

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2012/6

## ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	Z2-2035
<b>Naslov projekta</b>	Razvoj Robno Območne Integralske Metode za modeliranje turbulentnega toka v porozni snovi
<b>Vodja projekta</b>	24347 Janja Kramer
<b>Tip projekta</b>	Zt Podoktorski projekt - temeljni
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	3400
<b>Cenovni razred</b>	B
<b>Trajanje projekta</b>	05.2009 - 04.2011
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	797 Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.05 Mehanika 2.05.05 Mehanika fluidov
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	05. Energija

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

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

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

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

SLO

Glavni cilj raziskovalnega projekta je bil razvoj učinkovitega numeričnega algoritma za reševanje kompleksnih prenosnih pojavov v porozni snovi, predvsem primera turbulentnega gibanja. Gre za problem, ki je kljub velikemu razvoju znanosti v zadnjih desetletjih še vedno slabo raziskan,

predvsem pa obstaja le omejeno število razpoložljivih numeričnih rezultatov, ki bi učinkovito opisovali te pojave. Praktični primeri iz industrijskih kot tudi naravnih procesov pa kažejo na aktualnost problematike.

Numerična shema temelji na metodi robnih elementov, ki je v svoji osnovi primerna za reševanje enostvanskih linearnih problemov toka tekočine, kot npr. tok neviskozne tekočine, prevod toplote, kjer so znane osnovne rešitve (Greenove funkcije) v neskončnem območju. Za reševanje kompleksnih, nelinearnih, difuzivno-konvektivnih problemov pa je potrebno metodo razširiti, saj je enačbe potrebno rešiti tudi znotraj računskega območja. V raziskovalnem projektu se je uporabljala in razvijala robno območna integralska metoda (ROIM)

V prvi fazi raziskav je bilo potrebno izbrati in razviti ustrezen matematični model za opis toka tekočine v porozni snovi. Izbran je bil najbolj splošen model toka, ki ga podajajo Navier-Stokesove enačbe in v svoji osnovni obliki opisujejo tok čiste tekočine. Model je sestavljen iz osnovnih zakonov ohranitve mase, gibalne količine, energije in snovi. Za opis toka tekočine v porozni snovi je potrebno enačbe najprej prostorsko povprečiti. Postopek povprečenja temelji na izbiri ustreznega reprezentativnega elementarnega volumna in predpostavki, da je le en del celotnega volumna namenjen toku tekočine. Tovrsten postopek povprečenja privede do makroskopskih enačb z dodatnimi parametri, ki opisujejo lastnosti porozne snovi. V primeru obravnave turbulentnega gibanja je poleg volumskega potrebno tudi časovno povprečenje, s čimer se v enačbah pojavijo novi turbulentni členi. Za opis novih členov je potrebno nastaviti dodatne modele. V raziskovalnem projektu se je uporabil najbolj splošen "k-e" model, kjer se dodata dve parcialni diferencialni enačbi za turbulentno kinetično energijo "k" in disipacijsko hitrost turbulentne kinetične energije "e".

V splošnem se je na začetku razvijal dvo-dimenzionalen primer toka tekočine v porozni snovi. Zaradi večje reprezentativnosti rezultatov in možnosti modeliranja bolj realnih in praktičnih primerov, se je v drugem delu trajanja projekta začel razvijati prostorski model toka tekočine v porozni snovi.

ANG

The main aim of the research project was to develop efficient numerical algorithm for solving complex problems of transport phenomena in porous media, mainly a problem of turbulent motion. Despite highly scientific development in last few decades, this problem is still poorly investigated and there are limited number of numerical investigations which would efficiently describe this phenomena. Many practical applications in industry as well as in nature show the great importance of problems of this type.

The numerical algorithm basis on the boundary element method which was generally developed for solving simple linear problems of fluid flow, e.g. nonviscous fluid flow or heat transfer, where the fundamental solutions (Green functions) are known in infinite area. To solve complex, nonlinear, diffusion-convection problems, the method has to be extended, because the equations have to be solved within the computational area. In the research project the concept of boundary domain integral method was used.

In the first period of the research work, the suitable mathematical model to describe fluid flow in porous media was developed. The most general model was chosen, which basis on the Navier-Stokes equations written for the pure fluid flow, in general. Model represents the basic conservation laws for mass, momentum, energy and species. In the first step all equations have to be volume-averaged, which is done with choice of suitable representative elementary volume considering the fact that only one part of this volume is available for fluid flow. This procedure leads to macroscopic equations with additional parameters which describe the properties of porous media. In case of considering turbulent motion, in addition the time-averaging is needed, which results in additional nonlinear terms in equations. To describe the additional terms, new models are needed. In this project the most general "k-e" model was used, where two additional partial differential equations for turbulent kinetic energy "k" and dissipation of turbulent kinetic energy "e" are added.

