) študij inženirske reologije – EURHEO 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.
	ANG	The European Masters in Engineering Rheology – EURHEO offers an advanced integrative interdisciplinary education programme 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 universities in three countries. On completion of their studies, students receive two diplomas.
Šifra	D.02 Ustanovitev raziskovalnega centra, laboratorija, študija, društva	
Objavljeno v	http://eurheo.eu/rheology	
Tipologija	3.25 Druga izvedena dela	

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Eden izmed najpomembnejših rezultatov programske skupine je ISO standard Mechanical vibration & shock characterization of the dynamic mechanical properties of viscoelastic 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 projektne skupine⁸

9.1.Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Projekt je obravnaval polimere kot disipativne sisteme. Disipativne sisteme lahko definiramo kot "odprte sisteme", ki delujejo daleč stran od termodinamskega ravnovesja. To definicijo je postavil Prigogine in pomeni, da disipativni sistemi zahtevajo določeno količino energije za vzdrževanje svoje strukturne oblike. Ugotovil je, da ne glede na raven opazovanja, eno samo fizikalno telo ne more disipirati energije. Zato disipacija izhaja iz interakcije med telesi ali pa procesi, ki potekajo hkrati in vplivajo en na drugega. Polimeri so sestavljeni iz molekul (t.j., več teles) različnih dolžin/mas, ki medsebojno vplivajo, zaradi česar jih lahko obravnavamo kot tipične predstavnike disipativnih sistemov.

V skladu s tem bo inherentna struktura polimerov odvisna od njihove porazdelitve molekulske teže in robnih pogojev, katerim je material izpostavljen med procesom strjevanja in kasneje v času uprabe. Uporaba različnih "tehnoloških poti" v fazi strjevanja lahko vodi v zelo različne strukturne oblike materiala, ki izkazujejo za velikostni razred različne fizikalne lastnosti, le te pa se bodo s časom spreminjale. Zato so polimeri "časovno – odvisni materiali".

V sklopu tega projekta smo razvili in izdelali analitična, tehnološka in eksperimentalna orodja, potrebna za izdelavo polimernih delov in izdelkov z zelo različnimi inherentnimi strukturami, ki izkazujejo za velikostne reede različne fizikalne lastnosti. S spremembo fizikalnih lastnosti materialov bo spremenjena tudi končna funkcionalnost izdelkov. To je še zlasti uporabno v medicini, na primer za izdelavo zobnih vsadkov z gradientno strukturo, ki na eni strani posnemejo lastnosti kosti na drugi strani pa so zelo togi. Primer takega izdelka je zobni vsadek, ki na razdalji 4mm izkazuje lastnosti, ki se v primeru deformabilnosti razlikujejo za 400%, v primeru togosti pa več kot 200%.

V sklopu prvega dela projekta smo nadgradili Knauss-Emri (KE) model v Knauss-Emri-Liechtie (KEL) model, ki omogoča bolj natančno napoved nelinearnega, časovno – odvisnega vedenja polimerov in njihovih nano-, mikro- in makro- kompozitov. Ta del raziskav je bil opravljen v tesnem sodelovanju s skupino prof. Liechtieja iz University of Texas, Austin. Nelinearni viskoelastični konstitutivni model (KEL) je bil vključen v subrutino programskega paketa ABAQUS.

Trenutno je KEL prvi ne-linearni viskoelastični model, ki je vključen v ABAQUS in za katerega

menimo, da predstavlja prvi pomemben znanstveni prispevek projekta.

Razvito računsko orodje je bilo uporabljeno za napoved ekstremnih termo-mehanskih robnih pogojev, katerim je v procesu strjevanja material izpostavljen, z namenom doseganja ekstremnih variacij mehanskih lastnosti v trdnem stanju. Z uporabo teh robnih pogojev so bili pripravljene vzorci poliamida in termoplastičnega poliuretana z različno gradientno strukturo. Razvita tehnologija za proizvodnjo inženirskih strukturnih elementov, kot so na primer zobniki ali pa zobni vsadki, z želenimi mehanskimi časovno – odvisnimi (gradientnimi) lastnosti, je drugi dosežek tega projekta.

Pripravljene vzorci z različno gradientno strukturo so bili nazadnje izmerjeni na podlagi njihovih časovno – odvisnih in ostalih fizikalnih lastnosti. Ugotovljeno je bilo, da tehnologija, ki smo jo razvili dovoljuje izdelavo takšnih vsadkov, ki na razdalji 4 izkazujejo popolnoma drugačne mehanske lastnosti (deformabilnost in togost). Kolikor nam je znano so to prvi polimerni zobni implantati z gradientno strukturo na svetu. Poleg tega pa smo tudi pokazali, da je s spremembo gradientne strukture mogoče nadzorovati hitrost absorpcije in desorpcije zdravil v prosti volumen materiala.

Ti izsledki so vodili v ustanovitev nove raziskovalne smeri, kjer je cilj projekta razvoj biorazgradljivih polimernih kontejnerjev za lokalno depozicijo zdravilnih učinkovin.

ANG

Project addressed polymers as dissipative system. Dissipative systems can be defined as "open systems" that operate far from thermodynamic equilibrium state. Prigogine offered this definition and it means that dissipative systems require certain amount of energy for maintaining their structural forms. He observed that at any given scale of observation a single physical body cannot dissipate energy. Hence, dissipation results from interaction between bodies or processes that run simultaneously and interact between each other. Polymers consisting of molecules (i.e. multiple bodies) with different mass/length, which interact with each other may be considered as explicit representatives of dissipative systems.

