

RAZVOJ NOVIH MATERIALOV ZA AVTOMOBILSKO INDUSTRIJO NA PODLAGI NUMERIČNEGA MODELIRANJA

Božidar Šarler

Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica

Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana

Center odličnosti za biosenzoriko, instrumentacijo in
procesno kontrolo COBIK, Solkan

bozidar.sarler@ung.si

SODELAVCI

Radovan Grapulin*

prof. dr. Matjaž Valant* '***

Miro Zdovc*

dr. Matjaž Godec***

prof. dr. Bojan Podgornik***

doc. dr. Matjaž Torkar***

Bojan Senčič *'*****

doc. dr. Darja Lisjak* '***

dr. Igor Grešovnik* '***

Katarina Mramor*

Ida Kverh, Marko Petrovič* '*****

Peter Cvahte* '*****

Tadej Kodelja*

dr. Robert Vertnik** '*****

dr. Gregor Kosec** '*****

dr. Miha Kovačič** '*****

dr. Agnieszka Lorbiecka**

Umut Hanoglu**

Qingguo Liu**

*COBIK



**UNG



***IMT



****IJS



*****Štore Steel



*****IMPOL



9. NANOTEHNOLOŠKI DAN
27. 11. 2012



POGLAVITNI INDUSTRIJSKI PARTNERJI

Štore Steel



IMPOL



LEXMAR



VSEBINA PREDSTAVITVE

Numerično modeliranje materialov in procesov

Koncepti modeliranja in simulacije skozi proces

Simulacije na podlagi fizikalnih modelov

Simulacije na podlagi umetne inteligence

Primeri posodobitev v sodelovanju s podjetjema Štore Steel in IMPOL

Razvoj nanokompozitnih materialov

Projekt izdelave epoksi-nanosmol

Raziskave novih vrst jekel in aluminijevih zlitin

Zaključki

PROCESI



ulivanje



toplotna obdelava



iztiskanje



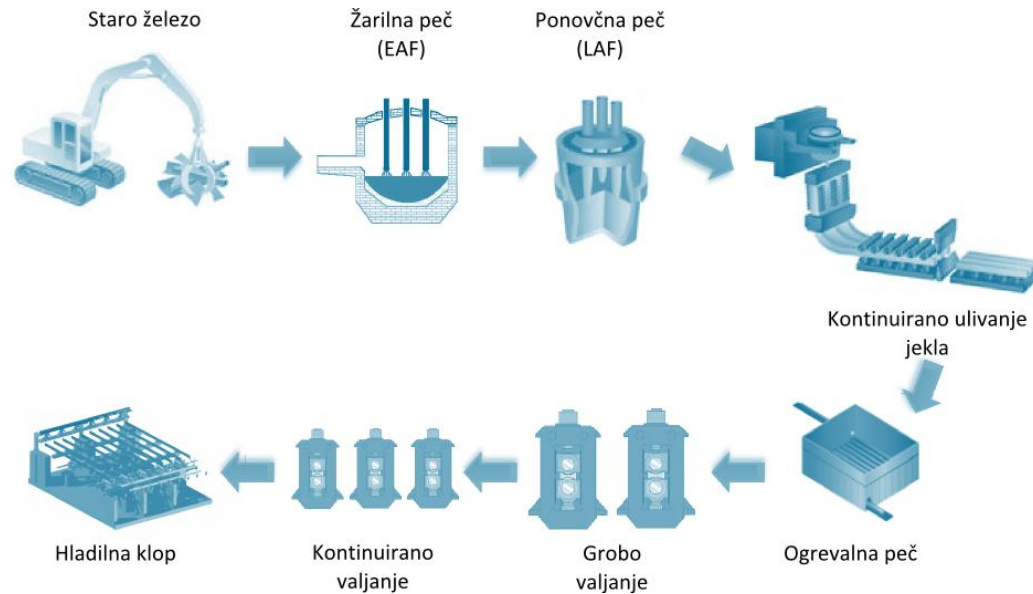
valjanje

Iskanje relacij med:
procesnimi parametri -
makrostrukturo,
makrostrukturo -
mikrostrukturo,
mikrostrukturo -
lastnostmi.

Posodobitve procesov:
- boljši vpogled,
- boljše razumevanje,
- boljši vpliv,
- boljša organizacija dela.

Cilji:
- *kakovost izdelkov,*
- *učinkovita poraba energentov,*
- *učinkovita izraba strojev,*
- *virtualni razvoj novh materialov.*

KONCEPT MODELIRANJA SKOZI PROCES

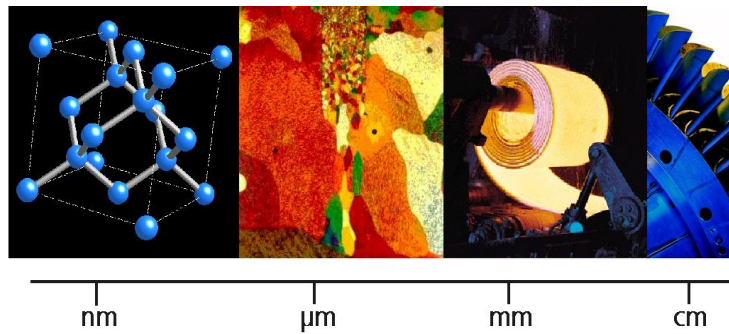


Kako postaviti ogrodje za simulacijo skozi proces s katero bo možna virtualna (računalniška) nastavitve procesnih parametrov (okoli 150) za takojšnjo izdelavo pravilnega izdelka?

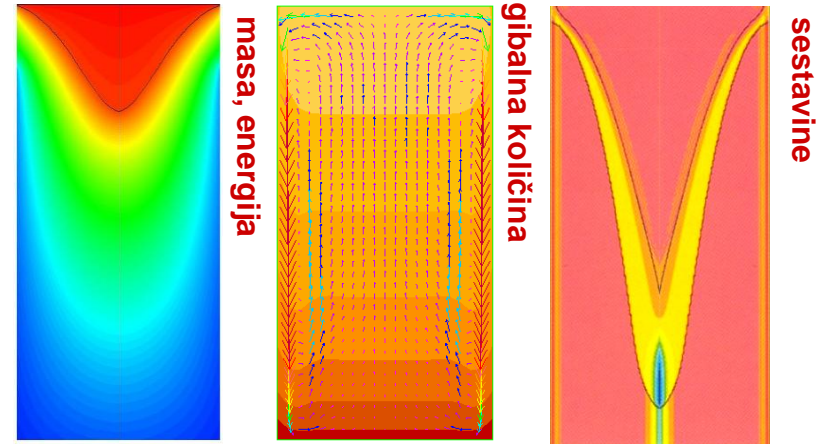
Katere spremenljivke najbolj vplivajo na končni izdelek?

Kako deterministični in kako stohastični procesi vplivajo na končni izdelek?

KONCEPT FIZIKALNEGA MODELIRANJA



razčlenitev meril

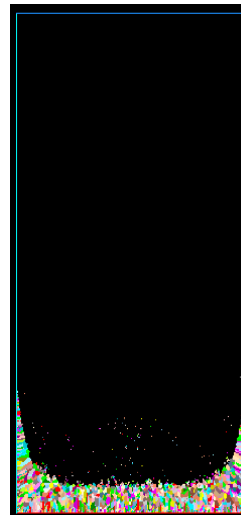


razčlenitev fizike

FIZIKALNI KONCEPTI

milimetersko merilo
stohastični koncept celičnih avtomatov

mikronsko merilo
koncept faznega polja



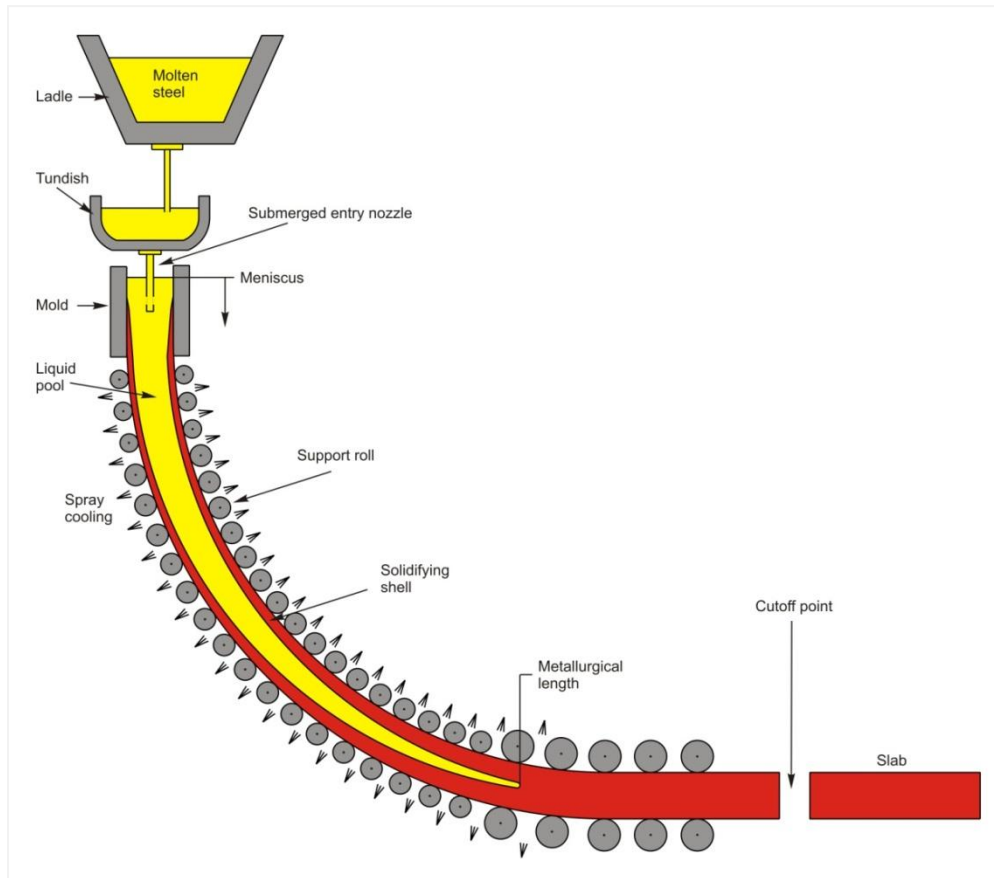
centimetersko merilo
mehanika kontinuuma - teorija mešanice