In the first part of the research project two-dimensional model of fluid flow in porous media was

developed. In order to get more representative results which would describe more realistic and practical examples, in the second period of the research project, the three-dimensional model of fluid flow in porous media was developed.

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

V okviru raziskovalnega projekta se je razvil numerični algoritem za simulacijo turbulentnega toka v porozni snovi, sočasno pa tudi algoritem za simulacijo tridimenzionalnega toka tekočine v porozni snovi. Osnova za razvoj numeričnega algoritma je metoda robnih elementov, ki je v splošnem uporabna za reševanje enostavnih, linearnih problemov, kjer je možno celoten problem prenesti na rob računskega območja. Za kompleksne, nelinearne, difuzivno-konvektivne primere pa je potrebno metodo razširiti, saj se enačbe rešujejo tudi znotraj računskega območja. Glavni izziv modeliranja turbulence v porozni snovi je izbira primerne matematičnega modela ter izpeljava ustreznih robno območnih integralnih enačb za nadaljni razvoj učinkovitega numeričnega algoritma. Ker je bil cilj z modelom zajeti čim bolj realne probleme, se je uporabil najbolj splošen matematični zapis, ki temelji na Navier-Stokesovih enačbah, primarno zapisanih za primer toka čiste tekočine. Enačbe so v svoji osnovi zapisane na mikroskopskem nivoju, kjer je dogajanje osredotočeno na posamezne točke računskega območja, ki se v primeru porozne snovi lahko nanašajo na tekočo ali

trdno fazo. Ker je tak način zaradi kompleksne geometrije porozne snovi neprimeren in ne poda splošne slike dogajanja v porozni snovi, se z uporabo volumskega povprečenja enačbe zapišejo na makroskopskem nivoju. To je omogočeno z izbiro ustreznega reprezentativnega elementarnega volumna (REV) in predpostavke, da je samo en del tega volumna, izražen s poroznostjo, na razpolago za tok tekočine. Za opis turbulentnega gibanja je vse vodilne enačbe potrebno tudi časovno povprečiti, s čimer se pojavijo dodatni turbulentni členi, ki jih je potrebno opisati z dodatnimi modeli. Uporabil se je najbolj splošen iz razširjen "k-e" model, kjer se v sistemu dodata dve parcialni diferencialni enačbi za turbulentno kinetično energijo "k" in disipacijsko hitrost turbulentne kinetične energije "e". Pri izpeljavi modela pa je potrebno upoštevati tudi vpliv vrstnega reda povprečenja na končni rezultat (volumsko-časovno ali časovno-volumsko). Ob privzetem konceptu dvojne dekompozicije, kjer se predpostavi, da je porozna matrika popolnoma toga in da je za vse REV izbran enak časovni interval, postaneta volumski in časovni operator povprečenja neodvisna drug od drugega in s tem tudi vrstni red povprečenja.

Za izpeljavo robno območnih integralnih enačb so se najprej vse enačbe transformirale z uporabo hitrostno-vrtinčne formulacije oziroma z uvedbo vektorja vrtinčnosti. Posledično se računška shema razdeli na kinematični in kinetični del, kar omogoča ločeno obravnavanje problema na računskem robu in območju. Zapis robno območnih integralnih enačb temelji na uporabi metode utežnih ostankov ob ustreznih osnovnih rešitvah, ki so znane Greenove funkcije.

Za preračun primerov turbulentnega toka se je uporabilo programsko orodje BEEAS (Boundary Element Engineering Analysis System), ki je bilo prvotno razvito za reševanje problemov klasične dinamike tekočin na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru. Programska koda se je izkazala za zelo učinkovito pri reševanju prenosnih pojavov skozi porozno snov. Z nadgraditvijo kode s parametri, ki opisujejo tok skozi porozno snov ter dodatnimi enačbami za modeliranje turbulentnega gibanja se je uporabnost kode še razširila. Izračunani testni primeri turbulentnega gibanja v porozni snovi (problem turbulentne naravne konvekcije v pravokotni kotanji) izkazujejo dobro ujemanje z numeričnimi kot tudi eksperimentalnimi izsledki tujih raziskovalcev.

