

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2014/7



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-3651
Naslov projekta	Simulacija in optimizacija procesov ulivanja, valjanja in toplotne obdelave za konkurenčno proizvodnjo vrhunskih jekel
Vodja projekta	4101 Božidar Šarler
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	13836
Cenovni razred	E
Trajanje projekta	05.2010 - 04.2013
Nosilna raziskovalna organizacija	1540 Univerza v Novi Gorici
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106 Institut "Jožef Stefan" 206 Inštitut za kovinske materiale in tehnologije 1610 ŠTORE STEEL podjetje za proizvodnjo jekel, d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.13 Procesno strojništvo 2.13.01 Večfazni sistemi
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.11 Druge tehniške in tehnološke vede

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

V okviru projekta, ki so ga spremljali projekti 7. OP EU, smo vzpostavili numerični model na več merilih celotnega procesa izdelave jeklenih polizdelkov v podjetju Štore Steel. Obravnavali smo procesne korake kontinuirnega ulivanja, vročega valjanja in toplotne obdelave. Končni cilj tovrstnega modeliranja je predikcija lastnosti polizdelkov v odvisnosti od procesnih parametrov. To smo dosegli na podlagi sklopljenih fizikalnih modelov relacij med procesnimi parametri, makrostrukture, mikrostrukture in lastnostmi izdelka. Makroskopski modeli temeljijo na mehaniki kontinuuma in sklopljenih enačbah ohranitve mase, energije, gibalne količine in sestavin v Eulerjevem sistemu. Mikroskopski modeli temeljijo na Lagrangeovem gibanju reprezentativnega dela mikrostrukture skozi temperaturno, deformacijsko, koncentracijsko in

hitrostno polje celotnega procesa. Modele smo ovrednotili z uporabo naših izvirnih brez mrežnih numeričnih metod, za katere smo dobili številna priznanja. Fizikalno modeliranje razvoja mikrostrukture skozi procesne korake smo dopolnili, nadomestili in/ali umerili z metodami računske inteligence (nevronske mreže, genetsko programiranje) v primerih, ko fizikalni modeli še ne obstajajo, so računsko prezahtevni ali dajejo nezadovoljive rezultate. Učenje nevronske mreže je potekalo na podlagi eksperimentalnih rezultatov ali fizikalnih modelov. Optimizacijo procesa smo vzpostavili v direktni in inverzni smeri. Pri direktni smeri smo iskali mikrostrukturo kot funkcijo kombinacije procesnih korakov, pri inverzni smeri pa smo iskali takšne procesne korake, ki dajejo zahtevano mikrostrukturo. Proces smo optimirali na podlagi minimizacije dveh uteženih kriterijskih funkcij: makroskopske, ki upošteva produktivnost procesa, zasedenost strojev in porabo energentov ter hladilnih sredstev, ter mikroskopske, ki upošteva lastnosti izdelka kot funkcijo mikrostrukture. Optimalne lastnosti procesa in izdelka smo iskali z evolucijskimi algoritmi. Učinki projekta so: izboljšana kakovost, povečane možnosti ter produktivnost izdelave širokega spektra izdelkov, izboljšano znanje za hitrejši odziv na zahteve trga po vedno večji kakovosti in produktivnosti, nadomeščanje klasičnega razvoja (pretežno na izkušnjah in poskušanju) novih izdelkov in procesnih poti z razvojem na osnovi simulacij, lažje definiranje razvojnih in raziskovalnih strategij, hitrejši razvoj in uporaba znanja, izboljšano izobraževanje, večja fleksibilnost proizvodnje in modifikacije opreme, večja fleksibilnost pri nadzoru procesov ter nadzoru kakovosti. Rezultate projekta smo objavili v vrhunskih revijah. V okviru projekta smo v Singapurju leta 2013 na veliki mednarodni konferenci 5th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics organizirali poseben simpozij o modeliranju v jeklarski industriji.

ANG

In the framework of the project, accompanied by the FP7 EU projects, a multiscale numerical model of the production chain of steel semi-products in Štore Steel company has been established. The process steps of continuous casting, hot rolling and heat treatment have been considered. The final goal of this modelling is the prediction of the product properties as a function of the process parameters. This has been achieved by the coupled physical models of relations between the process parameters, macrostructure, microstructure, and the product properties. The macrostructure models rely on continuum mechanics and coupled equations of mass, energy, momentum and species in the Euler system. The microscopic models are based on the Lagrangean movement of the representative part of the microstructure through the temperature, deformation, concentration and velocity fields of the process. The models have been evaluated by using our original meshless methods for which we have received numerous awards. The physical modelling of the microstructure evolution through the process has been complemented, replaced and/or tuned with the computational intelligence methods (neural networks, genetic programming) in cases where physical models do not exist yet, are computationally too complex or perform poorly. The neural networks have been trained on experimental results and physical models. Process optimisation has been established in the direct and inverse directions. The microstructure as a function of the combination of process steps has been searched in the direct direction. In the inverse direction, the process steps have been searched that give the desired microstructure. The process has been optimised through minimisation of two weighted objective functions: the macroscopic one, taking into account the process productivity, usage of machines and use of energy and cooling agents, and the microscopic one, taking into account the product properties as a function of the microstructure. Optimal process and product properties have been searched by using evolutionary algorithms. The effects of the project are: improved quality, enhanced process capabilities and productivity in production of a broad spectrum of products, better knowledge for faster response to the market demands for enhanced quality and productivity, superseding of the classical product development (experience and trial/error) by simulation-based development, easier definition of future research and development strategies, faster development and application of know-how, improved education, enhanced production and equipment modification flexibility, enhanced flexibility in process control and quality assessment. The results have been published in top journals. A special symposium on modelling in steel industry has been organized in 2013 in Singapore at a large international conference 5th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics in the framework of the project.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Raziskave v okviru projekta so obsegale naslednje sklope: modeliranje procesov proizvodnje jeklenih dolgih izdelkov - kontinuirnega ulivanja, vročega valjanja in toplotne obdelave, sklapanje teh modelov skladno s konceptom modeliranja skozi proces ter optimizacijo celotnega zaporedja procesov na osnovi sklopljenih modelov.

MIKRO/MAKRO MODELIRANJE KONTINUIRNEGA ULIVANJA

Model turbulentnega toka taline v gredici smo dopolnili z modelom prenosa sestavin. Dvodimenzionalno verzijo brez mrežnega programa smo predelali v tridimenzionalno. Pravilnost delovanja smo preverjali na podlagi komercialnega računalniškega programa FLUENT. Izdelali smo mednarodni testni primer za izračun temperaturnega, hitrostnega in sestavninskega polja med kontinuirnim ulivanjem in ga objavili. Vgradili smo vpliv elektromagnetnega mešanja ali zaviranja na tokovne razmere v gredici in upešno naredili prva testiranja. Temperaturni model rezine za izračun stanja gredice med kontinuirnim ulivanjem in vročim valjenjem smo dopolnili z modelom prenosa sestavin in mikrostrukturnim modulom. Omenjeno smo demonstrirali za vzmetno jeklo 51CrV4. Pri tem smo upoštevali naslednje poglavitne legirne elemente $C=0.51wt\%$, $Cr=1.091wt\%$ in $Ni = 0.105wt\%$. Vse navedeno smo objavili na uglednih mednarodnih konferencah ali poslali v tisk v revije s faktorjem vpliva, vendar objav zaradi omejitev s prostorom eksplicitno ne navajamo. Opravljene so bile meritve temperature na površini gredice z ročnim dvobarvnim pirometrom. Izvedene so bile na 26 šaržah z različnimi kvalitetami in dimenzijami gredice in na različnih mestih livne naprave. Opravljene so bile meritve za določitev dolžine korena oziroma debeline srajčke za umerjanje simulacijskega sistema. Uporabili smo 2 načina: z vstavljenjam zagozde in zabijanjem žeblice v gredico. Zagozdo smo vstavili med valjčnico kontiliva in gredico. Pri drugem načinu žeblice zabijamo v gredico na različnih mestih kontiliva. Eksperimentalno pridobljene temperature srajčke ter debelino srajčke smo primerjali z rezultati simulacijskega sistema in ga na ta način še dodatno umerili in dosegli izvrstno ujemanje.

MIKRO/MAKRO MODELIRANJE VROČEGA VALJANJA

Izdelali smo makroskopski model vročega valjanja na podlagi brez mrežne metode, ki temelji na kolokaciji z radialnimi baznimi funkcijami. Za konstitucijsko zvezo smo uporabili idealno plastično obnašanje. Mikroskopski model deformacije zrn med valjanjem smo dopolnili z anizotropnim obnašanjem in interakcijo med več zrni ter praznino, togim in elastičnim vključkom v zrnju. Oba modela smo uporabili na realističnih podatkih iz nove valjarne podjetja Štore Steel in dosegli odlično ujemanje končne oblike valjanca za primer okrogle palice. V nadaljevanju bodo v podjetju Štore Steel merili obliko valjanca tudi za vsakim vtikom. To bo omogočilo primerjavo tudi z vmesnimi deformacijami, ne samo končnimi.

MIKRO/MAKRO MODELIRANJE TOPLOTNE OBDELAVE

Razvili smo fizikalni model ter model na podlagi računske inteligence za toplotno obdelavo. Temperaturno polje valjancev na hladilni klopi nove valjarne v podjetju Štore Steel smo izmerili s pomočjo dvobarvnega pirometra in termokamere. Opravljene so bile meritve za 33 različnih dimenzij (okroglih in ploščatih) in 26 različnih kvalitet. S termokamero smo uspeli izmeriti celotni temperaturni potek od začetne temperature na hladilni klopi in vse do 500 °C. Meritve smo uporabili za umeritev modelov toplotne obdelave.