kombiniran Euler-Lagrangeov pristop

POSEBNOSTI MODELIRANJA POSAMEZNEGA PROCESA

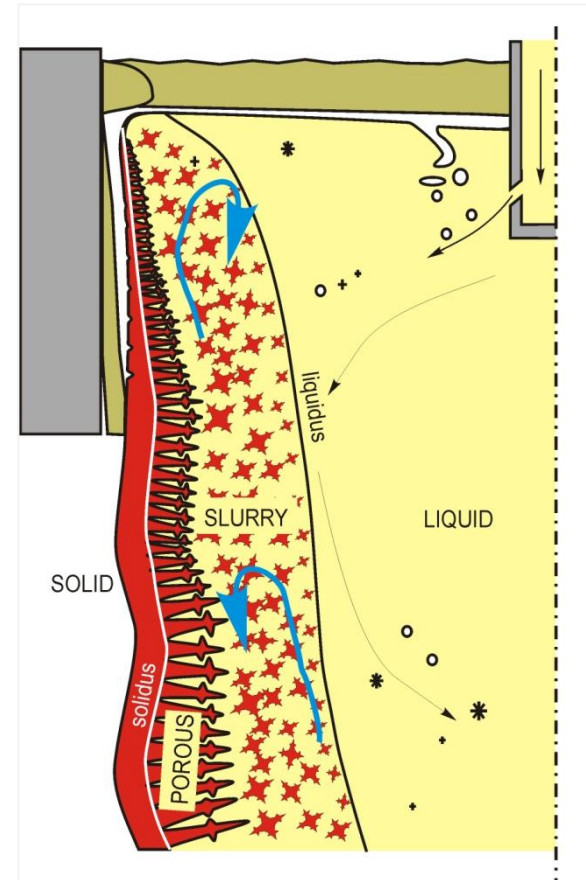
Proces kontinuirnega ulivanja

- procesni parametri
- omejitve

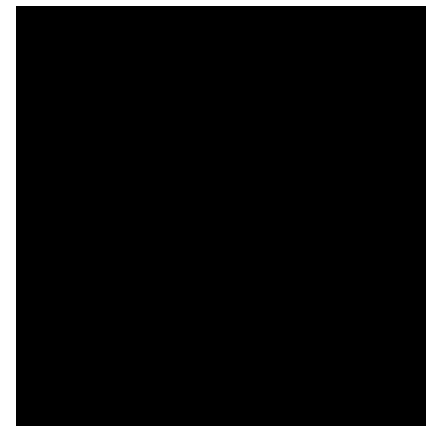
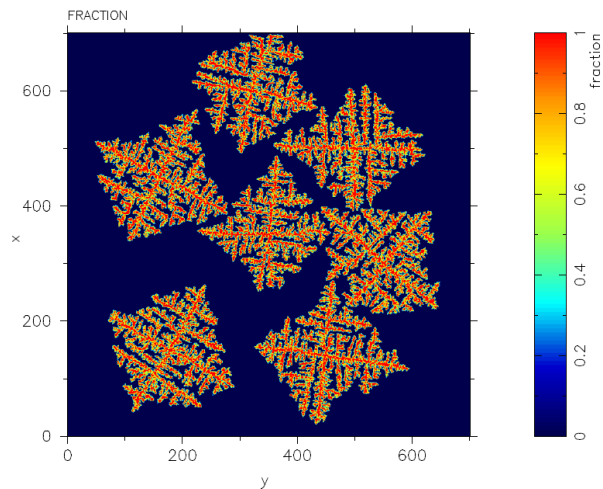
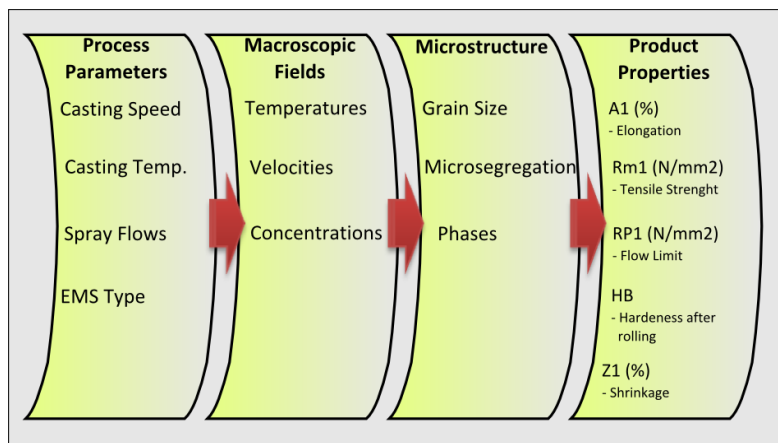
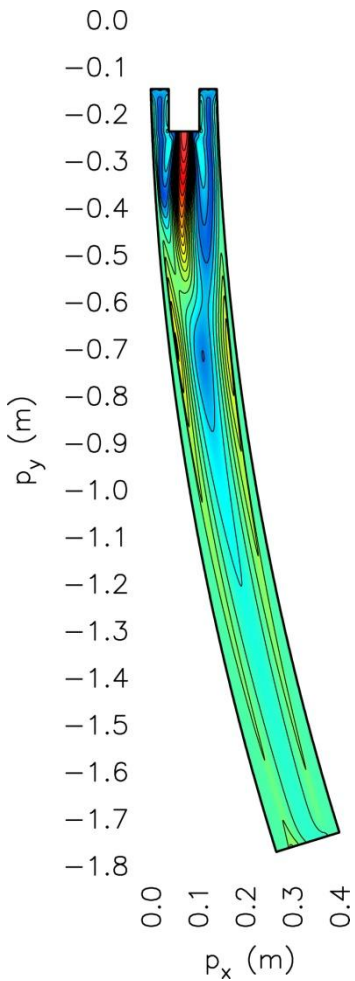


Fizikalni pojavi

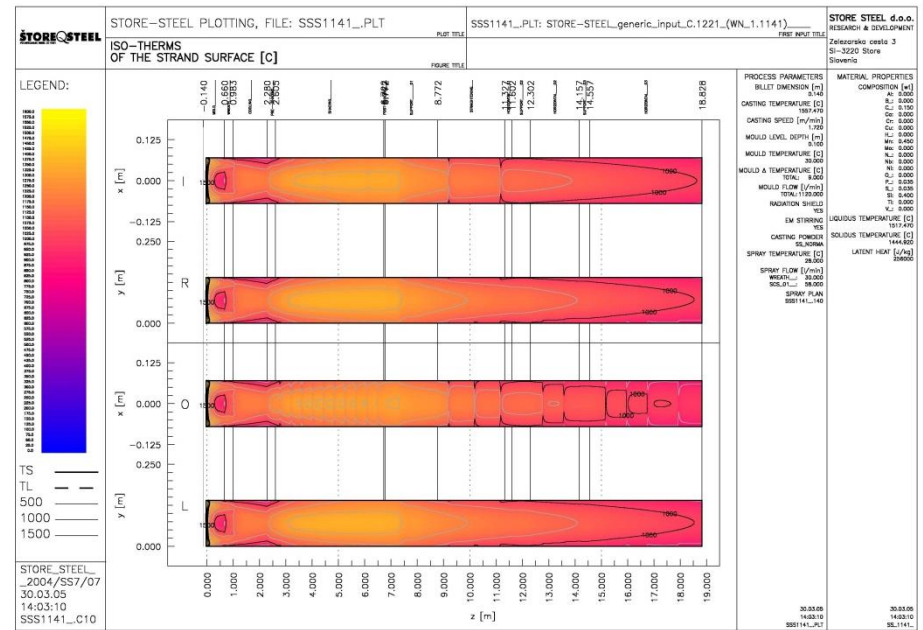
- lastnosti izdelka
- različna fizikalna polja



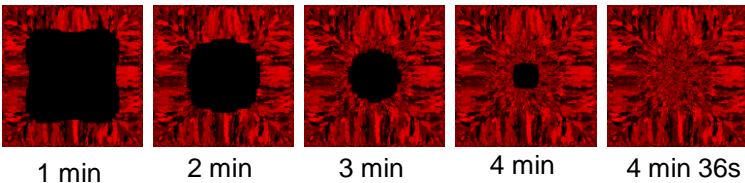
KONCEPT MODELIRANJA NA VEČ MERILIH



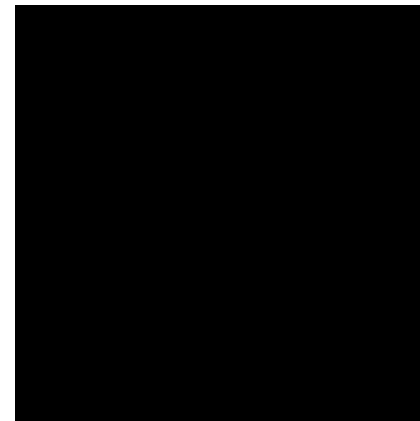
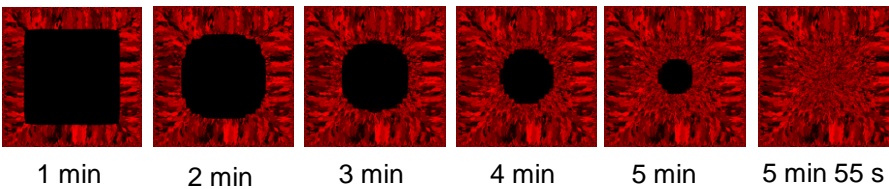
PRIMER MODELIRANJA PROCESA NA VEČ MERILIH



V = 1,00 m/min

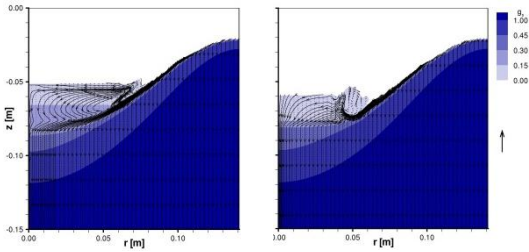


V = 1,75 m/min

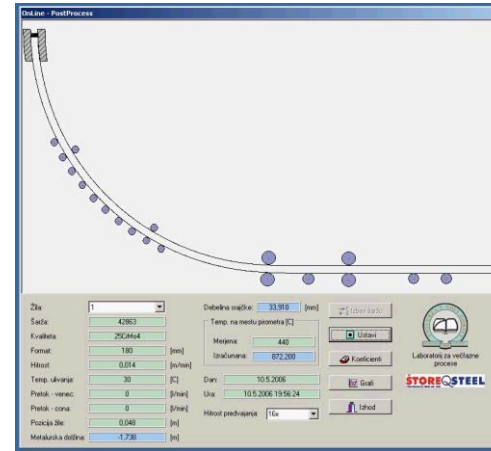
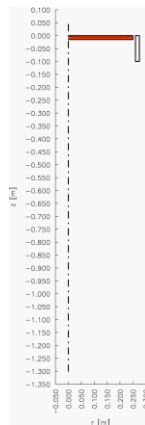
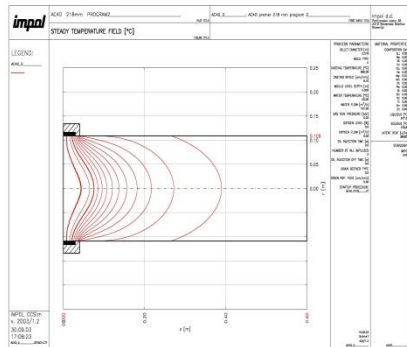