Izpeljan dvodimenzionalen numerični algoritem za simulacijo turbulentnega gibanja v porozni snovi z nekaterimi preliminarnimi rezultati je bil predstavljen na večih mednarodnih simpozijih. Glede na naravo problema in zaradi večje reprezentativnosti se je izkazalo, da je tovrstne probleme smiselno obravnavati na prostorskem nivoju, zato se je v drugem obdobju trajanja projekta delo osredotočilo na razvoj tridimenzionalnega algoritma za simulacijo prenosnih pojavov v porozni snovi. Osnovni cilj je bil ponovno povzeti visoko natančnost, ki jo omogoča metoda robnih

elementov ter časovno in spominsko učinkovitost, ki je glavna prednost le-te. Razvit numerični algoritem temelji na kombinaciji eno- in podobmočne metode robnih elementov, ki rešuje hitrostno-vrtinčno formulacijo Navier-Stokesovih enačb zapisanih na makroskopskem nivoju za tok tekočine skozi porozno snov. Osnovni ohranitveni zakoni mase, gibalne količine, energije in snovi so vezani preko vzgonskega člena v gibalni enačbi na podlagi predpostavke, da je gostota tekočine odvisna zgolj od spremembe temperature oziroma snovi, kar se matematično zajame z Boussinesq-ovo aproksimacijo. Neznanke sistema so hitrost, vrtinčnost, temperatura in koncentracija snovi. V prvem koraku se določijo vrednosti robnih vrtinčnosti z uporabo enoobmočne metode robnih elementov. Vse ostale vrednosti spremenljivk se določijo iz podobmočne metode robnih elementov. Reševanje sistema enačb s podobmočno integralsko metodo sledi v predoločenem sistemu, ki ni zapolnjen, kar omogoča hitre algebranske operacije in ne zasede veliko računalniškega spomina.

V sklopu reševanja prenosnih pojavov v porozni snovi na tridimenzionalnem nivoju se je uporabljal numerični algoritem TriTok, ki je bil prvotno prav tako razvit za simulacijo toka čiste tekočine na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru. Z dodatkom parametrov za opis toka tekočine v porozni snovi se je uporabnost numerične kode še razširila.

Razvit numerični algoritem se je testiral na različnih primerih prenosnih pojavov v porozni snovi. Kot osnovni testni primer se je najprej izračunal problem naravne konvekcije v tridimenzionalni kotanji greti z ene strani ter hlajeni z druge strani. Preliminarni rezultati so v primerjavi z rezultati objavljenimi v svetovni znanstveni literaturi, pridobljenimi na osnovi alternativnih aproksimativnih metod, potrdili natančnost in pravilnost izpeljanega algoritma. Rezultati in analiza so detajlno objavljeni v reviji Engineering Analysis with Boundary Elements. V nadaljevanju raziskav se je numerični algoritem razširil z vključitvijo tridimenzionalne enačbe koncentracije za izračun vezanega prenosa toplote in snovi, pri čemer se je detajlno analiziral medsebojni vpliv induciranih termičnih in snovskih vzgonskih sil. Rezultati problema so bili predstavljeni na dveh mednarodnih simpozijih ter poslani v objavo v mednarodno revijo International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements. Po uspešni vzpostavitvi in validaciji tridimenzionalnega numeričnega algoritma je sledila nadgradnja z dodajanjem členov za opis tridimenzionalnega turbulentnega gibanja v porozni snovi. Izpeljan numerični algoritem in dopolnjena koda sta trenutno v fazi testiranja.

Del raziskovalnega dela v okviru podoktorskega projekta je bil opravljen na inštitutu "Lehrstuhl für Strömungsmechanik" na Friderich-Alexander Universität, Erlangen, Nürnberg, v okviru raziskovalne skupine "Numerische Strömungsmechanik". Delo skupine temelji predvsem na razvoju in aplikacijami numeričnih metod za reševanje osnovnih enačb toka tekočine z uporabo metode končnih volumnov za kompleksne geometrije, poleg tega pa tudi implementacijo in testiranjem turbulentnih modelov (Large-Eddy simulacije, DNS). Raziskovalno delo na gostujočem inštitutu je omogočilo preračun nekaterih zahtevnejših računskih primerov na bolj gostih mrežah, kjer je potrebno več računalniškega spomina, saj inštitut razpolaga z visokozmogljivimi računalniki, ki jih na matični organizaciji ni na razpolago. Ravno tako je bila omogočena primerjava rezultatov pridobljenih z razvito računalniško kodo z nekaterimi rezultati, ki so preračunani z uporabo drugih numeričnih metod, predvsem z metodo končnih volumnov.

Opravljen raziskovalno delo je doprinesko k nadaljnjemu razvoju metode robnih elementov, ki se v zanjem času pojavlja kot močna alternativa bolj uveljavljenim in prevladujočim numeričnim metodam na področju mehanike tekočin, ki so vključene v komercialne pakete za preračun problemov dinamike tekočin. Pridobljeni rezultati izkazujejo, da je numerična metoda učinkovita in v primerjavi z ostalimi predvsem prednjači pri natančnosti rezultatov. Razvoj metode za preračun različnih primerov toka tekočine v porozni snovi se bo nadaljeval z vključevanjem dodatnih parametrov, s katerimi se bo matematični model čim bolj približeval problemom vsakdanje inženirske prakse.