S ciljem predstavitve mikrostrukture kovinskega materiala v industrijskem okolju smo izdelali ustrezen model na podlagi umetne inteligence. Za popis lastnosti mikrostrukture smo predlagali histogram velikostne porazdelitve zrn (20 razredov) ter histogram površinske hrapavosti zrn (18 razredov). Članek z izsledki je bil sprejet v ugledno revijo Fracture Mechanics ter kot poglavje v knjigi pri založbi Lambert Academic Publishers.

SKLAPLJANJE FIZIKALNIH MODELOV IN MODELOV NA PODLAGI RAČUNSKE INTELIGENCE

V projektu smo dopolnili fizikalne modele procesne verige proizvodnje jekel z modeli na podlagi umetnih nevronske mreže za izračun relacij med procesnimi parametri proizvodnje jeklenih polizdelkov (topljenje starega železa, legiranje, kontinuirno ulivanje, odvajanje vodika, ponovno segrevanje, valjanje, hlajenje na hladilni klopi) in mehanskimi lastnostmi končnega izdelka (raztezek, natezna trdnost, elastični modul, trdota po valjanju, skrček). Tovrstni modeli so precej hitrejši kot fizikalni modeli in so namenjeni optimizaciji kvalitete proizvodov in učinkovitosti proizvodnje. Opravljeno delo smo objavili v ugledni reviji CMC. Opisano modeliranje skozi proces na podlagi računske inteligence je vzpodbudilo namestitvev in umerjanje številnih novih senzorjev v podjetju Štore Steel. Modele smo sproti dopolnjevali z novimi zajetimi podatki iz proizvodnje. Omenjena dejavnost je vzpodbudila še bolj sistematično zbiranje procesnih podatkov.

OPTIMIZACIJA PROCESOV

V optimizacijskem sklopu projekta smo obravnavali formulacijo optimizacijskih kriterijev, vzpostavitev večkriterijskega optimizacijskega programskega okolja in izvedbo optimizacijskih izračunov na osnovi modeliranja procesov proizvodnje jekla.

Optimizacijskih kriteriji so ključni element definicije optimizacijskega problema. Kriterije smo formulirali na osnovi sistematične analize obravnavanih metalurških procesov z vidika varnosti, produktivnosti, kakovosti izdelkov in okoljske učinkovitosti. Matematično smo jih zapisali kot odstopanja opazovanih veličin od ciljnih vrednosti, dopustnost njihovih vrednosti pa predpisali z

intervalnimi omejitvami. Te kriterije obravnavamo kot funkcije procesnih parametrov, katerih vrednosti je moč spreminjati, preslikavo iz prostora parametrov v prostor opazovanih veličin pa za potrebe računalniško podprte optimizacije izvajamo z modeli procesov.

V okviru vzpostavljanja optimizacijskega programskega okolja smo opredelili vmesnik med optimizacijskim algoritmom in modeli metalurških procesov, ki omogočajo vrednotenje rešitev v empiričnem optimizacijskem postopku, ter specifikirali zmožnosti programskega okolja, preko katerih bo uporabnik lahko parametriziral optimizacijske naloge. Za potrebe projekta smo tudi nadgradili naš algoritem diferencialne evolucije za večkriterijsko optimizacijo (ang. Differential Evolution for Multiobjective Optimization, DEMO), ki smo ga zaradi izkazane učinkovitosti izbrali za optimizacijo procesnih parametrov metalurških procesov. Nadgradnja algoritma obsega vključevanje nadomestnih modelov v optimizacijski postopek in novo metodo za analizo rezultatov optimizacije. Nadomestni model (angl. surrogate model) gradimo in izpopolnjujemo na osnovi ovrednotenih rešitev med iterativnim postopkom optimizacije. Njegova prednost je visoka računrska učinkovitost v primerjavi s fizikalnim numeričnim modelom, kar omogoča pohitritev optimizacije, saj lahko del rešitev namesto s fizikalnim modelom ovrednotimo z nadomestnim modelom. V našem primeru smo uporabili metodologijo modeliranja z Gaussovimi procesi. Za analizo rezultatov večkriterijske optimizacije smo razvili metodo, ki zmanjša dimenzionalnost dobljene aproksimacijske množice in jo pregledno prikaže v obliki prosekcijske matrice. Metoda omogoča vpogled v kakovost dobljenih rešitev in lastnosti optimizacijskega problema.

Z namenom preizkušanja optimizacijskega algoritma smo izvedli optimizacijske izračune s poudarkom na prvem v zaporedju obravnavanih metalurških procesov, to je na kontinuirnem ulivanju. Optimirali smo izbrane parametre hladilnega sistema glede na tri kriterije, ki odražajo kakovost dobljenih polizdelkov. Izračune smo izvedli pri različnih diskretizacijah prostora parametrov in rezultate primerjali z rezultati izčrpnega preiskovanja. Potrdili smo ustreznost optimiranih vrednosti procesnih parametrov in učinkovitost izpopolnjenega optimizacijskega postopka. Razvito programsko okolje bo do konca 2014 iz stopnje raziskovalnega prototipa dopolnjeno z uporabniško prijaznim vmesnikom in povezavo z metalurško bazo podatkov ter predano v uporabo sofinancerju projekta podjetju Štore Steel.

IZBIRA DOSEŽKOV PROJEKTA

Pet najpomembnejših znanstvenih in pet družbeno-ekonomskih rezultatov projekta, kot jih dovoljuje obrazec, je bilo težko izbrati, saj je bilo pomembnih publikacij in dosežkov vsaj trikrat toliko. Znanstvene dosežke projekta smo izbrali tako, da demonstriramo vodilno vlogo projektne skupine pri modeliranju industrijskih procesov strjevanja [zn.1] in ustrezno postavljanje mednarodnih testnih primerov na to temo (A'). V [zn.2] smo demonstrirali razvoj genetskega programiranja za zmanjšanje porabe zemeljskega plina in delo objavili v vrhunski reviji (A'') s področja. V [zn.3] smo demonstrirali popis mikrostrukture kovinskih materialov na podlagi računske inteligence, ki je izšel v obliki monografije (A''). V [zn.4] smo objavili novo brez mrežno metodo za popis mikrostrukture na podlagi točk in ne poligonov, ki je izšla v obliki poglavja v monografiji. V [zn.5] smo objavili vizualizacijo 4D aproksimacijskih množic večkriterijskih optimizatorjev s prosekijami, ki je v tisku v vrhunski reviji (A'') in v uporabi pri analizi optimizacij. Za najpomembnejše družbeno-ekonomske dosežke smo izbrali demonstracijo uporabe fizikalnih modelov [de.1] in demonstracijo modeliranja skozi proces na podlagi računske inteligence [de.2], ki sta v uporabi pri sofinancerju, mednarodno nagrajeno doktorsko disertacijo [de.3], ključno vabljen predavanje na mednarodni konferenci [de.4], kjer smo tudi organizirali posebno sekcijo, povezano z vsebino projekta, ter uporabo umetne inteligence pri optimizaciji enega izmed procesnih korakov [de.5].

OSTALE EKTIVNOSTI

V okviru projekta smo izpeljali več izobraževanj, namenjenih raziskovalcem in študentom: dr. Grešovnik je predaval o programiranju v jeziku C#, prof. Šarler o fizikalnih modelih termomehanskega procesiranja jekla, dr. Belič o nevronske mrežah, doc. Kovačič o genetskem programiranju, prof. Filipič o evlucijskih metodah optimizacije, prof. Jenko o eksperimentalnih metodah. Prof. Šarler je dosežke projekta predstavil tudi na mednarodni letni šoli septembra 2013 v Ljubljani: Shaping the Future with Engineering Simulation, Ljubljana. Dosežke projekta pa smo vsakoletno predstavili tudi na mednarodni Konferenci o materialih in tehnologijah v Portorožu; bodisi v obliki vabljenih predavanj ali kot prispevke mladih raziskovalcev.

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

Projekt je potekal povsem v skladu s projektno dokumentacijo in pričakovanji sofinancerja. Vse zastavljene cilje smo realizirali. Težave smo imeli zgolj s pridobivanjem zadostnega števila kvalitetnih podatkov (zaradi spremembe tehnologije v podjetju Štore Steel med izvajanjem

tega projekta) za modeliranje skozi proces z nevronskimi mežami. Zaradi tega smo projekt tudi v soglasju z ARRS in sofinancerjem ter sodelujočimi raziskovalnimi skupinami podaljšali do 15.3.2014, ko smo uspeli zbrati ustrezno število procesnih podatkov, povezanih z novo tehnologijo (vročo valjarno) v podjetju.

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

Zastavljeni cilji so bili v celoti doseženi ali preseženi. Projektne skupine se ni spreminjala.

VPLIV NA SOFINANCERJA

V povezavi s projektom sofinancer Štore Steel poroča o naslednjih neposrednih učinkih:

G.02.01 razširitev ponudbe novih izdelkov

Z uvedbo nove kontinuirne valjarske proge v proces valjanja jekla ter simulacijo in optimizacijo procesov se je močno povečala proizvodnja okroglih profilov za potrebe vroče in hladne predelave jekla. Najbolj se je razširila ponudba izredno zahtevnih izdelkov, ki so namenjeni predvsem hladnemu kovanju. V letih 2011, 2012 in 2013 je bilo izdelanih 1.235, 1.100 ter 3.360 novih izdelkov.