In line with this, inherent structural forms of polymers will depend on their molecular weight distribution & boundary conditions to which materials are exposed during solidification and later on in exploitation. Using different "technological paths" during solidification may lead to very different material structural forms that exhibit orders of magnitude different physical properties, which however will change over time. Hence, polymers are "time-dependent materials".

Within this project we have developed & elaborated analytical, technological & experimental tools needed to produce polymeric parts & products with extremely different inherent structures, which can exhibit orders of magnitude different physical properties. By modifying physical properties of materials we will modify functionality of the end products. This is particularly important for applications in medicine, say, for producing dental implants with gradient structure, which at one end mimic properties of bones & are extremely stiff at the other end. An example of such product is a dental implant that at the distance of 4mm exhibits properties that differ more than 400% in deformability and more than 200% in stiffness. Within the first part of the project we have upgraded the Knauss-Emri (KE) model into the Knauss-Emri-Liechtie (KEL) model, which enables more precise prediction of nonlinear time-dependant behavior of polymers & their nano-, micro- and macro- composites. This part of the research was conducted in close collaboration with the group of prof. Liechtie from University of Texas at Austin. The nonlinear viskoelastic constitutive model (KEL) was then incorporated as a subroutine into the ABAQUS software package.

At present KEL is the first non-linear viscoelastic model that is incorporated into ABAQUS, which we consider as the first important scientific contribution of the project.

Developed computational tool was used to predict extreme thermo-mechanical boundary conditions to which materials were exposed during solidification in order to achieve extreme variations in their mechanical properties in solid state. Using these boundary conditions we have prepared samples from polyamide and thermoplastic polyurethane with different gradient properties.

Developed technology for manufacturing engineering structural elements, such as gears, and dental implants with desired mechanical time-dependant (gradient) properties is the second achievement of this project.

Prepared samples with different gradient structure were finally characterized for their time-dependent mechanical and other physical properties. It was found that developed technology allows production of implants which at the distance of 4mm exhibit completely different properties (deformability and stiffness). To our knowledge these are worldwide first polymeric dental implants with gradient structure. In addition, it was shown that by changing the gradient of the implant it is possible to control the rate of absorption and desorption of medicaments deposited into the material free volume. These findings led to establishment of the new research direction, which goal is to develop solid-state drug delivery system for local deposition of medicaments made from biodegradable polymers.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Analitična, tehnološka in eksperimentalna orodja, razvita v sklopu projekta, predstavljajo znaten intelektualni potencial, ki i lahko vodil v tehnološki preboj na različnih področjih inženirstva, kjer polimeri prevzemajo dominantno vlogo kot strukturni materiali.

Primer takšnih produktov so ne-mazani zobniki, ki se pogosto uporabljajo v farmacevtski in prehrabni industriji ter pri proizvodnji kuhinjskih aparatov. Najbolj obetavna tržna niša so zobni in ortopedski vsadki in nova generacija kontejnerjev za dostavo zdravilnih učinkovin, ki omogočajo dostavo kemoterapevtske učinkovine neposredno v maligni tumor. S takšnim pristopom premagamo problem prenizke koncentracije zdravila v tumorju in hkrati previsoke koncentracije zdravila v zdravem tkivu.

Kontejnerji za zdravila izkoriščajo prosti volumen materiala kot prostor kamor se zdravilo shrani. Z nadzorovanjem inherentne materialne strukture je nato mogoče nadzorovati hitrost sproščanja zdravila. Te polimerne kontejnerje je mogoče vstaviti direktno vv mehko tkivo in/ali v kost ali tumor. Prav tako pa je uporaba takšnih kontejnerjev mogoča tudi pri zdravih tkivih. Vsako kemoterapevtsko ali pa ciljno zdravilo je lahko uporabljeno kot aktivna substanca. Poleg tega je mogoča uporaba principa polikemoterapije, kjer se uporabi kombinacija kemoterapevtskih zdravil.

Nadaljnje aktivnosti tega projekta so nas vodile tudi v formiranje interdisciplinarne inovativne skupine, v sestavi vodilnih slovenskih ekspertov. Ti eksperti združujejo vsa potrebna znanja in izkušnje, ki so potrebna, da se zobni in ortopedski vsadki ter kontejnerji za lokalno dostavo zdravil uspešno plasirajo na svetovni trg. Takšna pobuda in aktivnosti bi lahko privedle do pomembnega končnega tehnološkega preboja.

ANG

The analytical, technological and experimental tools developed within this project represent intellectual potential, which may lead to technological breakthrough in different areas of engineering where polymers are becoming dominant structural materials.

Examples of such products are non-lubricated gears, which are widely used in pharmaceutical industry, food industry, and production of kitchen appliances. Most promising market niche are dental and orthopedic implants and the new generation solid-state drug delivery system for delivery of chemotherapeutic drugs directly into the malignant tumors. With such approach we overcome the problem of too low concentration of the drug in the tumor and at the same time too high concentration in healthy tissues.

Solid-state drug delivery system (SDD) utilizes material free-volume as drug delivery containers. By controlling the inherent material structure we can control the rate of drug delivery. SDD allows implanting of small polymeric containers directly into the soft tissues- and/or bone-tumors, as well as into the healthy tissues.

Any chemotherapy or targeted therapy drug can be used as an active substance. Moreover, poly-chemotherapy principle that utilizes chemotherapy drug combination may be applied locally as well.

As a follow up of this project we started to form an interdisciplinary innovation community consisting of leading Slovenian experts in all areas of expertise required to bring dental and

orthopedic implants, and solid-state drug delivery system to the world market. This initiative could result in a major technological breakthrough.

