

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/155



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

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

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0260
Naslov programa	Mehanika konstrukcij Mechanics of structures
Vodja programa	2189 Miran Saje
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	22440
Cenovni razred	B
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	792 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.05 Mehanika
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.01 Gradbeništvo

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

- Izpeljali smo originalne numerične metode za dinamično termo-mehansko analizo geometrijsko in materialno nelinearnih prostorskih linijskih konstrukcij v gradbeništvo in

strojništvu. Razvili smo nove končne elemente za dinamično analizo, ki temeljijo na interpolaciji deformacij. Razvili smo vrsto novih formulacij, v katerih so rotacije parametrizirane s kvaternioni. Preverili smo smiselnost interpolacije z valčki. Izpeljali smo dve novi metodi za časovno integracijo kotne hitrosti. Prikazali smo praktično uporabnost metod pri optimizaciji oblike linijskih konstrukcij in obtežbe v robotiki in pri projektiranju optimalne lege bočnih podpor ločne konstrukcije.

- Armirane, prednapete in sovprežne betonske konstrukcije ter lepljeni leseni nosilci so klasični primeri kompozitnih nosilcev. Zanje smo izpeljali točno geometrijsko in materialno nelinearno teorijo, v kateri so tudi odmiki in zamiki med sloji končno veliki, in robustno numerično metodo na osnovi interpolacije deformacij. Ugotavljali smo stabilnost slojevitih stebrov in vplive značilnih pojavov v betonu, kot so zdrs armature, nastanek in razvoj razpok in lokalizacija deformacij. Rešili smo problem uklona armiranobetonskega stebra, diskretno razpokanega po višini. Določili smo napetosti, deformacije, pomike, zdrse in razpoke v prednapetem betonskem nosilcu in v betonskem nosilcu, bočno ojačanem z jeklenimi ploščami.

- Raziskovali smo vpliv požara na betonske, jeklene, sovprežne in lesene konstrukcije. Prehod toplote in prenos vlage, pare in zraka skozi konstrukcijo smo reševali povezano, dobljene temperature in pritiske v pari pa smo uporabili pri časovni mehanski analizi konstrukcije. Preverjali smo pogoje luščenja betona pri požaru. Analizirali smo obnašanje sovprežne plošče Trimo v požaru in določili optimalno lego protipožarne armature. Raziskali smo požarno obnašanje betonskega nosilca, bočno ojačanega z jeklenimi ploščami. Analizirali smo obnašanje slojevitih lesenih nosilcev v požaru ob upoštevanju zamikov med sloji in ogledenja lesa. V članku "On strain softening in finite element analysis of RC planar frames subjected to fire" smo pokazali, da je za določitev togosti, duktilnosti in nosilnosti potrebno upoštevati nastanek lokalne nezveznosti.

- Razvijali smo neporušne metode na osnovi ultrazvočnih valovanj. Narejen je bil znaten napredek v razumevanju začetka vezanja cementa. Razvili smo numerično metodo za določanje dopustne hitrost betoniranja masivnih blokov. Metodo uporablja gradbena industrija pri gradnji zahtevnejših objektov.

- V sodelovanju s Tehnično univerzo v Lyngbyju smo razvijali nov model prenosa vlage skozi les.

ANG

- Novel numerical formulations for the dynamic analysis of geometrically and materially non-linear spatial beam-like structures have been derived, and several novel non-linear, strain-based beam finite elements introduced. Some of the formulations use the rotation quaternions. We explored if wavelets could be convenient as interpolation functions. We deduced and tested new numerical algorithms for integrating rotations from a given angular velocity. We have shown that the formulations perform really well in optimization problems, too.

- Structures made of reinforced or pre-stressed concrete, or composed from layers of different materials, are called the "composite structures". We have proposed a novel geometrically exact theory of layered beams where both slip and uplift between the layers are assumed to be finite, and derived new, robust finite-element solution method using strains as the only interpolated variables. We have studied the stability of reinforced-concrete columns and displayed the effects of some significant parameters such as slip between reinforcement and concrete, and the localization of strains due to softening of concrete in compression. We also studied, in detail, behaviour of pre-stressed concrete beams, and concrete beams reinforced externally by steel plates.

- An important topic of our research is concerned with the effect of fire on concrete, steel and timber beam-like structures. This requires that the transport of water, vapour and air within porous concrete or timber is first determined, which is followed by the temperature analysis, needed in the subsequent mechanical analysis. The thermo-mechanical results make us possible to estimate if spalling of concrete is plausible. We have analysed behaviour of a commercial Trimo girder, composed of a trapezoidal steel plate covered by the reinforced concrete, in a standard fire. An optimal position of the reinforcement bars has been determined such that the critical time to collapse becomes maximum. We have also analysed the response of layered timber beams to fire with slip between layers and charring of timber being accounted for. The importance of proper considering concrete softening in the finite element analysis was noted in our paper "On strain softening in finite element analysis of RC planar frames subjected to fire".

- In order to understand some phenomena at an early stage concrete better, we have been investigating non-destructive ultrasonic methods. Combining methods of artificial intelligence and data from ultrasonic methods, we have managed to predict setting time and current strength of concrete quite well. Furthermore, in the paper "New numerical procedure for the prediction of temperature development in

early age concrete structures", we showed how the numerically estimated temperature within a massive concrete block can be used to estimate an allowable rate of concrete placement. Through our cooperation with the Technical university of Lyngby, we have contributed the solution method of a new model of water transport through timber.

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

SLO

Skupina je delovala na več področjih, ki načrtovano vodijo do skupnega cilja.

Nelinearna teorija prostorskih linijskih nosilcev. Gradbene konstrukcije so pogosto sestavljene iz prostorskih nosilcev. Za računsko določitev realističnega mehanskega odziva konstrukcije je potrebno izpeljati natančne, robustne in učinkovite numerične metode, ki delujejo tudi v nelinearnem področju. Razvili smo originalne metode, ki temeljijo na interpolaciji specifičnih deformacij in kvaternionov rotacij. Rezultati so bili objavljeni v 11 člankih v vrhunskih revijah področja in so dobro sprejeti in citirani. Na primer: v enem samem članku *A hybrid mixed finite element formulation for the geometrically exact analysis of three dimensional framed structures* so avtorji (ZDA, Brazilija, Portugalska) citirali 8 naših člankov; v članku *A quaternion-based weak form quadrature element formulation for spatial geometrically exact beams* (Tsingua University, Beijing) je citiranih 6 naših člankov (od skupno 30 citatov). Razvili smo nove končne elemente s konstantnim potekom deformacij (objava v Int.j.solids struct.) in elemente višjega reda za dinamiko prostorskih nosilcev (Finite elem.anal.design). Razvili smo formulacije, v katerih so rotacije parametrizirane s kvaternioni. O tem smo poročali v 4 člankih v vrhunskih revijah. Preverili smo smiselnost interpolacije z valčki (Comput.mech.) in izpeljali dve metodi za časovno integracijo kotne hitrosti (Adv.eng.software, Mech.res.com.). Praktično uporabnost metod pri *optimizaciji oblike in obtežbe* v robotiki smo prikazali v članku v reviji Eng.optimization. Uporabo pri praktičnem projektiranju optimalno oblikovanega loka smo prikazali v Int.j.struct.stab.dyn.