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

V splošnem je delo na raziskovalnem projektu doseglo zadovoljivo stopnjo realizacije. Raziskovalno delo je doprineslo razvoj na področju računalniškega modeliranja, predvsem z razvojem samostojnih programov za preračun različnih primerov toka tekočine v porozni snovi.

Računalniška koda, ki temelji na metodi robnih elementov je bila najprej nadgrajena za preračun problema turbulentnega toka na dvodimenzionalnem nivoju. Začetni testni rezultati so potrdili uporabnost izpeljanega numeričnega algoritma. Izpeljan matematični model in numerična koda so bili predstavljeni na večih mednarodnih simpozijih. Zaradi večje splošne uporabnosti pa se je izkazalo bolj primerno, da se problem obravnava na prostorskem nivoju, zato se je pričel razvijati matematični model in pripadajoč numerični algoritem za tridimenzionalne primere toka tekočine v porozni snovi. Izvrednoteni so bili nekateri numerični rezultati predvsem za primer tridimenzionalnega konvektivnega gibanja v kotanjah. Opazoval se je predvsem režim gibanja pri različnih začetnih in robnih pogojih ter prenos toplote skozi porozno kotanjo. Z vključitvijo tridimenzionalne enačbe koncentracije, so se izračunali nekateri primeri vezanega prenosa toplote in snovi, oziroma obravnaval medsebojni vpliv induciranih termičnih in snovskih vzgonskih sil. Rezultati so objavljeni v mednarodni znanstveni reviji.

Po vzpostavitvi in validaciji splošnega tridimenzionalnega modela je sledila nadgradnja numeričnega algoritma z izpeljanim turbulentnim modelom, ki je že preverjen na nekaterih ravninskih primerih.

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

Manjša vsebinska odstopanja od predvidenega programa so nastopila po izpeljavi in začetnem testiranju razvitega numeričnega algoritma za primere turbulentnega gibanja v porozni snovi. Izkazalo se je, da je zaradi večje reprezentativnosti in praktične uporabe rezultatov, problem bolj smiselno obravnavati prostorsko.

Druga polovica obdobja trajanja projekta je bila zato posvečena razvoju tridimenzionalnega modela toka tekočine v porozni snovi, kar je hkrati pomenilo tudi razvoj novega numeričnega algoritma. Le-ta je ponovno zasnovan na uporabi metode robnih elementov, kjer gre za kombinacijo eno- in podobmočne integralske metode ter omogoča reševanje prenosnih pojavov v porozni snovi za različne primere tridimenzionalnih geometrij.

Izpeljan algoritem za obravnavo prostorskih problemov je služil kot osnova za nadaljnji razvoj oziroma vključitev vzpostavljenega makroskopskega turbulentnega modela.

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

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	14282518	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Rešitev turbulentnega toka v porozni snovi z metodo robnih elementov
		ANG	Solution of turbulent flow in porous media with boundary element method
	Opis	SLO	V prispevku je predstavljena numerična shema za račun problema turbulentnega gibanja v porozni snovi z metodo robnih elementov. Tok tekočine v porozni snovi je modeliran z uporabo prostorsko in časovno povprečenih Navier-Stokesovih enačb, kot turbulentni model pa je privzet makroskopski k-e model. Razvit je popoln numerični algoritem za reševanje sistema parcialnih diferencialnih enačb, ki temelji na razširjeni robno območni integralski metodi in rešuje hitrostno-vrtinčni zapis vodilnih enačb. Predstavljeni so nekateri rezultati testnih izračunov.
		Problem of turbulent flow in porous media is studied numerically. General mathematical model is given with the time averaged macroscopic Navier-	