10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj	
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/> ▼
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/> ▼
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/> ▼
F.04	Dvig tehnološke ravni
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen bo v naslednjih 3 letih"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="Uporabljen bo v naslednjih 3 letih"/> ▼
F.05	Spodobnost za začetek novega tehnološkega razvoja
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen bo v naslednjih 3 letih"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="Uporabljen bo v naslednjih 3 letih"/> ▼
F.06	Razvoj novega izdelka
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen bo v naslednjih 3 letih"/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="Uporabljen bo v naslednjih 3 letih"/> ▼
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value=""/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value=""/> ▼
F.08	Razvoj in izdelava prototipa
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value=""/> ▼
	Uporaba rezultatov <input type="text" value=""/> ▼
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen bo v naslednjih 3 letih"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>

Komentar

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

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

Sofinancer																									
1.	<table border="1"> <tr> <td>Naziv</td> <td>GORENJE gospodinjiski aparati, d.d.</td> </tr> <tr> <td>Naslov</td> <td>Partizanska cesta 12, 3320 Velenje</td> </tr> <tr> <td>Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:</td> <td>56.228 EUR</td> </tr> <tr> <td>Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:</td> <td>15 %</td> </tr> <tr> <td>Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja</td> <td>Šifra</td> </tr> <tr> <td>1.</td> <td>OSELI A., et.al. Apparatus for measuring dynamic bulk compliance of time-dependant materials. Symposium on Experimental Stress Analysis and Materials Testing; 2014 [COBISS.SI ID 13363739] A.01</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td>SAPRUNOV I., et. al. Prediction of viscoelastic material functions from constant stress or strainrate experiments. Mechanics of timedependent materials, 2013, [COBISS.SIID13309211] A.01</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td>EMRI I., et.al. Sleeper with damping element based on dissipative bulk or granular technology: Anmeldenummer 12006058.7/EP 12006058 2012-0824. Europäisches Patentamt, 2012. [COBISS.SIID 12444699] F.32</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td>EMRI I., et.al. Dissipative bulk and granular systems technology : Anmeldenummer 12006059.5 / EP12006059 20120824. Europäisches Patentamt, 2012. [COBISS.SIID 12444187] F.32</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td>Saprunov I., et al.(planary lecture) Behavior of polymers at extreme loading conditions. V: The 8th International Conference on Mechanics of Time-Dependent Materials, 2012, Japan. B.04</td> </tr> <tr> <td>Komentar</td> <td>Sofinancer Gorenje d.d. projekt sofinancira kvartalno z izplačevanjem obveznosti v višini, ki predstavlja 15% vrednosti celotnega projekta.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Projekt Vedenje disipativnih sistemov pri ekstremnih termo-mehanskih obremenitvah predstavlja sinergijo in industrijsko implementacijo vrhunskih znanj, ki so jih akademski partnerji razvili v preteklosti v okviru bazičnega raziskovanja. Naši akademski partnerji, katerih raziskovalno delo je usmerjeno v študij časovno odvisnega vedenja multifunkcionalnih polimerov ter nanokompozitov, so v okviru bazičnih raziskav razvili in patentirali nove multifunkcionalne materiale in tehnologijo, kar omogoča pripravo nanostrukturiranih polimernih materialov s kompleksno strukturo, ki izkazujejo izjemno sposobnost absorpcije energije. Na</td> </tr> </table>	Naziv	GORENJE gospodinjiski aparati, d.d.	Naslov	Partizanska cesta 12, 3320 Velenje	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	56.228 EUR	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	15 %	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	1.	OSELI A., et.al. Apparatus for measuring dynamic bulk compliance of time-dependant materials. Symposium on Experimental Stress Analysis and Materials Testing; 2014 [COBISS.SI ID 13363739] A.01	2.	SAPRUNOV I., et. al. Prediction of viscoelastic material functions from constant stress or strainrate experiments. Mechanics of timedependent materials, 2013, [COBISS.SIID13309211] A.01	3.	EMRI I., et.al. Sleeper with damping element based on dissipative bulk or granular technology: Anmeldenummer 12006058.7/EP 12006058 2012-0824. Europäisches Patentamt, 2012. [COBISS.SIID 12444699] F.32	4.	EMRI I., et.al. Dissipative bulk and granular systems technology : Anmeldenummer 12006059.5 / EP12006059 20120824. Europäisches Patentamt, 2012. [COBISS.SIID 12444187] F.32	5.	Saprunov I., et al.(planary lecture) Behavior of polymers at extreme loading conditions. V: The 8th International Conference on Mechanics of Time-Dependent Materials, 2012, Japan. B.04	Komentar	Sofinancer Gorenje d.d. projekt sofinancira kvartalno z izplačevanjem obveznosti v višini, ki predstavlja 15% vrednosti celotnega projekta.		Projekt Vedenje disipativnih sistemov pri ekstremnih termo-mehanskih obremenitvah predstavlja sinergijo in industrijsko implementacijo vrhunskih znanj, ki so jih akademski partnerji razvili v preteklosti v okviru bazičnega raziskovanja. Naši akademski partnerji, katerih raziskovalno delo je usmerjeno v študij časovno odvisnega vedenja multifunkcionalnih polimerov ter nanokompozitov, so v okviru bazičnih raziskav razvili in patentirali nove multifunkcionalne materiale in tehnologijo, kar omogoča pripravo nanostrukturiranih polimernih materialov s kompleksno strukturo, ki izkazujejo izjemno sposobnost absorpcije energije. Na
Naziv	GORENJE gospodinjiski aparati, d.d.																								
Naslov	Partizanska cesta 12, 3320 Velenje																								
Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	56.228 EUR																								
Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	15 %																								
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra																								
1.	OSELI A., et.al. Apparatus for measuring dynamic bulk compliance of time-dependant materials. Symposium on Experimental Stress Analysis and Materials Testing; 2014 [COBISS.SI ID 13363739] A.01																								
2.	SAPRUNOV I., et. al. Prediction of viscoelastic material functions from constant stress or strainrate experiments. Mechanics of timedependent materials, 2013, [COBISS.SIID13309211] A.01																								
3.	EMRI I., et.al. Sleeper with damping element based on dissipative bulk or granular technology: Anmeldenummer 12006058.7/EP 12006058 2012-0824. Europäisches Patentamt, 2012. [COBISS.SIID 12444699] F.32																								
4.	EMRI I., et.al. Dissipative bulk and granular systems technology : Anmeldenummer 12006059.5 / EP12006059 20120824. Europäisches Patentamt, 2012. [COBISS.SIID 12444187] F.32																								
5.	Saprunov I., et al.(planary lecture) Behavior of polymers at extreme loading conditions. V: The 8th International Conference on Mechanics of Time-Dependent Materials, 2012, Japan. B.04																								
Komentar	Sofinancer Gorenje d.d. projekt sofinancira kvartalno z izplačevanjem obveznosti v višini, ki predstavlja 15% vrednosti celotnega projekta.																								
	Projekt Vedenje disipativnih sistemov pri ekstremnih termo-mehanskih obremenitvah predstavlja sinergijo in industrijsko implementacijo vrhunskih znanj, ki so jih akademski partnerji razvili v preteklosti v okviru bazičnega raziskovanja. Naši akademski partnerji, katerih raziskovalno delo je usmerjeno v študij časovno odvisnega vedenja multifunkcionalnih polimerov ter nanokompozitov, so v okviru bazičnih raziskav razvili in patentirali nove multifunkcionalne materiale in tehnologijo, kar omogoča pripravo nanostrukturiranih polimernih materialov s kompleksno strukturo, ki izkazujejo izjemno sposobnost absorpcije energije. Na																								