Nelinearna teorija kompozitnih nosilcev. Armirane, prednapete in sovprežne betonske konstrukcije ter lepljeni leseni nosilci so klasični primeri kompozitnih nosilcev. Pripravili smo konsistentno teorijo in uspešno numerično metodo na osnovi interpolacije deformacij. Objavili smo 14 člankov v vrhunskih revijah področja; vsi so dobro sprejeti in citirani. Na primer: v enem samem članku kitajskih avtorjev *Finite element analysis for buckling of two-layer composite beams using Reddy's higher order beam theory* je citiranih 5 naših člankov (od skupno 26 referenc); v članku ameriških avtorjev *Buckling of delaminated bi-layer beam-columns* je citiranih 7 člankov (skupaj 34 referenc). V 3 člankih v revijah Eng.struct. in Struct.eng.mech. smo postavili temelje linearni teoriji slojevitih nosilcev, kjer se sloja na stiku lahko zamakneta. V nadaljnjih 2 člankih v Comput.struct. smo pripravili točno geometrijsko in materialno nelinearno teorijo, pri kateri so odmiki in zamiki končno veliki. Te teorije so bile uspešno uporabljene za ugotavljanje stabilnosti slojevitih stebrov. Rezultati so bili objavljeni v 8 člankih. Posebej želimo izpostaviti članek *The influence of boundary conditions and axial deformability on buckling behaviour of two-layer composite columns with interlayer slip* (Eng.structures 2010), ki ga je anonimni recenzent označil z besedami "The reviewer would like to remark that this paper is the best he has reviewed since long time, and of great importance for researchers working in the field of composite structural members with interlayer slip". **Betonske konstrukcije.** Pojavi v betonu, kot so npr. zdrs armature, nastanek in razvoj razpok in lokalizacija deformacij, so, čeprav pomembno vplivajo na nosilnost in duktilnost, še premalo raziskani. Zato smo tem problemom posvetili veliko časa. V mednarodnih revijah smo objavili 3 članke. Rešili smo problem uklona armirano betonskega stebra, diskretno razpokanega po višini (Eng.struct.). V članku "Non-linear analysis of pretensioned concrete planar beams" (Eng.struct.) smo z metodami, omenjenimi zgoraj, računali napetosti, deformacije, pomike in razpoke v prednapetem betonu. To je zelo spodbuden rezultat za uporabo v praksi. Rešili smo problem betonskega nosilca, bočno ojačanega z jeklenimi ploščami (J.comp.mater.).

Vpliv požara. Raziskovali smo vpliv požara na betonske, jeklene in lesene konstrukcije. Prenos vlage, pare in zraka ter prehod temperature po konstrukciji smo reševali kot povezan, dobljene temperature in pritiske v pari pa smo uporabili pri časovni mehanski analizi konstrukcije. O požaru smo v mednarodnih revijah objavili 7 člankov. Računsko smo analizirali obnašanje sovprežne plošče Trimo v požaru (Engineering) in določili optimalno lego armature. Raziskali smo požarno obnašanje betonskega nosilca, bočno ojačanega z jeklenima ploščama (Finite elem.anal.design). V 2 člankih v reviji Fire safety j. smo analizirali obnašanje slojevitih lesenih nosilcev v požaru ob upoštevanju zamikov med sloji in oglenenja lesa. Podobna analiza

je bila v reviji Int.j.struct.stab.dyn. narejena za jeklen nosilec v tlaku. Ker se pri požaru skoraj vedno pojavi lokalizacija deformacij v betonu, smo v članku "On strain softening in finite element analysis of RC planar frames subjected to fire" (Eng.struct.) pokazali, da je za določitev togosti, duktilnosti in nosilnosti potrebno upoštevati nastanek lokalne nezveznosti.

Tehnološki problemi pri betonu. V povezavi s podjetjem IGMAT Ljubljana smo razvijali neporušne metode na osnovi ultrazvočnih valovanj. Narejen je bil velik napredek v razumevanju začetka vezanja cementa. O tem smo poročali v 7 člankih v revijah najvišjega razreda (Cement concrete res., NDT&E International, ACI mat.j.). Posebej moramo omeniti članek "Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks" (Ultrasonics 2009), ker je pogosto citiran (ima skupaj 45 normiranih čistih citatov). V članku "New numerical procedure for the prediction of temperature development in early age concrete structures" (Automat.in constr.) je prikazana uporaba novega postopka, s katerim je na podlagi razvoja temperatur določena dopustna hitrost betoniranja.

Tehnološki problemi pri lesu. Prek COST smo vzpostavili stike s Tehnično univerzo v Lyngbyju. Plod sodelovanja sta dva članka v Holzforschung in v Eng.struct., ki opisujeta nov model prenosa vlage skozi les.

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

SLO

Na vseh področjih dela, navedenih v točki 3, smo presegli lastna pričakovanja. Posebej uspešni smo bili pri objavljanju člankov v vrhunskih revijah (57 člankov/5 let) in mednarodni odmevnosti (926 čistih citatov/10 let). Poudariti želimo tudi **raznovrstnost** problemov, s katerimi smo se ukvarjali. Poleg raziskav, ki so del predvidenega načrta programa, smo se dodatno vključevali kot sodelavci na bližnja strokovna področja. Tu velja omeniti dela s področja **statistike**: *Kako poiskati razloge za spremenjene statistične lastnosti meritev asfaltnih mešanic* (Grad. Vestnik 2010) (skupaj z IGMAT, Ljubljana); *Statistical testing of directions observations independence* (Survey review 2013) in *Statistical properties of strain and rotation tensors in geodetic network* (J. of surveying eng. 2010) (skupaj z Oddelkom za geodezijo UL FGG), s področja numeričnega **modeliranja faznih prehodov** (skupaj s Fakulteto za naravoslovje in tehnologijo UL): *Solving moving-boundary problems with the wavelet adaptive radial basis functions method* (Comp.&Fluids 2013); *Moving-boundary problems solved by adaptive radial basis functions* (Comp.&Fluids 2010) in *Solving two-dimensional moving-boundary problems with meshless and level set method* (J. energy&power eng. 2010), s področja **obrabe betona** (Oddelek za okolje UL FGG): *Testing of concrete abrasion resistance in hydraulic structures on the lower Sava river* (Strojn. v. 2012) in *Abrasion resistance of concrete in hydraulic structures* (ACI materials journal 2009), s področja **računalništva** (katedra za računalništvo UL FGG): *Solving solid and fluid mechanics problems in the cloud with mOSAIC* (Computing in sci.&eng. 2014) ter s področja **matematične konvergenca** (s Tsingua University, Beijing): *On convergence of non-conforming convex quadrilateral finite elements AGQ6* (Comp. Meths Appl. Mech.Eng. 2010).