		<p>Stokes equations, as a turbulent model the macroscopic k-f<math>\bar{\omega}</math> model is adopted. For the numerical solving of obtained set of partial differential equations the extended boundary element method (BEM) is used, also known as the boundary domain integral method (BDIM). All governing equations are transformed with use velocityvorticity formulation which separates the computational scheme into a kinematic and kinetic computational parts. Some initial test results of obtained numerical algorithm are presented.</p>
	Objavljeno v	Engineering Conferences International = ECI; Proceedings of the Third International Conference on Porous Media and its Applications in Science, Engineering and Industry, June 20-25, 2010, Montecatini Terme, Italy; 2010; 4 str.; Avtorji / Authors: Kramer Janja, Jecl Renata, Škerget Leopold
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
2.	COBISS ID	15198998 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p>SLO Simulacija 3D toka tekočine v porozni snovi z metodo robnih elementov</p> <p>ANG Simulation of 3D flow in porous media by boundary element method</p>
	Opis	<p>SLO V članku so predstavljeni numerični rezultati problema naravne konvekcije v tridimenzionalni porozni kotanji z uporabo numeričnega algoritma, ki temelji na kombinaciji eno- in podobmočne metode robnih elementov (MRE). Za opis toka tekočine v porozni snovi so uporabljene so modificirane Navier-Stokesove enačbe (Darcy-jeva enačba razširjena z vztrajnostnim in Brinkmanovim členom), ki so preko vzgonskega člena vezane z enačbo energije (Boussinesq-ova aproksimacija vzgonskih sil). Vodilne enačbe so transformirane s hitrostno-vrtinčno formulacijo, ki računsko shemo razdeli na kinematični in kinetični del. Enačba kinematike, vrtinčnosti in energije so rešene s podobmočno MRE, medtem ko se robne vrtinčnosti, ki so robni pogoj za reševanje enačbe vrtinčnosti, določijo iz enoobmočne MRE. Izračunani so nekateri primeri za stacionarni prenos toplote za različne vrednosti brezdimenzijskih parametrov; Darcy-jevega števila in poroznega Rayleigh-ovega števila. Podane in analizirane so vrednosti za prenos toplote in tokovna polja za različne vrednosti vodilnih parametrov. Rezultati so se primerjali z nekaterimi objavljenimi primeri.</p> <p>ANG In the present paper problem of natural convection in a cubic porous cavity is studied numerically, using an algorithm based on a combination of single domain and subdomain boundary element method (BEM). The modified Navier-Stokes equations (Brinkman-extended Darcy formulation with inertial term included) were adopted to model fluid flow in porous media, coupled with the energy equation using the Boussinesq approximation. The governing equations are transformed by the velocity-vorticity variables formulation which separates the computation scheme into kinematic and kinetic parts. The kinematics equation, vorticity transport equation and energy equation are solved by the subdomain BEM, while the boundary vorticity values, needed as a boundary conditions for the vorticity transport equation, are calculated by single domain BEM solution of the kinematics equation. Computations are performed for steady state cases, for a range of Darcy numbers from <math>10^{-6}</math> to <math>10^{-1}</math>, and porous Rayleigh numbers ranging from 50 to 1000. The heat flux through the cavity and the flow fields are analyzed for different cases of governing parameters and compared to the results in some published studies.</p>
	Objavljeno v	Elsevier; Engineering analysis with boundary elements; 2011; Vol. 35, iss. 12; str. 1256-1264; Impact Factor: 1.359; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.826; A': 1; WoS: IF, PO; Avtorji / Authors: Kramer Janja, Ravnik Jure, Jecl Renata, Škerget Leopold
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	14895894 Vir: COBISS.SI

	Naslov	SLO	Tridimenzionalna naravna konvekcija v porozni kotanji z metodo robnih elementov
		ANG	Three-dimensional natural convection in a porous cavity by the boundary element method
	Opis	SLO	Predstavljena je tridimenzionalna numerična simulacija konvektivnega toka tekočine v porozni snovi z uporabo numeričnega algoritma, ki temelji na kombinaciji eno- in podobmočne metode robnih elementov. Tok tekočine v porozni snovi je modeliran z makroskopskimi Navier-Stokes-ovimi enačbami, skupaj z ohranitvenimi enačbami za energijo in snov. Privzeta je hitrostno-vrtinčna formulacija, ki računsko shemo razdeli na kinematični in kinetični del. Opravljena je analiza prenosa toplote in snovi skozi kotanjo, s poudarkom na pojavu tridimenzionalnega gibanja.
		ANG	3D numerical simulation of convective flow in porous media using an algorithm based on a combination of single domain and subdomain boundary element method is presented. The fluid flow in porous media is modeled with the modified macroscopic Navier-Stokes equations, coupled with the energy and species equations. The velocity-vorticity formulation is adopted, which results in decoupling the computational scheme into a kinematic and kinetic computational parts. Heat and mass flux through the cavity and flow fields are analyzed, focusing on the 3D nature of the phenomena.
	Objavljeno v	Wit; Fluid Structure Interaction VI; 2011; Str. 259-270; Avtorji / Authors: Jecl Renata, Kramer Janja, Ravnik Jure, Škerget Leopold	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
4.	COBISS ID	15199510	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Naravna konvekcija zaradi dvojne difuzije v tridimenzionalni kotanji z uporabo metode robnih elementov
		ANG	Double-diffusive natural convection within a 3D porous enclosure, using the boundary element method
	Opis	SLO	Predstavljena je tridimenzionalna numerična študija problema naravne konvekcije zaradi dvojne difuzije v kotanji napolnjeni z zasičeno porozno snovjo, ki temelji na uporabi metode robnih elementov. Stene kotanje so izpostavljene horizontalnim temperaturnim in koncentracijskih gradientom. Tok tekočine skozi porozno snov je modeliran z uporabo povprečenih Navier-Stokesovih enačb, ki so vezane z energijsko in snovsko enačbo. Uporabljen numerični algoritem temelji na kombinaciji eno-in podobmočne metode robnih elementov in rešuje hitrostno-vrtinčno formulacijo vodilnih enačb. Raziskan je vpliv nekaterih vodilnih parametrov; Darcy-jevega števila, Lewis-ovega števila, vzgonskega koeficienta, s poudarkom na tiste primere toka, kjer tokovno polje postane tridimenzionalno. Podani so rezultati prenosa toplote in snovi skozi porozno snov v obliki brezdimenzijskih števil, in sicer Nusseltovega in Sherwoodovega števila v odvisnosti od vodilnih parametrov. Rezultati so primerjani z razpoložljivimi primeri iz svetovne znanstvene literature.
ANG		A three-dimensional numerical study based on the boundary element method (BEM) was performed in order to study the problem of double-diffusive natural convection within a cubic enclosure filled with a fluid-saturated porous media, and subjected to horizontal temperature and concentration gradients. The fluid-flow within the porous media was modeled using space-averaged Navier-Stokes equations, coupled with energy and species equations. The used numerical algorithm is based on a combination of single domain and sub-domain BEM, and solves the velocity-vorticity formulation of the governing equations. The influences of the main controlling parameters, such as the porous Rayleigh number, Darcy number, Lewis number, and the buoyancy coefficient were	