Sklopljene mikro in makroskopske simulacije

TIPI SIMULACIJSKIH SISTEMOV



laboratorijski sistemi



časovno sklopljeni sistemi

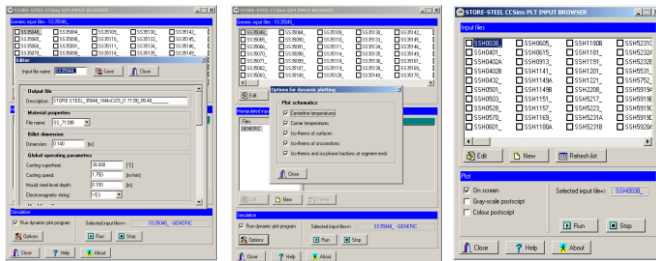


kupljena vrhunska oprema

lastna regulacija

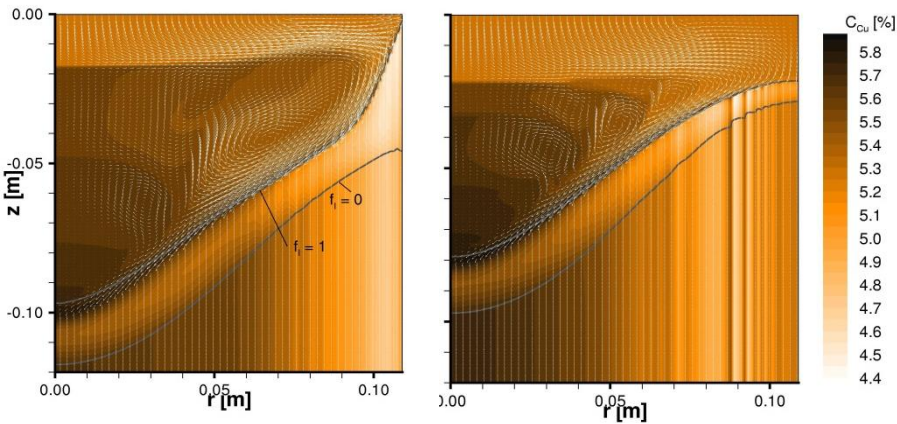
regulacijski algoritmi

sistemi za projektiranje procesnih parametrov



optimizacijski sistemi

TIPI SIMULACIJSKIH SISTEMOV



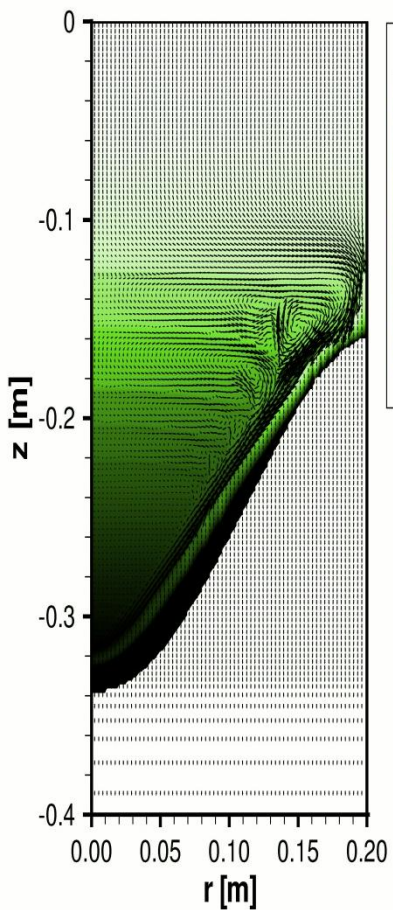
klasična kokila

EM kokila z vročo glavo

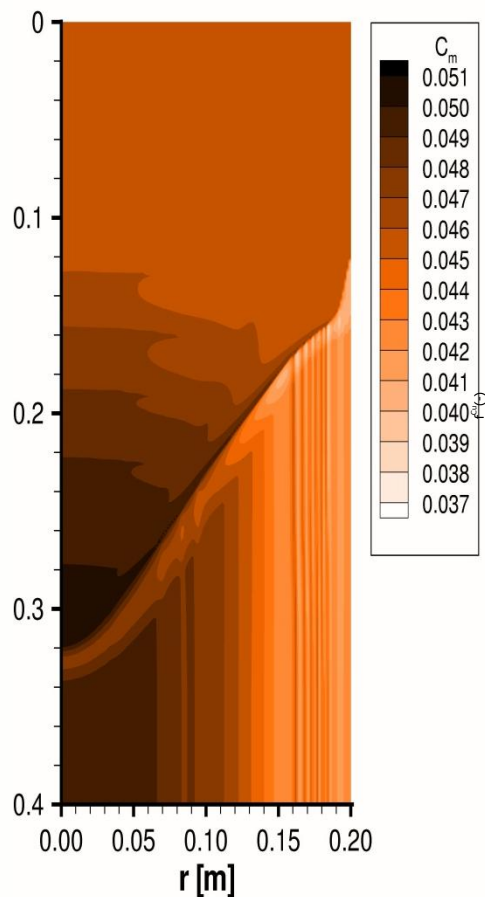
sistemi za projektiranje novih postopkov

Razvita pilotna naprava za nizkofrekvenčno EM polkontinuirno litje - razvoj kokil na podlagi numeričnega modela sklopljenega EM polja in strjevanja

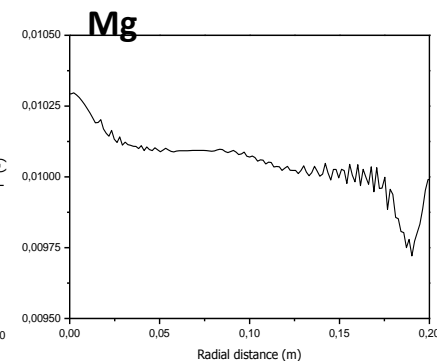
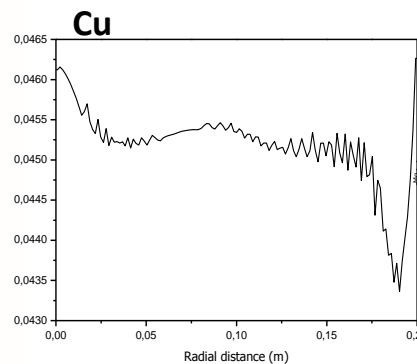
PRIMER MODELIRANJA MAKROIZCEJANJA