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

SLO

Spremembe programa niso bile potrebne.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	5825377	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Dinamika prostorskih nosilcev v kvaternionskem opisu z uporabo Newmarkove integracije
		ANG	Dynamics of spatial beams in quaternion description based on the Newmark integration scheme
			Z uporabo kvaternionov lahko povsem opustimo tradicionalen način dvojnega opisa rotacij prek rotacijskega vektorja in rotacijske matrike. V članku izrazimo vodilne enačbe problema v kvaternionski algebri in

	Opis	SLO	predstavimo prilagoditev Newmarkove metode na rotacijske kvaternione. Teoretične osnove so predstavljene dovolj podrobno, da članek pomeni osnovo za uporabo kvaternionov tudi v drugih končnih elementih, ki uporabljajo rotacije. Model smo preskusili na številnih primerih. Izpeljani elementi so še posebej natančni in učinkoviti, kadar uporabimo oblikovne funkcije višjih redov. Pomembna lastnost predstavljenega modela je povečana numerična stabilnost računov. Delo spada v kategorijo A' – zelo kvalitetnih dosežkov.
		ANG	The rotational quaternions represent a unique four-dimensional parametrization of rotations in the three-dimensional Euclidean space. In the present paper, they are used as the basic rotational parameters in formulating the finite-element approach of geometrically exact beam-like structures. The classical concept of parameterizing the rotation matrix by the rotational vector is completely abandoned so that the only rotational parameters are the rotational quaternions representing both rotations and rotational strains in the beam. The space discretization based on the collocation method is used and the adjustment of the Newmark time integration algorithm to the quaternion parameterizations of rotation is presented.
	Objavljeno v	Springer; Computational mechanics; 2013; Letn. 51, št. 1; str. 47-64; Impact Factor: 2.044; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.224; A': 1; WoS: PO, PU; Avtorji / Authors: Zupan Eva, Saje Miran, Zupan Dejan	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	4917089	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Nelinearna analiza dvoslojnih lesenih nosilcev ob upoštevanju zdrsa in razmika na stiku
		ANG	Non-linear analysis of two-layer timber beams considering interlayer slip and uplift
	Opis	SLO	Članek predstavlja nov matematični model dvoslojnega nosilca in metodo za njegovo numerično reševanje. Metoda temelji na deformacijah kot osnovnih spremenljivkah modela. Predpostavljen je nelinearni material in nelinearna zakona stika za zdrs in razmik in geometrijsko linearna teorija nosilcev. Teoretični rezultati so primerjani z meritvami na modelu prostoležečega nosilca v polni velikosti. V članku je podrobno raziskan vpliv izbire zakonov zdrsa in razmika. Ugotovljeno je, da je izbira modela za zdrs bistvena, medtem ko izbira modela za razmik ni pomembna.
		ANG	A new mathematical model and its finite element formulation for the non-linear analysis of mechanical behaviour of a two-layer timber planar beam is presented. It is assumed that non-linear material can differ from layer to layer; the slip and uplift laws are non-linear; the kinematics is linear. The theory is validated by the experimental results of full-scale laboratory tests. It is found out that the type of the slip law strongly dictates the deformability of the composite beam.
Objavljeno v	Elsevier Science; Engineering structures; 2010; Letn. 32, št. 6; str. 1617-1630; Impact Factor: 1.363; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.88; A': 1; WoS: IM; Avtorji / Authors: Kroflič Aleš, Planinc Igor, Saje Miran, Turk Goran, Čas Bojan		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
3.	COBISS ID	5069153	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv robnih pogojev in osne stisljivosti na velikost uklonske sile dvoslojnega nosilca ob upoštevanju zdrsa na stiku
		ANG	The influence of boundary conditions and axial deformability on buckling

		behavior of two-layer composite columns with interlayer slip
Opis	SLO	Članek prikazuje vpliv robnih pogojev in osnih deformacij na velikost uklonske sile geometrijsko popolnega dvoslojnega elastičnega stebra ob upoštevanju zdrsa na stiku. Pokazano je, kako so pri takem stebru robni pogoji v vzdolžni in v prečni smeri medsebojno povezani. Analiza pokaže velik vpliv izbire vzdolžnih robnih pogojev na uklonsko silo. Vpliv osnih deformacij na uklonsko silo je zanemarljiv. Ti rezultati omogočajo inženirjem projektantom zasnovati podpiranje tlačnih dvoslojnih stebrov na bolj racionalen način.
	ANG	The paper presents an analysis of the effect of boundary conditions and axial deformation on the buckling loads of the geometrically perfect elastic two-layer composite columns with interlayer slip between the layers. It is shown that the boundary conditions of such composite columns are interrelated in both longitudinal and transverse directions. The parametric analyses reveal that the influence of longitudinal boundary conditions on buckling load can be significant. In contrast, the influence of axial deformation is negligible.
Objavljeno v	Elsevier Science; Engineering structures; 2010; Letn. 32, št. 10; str. 3103-3111; Impact Factor: 1.363; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.88; A': 1; WoS: IM; Avtorji / Authors: Schnabl Simon, Planinc Igor	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	5905761 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Prispevek k reševanju problema mehčanja materiala pri armiranobetonskih okvirjih z metodo končnih elementov
	ANG	On strain softening in finite element analysis of RC planar frames subjected to fire
Opis	SLO	Rušenje betona v tlaku poteka v ozkem pasu. Pri nadaljnjem deformiranju pomeni ta pas lokalno oslabitev nosilca. Posledica je manjša duktilnost konstrukcije. Cilj članka je primerjava rešitev dveh metod končnih elementov: z zveznimi elementi in z nezveznim kratkim elementom na mestu oslabitve, in sicer v pogojih požara. Širina oslabitve je odvisna tudi od dosežene temperature. Prikazani so rezultati za ravninski armiranobetonski dvoetažni, dvoladijski okvir, obtežen s stalno obtežbo in z naraščajočim požarom, in dimenzioniran po obstoječih gradbenih predpisih. Rezultati pokažejo, da vodi uporaba zveznih elementov k nerealnemu rezultatom in pogosto k divergentnim numeričnim rešitvam. Poudarjeno je tudi, da odvisnost širine lokaliziranega pasu od dosežene temperature še ni bila eksperimentalno potrjena.
	ANG	Failure of concrete under compression results in a localized region of softened material subject to high strain. The paper attempts to find out the error of the numerical method for the mechanical analysis of planar reinforced-concrete beams subject to temperature increase simulating typical fire conditions at high temperatures, if the strain softening in concrete is considered, while employing continuous finite elements. The results are confronted with the formulation using constant-strain crack band elements in the localized regions combined with the continuous elements everywhere else. The width of the crack band is, in principle, temperature- and stress-state dependent. In the paper we assume the crack band elements of constant width throughout the analysis, which may be a valid assumption at high temperatures, as indicated by some data given in literature. Results of the analyses of a two-story, two-bay reinforced concrete frame, designed strictly in accordance with the European standards, and subject to self weight, dead and service loads and, additionally, to the increasing fire-like thermal load, are presented.