		investigated, by focusing on those situations, where the flow field becomes 3D. The results for overall heat and solute transfer through the porous enclosure are presented in terms of Nusselt and Sherwood numbers as functions of the governing parameters, and then compared to the numerical benchmarks published in literature.
Objavljeno v	EDAS; HEFAT2011; 2011; Str. 711-717; Avtorji / Authors: Kramer Janja, Jecl Renata, Ravnik Jure, Škerget Leopold	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	

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

Družbenoekonomsko relevantni dosežki			
1.	COBISS ID	13575958	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Modeliranje turbulence v porozni snovi z robno območno integralno metodo
		<i>ANG</i>	Modeling of turbulence in porous media with boundary domain integral method
	Opis	<i>SLO</i>	Predstavljen je vodilni matematični model turbulentnega toka v porozni snovi v obliki časovno povprečenih makroskopskih enačb, ki predstavljajo osnovne enačbe ohranitve mase, gibalne količine in energije. Kot turbulentni model je izbran k- $\epsilon$ model, prav tako zapisan na makroskopskem nivoju. Predstavljene so osnove robno območne integralske metode, s katero se rešuje zastavljen sistem enačb ter podani nekateri rezultati testnih izračunov.
		<i>ANG</i>	The governing mathematical model of turbulent flow in porous media in terms of time averaged macroscopic equations is presented. To solve the obtained set of equations using BDIM, all the equations have first to be transformed using velocity-vorticity formulation which, cosequently, separates the computational scheme into kinematic and kinetic computational parts. In the next step the differential equations are transformed into integral ones with the use of appropriate Green functions. After the discretization and obtaining a final matrix system, the existing computer code which was written for solving the classic fluid dynamics problems is completed by the newly developed numerical algorithm, which describes the phenomena in porous media as well as the influence of turbulence. Some initial examples of numerical computations are presented.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	University; Book of abstracts; 2009; Str. 39-40; Avtorji / Authors: Kramer Janja, Jecl Renata, Škerget Leopold	
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci	
2.	COBISS ID	13456662	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Modeliranje turbulentnega toka v porozni snovi
		<i>ANG</i>	Modelling of turbulent flow in porous media
	Opis	<i>SLO</i>	V prispevku je predstavljen pristop k modeliranju turbulentnega toka v porozni snovi. Matematični model temelji na uporabi klasičnih Navier-Stokesovih enačb za čisto tekočino, ki so v osnovi zapisane na mikroskopskem nivoju. V primeru obravnavanja turbulence v porozni snovi je potrebno posebej modelirati turbulenco (časovno nihanje spremenljivk) ter transportne pojave v porozni snovi (prostorsko spreminjanje). Vodilne enačbe se tako časovno in prostorsko povprečijo, pri čemer se izkaže, da različen vrstni red povprečenja vodi do drugačnih modelov. Za numerično