	Ocena	<p>svetovnem trgu zaenkrat ni adaptivnih materialov s takšnimi lastnostmi. Predlagani projekt torej predstavlja preboj na tem področju in odpira možnosti vstopa v različne tržne niše.</p> <p>Pomembno tržno nišo za trženje novo osvojenih znanj v okviru projekta za Gorenje predstavlja železniški transport in avtomobilska industrija, kjer lahko z uvajanjem materialov z izjemno sposobnostjo absorpcije energije pomembno prispevamo k varnosti potnikov. Na področju železniškega transporta načrtujemo sodelovanje s slovenskimi gradbenimi podjetji.</p> <p>Sofinancer z izjavo potrjuje, da je delo na projektu L2-4103 potekalo v skladu s predlagano vsebino programa za izvedbo projekta.</p>	
2.	Naziv	Institut "Jožef Stefan"	
	Naslov	Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	37.431	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	10	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	
	1.	Zupančič B., et al. Vedenje disipativnih sistemov pri ekstremnih termomehanskih obremenitvah : aplikativni raziskovalni projekt. Informacijski bilten, 2013,[COBISS.SIID 12753947]	A.01
	2.	Emri I. (Keynote). The effect of pressure on behavior of solid polymers. 2013 SEM Annual Conference and Exposition on Experimental and Applied Mechanics [COBISS.SIID 12944923]	B.04
	3.	Saprunov I., et al.(planary lecture) Behavior of polymers at extreme loading conditions. V: The 8th International Conference on Mechanics of Time-Dependent Materials, 2012, Japan.	B.04
	4.	Emri I., et al. Importance of viscoelastic characteristics in determining functionality of time-dependent materials. DYNA, oct. 2012, año 79, str. 97-104	A.01
	5.		
Komentar	Sofinancer Institut "Jožef Stefan" projekt sofinancira iz lastnih sredstev v višini, ki predstavlja 10% vrednosti celotnega projekta.		
Ocena	<p>Projekt Vedenje disipativnih sistemov pri ekstremnih termo-mehanskih obremenitvah predstavlja sinergijo in industrijsko implementacijo vrhunskih znanj, ki so jih akademski partnerji razvili v preteklosti v okviru bazičnega raziskovanja. Naši akademski partnerji, katerih raziskovalno delo je usmerjeno v študij časovno odvisnega vedenja multifunkcionalnih polimerov ter nanokompozitov, so v okviru bazičnih raziskav razvili in patentirali nove multifunkcionalne materiale in tehnologijo, kar omogoča pripravo nanostrukturiranih polimernih materialov s kompleksno strukturo, ki izkazujejo izjemno sposobnost absorpcije energije. Na svetovnem trgu zaenkrat ni adaptivnih materialov s takšnimi lastnostmi. Predlagani projekt torej predstavlja preboj na tem področju in odpira možnosti vstopa v različne tržne niše.</p> <p>Rezultati predlaganih raziskav bodo pomembno prispevali k bazičnemu znanju na področju trajnostnih tehnologij in nove generacije materialov, ki je eno izmed 4 prioritetenih področij tehnološkega razvoja Slovenije v tem desetletju. Raziskovalno delo je naravnano na ustvarjanje znanja na</p>		

		<p>področjih, kjer je možno s koriščenjem specifičnih lastnosti novih materialov dvigniti dodano vrednost izdelka in s tem povečati konkurenčno sposobnost podjetij.</p> <p>Sofinancer z izjavo potrjuje, da je delo na projektu L2-4103 potekalo v skladu s predlagano vsebino programa za izvedbo projekta.</p>
--	--	---

13. Izjemni dosežek v letu 2014¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Založniška hiša Springer Science+Business Media Dordrecht je našo raziskovalno skupino povabila k pisanju poglavja v enciklopediji: Experimental Determination of Material Time - Dependent Properties.