hitrostno polje

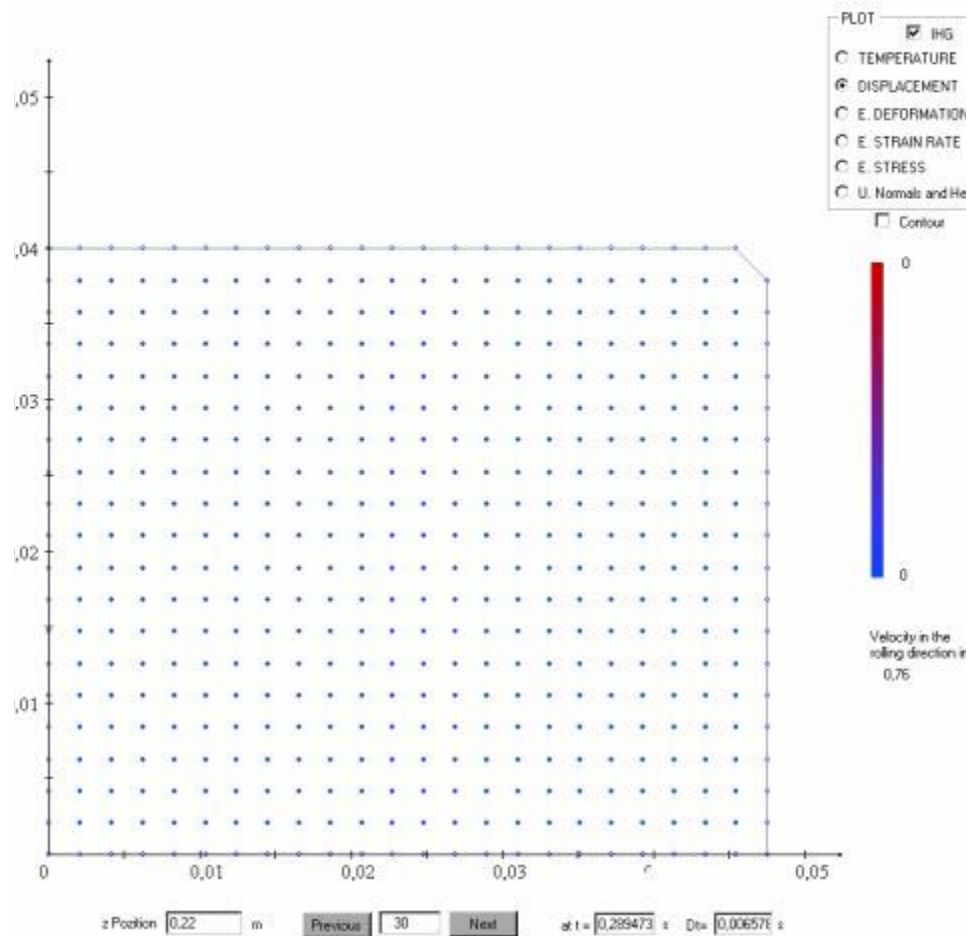


sestavinsko polje
Cu

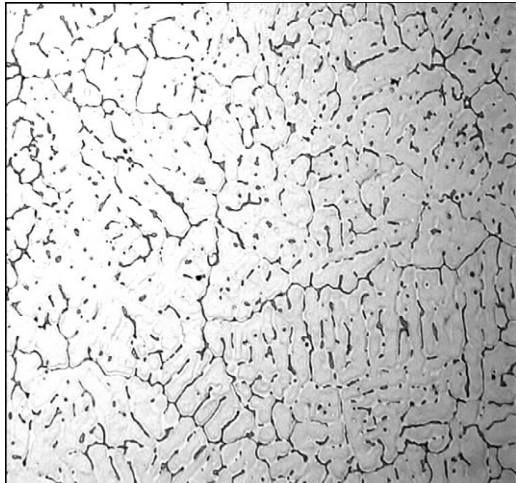


makroizcejanje

PRIMER MODELIRANJA VROČEGA VALJANJA



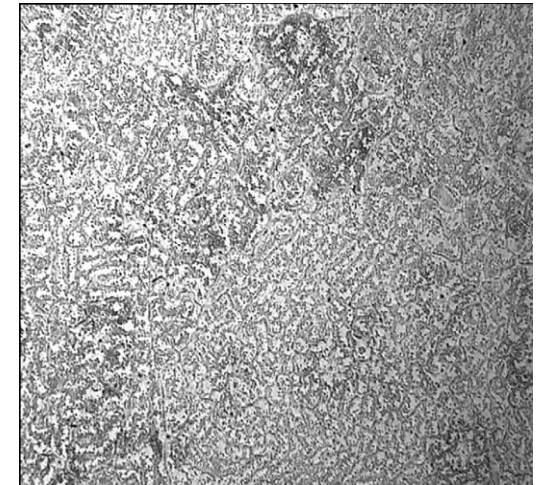
PRIMER MODELIRANJA HOMOGENIZACIJE



začetna mikrostruktura

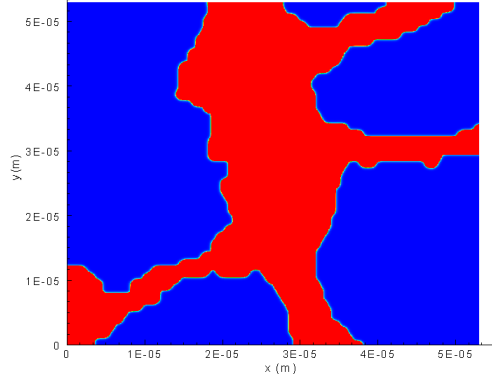


proces homogenizacije
Al-4.5%Cu, ~ 8 h, ~ 420 C



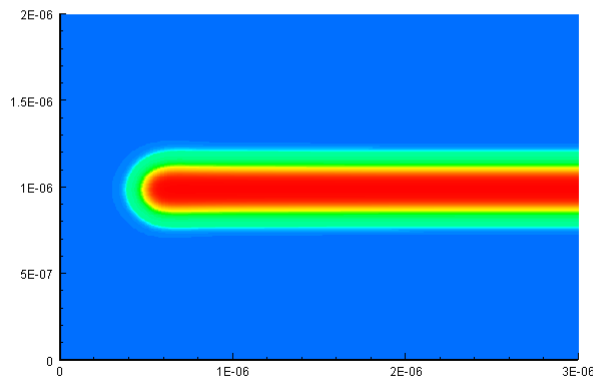
končna mikrostruktura

raztapljanje



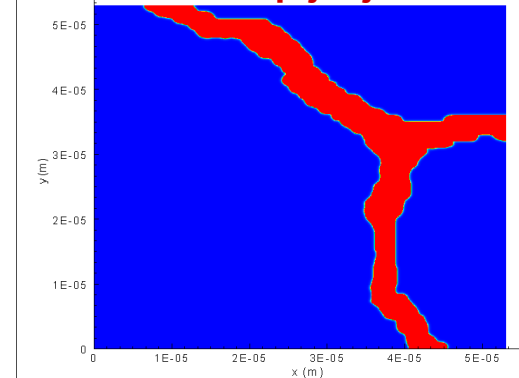
rob droga

sferoidizacija



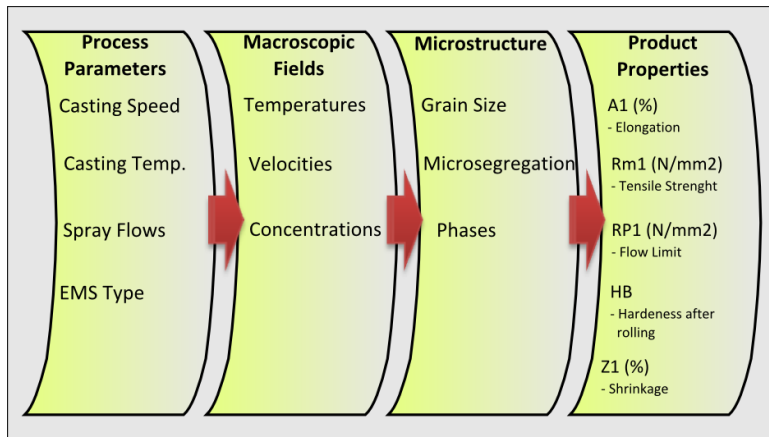
netopni vključek

raztapljanje



center droga

KONCEPT MODELIRANJA NA PODLAGI FIZIKALNIH MODELOV IN UMETNE INTELLIGENCE



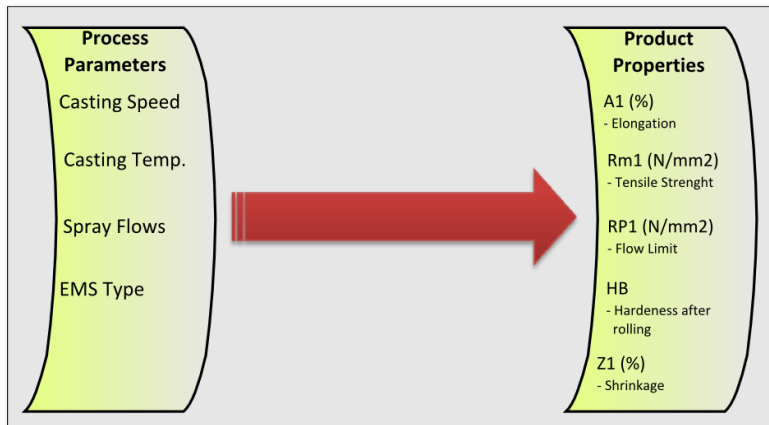
Koncept fizikalnega modeliranja

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla P + \nabla \cdot \left\{ (\mu_L + \mu_t) [\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T] \right\} - \frac{2}{3} \rho \nabla k - \mu_L \frac{C(1-f_L)^2}{f_L^3} (\mathbf{u} - \mathbf{u}_s) + \rho \beta_r \mathbf{g} (T - T_{ref})$$

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} + \rho \nabla \cdot (\mathbf{u} h) = \nabla \cdot [\lambda \nabla T] - \rho \nabla \cdot (\mathbf{u} h - f_s \mathbf{u}_s h_s - f_L \mathbf{u}_L h_L) + \nabla \cdot \left(f_L \frac{\rho_L v_L}{\sigma_t} \nabla h_L \right); \rho_L = \rho$$

$$\rho \frac{\partial c}{\partial t} + \rho \nabla \cdot (\mathbf{u} c) = \rho \nabla \cdot [f_s D_s \nabla c_s + f_L D_L \nabla c_L] - \rho \nabla \cdot (\mathbf{u} c - f_s \mathbf{u}_s c_s - f_L \mathbf{u}_L c_L) + \nabla \cdot \left(f_L \frac{\rho_L v_L}{\sigma_c} \nabla c_L \right); \rho_L = \rho$$

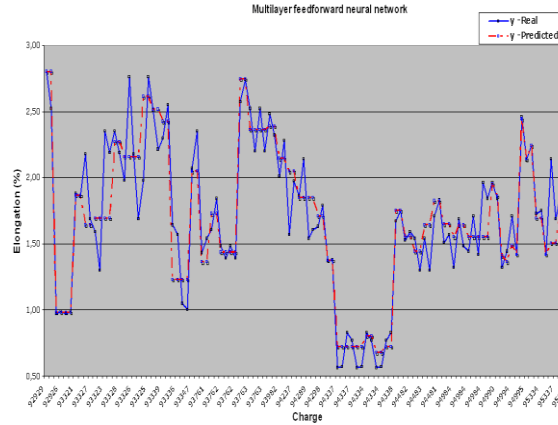
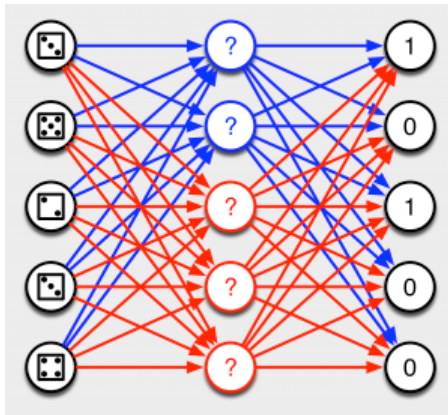
$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$



Koncept modeliranja na podlagi umetne intelligence

MODELIRANJE NA PODLAGI UMETNE INTELIGENCE

nevronska mreža



vhodni podatki

meritve

izračunano

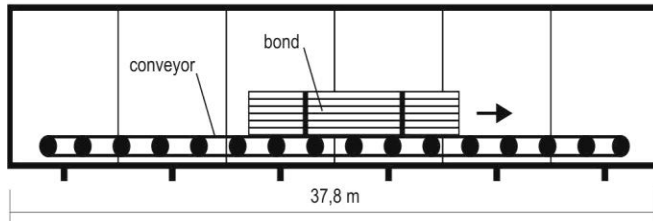
merjeno

PROCES UČENJA

VALIDACIJA

UPORABA

Zone 1 780 °C Zone 2 750 °C Zone 3 720 °C Zone 4 720 °C Zone 5 700 °C Zone 6 680 °C



meritve na žarilni peči

evolucijsko računanje

$$127.132 + 19.309 Cr + \frac{V(3.436 + Mo + 4.117 Ni - \frac{V}{Mo})}{-2.234 Mo + 2 Ni + \frac{V}{speed} + V} + \frac{(C + \frac{1+Cr}{V})V}{Ni(-1.234 Mo - 1.234 Ni + 2.845 speed - \frac{V}{Mo})} +$$

$$C \left(136.993 + 6.298 Mo + 38.664 Ni + 6.117 V - \frac{6V}{Mo} - \frac{V}{Ni} - \frac{-2.234 Mo + Ni + V}{Ni} - \frac{-2.234 Mo + Ni + 2V}{Mo} \right) +$$

$$Mo \left(-2.234 - 2.234 Mo \left(4.117 + C + \frac{Cr}{Mo} - 2V \right) + V + \frac{(C + \frac{1}{V})V}{Ni speed} \right) \left(\frac{Cr}{Mo} - \frac{(0.2429 + C)(-2.234 Mo + Ni + 2V)}{speed} \right) +$$