G.02.02 širitev obstoječih trgov

Simulacija in optimizacija procesov ulivanja, valjanja in toplotne obdelave je omogočila sledenje stopnjevanih zahtev glede kakovosti. Še dodatno povečanje prodaje in širitev na trge, osvojene v letu 2011, je v teh negotovih razmerah zelo ambiciozen cilj. Vendar ocenjujemo, da bo zmanjšanje proizvodnih kapacitet v Evropi imelo za posledico uravnoteženost ponudbe in povpraševanja. Ob upoštevanju doseženega v letu 2013 in napovedih za leto 2014 načrtujemo povečanje prodaje.

G.02.03 znižanje stroškov proizvodnje

Optimizacija procesov ima velik vpliv na znižanje specifičnih stroškov proizvodnje. Še bolj izrazit pa je vpliv simulacije procesov, ki je drastično znižal stroške osvajanja novih kvalitete jekel, določanja tehnologije toplotne obdelave in razvoja novih proizvodov.

G.02.05 razširitev področja dejavnosti

Osvojene so nove kvalitete jekel za hladno kovanje in novi režimi toplotnih obdelav za ta jekla.

G.02.06 večja konkurenčna sposobnost

Z omenjenim projektom smo si zagotovili tudi večjo konkurenčno sposobnost na slovenskem in EU trgu, saj simuliranje in optimiranje procesov omogoča hitrejšo, cenejšo in zanesljivejšo proizvodnjo.

G.02.07 večji delež izvoza

Novi in zahtevnejši izdelki so omogočili porast deleža izvoza, ki je dosegel 75% v letu 2011. V letu 2012 porasta deleža izvoza ni bilo. V letu 2013 je bil delež izvoza 70 %.

G.02.08 povečanje dobička

V letu 2011 se je dobiček povečal za 152 % v primerjavi z letom 2010, v letu 2012 pa povečanja dobička glede na leto 2011 ni bilo. Dobitek v letu 2013 je znašal 0,2 MIO EUR in je bil glede na leto 2012 povečan.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek		
1.	COBISS ID	3222523
		Vir: COBISS.SI
	Naslov	[zn.1]: Rešitev testnega primera za kontinuirno ulivanje na podlagi brez mrežne metode
		SLO
		ANG
		Solution of a continuous casting of steel benchmark test by a meshless method
		V članku prikazemo rešitev pred kratkim predlaganega industrijskega testnega primera za kontinuirno ulivanje (Šarler et al., 2012) na podlagi brez mrežne metode. Fizikalni model je zgrajen na sklopljenih

Opis	SLO	makroskopskih enačbah za maso, energijo, gibalno količino, turbulentno kinetično energijo in disipacijo v dveh dimenzijah. Strjevanje je opisano z modelom kontinuumske mešanice. Kašasto območje je modelirano kot Darcyjev porozni medij s Kozeny-Karmanovo permeabilnostno relacijo, kjer je morfologija poroznega sredstva modelirana s konstantno vrednostjo. Nestisljiv turbulenten tok raztaljenega jekla je opisan s $k-\epsilon$ korelacijo tipa nizkega Reynoldsovega števila (LRN), in zaprt z Abe-Kondoh-Nagano koeficienti in korelacijami za dušenje. Numerična metoda je vzpostavljena na eksplicitni časovni shemi in neuniformnih pet-točkovnih vplivnih domenah ter adaptivni privetrni shemi. Sklopitev med hitrostjo in tlakom za nestisljiv tok je izvedena s Chorinovo metodo delnih korakov. Prednosti metode sta preprostost in učinkovitost, ker ni vključene poligonizacije, preprosta adaptacija računskih točk v območjih z velikimi gradienti, skoraj enaka formulacija v dveh ali treh dimenzijah, visoka natančnost in nizka numerična difuzija. Rezultati so skrbno predstavljeni in tabelirani, skupaj z rezultati, dobljenimi s programom ANSYS-Fluent, ter bodo v bodoče dovoljevali nadaljnje primerjave tudi z različnimi drugimi numeričnimi metodami.	
	ANG	A meshless solution of the recently proposed industrial benchmark test for continuous casting (Šarler et al., 2012) is displayed in the present paper. The physical model is established on a set of macroscopic equations for mass, energy, momentum, turbulent kinetic energy, and dissipation rate in two dimensions. The mixture continuum model is used to treat the solidification system. The mushy zone is modelled as a Darcy porous media with Kozeny-Karman permeability relation, where the morphology of the porous media is modeled by a constant value. The incompressible turbulent flow of the molten steel is described by the Low-Reynolds-Number (LRN) $k-\epsilon$ turbulence model, closed by the Abe-Kondoh-Nagano closure coefficients and damping functions. The numerical method is established on explicit time-stepping, collocation with multiquadrics radial basis functions on non-uniform five-nodded influence domains, and adaptive upwinding technique. The velocity-pressure coupling of the incompressible flow is resolved by the explicit Chorin's fractional step method. The advantages of the method are its simplicity and efficiency, since no polygonisation is involved, easy adaptation of the nodal points in areas with high gradients, almost the same formulation in two and three dimensions, high accuracy and low numerical diffusion. The results are carefully presented and tabulated, together with the results obtained by ANSYS-Fluent, which would in the future permit straightforward comparison with other numerical approaches as well.	
	Objavljeno v	Elsevier; Engineering analysis with boundary elements; 2014; str. 1-17; Impact Factor: 1.596; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.936; A': 1; WoS: IF, PO; Avtorji / Authors: Vertnik Robert, Šarler Božidar	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	3219707	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	[zn.2]: Predikcija porabe zemeljskega plina v jeklarni na podlagi genetskega programiranja	
	ANG	Genetic programming prediction of the natural gas consumption in a steel plant	
		Javna agencija Republike Slovenije za energijo ureja in določa poslovanje na trgu z zemeljskim plinom, računa stroške povezane z neravnovesjem odjema, odloča o dobaviteljih in nadzoruje določbe o kaznih, ki se nanašajo na kršitve določb. Vsak dobavitelj ureja in določa cene za razliko med predvidenimi naročenimi in dejansko dobavljenimi količinami plina. Podjetje Štore Steel je eden glavnih proizvajalcev vzmetnega jekla v Evropi. Poraba zemeljskega plina podjetja predstavlja približno 1,1%	

Opis	SLO	nacionalne porabe zemeljskega plina v Sloveniji. Podjetje je pogodbeno vezano na dobavitelja, ki terja kazni v skladu z zgoraj navedenimi razlikami. V tem članku je opisan uspešen pristop za napovedovanje porabe zemeljskega plina, s ciljem čim bolj zmanjšati s tem povezane stroške. Z namenom, da čimbolj zmanjšamo razliko med napovedano in dejansko porabo plina, smo uporabili modela, ki temeljita na linearni regresiji in genetskem programiranju. Numerični model na podlagi genetskega programiranja daje dvakrat ugodnejše napovedi. Razviti model za porabo zemeljskega plina je v praktični rabi od aprila 2005. Rezultati kažejo dobro ujemanje med naročenimi količinami zemeljskega plina na podlagi modela in dejansko dobavljenimi količinami, z letnimi prihranki v višini približno 100.000 evrov.	
	ANG	The Energy Agency of the Republic of Slovenia regulates and determines the operations of the natural-gas market, charges for related gas imbalances, decides on suppliers and controls penalty provisions relating to breaches of stipulated provisions. Each supplier regulates and determines the charges for the differences between the ordered (predicted) and the actually supplied quantities. Store Steel Company is one of the major spring-steel producers in Europe. Its natural gas consumption represents approximately 1.1% of Slovenia's national natural gas consumption. The company is contractually bound to a supplier which exacts penalties according to the differences mentioned above. A successful approach to gas consumption prediction is elaborated in this paper, with the aim of minimizing associated costs. In the attempt to model and predict the gas consumption and, accordingly, to minimize ordered and supplied gas quantity error, we used linear regression and the genetic programming approach. The genetic programming model performs approximately two times more favourably. The developed gas consumption model has been used in practice since April 2005. The results show good agreement between the model-based ordered quantities and the actually supplied quantities, with savings amounting to approximately 100,000 EUR per year.	
	Objavljeno v	Pergamon Press.; Energy; 2014; Vol. 66; str. 273-284; Impact Factor: 3.651; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.451; A": 1; A': 1; WoS: DT, ID; Avtorji / Authors: Kovačič Miha, Šarler Božidar	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	1024170	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO [zn.3]: Modeliranje mikrostrukture kovinskih materialov	
		ANG Modelling of metallic material microstructure	
		Knjiga obravnava področje karakterizacije in modeliranja mikrostrukture polikristaliničnih kovinskih materialov (vzmetno jeklo), s ciljem boljšega razumevanja kompleksnih problemov napovedovanja lastnosti materialov, ki temelji na poznavanju in predstavitvi mikrostrukture. Lastnosti mikrostrukture vzmetnih jekel so bile študirane na številnih vzorcih s ciljem razumeti osnovne geometrijske lastnosti potrebne za gradnjo modela. Podan je pregled tehnik svetlobne mikroskopije, vrstične elektronske mikroskopije in Augerjeve elektronske spektroskopije. Prikazani so nekateri splošni vidiki metod za modeliranje mikrostrukture. Predstavljen pristop je ne-rastrska predstavitev materiala. Osnovna ideja predstavljena v knjigi je generiranje naključno oblikovanih zrn, pri čemer vsako zrno predstavlja samostojen objekt. Če želimo ustvariti realističen model opazovanega materiala, mora biti oblika predstavljena z nevronskega sistemom čim bližje obliki zrn materiala. Najprej generiramo virtualna zrna. Ločeno od procesa generiranja zrn se zberejo lastnosti mikrostrukture opazovanega materiala in s procesom optimizacije oblike zrn nato spremenimo oblike virtualnih zrn, vse s ciljem čim boljšega ujemanja modeliranega z opazovanim materialom. Modeliran material je zgrajen iz ekstremno velikega števila neponovljivo oblikovanih virtualnih zrn. Vpeljan je nov pristop, ki za	