		<p>The use of solely continuous finite elements, yet accounting for strain softening of material where it occurs, yields spatially oscillating results for strains around the localized region. This usually yields a totally false result or loss of convergence of the global Newton method. The width of the localized band tends to zero with the growing density of the finite-element mesh, with the results being highly mesh sensitive. The finite-element meshes where constant-strain crack band elements in the localized regions are combined with the continuous elements everywhere else yield, on the other hand, a computationally stable and accurate post-instability response for a wide range of crack band element widths. Its critical point is, however, obtaining a reliable estimate of the width of the crack band element at high temperatures. This will require extensive experimental testing with hot concrete in compression.</p>
	Objavljeno v	Elsevier Science; Engineering structures; 2012; Letn. 45; str. 349-361; Impact Factor: 1.713; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.989; A': 1; WoS: IM; Avtorji / Authors: Markovič Mojca, Saje Miran, Planinc Igor, Bratina Sebastjan
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	6202721 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Merjenje procesa vezanja cementnih past z neporušno tehniko odboja strižnih ultrazvočnih valov
		<i>ANG</i> Measurement of setting process of cement pastes using non-destructive ultrasonic shear wave reflection technique
	Opis	<i>SLO</i> <p>Prispevek prikazuje možnost uporabe metode prehoda vzdolžnih ultrazvočnih valov za študij vpliva superplastifikatorjev na formiranje strukture cementnih past v zgodnjem obdobju. V primerjavi s cementnimi pastami brez dodatka je bila v primeru cementnih past z dodatkom superplastifikatorja opažena nižja hitrost prehoda P-valov skozi material, kar kaže na zaviralni učinek superplastifikatorjev pri procesu formiranja strukture cementnih past. Zaviralni učinek se je odražal v pojavu platoja na krivulji razvoja hitrosti P-valov s časom, predvsem v obdobju intenzivnega vezanja. Dolžina platoja je bila proporcionalna količini PCE dodatkov in obratno sorazmerna s specifično površino nastajajočih hidratacijskih produktov, kar dokazuje pomemben vpliv specifične površine trdne faze na obnašanje PCE dodatkov v materialu. Pravilnost in natančnost rezultatov je bila dokazana na podlagi spremljanja razvoja temperature v posameznih materialih.</p>
		<i>ANG</i> <p>In the paper a new setup for measuring a setting and hardening process of cementitious materials, using a non-destructive ultrasonic shear wave reflection technique, and designed with the objective to be easily used in situ, is described. Using the setup, the measurements can be performed by slightly deepening a measuring head into a paste in a mold or by placing the paste into a mold fixed on a measuring head. To test the proposed methodology, cement pastes with different compositions were prepared and exposed to different curing temperatures. Significant differences in the evolution of a change of a shear wave reflection coefficient Δr in time were observed, indicating the ability of the method to monitor setting process of cement pastes. Moreover, some interesting phenomena in the solidification process of materials can be identified. A linear relationship between development of the Δr and penetration resistance dP values in time was found, allowing development of a simplified procedure to determine both initial and final setting times of the material. This presents a significant contribution to the development of new advanced non-destructive techniques to evaluate early age properties of cementitious materials and expands the range of applicability of ultrasonic methods to a high degree.</p>
		Butterworth-Heinemann; NDT & E International; 2013; Letn. 56; str. 65-

Objavljeno v	75; Impact Factor: 1.717; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.802; A': 1; WoS: QF; Avtorji / Authors: Trtnik Gregor, Valič Marko, Turk Goran
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

		Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	4552545	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Modeliranje pomikov plazų z umetnimi nevronskimi mrežami
		ANG	Artificial neural network modelling of landslide movements
	Opis	SLO	Podatke o padavinah in pomikih plazų na plazų Macesnik smo zbrali in pripravili za učenje umetne nevronske mreže. Izkazalo se je, da lahko nevronska mreža precej zanesljivo napove pomike plazų glede na vremenske napovedi o padavinah. Zato so umetne nevronske mreže lahko uporabno orodje pri odločitvah civilne zaščite, odgovorne za lokalno prebivalstvo in infrastrukturo.
		ANG	The data on movements and rainfall for the Macesnik earthflow in Northern Slovenia have been collected and arranged in a form suitable to train the artificial neural network. It is shown that trained ANN is able to predict accurately future movements of the earthflow based on meteorological rainfall predictions thus being a powerful tool for the local authorities.
	Šifra	D.06 Zaključno poročilo o tujem/mednarodnem projektu	
	Objavljeno v	s.n.]; Guidelines and relevant reports; 2009; Str. 215-235; Avtorji / Authors: Logar Janko, Turk Goran, Ambrožič Tomaž	
Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji		
2.	COBISS ID	1695335	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Razvrščanje slovenskega žaganega lesa po trdnosti
		ANG	Strength grading of Slovenian Structural sawn timber
	Opis	SLO	V članku so prikazani rezultati projekta, katerega bistvena cilja sta vpeljava sodobnih metod razvrščanja konstrukcijskega lesa v slovenske žagarske obrate in izdelava podatkovne baze lastnosti slovenskega žaganega lesa. V okviru projekta je bilo preiskanih več kot 1000 konstrukcijskih elementov iz smreke. Na osnovi meritev smo določili korelacije med značilnostmi našega lesa in indikativnimi lastnostmi, ki se uporabljajo pri razvrščanju lesa v Evropi. V članku obravnavamo tudi probleme, ki smo jih reševali pri vpeljavi postopkov razvrščanja v slovenske žagarske obrate.
		ANG	In the paper preliminary results of the research project dealing with introduction of grading methods into Slovenian sawmills and creating the database of Slovenian timber is presented. The aim of the project, partly financed by the Slovenian Research Agency and partly by the industry, is practical implementation of European standards into the production of sawn timber, finding the correlation between indicative properties of Slovenian timber and grading characteristics, and grading more than 1000 boards of Picea Abies Mill. The research is closely related with the work package WP3-Experimental research in the GRADEWOOD project.
	Šifra	F.09 Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	