		reševanje tovrstnih problemov bo uporabljena Robno Območna Integralska Metoda (ROIM) zato so predstavljene njene osnovne značilnosti.
	ANG	In the present paper a methodology for developing turbulence model in porous media is presented. The mathematical model bases on the classical Navier-Stokes equations for pure fluid flow, which are generally written on the microscopic level. To consider turbulence in porous media first modeling of turbulence (time variation) and then modeling of transport phenomena in porous media (space variation) has to be performed. The time averaging and space averaging have to be applied to the governing equations, where different averaging order lead to distinct sets of turbulence equations. For the numerical solution of the obtained set of equations the Boundary Domain Integral Method (BDIM) will be used which is also presented in the paper.
Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v	Slovensko društvo za mehaniko; Zbornik del; 2009; Str. 17-24; Avtorji / Authors: Kramer Janja, Jecl Renata, Škerget Leopold	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
3. COBISS ID	14237718	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Turbulentna naravna kovekcija v porozni snovi z metodo robnih elementov
	ANG	Turbulent natural convection in porous media with boundary element method
Opis	SLO	V prispevku je predstavljena analiza različnih matematičnih modelov za opis pojava turbulentne naravne konvekcije v porozni snovi ter pripadajočih turbulentnih modelov. Numerična shema, ki temelji na robno območni integralski metodi je uporabljena na izbranih primerih, pri čemer so predstavljene prednosti in pomanjkljivosti metode pred ostalimi aproksimativnimi metodami.
	ANG	Different mathematical models for turbulent natural convection in porous media are analyzed as well as available turbulence models. Numerical algorithm which is based on the boundary element method is used on different examples. The main advantages and disadvantages of the method in comparison to other methods are presented.
Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v	Tech Science Press; Advances in computational & experimental engineering and sciences; 2010; Str. 57; Avtorji / Authors: Kramer Janja, Jecl Renata, Škerget Leopold	
Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci	

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

--

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

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

SLO

Za razvoj znanosti je ključnega pomena razvoj učinkovitega numeričnega orodja za simulacijo teoretičnih in praktičnih inženirskih problemov povezanih s prenosnimi pojavi v porozni snovi zlasti zaradi dejstva, ker so tovrstni problemi v svetu slabo raziskani, obstoječi modeli pa osredotočeni na enostavne probleme. Nadgradnja obstoječega numeričnega algoritma, ki temelji na metodi robnih elementov omogoča simulacijo dvodimenzionalnega turbulentnega toka v porozni snovi, kjer je ključnega

pomena, da je bil uporabljen čim bolj splošen matematični model. Le-ta temelji na prostorsko in časovno povprečenih Navier-Stokesovih enačbah, za opis tubulence v porozni snovi pa je privzet makroskopski k-e model. Za razvoj učinkovitega numeričnega algoritma je ključnega pomena uporaba hitrostno-vrtinčne formulacije, kar loči celotno računsko shemo na kinematični in kinetični del.

Nadalje se je metoda robnih elementov razširila za primere obravnave prostorskega toka tekočine v porozni sredini. Izpeljan numerični algoritem je testiran na številnih primerih konvektivnega gibanja za različne geometrije in robne pogoje. Rezultati izračunov potrjujejo natančnost in učinkovitost uporabljene numerične metode in jo tako postavljajo ob bok ostalim, v svetovni javnosti bolj uveljavljenim aproksimacijskim metodam, ki so vgrajene v različnih komercialnih programih za preračun problemov dinamike tekočin. Pridobljeni rezultati služijo kot izhodišče za nadaljnji razvoj in razširitev numeričnega orodja za obravnavo bolj kompleksnih problemov prenosnih pojavov v porozni snovi.

ANG

Establishing of an efficient numerical tool, which enables a simulation of theoretical and practical engineering problems connected with transport phenomena in porous media is of key importance for development of science, mainly because these types of problems are poor investigated while the existing models are focused on simplified examples.

Improvement of the numerical algorithm, which basis on the boundary element method, enables a simulation of turbulent flow in porous materials. It is of key importance to obtain correct general mathematical model, which contains the volume and time averaged Navier-Stokes equations. As a turbulence model the macroscopic k-e model is adopted. The main part of the computational scheme is in use of velocity-vorticity formulation which separates the computational scheme in to two parts, namely kinematic and kinetic part.

The boundary element method was extended for simulation of fluid flow in porous media in three dimensions. The developed numerical algorithm was tested for several examples of convective motion for different geometries and boundary conditions. The results of test examples state the accuracy and efficiency of used numerical scheme, which can be presented as an efficient alternative to other worldwide more enforced approximation methods, which are built in several commercial programmes for fluid flow simulations. The obtained results will be used as the starting point for further development and extension of numerical tool in order to consider more complex problems of transport phenomena in porous media.

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

SLO

Reševanje problemov turbulentnega toka ter simulacija tridimenzionalnega toka tekočine v porozni snovi z uporabo algoritma, ki temelji na metodi robnih elementov pomeni v svetovnem znanstvenem prostoru inovativen pristop k reševanju tovrstnih problemov. Za razvoj znanosti in industrije v Sloveniji je poleg učinkovito rešenih inženirskih problemov pomembna tudi odmevnost raziskovalnih rezultatov v svetovni javnosti. Problematika turbulence v porozni snovi je trenutno zelo aktualna in se nanaša na številne inženirske aplikacije. V Sloveniji do tega trenutka podobnih raziskav ni bilo zaslediti, obstoječe raziskave, ki so objavljene v svetovni znanstveni literaturi pa so omejene na zelo poenostavljene matematične modele in uporabo klasičnih numeričnih metod (metoda končnih volumnov, metoda končnih elementov, metoda končnih razlik).