	Opis	<p>optimiziranje oblike zrn uporablja genetske algoritme. Podobnost oblike zrn je določena z oceno hrapavosti površine zrn, razvita in ocenjena je bila nova metoda poimenovana histogram hrapavosti zrn. Histogram hrapavosti zrn zagotavlja metriko, ki jo potrebujemo pri postopku optimizacije oblike zrn. Ker je struktura zrn predstavljena z nevronskega sistemom, mora postopek preoblikovanja oblike zrn spremeniti uteži nevronskega sistema. Zato je bila izvedena študija občutljivosti uteži nevronskega sistema. Na osnovi rezultatov študije občutljivosti uteži je bil razvit genetski algoritem za optimizacijo oblike zrn. V nadaljevanju je bil razvit tudi alternativni genetski algoritem, ki direktno spreminja lastnosti meje zrn, ne da bi pri tem posegal v osnovno predstavitev zrn zapisano v nevronskega sistemu. Metoda, ki kombinira nevronske sisteme in genetske algoritme predstavlja originalni preboj ter ponuja temelje za popolnoma nov pristop k modeliranju mikrostrukture kovinskih materialov. Predstavitev naključno strukture zrna (kot objekta) je narejena z nevronskega sistemom. Manipulacija in optimizacija oblike naključno generiranih zrn je narejena z genetskimi algoritmi. Postavljen koncept modeliranja je predstavljen v 2D prostoru vendar je načrtovan tako, da ga lahko direktno prenesemo v 3D prostor.</p>
	SLO	<p>This book covers the characterization and modeling of polycrystalline metallic material (spring steel) microstructures, with the aim to better understand the complex problem of predicting material properties based on a knowledge and representation of the microstructure. The microstructure features of the spring steel were studied on numerous samples in order to understand the basic geometrical characteristics needed to build the model. An overview of light microscopy, scanning electron microscopy, and Auger electron spectroscopy techniques is provided. Some general aspects of the methods used for the microstructure modeling are provided. The presented approach is the non-mesh based representation of the material. The core idea described in the book is to generate randomly shaped grains, where each grain represents a stand-alone object. In order to make a realistic model of the observed material, the shape of the grains represented by the neural network must come as close as possible to the observed material. The virtual grains are first generated. Separately the microstructural properties of the observed material are gathered and the process of grain-shape optimization is used to modify the shape of virtual grains to come as close as possible to the observed real sample. The modeled material is then constructed by the extremely large number of uniquely shaped virtual grains. A new approach to the grain-shape optimization with a genetic algorithm is introduced. The grain-shape similarity is determined by a grain-roughness assessment and a new method named the grain-roughness histogram is developed and evaluated. The grain-roughness histogram provides the metrics needed for the grain-shape optimization. Since the grain structure is represented by the neural network, the process of the grain-shape modification must alter the neural network weights. Therefore, a sensitivity study of the neural network weights was performed. On the basis of the weights sensitivity study, the genetic algorithm application for grain-roughness optimization was designed. Furthermore the alternate genetic algorithm optimization was used, which directly influences the grain-boundary properties without interfering with the grain representation provided by the neural network. The method using neural networks and genetic algorithms is an original breakthrough contribution and provides the foundation for a completely new approach to the modeling of metallic materials. The representation of a random grain structure (as an object) is realized using the neural networks. The manipulation and optimization of the randomly generated grain shape is achieved by the genetic algorithms. The established concept of the 2D modeling is designed and can be directly used in the 3D space.</p>
	Objavljeno v	LAP Lambert Academic Publishing; 2014; VIII, 148 str.; A'': 1;A': 1;

		Avtorji / Authors: Bytyqi Arsim, Belič Igor, Jenko Monika	
	Tipologija	2.01 Znanstvena monografija	
4.	COBISS ID	1857531	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	[zn.4]: Metoda točkovnih avtomatov za dendritsko rast
		<i>ANG</i>	Point automata method for dendritic growth
	Opis	<i>SLO</i>	V poglavju v knjigi opišemo povsem novo generacijo brez mrežnih metod za stohastično modeliranje mikrostrukture. Metoda temelji na diskretizaciji na podlagi naključno postavljenih točk in ne na podlagi večkotnikov kot v klasični metodi celičnih avtomatov. S tem dosežemo večjo prilagodljivost diskretizacije in neodvisnost rezultatov glede na orientacijo diskretizacije. Pomembna posledica tega pristopa je neodvisnost oblike rasti dendritskih struktur glede na položaj kristalografskih osi. Metodo uporabimo za izračun hkratne rasti več dendritov v ogljikovem jeklu.
		<i>ANG</i>	We describe an entirely new generation of the meshless methods for stochastic modelling of microstructure formation in this book chapter. The method is based on the discretisation based on randomly distributed nodes and not on the basis of polygons like in the classical cellular automata method. Higher discretisation flexibility and independence of the results with respect to the orientation of the discretisation is achieved. An important consequence of this approach is independence of the shape of the dendritic structures as a function of the position of the crystallographic angles. We apply the method to multiple dendritic growth in steel.
	Objavljeno v	InTech; Cellular automata; 2011; Str. 197-220; Avtorji / Authors: Lorbiecka Agnieszka Zuzanna, Šarler Božidar	
	Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji	
5.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i>	[zn.5]: Vizualizacija 4D aproksimacijskih množic večkriterijskih optimizatorjev s presekcijami
		<i>ANG</i>	Visualizing 4D approximation sets of multiobjective optimizers with prosections
	Opis	<i>SLO</i>	Članek vsebuje sistematično analizo obstoječih metod za vizualizacijo aproksimacij Pareto fronte (aproksimacijskih množic). Rezultati teh metod so prikazani na primeru dveh novih 4D primerjalnih aproksimacijskih množic. Članek predstavlja tudi novo vizualizacijsko metodo, ki za vizualizacijo 4D aproksimacijskih množic uporablja presekcije (projekcije sekcij). Metoda delno ohranja obliko, razpon in porazdelitev vektorjev v aproksimacijskih množicah, se lahko uporablja tudi na velikih množicah ter je robustna in računsko nezahtevna. Še pomembneje, za nekatere vektorje vizualizacija s presekcijami ohranja relacijo Pareto dominiranosti in relativno oddaljenost od referenčnih točk. Metoda je teoretično analizirana in predstavljena na več različnih aproksimacijskih množicah. Komentar: Članek sprejet v objavo v vrhunsko revijo IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2014.
		<i>ANG</i>	This paper presents a systematic analysis of the existing methods for visualization of Pareto front approximations (approximation sets). Their outcomes are shown on two novel 4D benchmark approximation sets. In addition, a visualization method that uses prosection (projection of a section) to visualize 4D approximation sets is proposed. The method reproduces the shape, range and distribution of vectors in the observed approximation sets well and can handle multiple large approximation sets while being robust and computationally inexpensive. Even more importantly, for some vectors, the visualization with prosections preserves

		<p>the Pareto dominance relation and relative closeness to reference points. The method is analyzed theoretically and demonstrated on several approximation sets.</p> <p>Comment: Paper accepted for publication in top journal IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2014.</p>
Objavljeno v		Podatki o reviji (vir COBISS): Faktor vpliva 4.81 (2012), Kategorija computer science, theory & methods; 1/100; četrtina: 1; x=1.024; IFmin: 1.333; IFmax: 4.81 A": 1;A': 1; WoS: DT, ID; Avtorji / Authors: Tušar Tea, Filipič Bogdan
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	2761467
		Vir: COBISS.SI
	Naslov	[de.1]: Uporaba simulacij kontinuirnega ulivanja v podjetju Štore Steel, II
		ANG Application of continuous casting simulation at Štore Steel, II
	Opis	<p>V članku predstavimo elemente in uporabo izboljšane simulacijskega sistema, ki smo ga razvijali v prejšnjega pol desetletja za napravo za kontinuirno ulivanje gredic v podjetju Štore Steel. Simulacijski sistem je uporabljen v kontekstu moderne avtomatizacije in informatizacije petindvajset let stare trožilne naprave za kontinuirno ulivanje Concast za gredice kvadratnih dimenzij 140 in 180 mm s kapaciteto 160 000 ton/leto. Simulacijski sistem je uporabljen v časovno povezani in časovno nepovezani verziji. Časovno nepovezana verzija je uporabljena za nastavitve pravih procesnih parametrov in izračun temperaturnega polja, makroizcejanja in zrnatosti gredice. Prav tako je uporabljena za izračun sprememb sekundarnega ulivanja in pozicije izlivka. Časovno povezana verzija je uporabljena za avtomatski nadzor ulivanja. Članek predstavlja posodobitev naše publikacije v BHM iz leta 2005 (Application of Continuous Casting Simulation at Štore Steel, BHM, Vol. 150, No. 9, 300–306).</p> <p>Komentar: Članek demonstrira vodilne rezultate projektne skupine in njihov vpliv v industriji na področju fizikalnega modeliranja metalurških procesov.</p>
		<p>This paper represents the elements and the use of the upgraded simulation system, developed in the last half decade for Štore Steel billet continuous caster. The simulation system is used in the context of the state-of-the-art automation and information of the twenty five year old three strand Concast billet continuous caster for dimensions square 140 and 180 mm with the capacity of 160 000 tons/year. The simulation system is used in the off-line and on-line modes. The off-line mode is used in order to set the proper process parameters and to calculate the temperature field, macrosegregation, and grain structure of the billet. It is also used to calculate the changes in the caster design such as the secondary cooling and the position of the SEN. The on-line model is used in automatic casting control system. The paper represents an update of our BHM publication of 2005 (Application of Continuous Casting Simulation at Štore Steel, BHM, Vol. 150, No. 9, 300–306).</p> <p>Comment: Paper demonstrates leading results of the project group and their impact in industry regarding physical modelling of the metallurgical processes.</p>
	Šifra	F.09 Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije