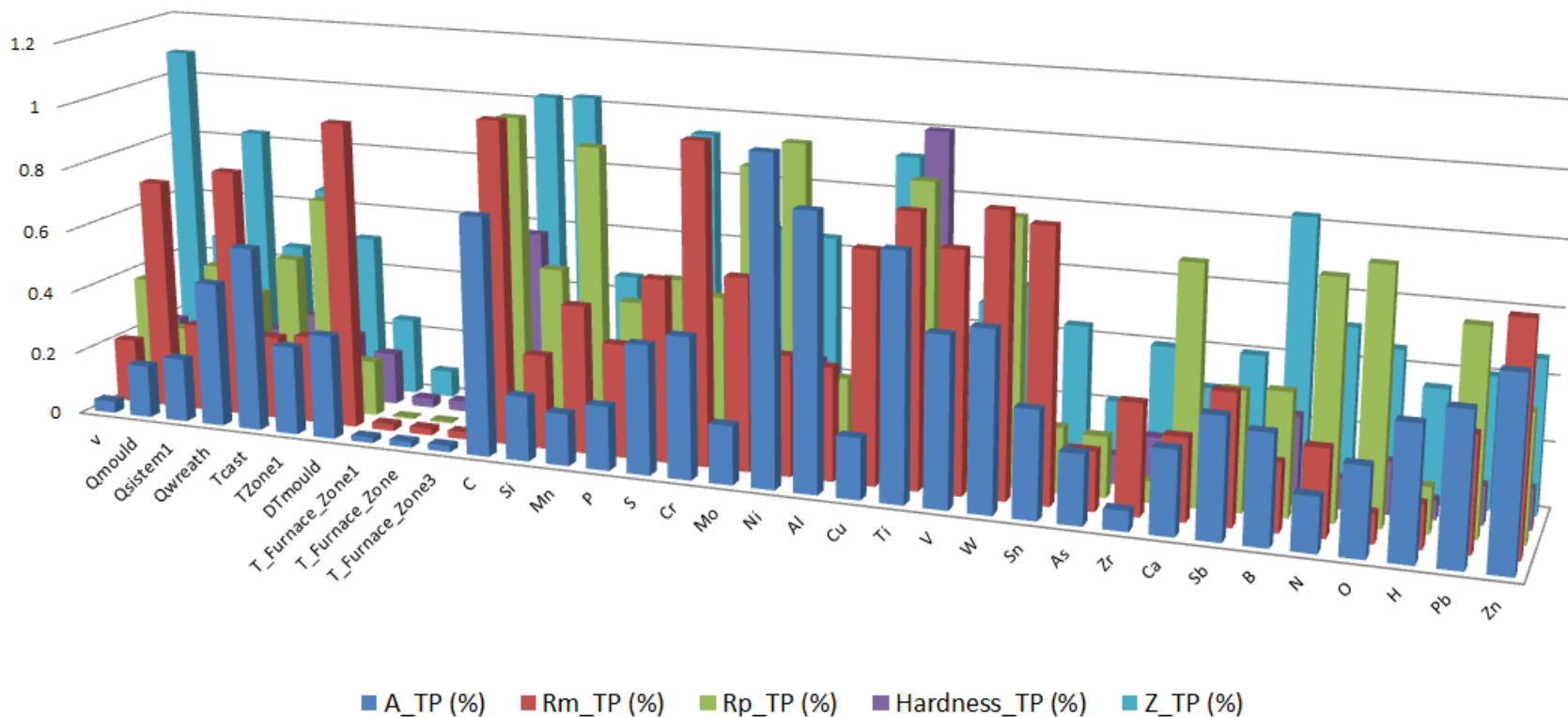
$$0.021 \left(HB + Mo + \frac{2 + 2 Mo + 5.117 Ni + \frac{speed(C + \frac{1}{V})}{Cr} + V - \frac{V}{Ni}}{-1 + 19.075 Mo + 6.117 Ni - \frac{4.117V}{Mo} - \frac{(C + \frac{1}{V})V}{speed} - \frac{V}{19.309}} \right) +$$

$$\left(2.845 speed + V \left(19.309 Cr - 1.234 Mo + \frac{C + \frac{1}{V}}{speed} - \frac{C + \frac{1}{V}}{speed} - \frac{4.117 Ni + \frac{C + \frac{1}{V}}{speed}}{-2.234 + 20.309 Mo + 2 Ni + V - \frac{2V}{Mo}} \right) \right)$$



genetsko programiranje

PRIMER MODELIRANJA NE PODLAGI UMETNE INTELIGENCE UPORABA UMETNIH NEVRONSKIH MREŽ



A (%) – Raztezek

$R_{p0,2}$ (N/mm²) – Meja tečenja

Z (%) – Skrčak

R_m (N/mm²) – Natezna trdnost

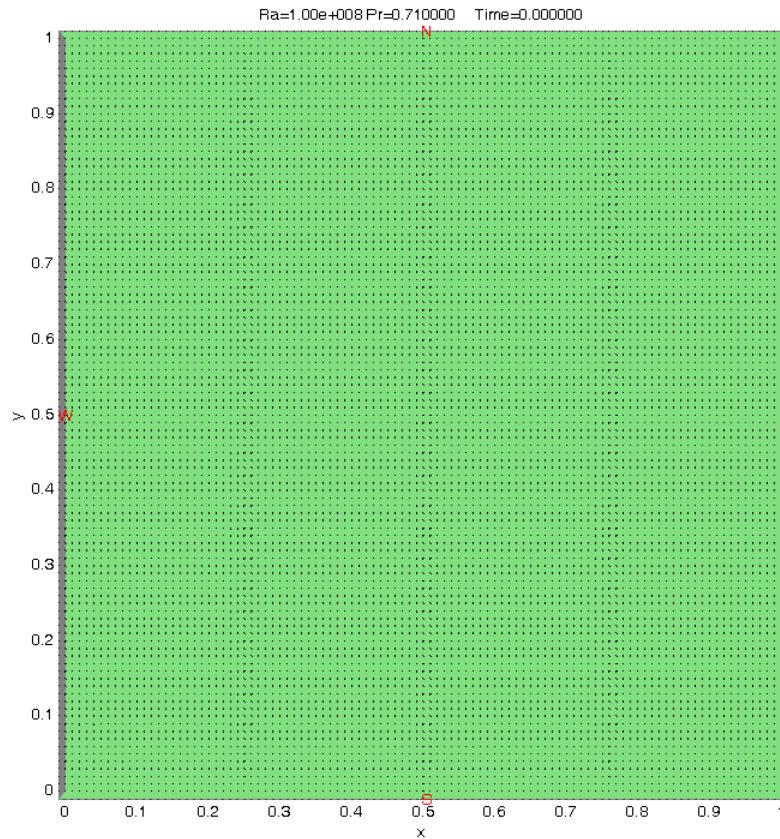
HB – Trdota po valjanju

VERIFIKACIJA: ALI PRAVILNO REŠUJEMO ENAČBE?

Sodelovanje pri mednarodnih testnih primerih

naravna konvekcija

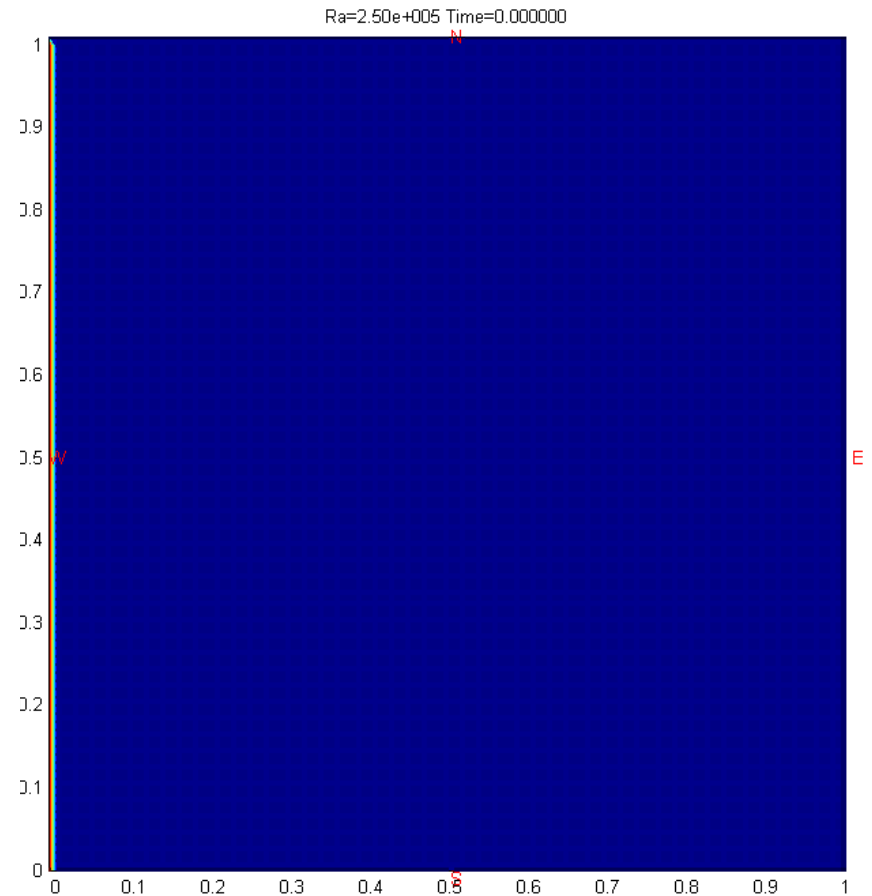
$Ra = 10^{**8}$, $Pr = 0.71$



De Vahl Davis test

taljenje

$Ra = 10^{**5}$, $Pr = 0.02$, $Ste = 0.01$

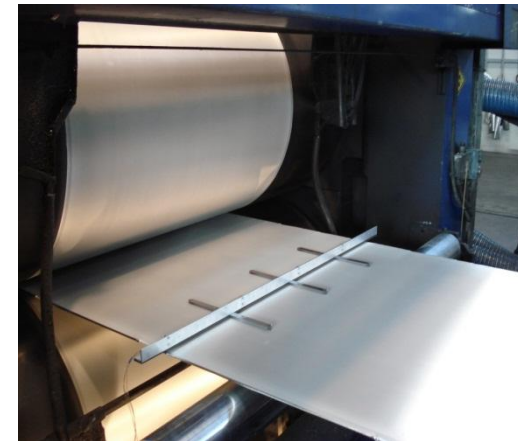


Gobin - Le Quéré test

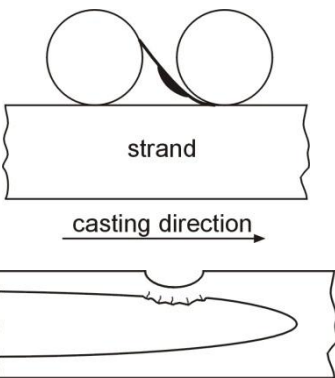
VALIDACIJA: ALI SO ENAČBE, KI JIH REŠUJEMO, PRAVILNE?