	Objavljeno v	Edinburgh Napier University, Forest Products Research Institute / Centre for Timber Engineering; The future of quality control for wood & wood products; 2010; Str. 504-511; Avtorji / Authors: Srpčič Jelena, Plos Mitja, Pazlar Tomaž, Turk Goran	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
3.	COBISS ID	5458529	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Smernice za trajnostno projektiranje lesenih konstrukcij
		ANG	Guideline - design for robustness of timber structures
	Opis	SLO	Smernice smo pripravili v okviru akcije COST TU0601 "Robustnost konstrukcij" v delovni skupini 1. Glavna naloga skupine je bila priprava teoretičnih osnov za oceno robustnosti in pogojev za zadovoljivo robustnost konstrukcij, ki bi bile uporabljene za razvoj praktično uporabnih metod projektiranja in dimenzioniranja, ki bi zagotovile robustne projekte. Dodatno je potrebno razviti ustrezne strategije vzdrževanja za doseg robustnosti konstrukcij za celotno življensko obdobje.
		ANG	The guideline is prepared within the COST Action TU0601 "Robustness of structures". The main objective of this working group is the development of the theoretical basis for the assessment of the robustness and acceptance criteria for the structural robustness which will be used as the basis for the development of practically relevant methods for ensuring a robust design as well as strategies for maintaining the robustness of existing structures during their service life.
	Šifra	F.31 Razvoj standardov	
	Objavljeno v	Shaker; 2011; 146 str.; Avtorji / Authors: Sorensen John Dalsgaard, Dietsch Philipp, Kirkegaard Poul Henning, Munch-Andersen Jorgen, Čizmar Dean, Neves Luis, Branco Jorge Manual, Zhang Binsheng, Fink Gerhard, Steiger René, Köhler Jochen, Rajčić Vlatka, Turk Goran, Winter Stefan, Sorensen John Dalsgaard, Dietsch Philipp, Kirkegaard Poul Henning, Köhler Jochen	
	Tipologija	2.02 Strokovna monografija	
4.	COBISS ID	6210401	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba ultrazvočne metode za spremljanje procesa hidratacije materialov s cementnim vezivom v zgodnjem obdobju strjevanja
		ANG	The use of ultrasonic method to monitor the early age hydration process of cement based materials
	Opis	SLO	V prispevku, ki je del monografije, so opisani najnovejši dosežki s področja uporabe ultrazvočne (UZ) metode pri spremljanju hidratacijskega procesa in formiranja strukture materialov s cementnim vezivom s posebnim poudarkom na dosežkih avtorjev prispevka. Med drugim je prikazana možnost uporabe metode prehoda vzdolžnih UZ valov in metode odboja strižnih UZ valov za določitev začetka in konca vezanja različnih materialov s cementnim vezivom, občutljivost teh dveh metod na sestavo materialov in prisotnost različnih kemijskih in mineralnih dodatkov v materialih s cementnim vezivom ter možnost določitve različnih mehanskih karakteristik materialov na podlagi merjenja nekaterih UZ parametrov materiala (npr. tlačna trdnost, elastični modul ipd.). Prispevek je namenjen posredovanju novih znanj uporabnikom iz industrije.
			In this contribution, recent achievements in the field of ultrasonic (US) monitoring of the hydration process and formation of structure of cement-based materials are described with the emphasis on the results published by the authors. Among others, a possibility of using the US

		ANG	wave transmission and US wave reflection method to determine setting times of different cement based materials is described. Sensitivity of these US methods to the presence of different chemical and mineral admixtures is presented and a possibility of using different US parameters to estimate various mechanical characteristics of the materials is also discussed (compressive strength, E modulus, etc.).
	Šifra	F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)
	Objavljeno v	Nova Science Publishers; Ultrasonics; 2013; Str. 25-46; A': 1; Avtorji / Authors: Trtnik Gregor, Turk Goran	
	Tipologija	1.16	Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
5.	COBISS ID	264712448	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	18. slovensko državno prvenstvo v gradbeni mehaniki, Ljubljana, 16. maj 2012
		ANG	Organizing the National Competition in Structural Mechanics, Ljubljana, Maj 16, 2012
	Opis	SLO	V letu 2014 smo organizirali že 20. (dvajseto) vsakoletno državno tekmovanje v gradbenih mehaniki za srednješolce. Vsako leto izdamo tudi brošuro z rešenimi nalogami. Namen tekmovanja je popularizacija področja in poglobljanje znanj. Odziv dijakov in njihovih učiteljev je izredno pozitiven.
		ANG	We have been organizing the competition in structural mechanics in Slovenia for 20 years. The report on the competition with solutions is also published every year. The competition is aimed at students of several secondary schools in Slovenia with the main goal of increasing popularity of the field of structural mechanics and the increase of knowledge. An excellent response from both students and their mentors is experienced.
	Šifra	D.10	Pedagoško delo
	Objavljeno v	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo; 2012; 29 str.; Avtorji / Authors: Zupan Dejan, Turk Goran, Flajs Rado, Planinc Igor	
	Tipologija	2.05	Drugo učno gradivo

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine⁷

--

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

- Raziskovalna skupina je pomembno prispevala k razvoju geometrijsko točnih numeričnih formulacij prostorskih nosilcev v svetu. Gre za šest formulacij. Prva (Jelenić & Saje 1995) temelji na PVD, edine interpolirane funkcije so variacije zasukov; druga ravno tako temelji na PVD, tokrat so interpolirane komponente vektorja ukrivljenosti glede na fiksen koordinatni sistem (Zupan & Saje 2003); tretja formulacija temelji na kolokacijski metodi in pogoju konsistence; tu so interpolirane le komponente vektorjev specifičnih deformacij glede na zasukani koordinatni sistem (Zupan & Saje 2003); četrta temelji na kolokacijski metodi in pogoju konsistence, v njej so interpolirani pomiki in rotacijski kvaternioni (Zupan E., Zupan & Saje 2009); peta temelji na kolokacijski metodi in pogoju konsistence, kjer so predpostavljene konstantne specifične deformacije (Češarek, Zupan & Saje 2012); šesta temelji na PVD in interpolaciji pomikov in rotacijskih kvaternionov (E. Zupan, Saje & Zupan 2013).

Nekatere od teh formulacij so razširjene tudi na dinamiko (2012-2013) in nelinearne materiale (jeklo, beton, armirani beton, les).

- Najbolje citirana znanstvena dela skupine zadevajo kompozitne nosilce, kar kaže, da gre za aktualno, znanstveno zanimivo in dobro prikazano tematiko. V člankih v revijah *Steel & Compos. Struct.* 2004, *Comput. & Struct.* 2004, *J. Struct. Eng.* 2007, *Struct. Eng. & Mech.* 2006, 2010 smo postavili temelje linearni teoriji slojevitih nosilcev, kjer se sloja na stiku lahko zamakneta in razmakneta. V nadaljnjih člankih v *Comput. & Struct.* 2004, 2011, 2013 in *Eng. Struct.* 2010 smo pripravili točno geometrijsko in materialno nelinearno ravninsko teorijo. Te teorije so bile uspešno uporabljene za ugotavljanje stabilnosti kompozitnih stebrov pri običajnih temperaturah in pri požaru. Aplicirane so bile tudi na delno delaminirane ravninske in prostorske nosilce. Rezultati so bili objavljeni v številnih člankih. Članek "The influence of boundary conditions and axial deformability on buckling behaviour of two-layer composite columns with interlayer slip" (Schnabl & Planinc, *Eng. Struct.* 2010) je anonimni tuji recenzent označil z besedami (prevedeno v slovenščino) "Recenzent želi poudariti, da je omenjeni članek najboljši, kar jih je recenziral v daljšem preteklem obdobju, in hkrati izredno pomemben za raziskovalce kompozitnih konstrukcij z zdrsom med sloji".
- V zadnjem desetletju smo intenzivno raziskovali vpliv požara na betonske, jeklene in lesene konstrukcije. Gre za aktualno temo. Razvili in objavili smo numerična orodja za določanje termičnih razmer v konstrukciji in za mehansko analizo ter analizirali zanimive primere. Prenos vlage, pare in zraka po poroznih betonskih konstrukcijah smo reševali kot povezan s prehodom temperature, dobljene temperature in pritiske v pari pa smo kot obtežbe uporabili pri mehanski analizi. Podobne termično-hidrološke raziskave smo opravili za lesene konstrukcije. Za opis konstrukcij smo uporabljali geometrijsko točen model ravninskega linijskega nosilca, pri katerem je uporabljena originalna metoda določanja kritičnega lokalnega stanja in originalni postopek za upoštevanje lokalizacij deformacij, ki je podrobno opisan v članku "On strain softening in finite element analysis of RC planar frames subjected to fire" (Markovič, Saje, Planinc & Bratina, *Eng. Struct.* 2012). Objavili smo vrsto člankov v odličnih revijah, kot so *Fire safety J.*, *Finite Elem. Anal. & Design in Eng. Struct.*
- V soavtorstvu s podjetjem IGMAT Ljubljana smo razvili ultrazvočne metode, ki v kombinaciji z nevronskimi mrežami omogočajo določanje značilnih trenutkov v procesu strjevanja svežega betona, cementne paste in asfalta, npr. začetka vezanja cementa in trdnosti betona. O tem izrednem prispevku znanosti smo poročali v več člankih, med drugim tudi v pogosto citiranem članku "Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks" (Trtnik, Kavčič & Turk, *Ultrasonics* 2009).