Poglavje v enciklopediji Encyclopedia of Thermal Stresses predstavlja pregled eksperimentalnih pristopov, ki so najpogosteje uporabljeni za določitev termičnih in časovno odvisnih mehanskih lastnosti materialov v strižnem in volumetričnem načinu. Poleg tega so z eksperimentalnimi metodami predstavljeni tudi numerični pristopi za določitev sumarnih krivulj izbranih materialnih funkcij. Ustrezna določitev časovno odvisnih lastnosti v strižnem in volumetričnem načinu je namreč velikega pomena za zanesljivo napovedovanje mehanskega odziva materiala v linearni in nelinearni domeni viskoelastičnosti.

V priponki prilagamo predstavitveni diapozitiv izjemnega znanstvenega dosežka.

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V sodelovanju s skupino prof. Liechtija iz University of Texas at Austin je bil nadgrajen Knauss-Emrijevi (KE) model v Knauss-Emri-Liechtijev (KEL) model. Nadgrajeni model upošteva vpliv strižnih obremenitev na spremembo prostega volumna in s tem omogoča še natančnejše napovedovanje nelinearnega časovno-odvisnega vedenja polimerov in njihovih nano-, mikro- in makro-kompozitov.

V okviru sodelovanja med skupino prof. Liechti-ja, ki je formirala spin-off podjetje Psylotech (<http://psylotech.com/>) in našo skupino, ki je formirala spin-off Inštituta za sonaravne inovativne tehnologije (www.isit.si) smo nelinearni viskoelastični konstitutivni model, ki ga je razvila skupina, pripeljali do faze industrijske uporabe. Nadgrajeni Knauss-Emrijev (KE) model, ki je sedaj znan kot Knauss-Emri-Liechti (KEL) model, je bil vključen v znani komercialni programski paket Abaqus.

V priponki prilagamo predstavitveni diapozitiv izjemnega družbeno-ekonomskega dosežka.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

ŽIGKraj in datum:

Ljubljana	11.3.2015
-----------	-----------

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/132

- ¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)
- ² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
- ⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)
- ⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.
- Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.
- Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- ⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)
- ⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)
- ⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)
- ¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot 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-RPROJ-ZP/2015 v1.00a
F3-1C-E1-7E-32-76-BA-84-7C-8F-37-5E-D3-4B-78-E4-72-22-B6-E4

Priloga 1

References of the project Behavior of dissipative systems at extreme thermo – mechanical boundary conditions (L2-4103)

- [1] Knauss, W. G., Emri, I. Non-linear viscoelasticity based on free volume consideration. *Comput. struct.* [Print ed.], 1981, vol. 13, issues 1-3, str. 123-128. [COBISS.SI-ID [8052507](#)]
- [2] Knauss, W. G., Emri, I. Volume change and the nonlinear thermo-viscoelastic constitution of polymers. *Polym. eng. sci.*, 1987, vol. 27, no. 1, str. 86-100. [COBISS.SI-ID [8052763](#)]
- [3] PRODAN, Ted. *The effect of hydrostatic pressure and temperature on the shear modulus of time-dependent materials = [Vpliv hidrostatičnega tlaka in temperature na strižni modul časovno odvisnih materialov] : dissertation*, (Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Doktorske disertacije, [200], 265). Ljubljana: [T. Prodan], 2002. 116 f., ilustr., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [5515803](#)]
- [4] GERGESOVA, Marina. *Characterization of time-dependent properties of polymers by solving inverse problems : dissertation*. Ljubljana: [M. Gergesova], 2013. X, 144 str., ilustr. [COBISS.SI-ID [13188379](#)]
- [5] AULOVA, Alexandra. *Methods for solving inverse problem in viscoelasticity : multilayer perceptron radial basis function exponential fitting : raziskovalno delo*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2014. 54 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [13883931](#)]
- [6] EMRI, Igor, PRODAN, Ted. A measuring system for bulk and shear characterization of polymers. *Experimental mechanics*, ISSN 0014-4851. Tiskana izd., 2006, letn. 46, št. 4, str. 429-439. [COBISS.SI-ID [9497627](#)]
- [7] KRALJ, Aleš, PRODAN, Ted, EMRI, Igor. An apparatus for measuring the effect of pressure on the time-dependent properties of polymers. *Journal of rheology*, ISSN 0148-6055, 2001, vol. 45, no. 4, str. 929-943. [COBISS.SI-ID [4847131](#)]
- [8] BOROMAND, Arman. *Non-isothermal crystallization kinetics of PA6 : the effect of bimodality = Neizotermalna kinetika kristalizacijskega procesa PA6 : vpliv bimodalnosti : master's thesis*. Ljubljana: [A. Boromand], 2012. XVII, 74 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [12463387](#)]
- [9] BEK, Marko, BETJES, Joris, EMRI, Igor, HOLEČEK, Nikola. 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](#)]
- [10] BEK, Marko, OSELI, Alen, SAPRUNOV, Ivan, ZHUMAGULOV, B. T., MIAN, Sultan M., GUSEV, B. V., ŽARNIČ, Roko, BERNSTORFF, Bernd Steffen von, HOLEČEK, Nikola, EMRI, Igor. High pressure dissipative granular materials for earthquake protection of houses = Visokotlačni granulirani disipativni materiali za protipotresno zaščito hiš. *Anali PAZU*, ISSN 2232-416X, 2013, letn. 3, št. 2, str. 79-86, ilustr. http://www.anali-pazu.si/sites/default/files/Separat_Bek_et.al_.pdf. [COBISS.SI-ID [13408027](#)]
- [11] ZUPANČIČ, Barbara, AULOVA, Alexandra, EMRI, Igor, HOLEČEK, Nikola, PEČNIK, Boštjan, PREGELJ, Matej, ARČON, Denis. Vedenje disipativnih sistemov pri ekstremnih termo-mehanskih obremenitvah : aplikativni raziskovalni projekt. *Informacijski bilten*, ISSN 1408-7197, jan.-mar. 2013, letn. 22, št. 1/3, str. 7-12, ilustr. [COBISS.SI-ID [12753947](#)]
- [12] UMER, Jamal. *Determination of temperature-pressure equivalency and validation of free volume concept for polyamide-6 = Določitev ekvivalentnosti vpliva temperature in tlaka ter preverba veljavnosti koncepta prostega volumna za poliamid-6 : master thesis*. Ljubljana: [J. Umer], 2012. XXI, 83 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [12461339](#)]
- [13] MAVEC, Uroš. *Vpliv tlaka in temperature na strižni modul relaksacije termoplastičnega poliuretana : magistrsko delo magistrskega študijskega programa II. stopnje*. Ljubljana: [U. Mavec], 2014. 63 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [13712155](#)]
- [14] BETJES, Joris. *Vpliv tlaka na dušilne lastnosti termoplastičnega poliuretana = Effect of pressure on damping properties of thermoplastic polyurethane : magistrsko delo magistrskega študijskega programa II. stopnje*. Ljubljana: [J. Betjes], 2014. 71 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [13717787](#)]
- [15] SHABBIR, Aamir. *Določitev ekvivalentnosti vpliva tlaka in temperature na strižne in volumetrične lastnosti termoplastičnega poliuretana = Determination of temperature-pressure equivalency in shear and bulk for thermoplastic polyurethane (TPU) : master thesis*. Ljubljana: [A. Shabbir], 2013. IX, 80 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [13161243](#)]