kontinuirno ulivanje aluminija
potapljanje termočlenov
zalivanje s cinkom

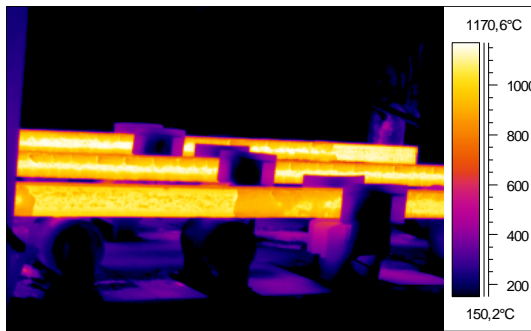


trakovno ulivanje
stično merjenje temperature površine



metoda z vtisom

kontinuirno ulivanje jekla
meritve strjenosti



infrardeča termografija

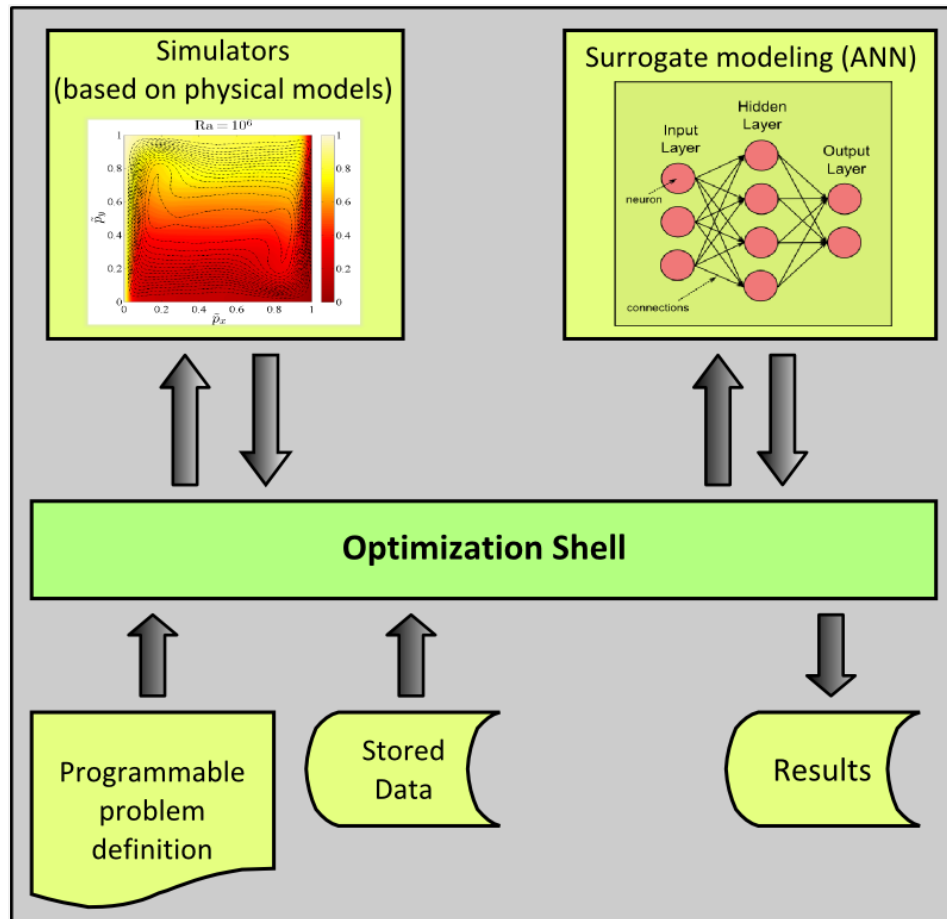


valjanje jekla
infrardeča termografija



Polna ločljivost InSb
detektorja: 640 x 512 točk.
Hitrost zajema podatkov do
125 Hz pri polni ločljivosti.

OPTIMIZACIJSKO OKOLJE

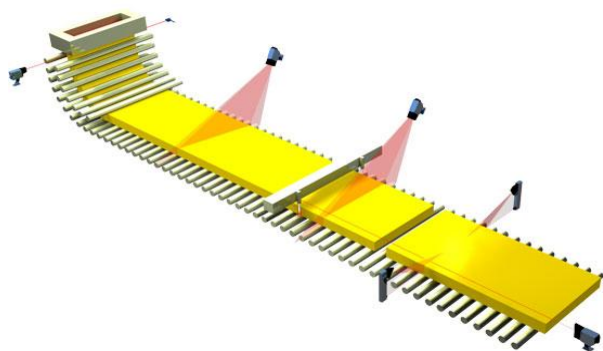


Kakšna je karakteristika izdelka pri danih procesnih parametrih?

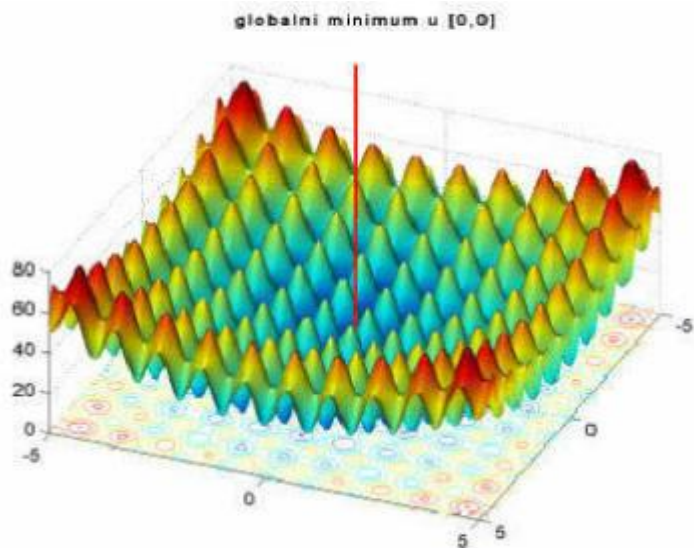
Kakšni so optimalni procesni parametri za željeno kvaliteto?

Kakšne procesne parametre moramo uporabiti za željeno karakteristiko izdelka?

OPTIMIZACIJA

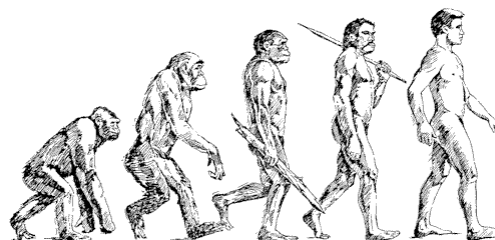


Shema ohlajanja, omejitve procesa

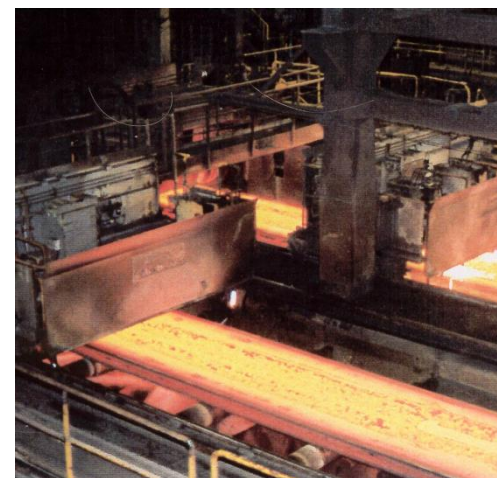


Matematični zapis (iz fiz modela ali modela umetne inteligence) za količino, katere optimum (minimum) iščemo glede na procesne parametre. Kombinacija kvalitete, učinkovitosti, varnosti in porabe vode.

evolucijsko računanje

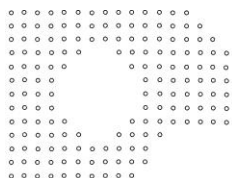


Iskanje optimalne količine na podlagi iskanja najboljšega v dani populaciji

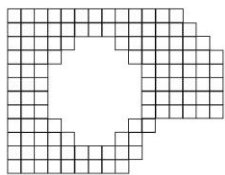


Optimizacija ulivanja jekla tako, da se uliva najhitreje možno brez napak, varnostnih problemov, pretirane obrabe, pretirane porabe vode

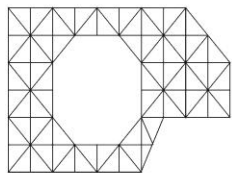
INOVATIVNI NUMERIČNI POSTOPKI



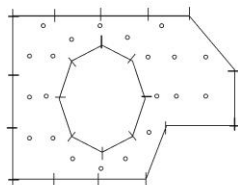
(a) FDM



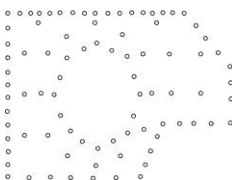
(b) FVM



(c) FEM and BDIM



(d) DRBEM



(e) MSM

Inovativna brez mrežna tehnologija računanja

$$C_i^{(1)}(t + dt) = C_i(t) + dt \omega_i$$

$$C_i^{(2)}\left(t + \frac{dt}{2}\right) = C_i(t) + \frac{dt}{2} \omega_i$$

$$C_i^{(2)}\left(t + \frac{dt}{2} + \frac{dt}{2}\right) = C_i^{(2)}\left(t + \frac{dt}{2}\right) + \frac{dt}{2} \omega_{i_{NEW}}$$

$$|C_i^{(1)} - C_i^{(2)}| = \varepsilon$$

$$dt_{NEW} = \begin{cases} dt; & \text{if } \varepsilon_{MIN} < \varepsilon < \varepsilon_{MAX}, \\ \frac{dt}{2}; & \text{if } \varepsilon > \varepsilon_{MAX}, \\ 2dt; & \text{if } \varepsilon < \varepsilon_{MIN}. \end{cases}$$

Inovativna adaptivna tehnologija čas + diskretizacija

Cca. 30 člankov v mednarodnih revijah najvišjega ranga

RAZVOJ NANOKOMPOZITNIH MATERIALOV

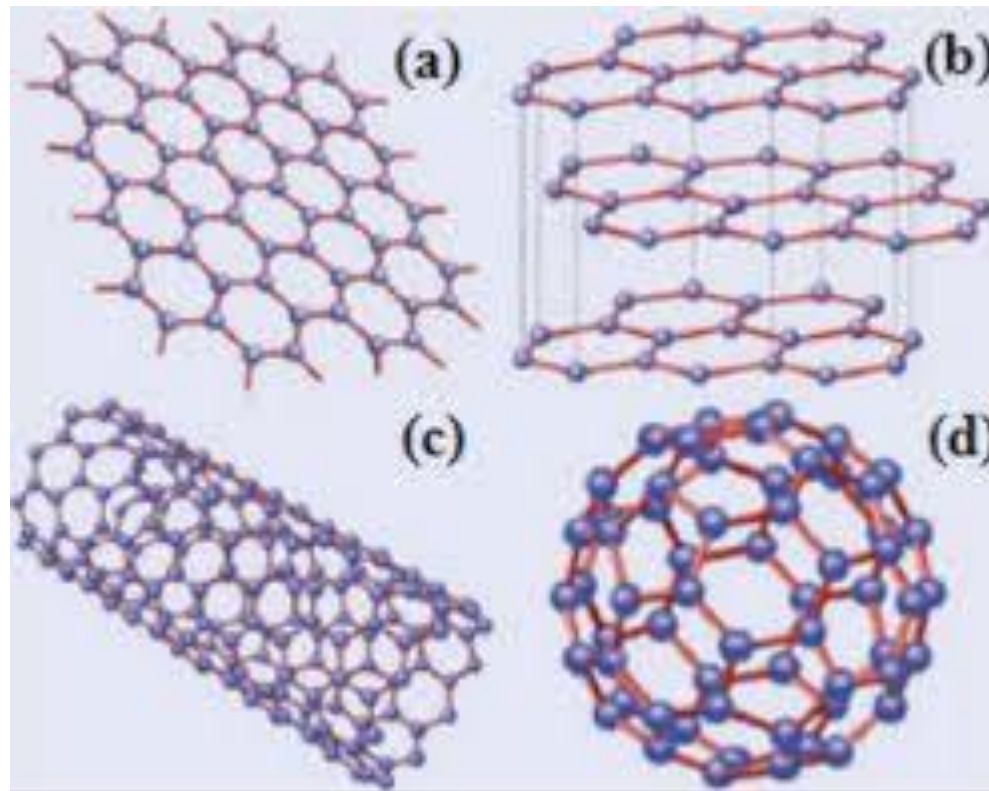
Vpeljava nanokompozitnih materialov v aluminijsko, jeklarsko in industrijo plovil.