	Objavljeno v	Springer; BHM; 2013; Str. 1-9; Avtorji / Authors: Šarler Božidar, Vertnik Robert, Lorbiecka Agnieszka Zuzanna, Vušanović Igor, Senčič Bojan	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	2601467	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	[de.2]: Uporaba umetnih nevronske mreže pri projektiranju proizvodnje jekla
		ANG	Application of artificial neural networks in design of steel production path
	Opis	SLO	<p>Umetne nevronske mreže (UNM) smo uporabili kot alternativo fizikalnemu modeliranju za izračun relacij med procesnimi parametri proizvodnje jeklenih polizdelkov (topljenje starega železa, legiranje, kontinuirno ulivanje, odvajanje vodika, ponovno segrevanje, valjanje, hlajenje na hladilni klopi) in mehanskimi lastnostmi končnega izdelka (raztezek, natezna trdnost, elastični modul, trdota po valjanju, skrček). UNM podajajo bistveno hitrejšo tehniko ocene odziva, komplementarno fizikalnemu modeliranju. Procesna pot proizvodnje palic v podjetju Štore Steel je bila izbrana za demonstracijo novega pristopa. Uporabljena UNM je večslojna s povratnim razširjanjem napak, sigmoidno aktivacijsko funkcijo in nadzorovanim učenjem. Celotni nabor 123 procesnih parametrov je bil zmanjšan na 34 najbolj vplivnih, uporabili pa smo 1879 podatkovnih množic za učenje. Rezultati parametričnih študij, ki smo jih opravili, so skladni s pričakovanji, ki temeljijo na industrijskih izkušnjah. Vsekakor pa so potrebne nadaljne študije pri zajemanju podatkov in pri analitičnih postopkih za izdelavo metodologije, ki bi bila zanesljivo uporabna v vsakdanji praksi. Metodologija je bila po vsej verjetnosti prvič uporabljena pri modeliranju skozi proces izdelave jekla.</p> <p>Komentar: Članek demonstrira vodilne rezultate raziskovalne skupine in njihov vpliv v industriji na področju modeliranja metalurških procesov na podlagi računske inteligence.</p>
		ANG	<p>Artificial neural networks (ANNs) are employed as an alternative to physical modelling for calculation of the relations between the production path process parameters (melting of scrap steel and alloying, continuous casting, hydrogen removal, reheating, rolling, and cooling on a cooling bed) and the final product mechanical properties (elongation, tensile strength, yield stress, hardness after rolling, necking) of steel semi products. They provide a much faster technique of response evaluation complementary to physical modelling. The Štore Steel company process path for production of steel bars is used as an example for demonstrating the new approach. The applied ANN is of a multilayer feedforward type with sigmoid activation function and supervised learning. The entire set of 123 process parameters has been reduced to 34 influential ones and 1879 data sets from the production line have been used for learning. The results of parametric studies performed on the ANN based model seem consistent with the expectations based on industrial experiences. However, further improvements in data acquisition and analytical procedures are foreseen in order to obtain a methodology, reliable enough for use in the everyday industrial practice. The methodology seems to be for the first time applied in the through process modelling of steel production.</p> <p>Comment: Paper demonstrates leading results of the project group and their impact in industry regarding the computational intelligence modelling of the metallurgical processes.</p>
	Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
	Objavljeno v	Tech Science Press; Computers, materials & continua; 2012; Vol. 30, no. 1; str. 19-38; Impact Factor: 0.724; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.936; WoS: IF, PM, PO; Avtorji / Authors:	

		Grešovnik Igor, Kodelja Tadej, Vertnik Robert, Senčič Bojan, Kovačič Miha, Šarler Božidar	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	1516283	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	[de.3]: Simulacija prenosa toplote in toka tekočine pri kontinuirnem ulivanju jekla z brez mrežno metodo
		ANG	Heat and fluid flow simulation of the continuous casting of steel by a meshless method
	Opis	SLO	V disertaciji je prvič opisano reševanje inženirskih modelov turbulence ter modelov strjevanja s turbulenco v talini na podlagi brez mrežne metode. Prikazani so številni testni primeri. Najbolj nelinearni primeri so verificirani s primerjavo z rezultati komercialnega programskega paketa FLUENT. Izdelan je model kontinuirnega ulivanja jekla. Simuliran je vpliv procesnih parametrov ulivanja na hitrostno in temperaturno polje v gredici. Komentar: Disertacija je bila s strani mednarodne organizacije ECCOMAS (European Committee for Computational Methods in Applied Sciences and Engineering) izbrana med najboljše v Evropi v letu 2010 ter nagrajena. S tem je demonstrirana odličnost člana projektne skupine ter odličnost izobraževanja v projektni skupini.
		ANG	The dissertation for the first time exposes solution of engineering turbulence models and models of solidification with turbulence in the melt by a meshless method. Numerous test cases are presented. The most nonlinear cases are verified by comparison with the results of the commercial package FLUENT. A model for continuous casting of steel is developed. The influence of process parameters on velocity and temperature field in the billet is simulated. Comment: The dissertation was proclaimed by ECCOMAS (European Committee for Computational Methods in Applied Sciences and Engineering) among the best in Europe in 2010 and awarded. This demonstrates the excellence of a project group member and excellence in education in the project group.
	Šifra	E.02 Mednarodne nagrade	
	Objavljeno v	[R. Vertnik]; 2010; XVII, 225 str.; Avtorji / Authors: Vertnik Robert	
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija	
4.	COBISS ID	3129339	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	[de.4]: Brez mrežni model na podlagi rezine za kontinuirno ulivanje in vroče valjanje
		ANG	A meshless slice model for continuous casting and hot rolling of steel
			Preprosti Lagranžev model potujoče rezine smo uporabili za predikcijo relacij med procesnimi parametri, makroizcejanjem in strukturo zrn (enakoosna v stebričasto in stebričasta v enakoosno transformacijo) med kontinuirnim ulivanjem gredic. Bistvena prednost modela potujoče rezine je zelo hiter računski čas v primerjavi s kompletnim 3D modelom prenosa toplote in toka tekočine, ki potrebuje računski čas, merjen v dnevih. Model rezine zato dovoljuje zelo hitre računske čase in dovoljuje hitre optimizacije in celo izračune, časovno sklopljene z realnim procesom. Modeli za prenos toplote in sestavin temeljijo na modelu kontinuumske mešanice z vzvodnim strjevalnim pravilom in povečanimi toplotnimi in sestavinskimi difuzivnostmi za hevristično upoštevanje efektov toka tekočine. Model rasti zrn temelji na Gaussovem nukleacijskem pravilu, KGT modelu rasti, povezanim z makroskopskim modelom prenosa toplote in sestavin. Temperaturno in sestavinsko polje je rešeno z brez mrežno metodo na

Opis	SLO	<p>podlagi kolokacije z radialnimi baznimi funkcijami. Model rasti zrn je rešen na podlagi metode točkovnih avtomatov, nove brez mrežne variante metode celičnih avtomatov. Primerjava rezultatov z eksperimentalnimi podatki za jeklo 51CrV4 je podana s primerjavo makroizcejanja in strukture zrn prečno po gredici. Simulacije in primerjave so bile narejene za nominalne pogoje ulivanja, zmanjšano temperaturo ulivanja, in povečano hitrost ulivanja. Model presenetljivo dobro popisuje kvalitativne značilnosti makroizcejanja in strukture zrn. Model vročega valjanja sestavljajo sklopljeni termični model, mehanski model in model za manipulacijo in pozicioniranje točk. Predstavimo valjanje kvadratne gredice v okroglo palico. Diskutirane so možne nadaljne dopolnitve modela glede na druge fizikalne mehanizme.</p> <p>Komentar: Na konferenci APCOM2013 v Singapurju smo poleg predstavljenega ključnega vabljenega predavanja, ki bo izšlo v reviji EABE, organizirali minisimpozij "MS-86 Computational modelling of casting, rolling and heat treatment processes".</p>
	ANG	<p>A simple Lagrangean type traveling slice model has been applied for the prediction of the relations between process parameters, macrosegregation and solidification grain structure formation (equiaxed to columnar and columnar to equiaxed transition) during the continuous casting process of steel billets. The main advantage of the slice model is its very fast calculation time in comparison with the complete 3D heat and fluid flow model which might need calculation time, measured in days. The slice models thus allows for fast optimisation and even for on-line simulation. The heat and species transfer models are based on the mixture continuum assumptions with Lever solidification rule and enhanced thermal and solutal diffusivities for heuristic accounting of fluid flow effects. The grain structure evolution model is based on the Gaussian nucleation rule, and KGT growth model, coupled to the macroscopic heat and species transfer models. The heat and species transfer models are solved by the meshless technique by using local collocation with radial basis functions. The grain structure evolution model is solved by the point automata technique, a novel meshless variant of the cellular automata method. A comparison of the results with the experimental data for steel grade 51CrV4 is shown in terms of macrosegregation and grain structure across the billet. Simulations and comparisons have been carried out for nominal casting conditions, reduced casting temperature, and reduced casting speed. The model predicts surprisingly well the qualitative features of the macrosegregation and grain structure patterns. The model of hot rolling consists of the coupled thermal model, mechanical model and model for node positioning and manipulation. We present rolling of square steel billet to circular bar. Possible refinements of the model with respect to other physical mechanisms are discussed.</p> <p>Comment: We have in addition to the presented invited keynote lecture at APCOM2013 conference in Singapore, which will be published in EABE journal, organized a minisymposium "MS-86 Computational modelling of casting, rolling and heat treatment processes".</p>
Šifra	B.04 Vabljeno predavanje	
Objavljeno v	5th Asia Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM2013) and 4th International Symposium on Computational Mechanics (ISCM2013); 2013; Avtorji / Authors: Šarler Božidar	
Tipologija	3.16 Vabljeno predavanje na konferenci brez natisa	
5.	COBISS ID	1817595 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	[de.5]: Razporejanje polnjenja šarž v jeklarski industriji na podlagi genetskih algoritmov
	ANG	Genetic algorithm-based batch filling scheduling in the steel industry