ANG

- The achievements of the research group regarding new numerical formulations of geometrically exact beams are now very well recognized and well cited in international community. There are 6 formulations of ours. The first one (Jelenić & Saje 1995) uses PVW in conjunction with the variation of rotational vector interpolation; the second one makes only bending strains with respect to the fixed coordinate system to be interpolated (Zupan & Saje 2003); the third one is a pure strain-based formulation using the collocation method where the consistency condition is satisfied in a strong way (Zupan & Saje 2003); the fourth formulation is the collocation-quaternion-based one, where the displacements and quaternions are interpolated (Zupan E., Zupan & Saje 2009); the fifth formulation is the strain-based but specific in having constant strain interpolation (Češarek, Zupan & Saje 2012); the sixth formulation again employs quaternions, yet this time they are combined with the PVW (E. Zupan, Saje & Zupan 2013). Some of the above formulations are also extended to dynamics (2012-2013) and/or non-linear materials like steel, concrete, reinforced concrete and wood.
- The majority of citations of the present research programme come from our research in composite structures. There are 9 papers in which we propose the foundations of the geometrically and materially linear and non-linear theories of layered structures, where tangent slip as well as normal uplift are considered and presented in *Steel & Compos. Struct.* 2004, *Comput. & Struct.* 2004, 2011, 2013, *J. Struct. Eng.* 2007, *Struct. Eng. & Mech.* 2006, 2010, and *Eng. Struct.* 2010. The theories have extensively been applied in stability analyses of composite columns at room temperature and in fire. Some studies were focused also on stability of partially delaminated spatial beams. The results of these analyses were presented in 9 journal papers. One of the papers, namely "The influence of boundary conditions and axial deformability on buckling behaviour of two-layer composite columns with interlayer slip" (Schnabl & Planinc, *Eng. Struct.* 2010) was commented by the anonymous reviewer as

"The reviewer would like to remark that this paper is the best he has reviewed since long time, and of great importance for researchers working in the field of composite structural members with interlayer slip".

- The fire analysis has become highly popular recently. During the last 10 years or so we have proposed various numerical formulations for estimating behaviour of concrete, steel and timber structures in fire. We have developed some sophisticated numerical tools for thermal and mechanical analyses, and performed parametric analyses to assess and understand the response of particular structures in fire. Transport of moisture, vapour and air in concrete (or timber) during fire is modelled as a coupled non-stationary process. The temperature and pressure fields were taken as applied loads in the subsequent mechanical calculations. The mechanical model assumes the geometrically and materially non-linear beam where the criterion of the local critical state and the subsequent strain localization are described in the paper "On strain softening in finite element analysis of RC planar frames subjected to fire" (Markovič, Saje, Planinc & Bratina, Eng. Struct. 2012).
- One of our highest achievements is the invention of the ultrasonic apparatus in conjunction with the artificial neuron networks for predicting the concrete strength and the onset of concrete hardening, presented in seven papers in top journals. We only mention one of them, "Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks" (Trtnik, Kavčič & Turk, Ultrasonics 2009).

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

- Bogata ponudba komercialnih računalniških programov za analizo konstrukcij na tržišču daje vtis, da se lahko s komercialnimi računalniškimi programi reši vse probleme gradbeništva. Izkušnje kažejo, da temu ni tako. Del težav je tudi pomanjkanje zadostnega teoretičnega znanja pri inženirjih, kar je posledica stanja v slovenskem univerzitetnem prostoru. Omejene možnosti reševanja problemov s komercialnimi programi nastanejo še posebej pri nelinearnih analizah konstrukcij, ki so potrebne takrat, ko nas zanima dejanski odziv konstrukcije na posebno močne obtežbe (trki v konstrukcijo, potresi, veter, požari, poplavna obtežba in podobno), za ugotavljanje vzrokov porušitve in določanje parametrov konstrukcije z eksperimenti. Tedaj dobijo natančne in zanesljive formulacije v statiki in dinamiki konstrukcij velik praktični pomen. Posebna težava komercialnih programov je tudi ta, da nezadovoljivo upoštevajo lokalizacijo deformacij in zdrs med sloji ter niso prirejene za analizo požarov. Upoštevanje teh omogoča bistveno bolj realne rezultate, boljše razumevanje dejanskega obnašanja konstrukcije in zato pomeni določeno prednost na tržišču. Izpostaviti želimo izredno pomembnost metod, ki jih razvijamo za analizo vpliva požara na betonske konstrukcije, pri varnem dimenzioniranju avtocestnih predorov.
- Beton igra pomembno vlogo v gradbeništvu. Pri betoniranju velikih volumnov (vodne pregrade, temelji stebrov in podobno) in izdelavi montažnih nosilnih elementov (in še kje) igra tehnologija vgradnje betona pomembno vlogo pri kvaliteti in ceni izdelka. Raziskave betona v fazi strjevanja so pri tem nadvse pomembne. K opisu dogajanj bistveno pripomorejo ultrazvočne metode merjenja, ki so del našega raziskovalnega programa.
- Slovenija je ena izmed najbolj gozdnatih držav Evrope. Zato je naravnost nerazumljivo, da je uporaba lesa v graditeljstvu relativno omejena. Uporaba lesa kot naravno obnovljivega in ekološko izredno ugodnega gradbenega materiala gotovo sodi med prioritete, zlasti če upoštevamo, da se bo z ustreznim razvrščanjem povečala dodana vrednost konstrukcijskega lesa. Zdaj se namreč dogaja, da Slovenija izvažata hlodovino ali žagan les večjih dimenzij, potem pa za potrebe svojih podjetij (npr. proizvajalcev montažnih hiš) uvažata razvrščen les po bistveno višji ceni. Verjamemo, da bi morala naša lesena industrija sama razvrstiti in označiti svoj in po potrebi tudi uvoženi les. Zato ima delovanje programske skupine na razvoju metod za razvrščanje lesa in njihovo uvajanje v prakso velik gospodarski pomen.
- Programska skupina izobražuje vrhunske kadre za področje mehanike konstrukcij. Taki kadri so za Slovenijo pomembni in nujni za dvig konkurenčnosti gradbene industrije na mednarodnem tržišču.