Povečanje obdelovalnosti aluminijeve zlitine AA 6262 A
(vpeljava fulerenov)

Povečanje trdnosti aluminijeve zlitine AA 6182
(vpeljava ogljikovih nanocevk)

Povečanje števila ciklov pred odpovedjo vzmetnega jekla 51CrMoV4
(vpeljava TiC, ZrC, MoC, Al₂O₃ nanodelcev)

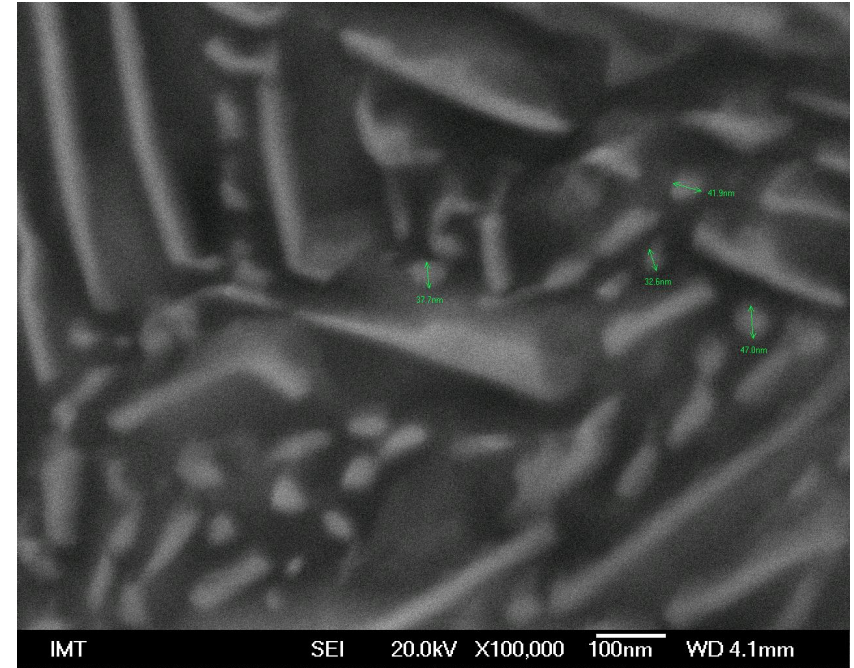
RAZVOJ NANOKOMPOZITNIH MATERIALOV



PRIMER RAZVOJA NOVIH JEKEL



Uliti in valjani vzorci



SEM posnetek mikrostrukture vzmetnega jekla legiranega s TiC nanodelci, lamela 1, povečava 10.000 x

Analiza enakomerne porazdelitve delcev, natezne trdnosti, obdelovalnosti, lomne žilavosti, ...

PRIMER RAZVOJA NOVIH MATERIALOV ZA PLOVILA

Epoksi smole:

25.05.12

Zwick / Roell

Test implementirane epoksidne smole

Leading : Test implementirane epoksidne smole
 Začetna E: 15 N
 Hitrost p: 0,008 1/s

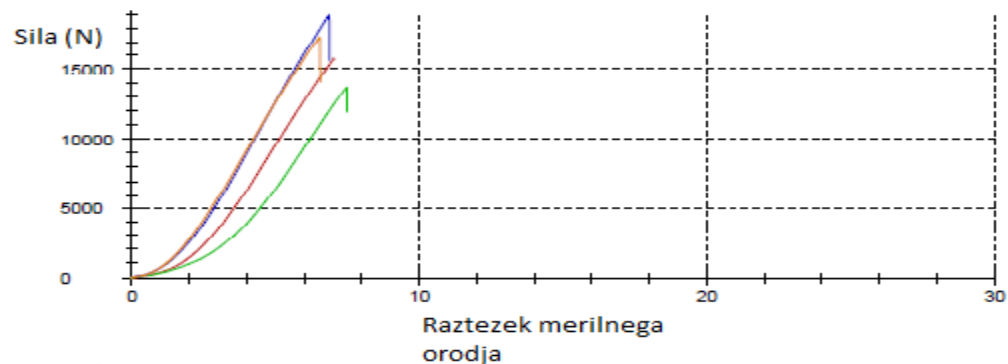
D= debelina vzorca
 V= širina vzorca

Test results:

Legenda	Št.	Sila (N)		Uporabljeni material za izdelavo vzorca	D	V
		σ_M	N			
 	1	15762,98	15762,98	Fulereni + Aerosil	3,0	5
 	2	13660,63	13660,63	Klasičen kompozit brez dodatkov	2,98	5
 	3	18978,23	18978,23	Ogljikove nanocevkve + Aeorsil	3,0	5
 	4	17410,77	17410,77	Ogljikove nanocevkve + Fulereni + Aerosil	2,9	4

(cm) (mm)

Series graph:



Statistika:

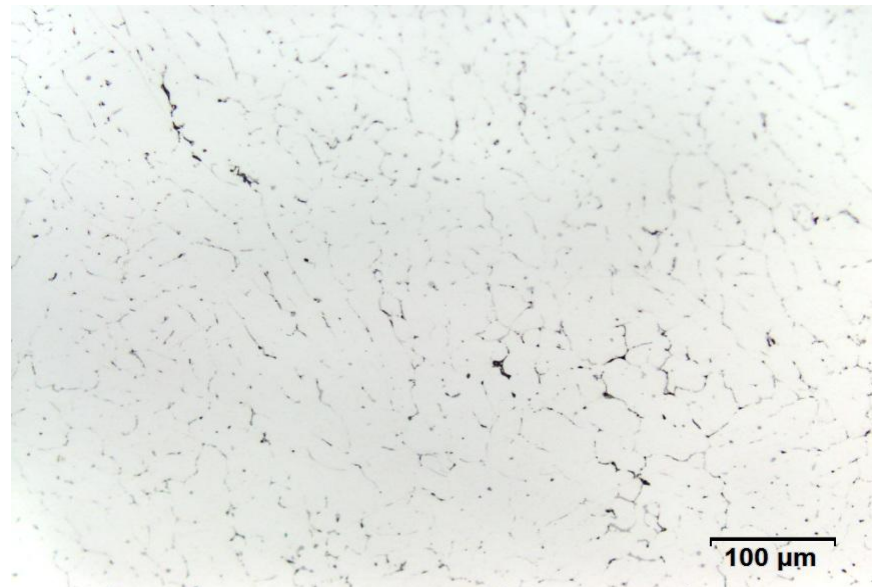
Serija	σ_M	N
n=4		
\bar{x}	16453,16	
s	2277,98	
V	13,85	

(Diplomsko delo Johannes Vuga Gregorič,

UNG, 2012) Izboljšanje natezne trdnosti do 40%



PRIMER RAZVOJA NOVIH ALUMINIJEVIH ZLITIN



Analiza porazdelitve nanodelcev, ...

NEKATERI UČINKI

Optimizacija procesiranja 1300 različnih kvalitet jekel, vgrajenih v okoli 16000 različnih polizdelkov

Mercedes, Daimler, Bentley, BMW, Volvo, Volkswagen, Renault, Scania, DAF, Iveco, MAN

300 % zvišanje produktivnosti toplotne obdelave jeklenih gredic

Uporaba genetskega programiranja.

10 % zmanjšanje plačil za zemeljski plin

Uporaba genetskega programiranja pri predvidevanju porabe plina.

Optimizacija kontinuirnega ulivanja gredic - ulivanje brez izmeta

Kombinacija fizikalnega modeliranja in evolucijskega računanja.

Vsak tretji tovornjak narejen v Evropi ima vzmeti iz Štore-Steel!

Puhovo priznanje
EMERALD Award
Zlati znak Jožefa Stefana
ECCOMAS Award (2x)



ZAKLJUČKI

Integracija znanja univerze, inštitutov, CO in industrijskih raziskovalnih skupin

Sistematična izgradnja predkonkurenčnega znanja z velikimi možnostmi uporabe

Uravnoteženost med reševanjem problemov in globalno inovacijo

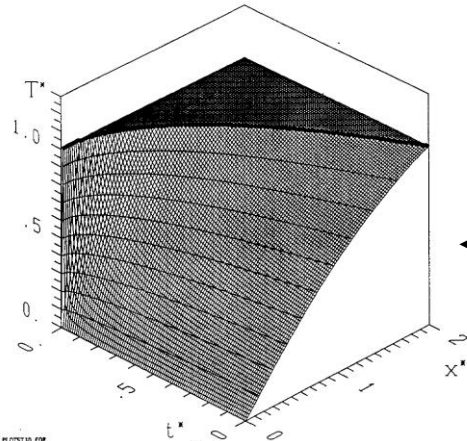
Odgovornost za zagotavljanje in kreiranje novih delovnih mest na področju boljših materialov in izboljšanih procesov (npr. 10.000 delovnih mest v aluminijski in jeklarski industriji)

Partnerstvo pri razvoju novih izdelkov in proizvodnih postopkov

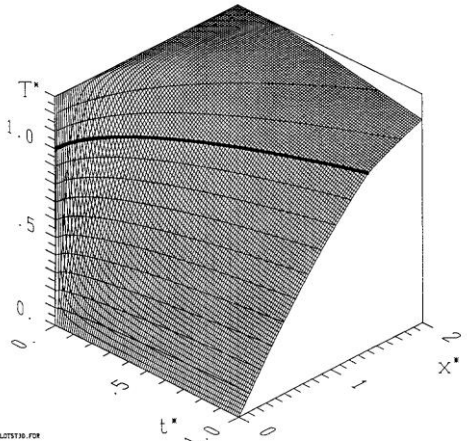
TRADICIJA

znanstvena odličnost

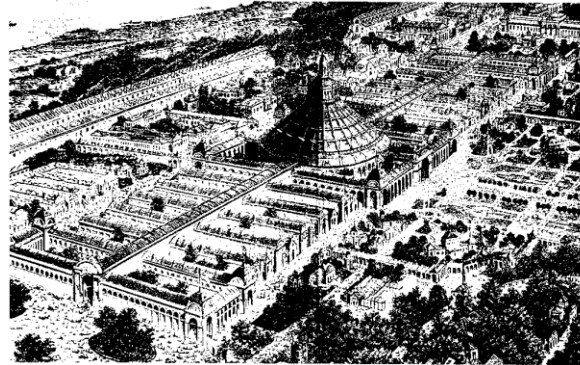
ONE PHASE STEFAN PROBLEM



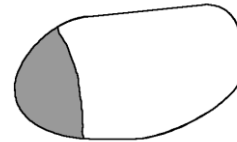
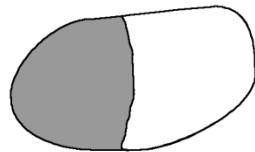
TWO PHASE STEFAN PROBLEM