Opis	SLO	<p>Štore Steel d.o.o. se sooča s problemom majhnih naročil (v povprečju 15 ton) ter izdelavo ogromne količine različnih kvalitete jekla (več kot 1400). Jeklo se izdeluje v šaržah (50-53 ton). V članku je predstavljena metodologija za optimiranje izdelave planiranih kvalitete in količin jekla v predvidenem roku z namenom, da se zmanjša odlita planirana količina jekla, kjer je dobavni rok daljši kot določeni ter neplanirana količina jekla. Za optimizacijo je bil uporabljen genetski algoritem. Rezultati raziskave so uporabljeni v praksi od leta 2006, ko sta se v letu 2007 odlita planirana količina jekla, kjer je dobavni rok daljši kot določeni ter neplanirana količina jekla zmanjšali iz 17,17% na 10,12%.</p> <p>Komentar: Članek demonstrira uporabo razvitih metod računske inteligence v praksi. Demonstrirani so veliki prihranki.</p>
	ANG	<p>Štore Steel Ltd faces a problem of production of a huge amount (approximately 1400) of different steel compositions in a relatively small quantities (approximately 15 tons). This production is performed in batches of predetermined quantities (50-53 tons). The purpose of this paper is to present the methodology for optimizing the production of predetermined steel grades in predetermined quantities before a customer's set deadline in such a way as to reduce the non-planned and ordered quantities with the date before the deadline and minimize the number of batches. The genetic algorithm was used for the optimization. The results of the research have been used in practice since 2006 with reducing the non-planned and ordered quantities from 17.17% to 10.12% since then.</p> <p>Comment: The paper demonstrates the use of the developed artificial intelligence methods in practice. Huge saving are demonstrated.</p>
Šifra	F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov
Objavljeno v	Marcel Dekker; Materials and manufacturing processes; 2011; Vol. 26, no. 3; str. 464-474; Impact Factor: 1.058; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.993; WoS: IK, PM; Avtorji / Authors: Kovačič Miha, Šarler Božidar	
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

V okviru projekta smo imeli številna vabljenja predavanj na tujih univerzah ter mednarodnih konferencah, predvsem v Aziji (Chengdu, Taiyuan, Hong Kong, Singapur, Islamabad), kjer vlada izjemno zanimanje za rezultate tega projekta. Prav tako smo rezultate projekta prikazali na Gospodarski zbornici Slovenije ter na srečanju mladih raziskovalcev. Zaradi omejitve prostora jih ne moremo eksplicitno navesti.

Sočasno s projektom je potekal tudi multilateralni projekt 7OP MIRABEL (Micro-Request Based Aggregation, Forecasting and Scheduling of Energy Demand, Supply and Distribution). V njem so člani projektne skupine z IJS razvili informacijsko podporo za usklajevanje proizvodnje in porabe električne energije z upoštevanjem razpršene proizvodnje energije in obnovljivih virov. V času izvajanja projekta, o katerem poročamo, pa smo pridobili dodaten multilateralni projekt Artemis COPCAMS (COgnitive & Perceptive CAMeras), katerega cilj je razviti vgrajene računalniške sisteme za spremljanje in nadzor procesov na osnovi slikovnih informacij, zajetih s kamerami.

Vzporedno s projektom pa sta potekala še SLO-ČG bilateralni projekt (modeliranje kontinuirnega ulivanja jekla) ter projekt s Hong Kongom (razvoj brez mrežnih metod), ki ga financira Research Council of Hong Kong.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti²

SLO

Rezultati projekta, ki ne posegajo v razvite konkurenčne prednosti sofinancerja, so bili objavljeni v vrhunski znanstveni literaturi. Obseg publikacij je bistveno večji kot pri naših predhodnih aplikativnih projektih, za katere so recenzenti že ocenili, da so znanstveni rezultati izjemni za takšen tip projekta.

Znanstveni rezultati projekta se zrcalijo predvsem v inovativnem večnivojskem simulacijskem orodju za napovedovanje rasti in sprememb mikrostrukture, v katerem smo prvič združili matematični koncept točkovnih avtomatov in novo generacijo adaptivnih brez mrežnih numeričnih metod za modeliranje termomehanike procesiranja jekel. Prav tako je povsem nov concept integracije fizikalnih modelov in modelov na podlagi umetne inteligence za modeliranje skozi proces. Povsem nov je tudi koncept večkriterijske optimizacija glede na produktivnost, kakovost in ekologijo.

Vodja projekta je v povezavi s tematiko predlaganih raziskav v začetku letu 2014 uredil posebno številko revije EABE na temo uporabe brez mrežnih metod v industriji ter posebno številko revije Advances in Materials Science and Engineering na temo simulacij in optimizacij v tehnologiji materialov.

Iz projekta je izšlo razgibano mednarodno sodelovanje in izobraževanje, ki je povežalo Air University, Islamabad, Pakistan, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Kitajska, in University of Parthenope, Napoli, Italija, z Univerzo v Novi Gorici na širšem področju, obravnavanem v projektu.

V okviru projekta je leta 2010 doktoriral dr. Robert Vertnik s tematiko simulacij turbulentnega toka pri kontinuirnem ulivanju jekla. Njegova doktorska disertacija je bila proglašena za najboljšo v letu 2010 v Srednji Evropi s strani European Committee on Computational Methods in Engineering and Sciences (ECCOMAS). V letu 2011 sta doktorirala dr. Agnieszka Zuzanna Lorbiecka s tematiko stohastičnega modeliranja mikrostrukture ter dr. Gregor Kosec s temo adaptivnih brez mrežnih metod za probleme strjevanja. Leta 2012 je magistriral mag. Štefan Trčko s tematiko modeliranja skozi proces na podlagi nevronske mreže. V letu 2013 je doktoriral dr. Arsim Bytyqi s tematiko popisa mikrostrukture z nevronskimi mrežami. V letu 2014 bo predvidoma doktoriral Umut Hanoglu s tematiko večnivojskega modeliranja vročega valjanja in mag. Qingguo Liu s tematiko popisa mikromehanike na podlagi robnih brez mrežnih metod, vse povežano s projektom. Člana projektne skupine sta dobila nagrado prestižne založbe Emerald: Outstanding Paper of 2013, za delo KOSEC, Gregor, ŠARLER, Božidar. Solution of a low Prandtl number natural convection benchmark by a local meshless method, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, vol. 23, 2013, 189-204. [COBISS.SI-ID 2599419]. Opisana originalna metoda se uporablja v razvitem simulacijskem sistemu.

ANG

The results of the project, which do not interfere with the achieved competitive advantages of the co-funder, have been published in top-ranking scientific literature. The extent of the published results is substantially higher as in our preceding applied projects, for which the reviewers already evaluated their scientific output as exceptional for such type of projects.

The scientific result of the proposed project reflect particularly in the innovative multiscale simulation tool for prediction of microstructure growth and changes, where we coupled the mathematical concept of point automata and a new generation of adaptive meshless numerical methods for the first time in modelling of the thermo-mechanical processing of steel. In addition, the concept of the integration of the physical models and the models based on artificial intelligence in through process modelling is completely new. The concept of multi-parameter optimisation with respect to productivity, quality and ecology is new as well.

The project leader has, in connection with the contents of the proposed research, edited a

special number of the EABE journal at the beginning of 2014, on the topic of using meshless methods in industry, and a special issue of the Advances in Materials Science and Engineering journal on simulation and optimisation in materials technology.

From the project an international collaboration and education was set in motion, which connected Air University, Islamabad, Pakistan, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, China, and University of Parthenope, Italy, with University of Nova Gorica on the broad topics, tackled in the project.