- [16] BEK, Marko, BETJES, Joris, AULOVA, Alexandra, HOLEČEK, Nikola, EMRI, Igor. Mehanske lastnosti termoplastičnega poliuretana izpostavljenega hidrostatičnemu tlaku = Mechanical properties of thermoplastic polyurethane exposed to hydrostatic pressure. V: Kuhljevi dnevi 2014, Maribor, 24.-25. september, 2014. HRIBERŠEK, Matjaž (ur.), RAVNIK, Jure (ur.). *Zbornik del.* Ljubljana: Slovensko društvo za mehaniko, 2014, str. 1-6, ilustr. [COBISS.SI-ID [13696795](#)]
- [17] BEK, Marko, HOLEČEK, Nikola, EMRI, Igor. Viscoelastic damping elements for vibration reduction. V: CVETKOVIĆ, Dragan S. (ur.). *Proceeding of Papers.* Niš: Faculty of Occupational Safety, 2012, str. 149-152. [COBISS.SI-ID [588840](#)]
- [18] SAPRUNOV, Ivan, PEČNIK, Boštjan, BEZJAK, Jana, ZUPANČIČ, Barbara, EMRI, Igor. Vedenje polimerov pri ekstremnih obremenitvah : nova generacija absorberjev mehanske energije. V: Industrijski forum IRT, Portorož, 11. in 12. junij 2012. PERME, Tomaž (ur.), ŠVETAK, Darko (ur.). *Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma.* Škofljica: Profidtp, 2012, str. 69-74, ilustr. [COBISS.SI-ID [12337947](#)]
- [19] OSELI, Alen, STARMAN, Bojan, BEK, Marko, ŠTOK, Boris, EMRI, Igor. Experimental methods for investigating pressure and temperature effects on mechanical properties of solid state polymers. V: *Programme and abstracts.* [Wales: Institute of non-Newtonian Fluid Mechanics, 2014], f. 30-31. [COBISS.SI-ID [13408539](#)]
- [20] EMRI, Igor. Keynote : the effect of pressure on behavior of solid polymers (40-min.). V: *Final program and bound abstracts.* [S.l.: s.n., 2013], str. 92. [COBISS.SI-ID [12944923](#)]
- [21] BEK, Marko, OSELI, Alen, SAPRUNOV, Ivan, ZHUMAGULOV, B. T., MIAN, S. M., ZHUNUSOV, T., GUSEV, B. V., ŽARNIČ, Roko, BERNSTORFF, Bernd Steffen von, EMRI, Igor. High pressure dissipative granular material technology in earthquake-safe sustainable housing. V: *WEC-2013 : abstracts.* [Islamabad: WEC], 2013, str. 51. [COBISS.SI-ID [13174555](#)]
- [22] SAPRUNOV, Ivan, KOBAL, Jure, EMRI, Igor. Behavior of polymers at extreme loading conditions. V: The 8th International Conference on Mechanics of Time-Dependent Materials, September 23 - 27, 2012, Kanazawa, Japan. *Book of abstracts.* Kanazawa: Society for Experimental Mechanics, 2012, str. 16. [COBISS.SI-ID [12469787](#)]
- [23] BEK, Marko, HOLEČEK, Nikola, EMRI, Igor. Damping characteristics of granular polymeric materials exposed to hydrostatic pressure. V: 9th Annual European Rheology Conference, April 8 - 11, 2014, Karlsruhe, Germany. *AERC 2014.* [S.l.]: German Rheological Society, 2014, str. 189. [COBISS.SI-ID [13430299](#)]
- [24] BEK, Marko, OSELI, Alen, PRODAN, Ted, STARMAN, Bojan, EMRI, Igor, ŠTOK, Boris. Combined effect of temperature and pressure on thermo-mechanical[!] properties of thermal insulation material (polyamide) for offshore oil exploitation. V: 8th International Conference on Modification, Degradation and Stabilization of Polymers, August 31st - September 4th Portorož, Slovenia 2014. AULOVA, Alexandra (ur.), ROGELJ RITONJA, Alenka (ur.), EMRI, Igor (ur.). *Book of abstracts.* Ljubljana: Slovene Society of Experimental Mechanics - SSEM: = Slovensko društvo za eksperimentalno mehaniko, 2014, str. 163. [COBISS.SI-ID [13664283](#)]
- [25] BEK, Marko, BETJES, Joris, HOLEČEK, Nikola, EMRI, Igor. Effect of pressure on shear relaxation of thermoplastic polyurethane. V: 31st Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, September 24-27, 2014 - Kempten (Allgäu), Germany. *Danubia-Adria : proceedings.* Düsseldorf: VDI - Verein Deutscher Ingenieure, 2014, str. 21-22, ilustr. [COBISS.SI-ID [13719579](#)]
- [26] BEK, Marko, MAVEC, Uroš, BIZJAK, Martin, HOLEČEK, Nikola, EMRI, Igor. Influence of inherent hydrostatic pressure on damping properties of railway damping elements. V: EMRI, Igor (ur.). *17th International Workshop on Advances in Experimental Mechanics, August 18-24, 2013, Grand Hotel Bernardin, Portorož, Slovenia,* (Series on advances in experimental mechanics, vol. 17). Ljubljana: Center for Experimental Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering, 2013, datoteka Bek_M ... (1 f.). [COBISS.SI-ID [13221147](#)]
- [27] AULOVA, Alexandra, ZUPANČIČ, Barbara, GONZALEZ-GUTIERREZ, Joamin, OBLAK, Pavel, PREGELJ, Matej, UMEK, Polona, ARČON, Denis, EMRI, Igor. *Report on preliminary absorption measurements on PA6.* Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Center za eksperimentalno mehaniko, 2012. 21 str., ilustr. [COBISS.SI-ID [12627227](#)]