ANG

- Many commercial computer programmes for the structural analysis are available and one may get an impression that the development of further new software in engineering mechanics is not needed. Life does not prove that. A part of the problem seems to be an insufficient theoretical

knowledge that engineers presently possess, which is probably due to inappropriate university curricula in Slovenia. The limited possibilities of solving practical problems, if using commercial programmes, appear when non-linear analyses of structures subject to non-standard loads (like collision of two structures, the response to an earthquake or wind, structural behaviour in fire, effects of fluids on structures) must be performed, or searching for the reasons for collapse and identifying non-linear parameters of a structure, is carried out. These examples require accurate and reliable numerical formulations adapted to the speciality of the problem, and the use of the non-commercial programmes gets sense. This is exactly the case here, where slip and localization issues in fire analyses must be well accounted for. One particularly important type of structure that is vulnerable to fire is the highway tunnel structure, where the prediction of its mechanical safety to fire must be highly accurate and strictly conservative.

- Concrete plays a very important role in construction engineering of Slovenia. Here the technology of placing large concrete volumes (like in concrete water dams or bridge column foundations) or of prefabricated concrete elements must be designed such to increase the quality of the product and the decrease of its price. Such a technology requires the knowledge of the behaviour of concrete during early hardening stage. The ultrasonic methods of measuring being a part of the programme definitely help to meet these goals.

- In terms of the relative forest cover, Slovenia is one of the first countries in the European Union. It is almost unbelievable that the use of timber in construction is relatively limited. In the view of sustainable development which has to be one of the Slovenian priorities, the use of timber as a structural material is important. The results of this research will increase the added value to the timber as building material. At the time being, the timber obtained from Slovenian forests is exported into other countries where it is properly graded and labelled and imported back to Slovenia as a graded and labelled structural timber, yet at a considerably higher price. Slovenian industry should be capable to perform grading and labelling by itself. We strongly believe that the present activities of the research group regarding the timber strength grading will have an important economical effect in future.

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

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	7
bolonjski program - II. stopnja	
univerzitetni (stari) program	23

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
28380	Urban Rodman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25423	Tomaž Hozjan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27666	Gregor Trtnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27673	Eva Zupan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29320	Aleš Kroflič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30809	Peter Češarek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30509	Anka Ilc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33293	Jerneja Kolšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Irena Andrejašič Troha	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
8354	Andrej Kryžanowski	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

Legenda:

Mag. - Znanstveni magisterij
Dr. - Doktorat znanosti
MR - mladi raziskovalec

11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev
28380	Urban Rodman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo
25423	Tomaž Hozjan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod
27666	Gregor Trtnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo
27673	Eva Zupan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo
29320	Aleš Kroflič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo
30809	Peter Češarek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina
30509	Anka Ilc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo
33293	Jerneja Kolšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod

Legenda zaposlitev:

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

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

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev
0	Edita Papa	C - študent – doktorand	4
0	Maja Gačič	C - študent – doktorand	4
0	Leo Škec	C - študent – doktorand	4
0	Steffan Svensson	B - uveljavljeni raziskovalec	3

Legenda sodelovanja v programski skupini:

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

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

SLO

Mednarodni projekti:

--Projekt *FRANE* (raziskovalne skupine iz Italije, Francije in Velike Britanije, sofinancira Evropska komisija za civilno zaščito). Tema projekta: Analiza različnih tipov zemeljskih plazov, načini reakcije civilne zaščite, načini modeliranja različnih tipov plazov, verjetnostne analize

(zaključen v marcu 2009), vodja za SLO: Goran Turk.

--*Projekt Gradewood* (raziskovalne skupine iz Finske, Švedske, Nemčije, Velike Britanije, Francije, Avstrije in Švice, sofinanciranje industrijskega konzorcija Building with wood). Tema projekta: povečanje učinkovitosti in zanesljivosti razvrščanja lesenih elementov glede na trdnost (zaključen konec 2010), vodja za SLO: Goran Turk.

--*Gradewood transition project*. Mednarodni projekt za pripravo smernic in osnutka novih pravilnikov za določitev nastavitvev naprav za strojno razvrščanje gradbenega lesa (GoranTurk).

--*RISK*, projekt za pripravo in implementacijo orodij za upravljanje s tveganjih naravnih nesreč in njihovimi posledicami. V tem mednarodnem projektu sodeluje tudi občina Ajdovščina, ki je zelo značilen primer upravne enote, na kateri lahko pride do različnih naravnih nesreč, npr. plaz, burja, poplave, suša. Zaključen decembra 2014 (nosilec za SLO Goran Turk).

--*EUHardwoods*. Projekt je bil odobren leta 2013, začel se je 2014. V tem projektu bodo analizirani različni vidiki uporabe lesa listavcev v gradbeništvu (Goran Turk). Aktivno delovanje v delovni skupini TG1, pri CEN TC124 WG2, ki pripravlja predloge za vključitev nastavitvev naprav za strojno razvrščanje lesa po trdnosti (Goran Turk).

Akcije COST:

--COST E55, Modelling of the performance of timber structures (Modeliranje obnašanja lesenih konstrukcij), nosilec: Goran Turk.

--COST TU0601, Robustness of structures (Robustnost konstrukcij), nosilec: Goran Turk.

--COST TU0904, Integrated Fire Engineering and Response, vključena tudi Tomaž Hozjan in doktorski študent MR Robert Pečenko, nosilec: Goran Turk.

Bilateralni projekti:

--*BIDK/1112003*: Prenos vode v lesu (nosilec Igor Planinc). V okviru tega projekta je bil v letu 2012 na treh raziskovalnih obiskih na UL FGJ Ljubljana prof. dr. Staffan Svensson (1.4.20.4.2012, 4.10.20.10.2012 in 1.4.30.4.2014).

--*BIFI/1112009*: Povezani mehanski in fizikalni problemi v lesu in lesenih konstrukcijah (nosilec Goran Turk). V okviru tega projekta sta bila na dveh obiskih na VTT Finska n aša raziskovalca Goran Turk (21.29.9.2012) in Tomaž Hozjan (25.11.1.12.2012).

--*BICZ/ 0809012*: Numerična in eksperimentalna analiza oglenjenja lesenih konstrukcij pri požaru, bilateralni projekt s Češko, nosilec Igor Planinc.

--*Nelinearno numerično modeliranje prostorskih armiranobetonskih okvirjev* z upoštevanjem korozije armature, bilateralni projekt s Hrvaško, nosilec Dejan Zupan.

--*Razvrščanje lesa po trdnosti*, bilateralni projekt s Finsko, nosilec Goran Turk.