Dr. Robert Vertnik accomplished his Ph.D. in 2010 with the simulation of turbulent flow in continuous casting of steel. His doctoral dissertation was proclaimed as the best in Central Europe from the European Committee on Computational Methods in Engineering (ECCOMAS). In 2011 dr. Agnieszka Zuzanna Lorbiecka completed her Ph.D. with the topic of stochastic modelling of microstructure and dr. Gregor Kosec with the topic of adaptive meshless methods for solidification problems. In 2012 mag. Štefan Trčko completed his master on the topic of through process modelling based on neural networks. In 2013 dr. Arsim Bytyqui completed his Ph.D. with the topic of description of microstructure by the neural networks. In 2014 Umut Hanoglu will complete his Ph.D. on the topic of multiscale modelling of solidification and mag. Qingguo Liu with the topic of micromechanics description based on boundary meshless methods. The members of the project team received an award of the prestigious publisher Emerald: Outstanding Paper of 2013, for paper KOSEC, Gregor, ŠARLER, Božidar. Solution of a low Prandtl number natural convection benchmark by a local meshless method, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, vol. 23, 2013, 189-204. [COBISS.SI-ID 2599419]. The described original method is in use in the developed simulation system.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Slovenci imamo pri izdelavi in predelavi materialov izjemno bogato tradicijo, na katero smo lahko zelo ponosni. Prvi plavž je pod gorovjem Jelovica omenjen že leta 1422. Za začetek industrijske proizvodnje jekla v naših krajih štejemo leto 1869, ko je bila ustanovljena Kranjska industrijska družba. Odkritje postopka izdelave feromangana je tej družbi zagotovilo pionirsko mesto v zgodovini jeklarstva. Za to odkritje je podjetje prejelo več priznanj in nagrad na svetovni razstavi na Dunaju. Prav na isti razstavi je leta 1894 naš fizik Jožef Stefan predstavil prve analitične modele strjevanja.

Zaradi izjemne pomembnosti proizvodnje kovin ima računalniško modeliranje tovrstnih procesov izjemno težo doma in v tujini. Industrijski naročnik tega projekta sistematično vlaga v razvoj domačega znanja na področju modeliranja procesov že od začetka devetdesetih let. Razlog za omenjena vlaganja so relativno majhne proizvodne kapacitete ter ulivanje velikega števila različnih visokokakovostnih zlitin. Za izdelavo in predelavo omenjenih izdelkov je potrebnega veliko lastnega znanja. Slovenska metalurška industrija je v letu 2013 na razvite tuje trge skupaj izvozila za več kot milijardo EUR izdelkov, ki so vsi posredno ali neposredno povezani z obravnavanimi procesi tega projekta. Od teh procesov je v Sloveniji odvisnih 10000 delovnih mest. Tako imata razvoj numeričnih simulacijskih sistemov in z njo povezana avtomatizacija proizvodnje izjemno težo. Cilji opisanega razvoja so boljše razumevanje in vpogled v te procese, boljši vpliv nanje in izboljšana organiziranost proizvodnje. Opisane raziskave so prispevale k večji ekonomičnosti in varnosti proizvodnje, izboljšani kakovosti proizvodov in hitrejšemu ter cenejšemu razvoju izdelave novih materialov in formatov. Pri tem se je izkazalo, da je uporaba simulacijskih sistemov v povprečju za več odstotkov izboljšala produktivnost procesa in kakovost izdelkov ter omogočila samostojen razvoj več novih jekel.

Potencialne koristi rezultatov projekta ne bodo imela samo podjetja, ki so vezana na kontinuirno ulivanje, vroče valjanje in toplotno obdelavo, temveč vsa tista podjetja, ki pri svojem proizvodnem procesu obvladujejo za Slovenijo številne kritične tehnologije, povezane s faznimi prehodi. Na določeni stopnji izdelave in obdelave skoraj vsakega predmeta, ki ga izdelava človek, uporabljamo termomehansko obdelavo. Tako avtomatizacija in optimizacija tovrstnih procesov na podlagi modelske podpore predstavljata danes ključ do sodobne izdelave in predelave kovin, keramike, polimerov, kompozitnih materialov, elektronskih komponent in nanomaterialov. Konkretno bomo razviti koncept termomehanskih simulacij kmalu uporabili še v aluminijevih podjetjih IMPOL (polkontinuirno ulivanje), HIDRIA (tlačno ulivanje), v jeklarni

METAL RAVNE (ulivanje težkih ingotov, pretaljevanje pod žlindro) itd.

Pri razvoju tega raziskovalnega področja v Sloveniji pa vidimo možnosti ne samo v krepitvi sodelovanja z domačimi proizvajalci jekla in aluminija, temveč tudi v sodelovanju z multinacionalnimi globalnimi proizvajalci jeklarske in aluminijske procesne opreme, ki je bilo pravkar vzpostavljeno.

ANG

Slovenians have a very long and proud tradition in the materials processing and manufacturing of metal products. The first blast furnace under the mountain of Jelovica was first mentioned in 1422. The industrial production of steel started in 1869, when the Carniolan Industrial Company was founded. The invention of the process for the production of ferromanganese ensured a pioneering role of the company in the history of steel. The company received several awards at the world exhibition in Vienna in 1894. At the same exhibition, our physicist Jožef Stefan presented the first analytical models of solidification.

Because of the tremendous importance of the production of metals, computational modelling of the related process has a key role in Slovenia and abroad. Since the beginning of the nineties, the industrial co-funder of this project systematically invests into development of in-house knowledge in process modelling. The primary incitement for this investments are relatively small production capacities and casting of a huge number of high-quality alloys. In-house knowledge is indispensable in manufacturing and materials processing of such products. In 2013, the Slovenian metallurgical industry exported metal products worth more than billion EUR to the established foreign markets, directly or indirectly associated with the processes treated in this project. Around 10000 working places in Slovenia depend on these processes. This is why the development of numerical simulation tools and automation of these processes plays such an important role. The goals of the described development are better understanding and insight into the processes, better influence on and organisation of the processes. The described research contributed to improved productivity and safety of production, improved product quality and faster and cheaper development of new materials and formats. The industrial users have successfully applied the developed tools, since they have on average for several percent enhanced the productivity of the processes and quality of the products, as well as independently developed the production of many new steels.

Not only companies that incorporate continuous casting, hot rolling and heat treatment processes are expected to benefit from the results of this project. It is expected that the project results will be applied in many companies in Slovenia, that master critical technologies involving phase changes. Thermomechanical processing appears at some phase in the production of almost every man-made product. The model-supported automation and optimisation of such processes represents a key to modern production and processing of metals, ceramics, polymers, composite materials, electronic components and nanometaterials. As a matter of fact, the developed concept of thermomechanical simulation will be soon used in aluminium companies IMPOL (DC casting), HIDRIA (pressure die casting), steel company METAL RAVNE (casting of heavy ingots, electroslag remelting), etc.

In terms of the development of the present research area in Slovenia, we see opportunities not only by strengthening cooperation with domestic manufacturers of steel and aluminium, but also with multinational global steel and aluminium process equipment producers.

**10.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni**

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>

F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen	
Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih	
F.03 Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen	
Uporaba rezultatov	V celoti	
F.04 Dvig tehnološke ravni		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen	
Uporaba rezultatov	V celoti	
F.05 Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen	
Uporaba rezultatov	V celoti	
F.06 Razvoj novega izdelka		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen	
Uporaba rezultatov	V celoti	
F.07 Izboljšanje obstoječega izdelka		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen	
Uporaba rezultatov	V celoti	
F.08 Razvoj in izdelava prototipa		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE	
Rezultat		
Uporaba rezultatov		
F.09 Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE	
Rezultat		
Uporaba rezultatov		
F.10 Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen	

	Uporaba rezultatov	V celoti
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

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

Komentar

F.01 Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin:

Pridobitev novih informacij in znanj iz rezultatov simulacijskega sistema. Boljše razumevanje procesov, boljši vpliv na procese in boljša organizacija dela okoli procesov.

F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj:

Razvoj nove brez mrežne metode za večfizične probleme (termomehanika, elektromagnetno polje) in probleme na več nivojih (makroskopska polja, mikrostruktura). Izračuni v 3D. Uporaba metode pri simulacijah kontinuirnega ulivanja jekla, vročega valjanja in toplotne obdelave.

F.03 Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja:

Številne skupne publikacije ter posodobitve v proizvodnji, ki so rezultat skupnega raziskovalnega in razvojnega dela univerzitetnega tima UNG, institutskih timaov IMT in IJS ter raziskovalnega tima podjetja Štore Steel.

F.04 Dvig tehnološke ravni:

Uporaba modeliranja in simulacij, povezanih s termomehanskim procesiranjem pri proizvodnji jeklenih polizdelkov. Uporaba tako fizikalnih modelov kot tudi modelov na podlagi umetne inteligence.

F.05 Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja:

Izgradnja modularnih kapacitet za modeliranje skozi process, ki jih bomo v naslednjih letih dopolnjevali in izboljševali.

F.06 Razvoj novega izdelka:

Razvoj kvalitetnejših vrst jekel.

F.07 Izboljšanje obstoječega izdelka:

Izboljšanje učinkovitosti proizvodnje na podlagi računalniškega modeliranja in simulacij.

F.13 Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov:

Razvoj novih eksperimentalnih tehnik za validacijo razvitih modelov.

F.15 Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz:

Posodobljeno zajemanje in beleženje podatkov v podjetju Štore Steel za potrebe modeliranja skozi process. Posodobljeni in dopolnjeni senzori.

F.18 Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference):

Mednarodna konferenci ICCES 2012, Thermacomp 2014, seminarji, ki so jih pripravili vodilni sodelavci projekta, letna šola v letu 2013, organizacija posebne sekcije za modeliranje procesov proizvodnje jekla na konferenci APCOM 2013.

F.29 Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete:

Vodilni rezultati na področju Stefanovih problemov tako s temeljne kot tudi aplikativne perspektive. B. Šarler napisal predgovor k izdaji nove knjige o J.Stefanu, ki je izšla pri založbi Bentham Science v ZDA. Mednarodne nagrade.

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

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: Organizacija predavanj, mednarodnih letnih šol.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					

G.02.01.	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input checked="" 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 checked="" type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01.	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar**G.01 Razvoj visoko-šolskega izobraževanja**

Projekt ima na razvoj visokošolskega izobraževanja velik vpliv, saj se je v okviru projekta podiplomsko izobraževalo sedem mladih raziskovalcev, od katerih so štirje že uspešno zaključili študij. Izdelanih je bilo nekaj diplomskih nalog in magistrsko delo.