Velik del raziskav povezanih z razvojem metode robnih elementov se je v preteklosti opravil v Sloveniji, s čimer se je slovenska znanost uspešno promovirala v svetu. Z nadaljevanjem raziskovalnega dela na tem področju se prepoznavnost dežele še povečuje.

Delo na projektu je privedlo do povezovanja in sodelovanje z nekaterimi priznanimi raziskovalnimi institucijami v svetu. V okviru projekta je del raziskovalnega dela potekal na "Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg", na oddelku "Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Erlangen", kjer se je vzpostavil strokovni dialog s priznanimi tamkajšnjimi raziskovalci.

ANG

Using an algorithm based on the boundary element method for solving the problem of turbulent flow and three-dimensional fluid flow in porous media means innovatory approach to handling problems of this type. For development of Slovenian science and industry are important efficient solutions of engineering problems as well as publishing and response of research

results in the world. Problems of turbulent flow in porous media are at this moment of high importance, mainly because of important applications over several engineering fields. There is no similar research of this kind in Slovenia until this moment, while all existing studies, which are published in the literature are limited on use of simplified mathematical models and classical numerical methods e.g. finite volume method, finite element method, finite difference method. In the past a large part of research work related to the development of boundary element method was done in Slovenia, which encouraged the promotion of Slovenian science worldwide. Further development of research work in this area successfully increase the visibility of the country worldwide.

It is very important for Slovenian scientists to cooperate with research institutions worldwide. One part of the activities of the research project was done at the "Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg" at the department "Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Erlangen", which enabled a cooperation and exchange of experiences with acknowledged researchers.

### 11. Samo za aplikativne projekte!

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

Cilj		
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.05</b>	<b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.14</b>	<b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.15</b>	<b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.16</b>	<b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.17</b>	<b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.18</b>	<b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.19</b>	<b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.20</b>	<b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.21</b>	<b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.22</b>	<b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.23</b>	<b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.24</b>	<b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.25</b>	<b>Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

<b>F.26 Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.27 Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.28 Priprava/organizacija razstave</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.29 Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.30 Strokovna ocena stanja</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.31 Razvoj standardov</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.32 Mednarodni patent</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.33 Patent v Sloveniji</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.34 Svetovalna dejavnost</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.35 Drugo</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	

Uporaba rezultatov		

**Komentar**

--

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

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
<b>G.01</b>	<b>Razvoj visoko-šolskega izobraževanja</b>					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input 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 type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input 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"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input 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"/>	

<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.09.</b>	<b>Drugo:</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

**Komentar**

--

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

	Sofinancer			
1.	Naziv			
	Naslov			
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra		
		1.		
		2.		
		3.		
		4.		
		5.		
	Komentar			
	Ocena			

**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

in

vodja raziskovalnega projekta:



raziskovalne organizacije:

Univerza v Mariboru, Fakulteta za  
gradbeništvo

Janja Kramer

---

**ŽIG**

Kraj in datum: 

Maribor	12.3.2012
---------	-----------

**Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2012/6**

---

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

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

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

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

<sup>5</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta (obrazložitev). V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>6</sup> Znanstveni in družbeno-ekonomski dosežki v programu in projektu so lahko enaki, saj se projektna vsebina praviloma nanaša na širšo problematiko raziskovalnega programa, zato pričakujemo, da bo večina izjemnih dosežkov raziskovalnih programov dokumentirana tudi med izjemnimi dosežki različnih raziskovalnih projektov.

Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

<sup>7</sup> Znanstveni in družbeno-ekonomski dosežki v programu in projektu so lahko enaki, saj se projektna vsebina praviloma nanaša na širšo problematiko raziskovalnega programa, zato pričakujemo, da bo večina izjemnih dosežkov raziskovalnih programov dokumentirana tudi med izjemnimi dosežki različnih raziskovalnih projektov.

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'.

Družbenoekonomski 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 ekonomsko relevantnega 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. v preteklem letu vodja meni, da je izjemen dosežek to, da sta se dva mlajša sodelavca zaposlila v gospodarstvu na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovila svoje podjetje, ki je rezultat prejšnjega dela ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

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

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

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

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

<sup>12</sup> Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja"

## Zaključno poročilo o rezultatih raziskovalnega projekta - 2012

<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](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2012 v1.00

B0-C6-6E-12-0D-CF-2A-8A-AA-B6-23-A0-00-4C-3E-B3-A0-D3-8A-2F