Jožef Stefan predstavi prvo matematično obravnavo taljenja in strjevanja



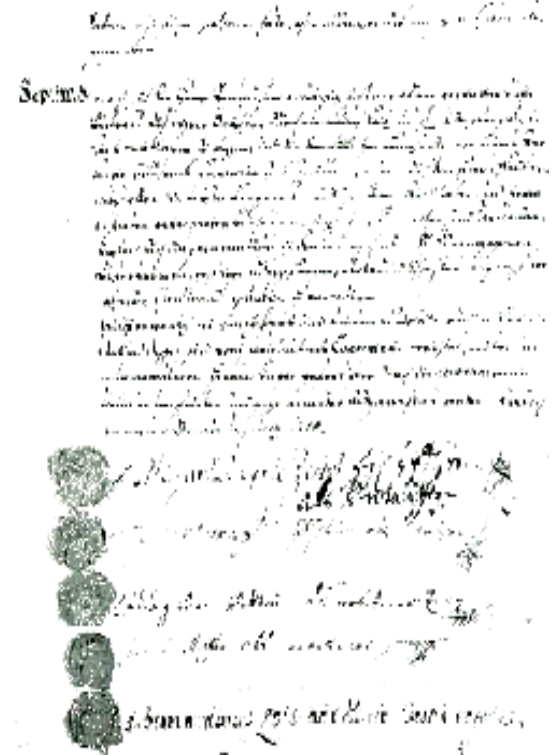
Rotunda Svetovne Razstave, Dunaj



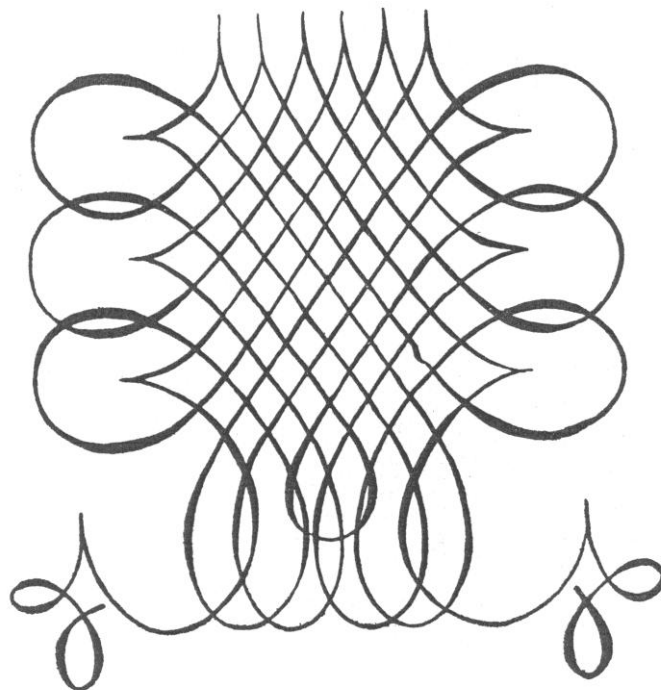
Stefanovi problemi

1883

tehnološka odličnost



Kranjska industrijska družba prejme certifikat za izum feromangana



COBIK
Centre of Excellence for Biosensors,
Instrumentation and Process Control



9. NANOTEHNOLOŠKI DAN
27. 11. 2012

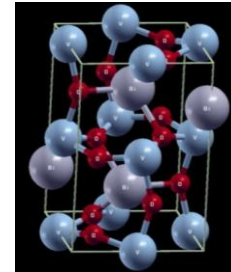
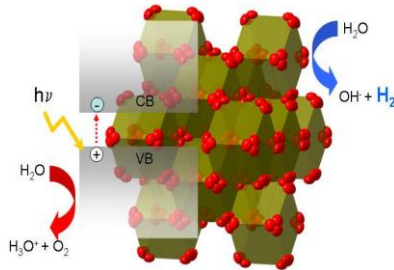


 *Investing in your future*
OPERATION PART FINANCED BY THE EUROPEAN UNION
European Regional Development Fund

POVEZAVE Z LABORATORIJEM ZA RAZISKAVE MATERIALOV UNIVERZA V NOVI GORICI

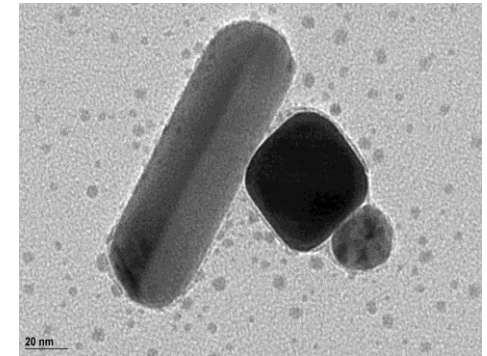
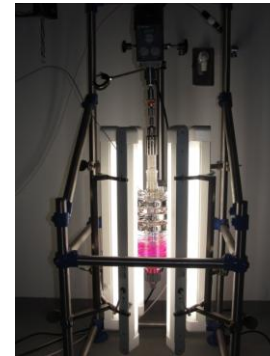
Funkcionalni materiali

Okoljski in energetske materiali



Nekateri industrijski projekti :

- Novi materiali za geotermalne aplikacije
- Izolatorski materiali iz recikliranih tekstilij
- SiC prevleke
- Modeliranje novih magnetoelektrikov



Kontakt: prof.dr. Matjaž Valant, matjaz.valant@ung.si



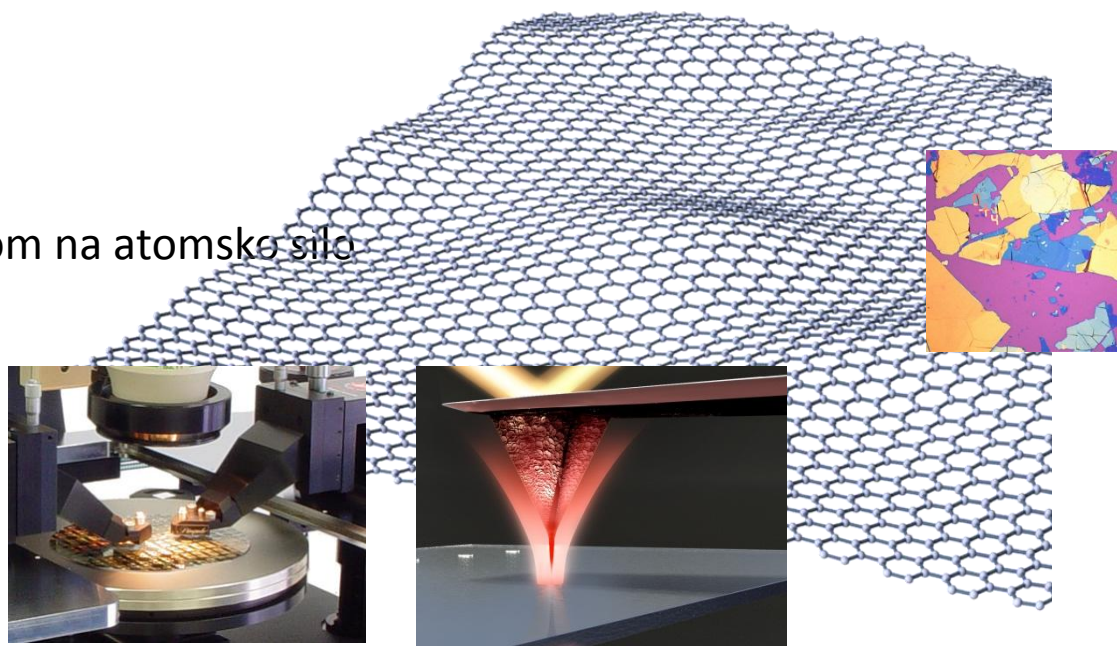
POVEZAVE Z LABORATORIJEM ZA FIZIKO ORGANSKE SNOVI UNIVERZA V NOVI GORICI

Priprava tankih slojev

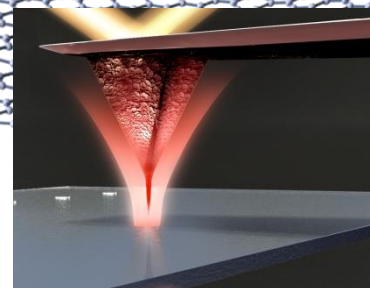
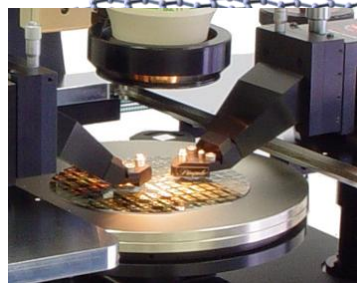


Meritve električne prevodnosti tankih slojev kovin in polprevodnikov

Karakterizacija površin z mikroskopom na atomsko silo



Raziskave grafena



Kontakt: prof.dr. Gvido Bratina, gvido.bratina@ung.si

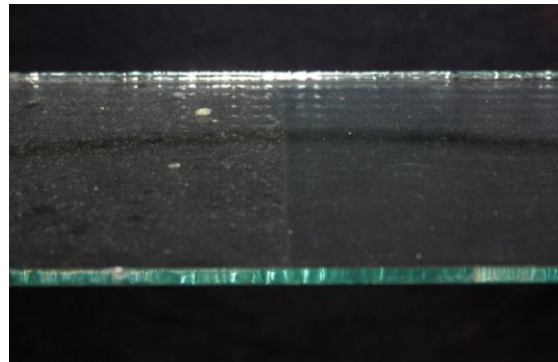
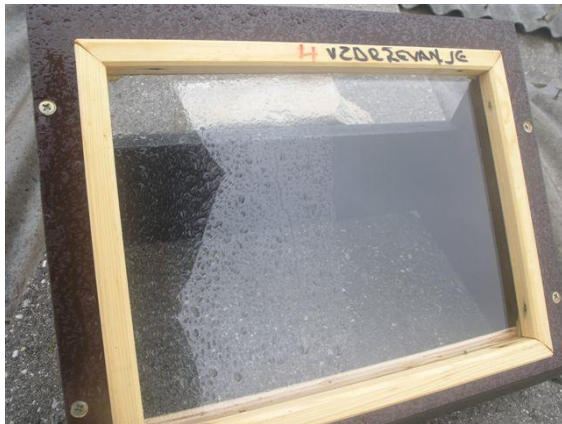
POVEZAVE Z LABORATORIJEM ZA RAZISKAVE V OKOLJU UNIVERZA V NOVI GORICI



Razvoj novih materialov za uporabo v okolju prijaznih tehnologijah

Priprava fotokatalizatorjev v obliki tankih plasti in prahov

Ovrednotenje uspešnosti čiščenja z modernimi analitskimi metodami ter *in-situ* meritvami



Kontakt: prof.dr. Urška Lavrenčič Štangar, urska.lavrencic@ung.si