G.02 Gospodarski razvoj

Projekt ima na gospodarski razvoj velik vpliv, saj prispeva k produktivni, energetsko učinkoviti in okoljsko primerni izdelavi vrhunskih jekel. Projekt je spodbudil nove investicije v proizvodni proces, predvsem v boljše spremljanje procesnih parametrov ter boljši nadzor nad njimi ter v pridobitev novih eksperimentalnih znanj.

G.03 Tehnološki razvoj

Projekt ima velik vpliv na tehnološki razvoj, saj je bilo v proizvodnjo vključeno povsem novo modeliranje skozi proces, ki omogoča simulacijo vpliva procesnih pogojev na končni izdelek.

G.04 Družbeni razvoj

Projekt ima velik vpliv na družbeni razvoj: predvsem preko višje dodane vrednosti izdelkov.

G.05 Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete: Vodilni rezultati na področju Stefanovih problemov tako s temeljne kot tudi aplikativne perspektive.

G.06 Varovanje okolja in trajnostni razvoj

Učinkovitejša raba energije na podlagi simulacij procesa in izbire optimalnih vrednosti procesnih parametrov na podlagi večkriterijske optimizacije.

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

Sofinancer		
1.	Naziv	Štore Steel, podjetje za proizvodnjo jekel, d.o.o.
	Naslov	Železarska cesta 3, SI-3220 Štore, Slovenija
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	199.567,45 EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25 %
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra
	1.	Olajšan razvoj termomehanskega procesiranja novih vrst jekel na podlagi predhodne simulacije. Izdelava boljših izdelkov zaradi dinamične regulacije procesnih parametrov.
	2.	Razvoj novih eksperimentalnih metod, povezanih s termomehanskim procesiranjem jekla. Validacija fizikalnih modelov in modelov na podlagi umetne inteligence.
	3.	Izboljšano spremljanje procesnih parametrov celotne procesne verige in razvoj ustrezne podatkovne baze.
	4.	Izgradnja modularnih kapacitet za modeliranje skozi proces. Modeliranje končnih lastnosti izdelka na podlagi sosledja modelov proizvodnih korakov.
	5.	Izboljšanje učinkovitosti proizvodnje na podlagi računalniškega modeliranja in simulacij. Izboljšano razumevanje vpliva procesnih parametrov na mikrostrukturo in lastnosti jekel.
		F.06
		F.13
		F.15
		F.05
		F.07

Komentar	Zaradi pozitivnih rezultatov projekta je sofinancer Štore Steel sklenil podpreti nadaljevanje tega projekta. V okviru nadaljevanja projekta bomo v simulacije procesne verige vključili tudi novo livno napravo, ki jo nameravajo instalirati v letu 2015, dodatno izboljšati razvite modele in vključiti tudi vplive elektromagnetnih polj na termomehaniko.
Ocena	Sofinancer projekta Štore Steel ocenjuje, da so bile projektne aktivnosti v obdobju od 1.5.2010 do 15.3.2014 odlično izvedene, dejanski in potencialni učinki projekta pa so povsem v skladu s projektno dokumentacijo in pričakovanji.

13. Izjemni dosežek v letu 2013¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

V okviru članka smo razširili novo brez mrežno lokalno kolokacijsko metodo z radialnimi baznimi funkcijami za reševanje ustaljenega, laminarnega toka z naravno konvekcijo, pod vplivom magnetnega polja. Problem je določen s sklopljenimi enačbami za maso, gibalno količino, energijo ter indukcijo, ki jih rešujemo v dveh dimenzijah z uporabo lokalne kolokacije z multikvadrirnimi radialnimi baznimi funkcijami na prekrivajočih se pettočkovnih poddomenah ter eksplicitnim časovnim korakanjem. Opisani, v letu 2013 razviti temeljni znanstveni dosežek, je bil v letu 2014 uporabljen pri simulaciji kontinuirnega ulivanja jekla pod vplivom elektromagnetnega polja.

Delo je objavljeno v izvirnem znanstvenem članku:

MRAMOR, Katarina, VERTNIK, Robert, ŠARLER, Božidar. Simulation of natural convection influenced by magnetic field with explicit local radial basis function collocation method. Computer modeling in engineering & sciences. CMES, 2013, vol. 92, no. 4, str. 327-352. [COBISS.SI-ID 2827003]

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V letu 2010 so v podjetju Štore Steel instalirali novo kontinuirno valjarno z letno kapaciteto 250.000 ton. Nova kontinuirna valjarna, ki je potrebovala primeren prostor, je zahtevala nujno relokacijo ostalih strojev. Optimalno relokacijo in novo postavitev strojev smo poiskali na podlagi umetne inteligence (UI) - genetskih algoritmov. V izdelanem algoritmu lahko uporabimo dvo- ali tro-dimenzionalno predstavitev strojev brez geometrijskih restrikcij. Učinkovitost postavitve po relokaciji strojev lahko povečamo za 58.1%, vendar smo zaradi prostorskih, finančnih in praktičnih omejitev lahko učinkovitost postavitve povečali samo za 13.58%.

V izvirnem znanstvenem članku demonstriramo zelo uspešno uporabo genetskih algoritmov za problem optimizacije postavitve strojev.

KOVAČIČ, Miha, ROŽEJ, Urban, BREZOČNIK, Miran. Genetic algorithm rolling mill layout optimization. Materials and manufacturing processes, 2013, vol. 28, no. 7, str. 783-787. [COBISS.SI-ID 2789115]

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Novi Gorici

Božidar Šarler

ŽIG

Kraj in datum:

Nova Gorica	15.4.2014
-------------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2014/7

- ¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)
- ² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
- ⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)
- ⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.
Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.
Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- ⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)
- ⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)
- ⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- ¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)
- ¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2013 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot 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-RPROJ-ZP/2014 v1.03

29-95-34-BE-BE-49-35-73-11-82-50-B8-90-BA-5F-13-BE-AD-82-DD

Priloga 1

Almira Bremec
Javna agencija za raziskovalno dejavnost
Republike Slovenije
Bleiweisova cesta 30
SI-1000 Ljubljana

Štore, 15.4.2014

Sofinancer projekta L2-3651: Simulacija in optimizacija procesa ulivanja, valjanja in toplotne obdelave za konkurenčno proizvodnjo vrhunskih jekel potrjuje, da je razvojno-raziskovalno delo v okviru projekta potekalo skladno s prijavljeno projektno dokumentacijo. Zastavljeni cilji so bili v celoti doseženi ali preseženi. Sodelovanje med raziskovalno skupino z univerze, inštituta in našo raziskovalno skupino je bilo vzorno in zelo produktivno. Rezultati projekta nam bodo olajšali sodelovanje v projektih H2020.

V povezavi s projektom sofinancer Štore Steel poroča o naslednjih neposrednih učinkih:

G.02.01 razširitev ponudbe novih izdelkov

Z uvedbo nove kontinuirne valjarske proge v proces valjanja jekla ter simulacijo in optimizacijo procesov se je močno povečala proizvodnja okroglih profilov za potrebe vroče in hladne predelave jekla. Najbolj se je razširila ponudba izredno zahtevnih izdelkov, ki so namenjeni predvsem hladnemu kovanju. V letih 2011, 2012 in 2013 je bilo izdelanih 1.235, 1.100 ter 3.360 novih izdelkov.

G.02.02 širitev obstoječih trgov

Simulacija in optimizacija procesov ulivanja, valjanja in toplotne obdelave je omogočila sledenje stopnjevanih zahtev glede kakovosti. Še dodatno povečanje prodaje in širitev na trge, osvojene v letu 2011, je v teh negotovih razmerah zelo ambiciozen cilj. Vendar ocenjujemo, da bo zmanjšanje proizvodnih kapacitet v Evropi imelo za posledico uravnoteženost ponudbe in povpraševanja. Ob upoštevanju doseženega v letu 2013 in napovedih za leto 2014 načrtujemo povečanje prodaje.

G.02.03 znižanje stroškov proizvodnje

Optimizacija procesov ima velik vpliv na znižanje specifičnih stroškov proizvodnje. Še bolj izrazit pa je vpliv simulacije procesov, ki je drastično znižal stroške osvajanja novih kvalitete jekel, določanja tehnologije toplotne obdelave in razvoja novih proizvodov.

G.02.05 razširitev področja dejavnosti

Osvojene so nove kvalitete jekel za hladno kovanje in novi režimi toplotnih obdelav za ta jekla.

G.02.06 večja konkurenčna sposobnost

Z omenjenim projektom smo si zagotovili tudi večjo konkurenčno sposobnost na slovenskem in EU trgu, saj simuliranje in optimiranje procesov omogoča hitrejšo, cenejšo in zanesljivejšo proizvodnjo.

G.02.07 večji delež izvoza

Novi in zahtevnejši izdelki so omogočili porast deleža izvoza, ki je dosegel 75% v letu 2011. V letu 2012 porasta deleža izvoza ni bilo. V letu 2013 je bil delež izvoza 70%.

G.02.08 povečanje dobička

V letu 2011 se je dobiček povečal za 152 % v primerjavi z letom 2010, v letu 2012 pa povečanja dobička glede na leto 2011 ni bilo. Dobiček v letu 2013 je znašal 0,2 MIO EUR in je bil glede na leto 2012 povečan.

Lep pozdrav,

Bojan Senčič, spc.za menedž., univ dipl.inž.

Pomočnik direktorja


ŠTORE STEEL
Podjetje za proizvodnjo jekel d.o.o.
Železarska cesta 3, 3220 ŠTORE 3