Priloga 2

TEHNIKA

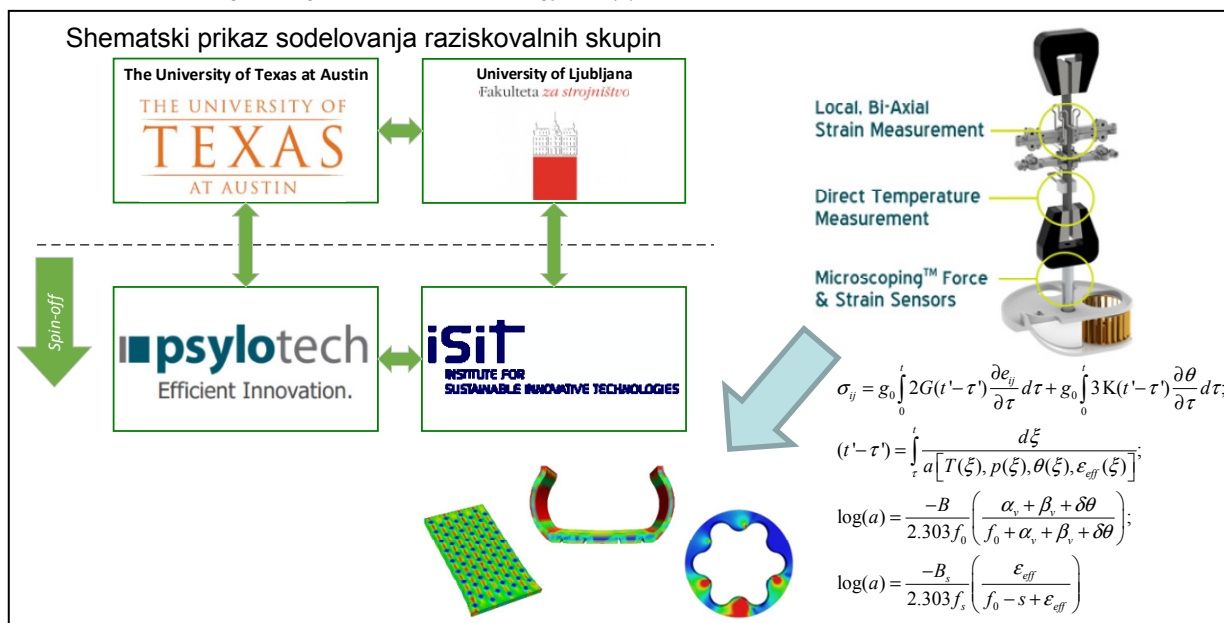
Področje: 2.04 Materiali

Družbeno-ekonomski dosežek: Implementacija Knauss-Emri-Liechti modela v programski paket ABAQUS

Viri:

KNAUSS, Wolfgang Gustav, EMRI, Igor. Non-linear viscoelasticity based on free volume consideration. *Computers & Structures*, ISSN 0045-7949. [Print ed.], 1981, vol. 13, issues 1-3, str. 123-128. [COBISS.SI-ID 8052507]

Popelar, C. F., & Liechti, K. M. (1997). Multiaxial nonlinear viscoelastic characterization and modeling of a structural adhesive. *Journal of engineering materials and technology*, 119(3), 205-210.



Družbeno-ekonomski dosežek:

Nelinearni Knauss-Emri-Liechtijev (KEL) model, ki je nadgradnja Knauss-Emrijevega modela upošteva vpliv strižnih obremenitev na spremembo prostega volumna in s tem omogoča še natančnejše napovedovanje nelinearnega časovno-odvisnega vedenja polimerov in njihovih nano-, mikro- in makro-kompozitov.