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

SLO

Strokovne naloge:

G. Turk et al., *Analiza obstojnosti in puščanja umetnih pregrad in vpliv na varnost odlagališč radioaktivnih odpadkov*, Uprava RS za jedrsko varnost.

D. Zupan et al., *Laboratorijski preskusi polimernih cevi*, Veplas velenjska plastika d.o.o.

M. Saje, *recenzent projektov protiveternih ukrepov* na odseku HC PodnanosAjdovščina, Projekt Nova Gorica.

M. Saje, U. Rodman, *Numerične analize predora Markovec in poslovne stolpnica Emonika*, ELEIAIC.

S. Bratina, G. Turk, T. Hozjan, *Strokovne asistence za certifikat za dimniški sistem KIP*.

S. Bratina, T. Hozjan, *Ocena požarne odpornosti podporne konstrukcije v galeriji Šentvid in pokritega vkopa Šentvid*.

Druge družbeno in strokovno pomembne akademske dejavnosti:

Recenziranje člankov za mednarodne revije : okrog 100 recenzij.

Relativno *visoka citiranost* in odmevnost člankov.

Nosilci predmetov na *doktorskem študiju* Grajeno okolje.

D. Zupan: *vodja sekcije* na ECCOMAS Thematic conference on MBD, 2013.

D. Zupan: *gostujoči predavatelj* na Fraunhofer ITWM, 2013.

R. Flajs: *vodja sekcije* na konferenci ICCM 2012, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2012, Berlin.

R. Flajs, M. Saje, objavljena za *sourednika posebne številke revije* Journal of Mathematical Problems in Engineering.

R. Flajs, *ciklus predavanj (Nonlinear continuum mechanics)* na Swansea University, GB, 2014.

S. Schnabl je postal *član komisije za stabilnost (Stability Committee)* pri ameriškem društvu *gradbenih inženirjev ASCE*. Med člani komisije sta tudi Zdenek P. Bazant in John Hutchinson.

Namen : "to foster analytical and experimental studies in the fields of elastic and inelastic stability of structural elements and systems".

G. Turk: *član delovne skupine* TG1 pri CEN TC 124 WG2, ki pripravlja predloge za spremembe standardov za razvrščanje žaganega lesa po trdnosti.

G. Turk: *vodja skupine* za presojo vloge za podaljšanje akreditacije študija gradbeništva 1. bolonjske stopnje Univerze v Mariboru za NAKVIS; *vodja skupine* za presojo vloge za prvo akreditacijo študijskega programa Geografija na Univerzi na Primorskem; *vodja skupine* za oceno prve akreditacije študijskega programa Gradbeništvo na Visoki šoli za gradbeništvo Kranj.

G. Turk: *vodja projekta KUL* (Kakovost Univerze v Ljubljani).

G. Turk, *Industrijska raziskava* kompatibilnosti *stolpne tehnologije National* z odsko tehnologijo, National in inštitut Ilkon, Ljubljana.

G. Turk: *ocena projektov za srbsko Ministrstvo za znanost, tehnologijo in razvoj*; *ocena projekta za italijansko agencijo za raziskovalno delo Cineca*.

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

SLO

Primeri nekaterih uporabnih produktov raziskovalnega programa:

--Računalniški program za račun ravninskih okvirnih konstrukcij na požar. Program je bil med drugim uporabljen pri oceni požarne varnosti predora Šentvid. Uporablja se pri projektiranju in tudi pri študiju na FGK.

--Računalniški program za račun vpliva požara na predorske obloge je namenjen projektantskemu delu.

--Računalniški program za nelinearno dinamiko prostorskih okvirjev – varianta z interpolacijo kvaternionov.

--Računalniški program za nelinearno dinamiko prostorskih okvirjev (prototip)– varianta z interpolacijo deformacij.

--Numerične formulacije dinamike prostorskih nosilcev in pripadajoči avtorski računalniški programi: v pripravi za nemško avtomobilsko industrijo.

--Avtorski računalniški program Invarion: uporaba za nelinearno analizo obstoječih armirano betonskih mostov v slabem stanju, ZAG Ljubljana.

--Avtomatično razvrščanje lesa po trdnosti. Cilj: na slovenskih žagah vpeljati avtomatično razvrščanje lesa po trdnosti. Metoda je implementirana v okviru inštituta ILKON, Ljubljana.

--V okviru delovanja v zvezi s strojnimi razvrščanje lesa sodelujemo pri pripravi prototipa za preprosto in cenovno ugodno napravo za razvrščanje lesa po trdnosti.

--Računalniški program za računalniško generiranje podatkov o lesu z ustreznimi statističnimi lastnostmi, ki so osnova za razvoj nove metode za nastavitev naprav za razvrščanje lesa po trdnosti.

--Nova metoda za adaptivno določanje nastavitev naprav za razvrščanje lesa, ki bo

predvidoma vključena v novi evropski standard, ker daje v primerjavi s sedaj veljavnimi standardi bolj ekonomične in zanesljive vrednosti.

--Nove neporušne ultrazvočne metode za ugotavljanje značilnih točk v procesu strjevanja svežega betona, sveže cementne paste in asfalta. Metode so implementirane v okviru inštituta IGMAT, Ljubljana.

--Računalniški program za temperaturno analizo postopne gradnje masivnih konstrukcij. Program je bil v praksi preverjen in se v podjetju Structum uporablja pri načrtovanju optimalne hitrosti betoniranja masivnih armiranobetonskih konstrukcij.

--Računalniški program za napoved pomikov zemeljskih plazov glede na vremenske razmere. Program je bil preverjen pri napovedih premikov plazov Macesnik v severni Sloveniji.

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

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	250.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	Delovni prostori in oprema preskuševališč.

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Članek "Measurement of setting process of cement pastes using nondestructive ultrasonic shear wave reflection technique", Butterworth-Heinemann; NDT & E-International; 2013; letn. 56; str. 65-75; skupina A", avtorji Trtnik Gregor (IGMAT Ljubljana), Valič Marko (UL FPP), Turk Goran, je znanstveno izjemen. Objavljen je bil v prestižni reviji iz skupine A" (revija 2/32). Hkrati ima izjemen pomen za industrijo gradbenega materiala in tehnologijo gradnje. Dokazuje primernost ultrazvočnih metod, kombiniranih z metodo nevronske mreže, za spremljanje formiranja strukture materialov s cementnim vezivom. Obstaja dobra možnost komercializacije metode. Možna bi bila množična uporaba v industriji cementne proizvodnje in dodatkov ter kot testna metoda neposredno na terenu. Ocenjujemo, da bi razširjena uporaba ultrazvočnih tehnik izboljšala tehnologije izdelave obstoječih materialov s cementnim vezivom, prispevala k razvoju novih vrst materialov in omogočila izvedbo trajnejših konstrukcij.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

Podpisi:

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

in

vodja raziskovalnega programa:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
gradbeništvo in geodezijo

Miran Saje

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	14.3.2015
-----------	-----------

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/155

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

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00b
F1-29-7E-55-1E-A0-19-95-70-9C-BC-BF-6A-7B-7B-F3-79-06-15-84