Nelinearni viskoelastični konstitutivni model (Knauss-Emri-Liechti model) je bil pripeljan do faze industrijske uporabe in je bil vključen v vodilni komercialni programski paket Abaqus.

Pomen dosežka:

Programski paket Abaqus je eden najbolj široko uporabljenih programskih paketov za reševanje nelinearnih problemov. Z vključitvijo Knauss-Emri-Liechti (KEL) modela v programski paket bo slovensko znanje razširjeno po celem svetu, obenem pa že izvajamo trženje programske opreme preko sodelovanja med spin-off podjetjema naše raziskovalne skupine - Inštituta za sonaravne inovativne tehnologije (www.isit.si) in skupine prof. Liechti-ja (University of Texas at Austin) - Psylo tech (<http://psylo tech.com/>).

Priloga 3

TEHNIKA

Področje: 2.04 Materiali

Znanstveni dosežek: Poglavlje Experimental Determination of Material Time-Dependent Properties v enciklopediji Encyclopedia of Thermal Stresses

Viri:

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 978-94-007-2738-0.

The image shows the cover of the book 'Encyclopedia of Thermal Stresses' edited by Richard B. Hetnarski, Volume 1, published by Springer Reference. To the right is a schematic diagram titled 'Experimental determination of material time-dependent properties. fig12.jpg'. The diagram consists of two graphs, (a) and (b), showing curves of material properties versus log t. Graph (a) shows two curves, one measured at T₁ and one at T₂, with a shift factor a₁₂ indicated. Graph (b) shows a single curve with multiple segments measured at different temperatures T₁, T₂, and T₃, with shift factors a₁₂ and a₂₃ indicated. Below the graphs is the caption: 'Figure 12: Schematics of the CFS-shifting procedure for non-monotonic functions. Based on these considerations the CFS algorithm, applicable for all functions in time and frequency domain was derived. Thus, for two sets measured at two adjacent temperatures T_j and T_{j+1}, and given with N datum points respectively, $\theta = [\log p_{j+1} - \log p_j] / [f_{j+1} - f_j] = f(\theta, T_j)$, j = 1, 2, ..., N, the closed form solution for shift factor will be $\log a_{j,j+1} = \frac{d \left(\sum_{i=1}^N F_{i,j} + \sum_{i=1}^N F_{i,j+1} \right) + d' \left(\sum_{i=1}^N F_{i,j} - \sum_{i=1}^N F_{i,j+1} \right)}{d' (Y - f_{i,j}) + d'' (f_{i,j+1} - Y)}$ where $f_{i,j}$ denotes the non-monotonic function, e.g., $\log f'$, $\tan \delta = J' / J''$, etc. $F_{i,j} = \frac{\log \theta_{i,j} + \log \theta_{i,j+1}}{2} (f_{i,j+1} - f_{i,j})$, j = 1, 2, ..., N, and $Y = \min \{f_{i,j}, f_{i,j+1}\}$.

State	Mode of loading	Type of loading			
		Shear	Bulk	Uniaxial extension	Poisson's ratio
Static	Relaxation	G(t)	R(t)	E(t)	$\nu(t)$
	Creep	J(t)	B(t)	D(t)	$\nu^*(t)$
Dynamic	Relaxation	In phase	G*(ω)	E*(ω)	$\nu^*(\omega)$
		Out of phase	G''(ω)	E''(ω)	$\nu''(\omega)$
	Creep	In phase	J''(ω)	B''(ω)	D''(ω)
		Out of phase	J'(ω)	B'(ω)	D'(ω)

Legend table 1: Viscoelastic material functions

Since this chapter concerns mostly the time-dependence, but not the frequency-dependent properties, it is necessary to mention that characterization of the latter requires utilization of different experimental techniques. Alternatively, frequency-dependent properties may be obtained from the time-dependent ones by using mathematical relations for interconversion between material functions [1].

Effect of temperature and pressure on time-dependent properties

In order to obtain complete information on time-dependent (viscoelastic) properties of a polymeric material it is necessary to perform experiments in a wide range of time scale that can extend over several years. Since this is not acceptable from the practical and economical point measurements are usually performed within a certain experimental time interval, the so called experimental window, at different environmental conditions (temperatures and/or pressures). For practical reasons experimental window is typically limited to 10³ s, which is approximately 3h. However, these intervals do not cover the entire set of material's viscoelastic properties. Therefore, a method of extrapolation which allows moving from one excitation time to another was developed. Such extrapolation is based on the principle of equivalence of time and temperature, and is called *time-temperature superposition principle* (TTSP) [1, 11]. If the polymer of interest obeys TTSP, i.e., it is *thermorheologically simple*, then the viscoelastic properties measured at different temperatures, T₁ = 1, 2, ..., N₁, and constant pressure, p₁, over a fixed period of time, have similar shape within the superimposing interval, and can be exactly superimposed by shifting the curves horizontally along the time axis with respect to a certain reference temperature, T₂. Figure 2a shows a T superposition on the example of shear creep compliance. In effect, by changing temperature one is able to recast time. The curve created by superposition is called a *master curve*, while the amount of shifting along the horizontal axis for each curve is called a *shift factor*, a_j.

TTSP asserts that the obtained master curve after shifting is identical to the response that would be found at longer times at the reference temperature, if one would be able to do the experiment. Thus, one effectively has a measure of the complete material behavior by applying TTSP to systems measured within experimentally accessible time windows.

Znanstvenih dosežek:

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*. Poglavlje 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.