

Uporaba metodologije načrtovanja eksperimentov (DOE) v računski dinamiki tekočin (CFD) za optimizacijo zasnove plinskega gorilnika

Dr. Primož Žibret, Procesni Inženiring d.o.o.

Matej Emin, Culmium d.o.o.

Vsebina



- Culmium
- Procesni inženiring
- Zasnova LowNOx gorilnika
- Optimizacija z DOE
- Zaključek

Kdo smo



- Ekipa fizikov in strokovnjakov z dolgoletnimi izkušnjami v industriji in akademskem okolju.
- Združili smo moči za nove izzive in širitev.
- Naše storitve ponujamo industrijskim in akademskim strankam.

Kaj počnemo

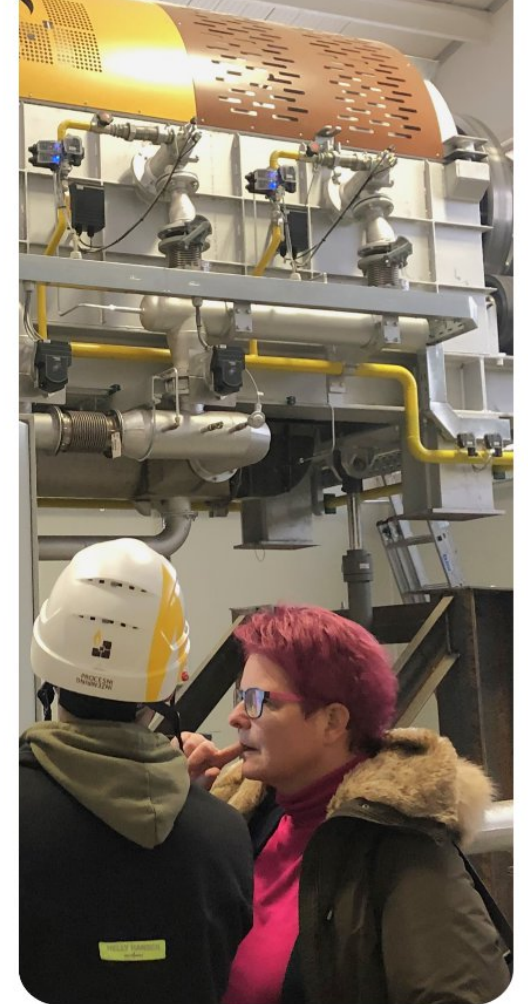


- Industrijska in raziskovalna analiza podatkov
- Rentgenska mikrotomografija
- Prilagojene industrijske raziskave in razvoj
- Analiza slik

Kdo smo



- Družinsko podjetje
- 30+ let izkušenj na področju termičnih procesov
- Specialisti za kompleksne in energijsko intenzivne rešitve
- Osredotočeni na energijsko učinkovite rešitve



Kaj počnemo

- Čiščenje odpadnih plinov (termična oksidacija)
- Industrijsko sušenje
- Industrijsko čiščenje materiala
- Peči



Kaj počnemo

- Čiščenje odpadnih plinov (termična oksidacija)
- Industrijsko sušenje
- Industrijsko čiščenje materiala
- Peči

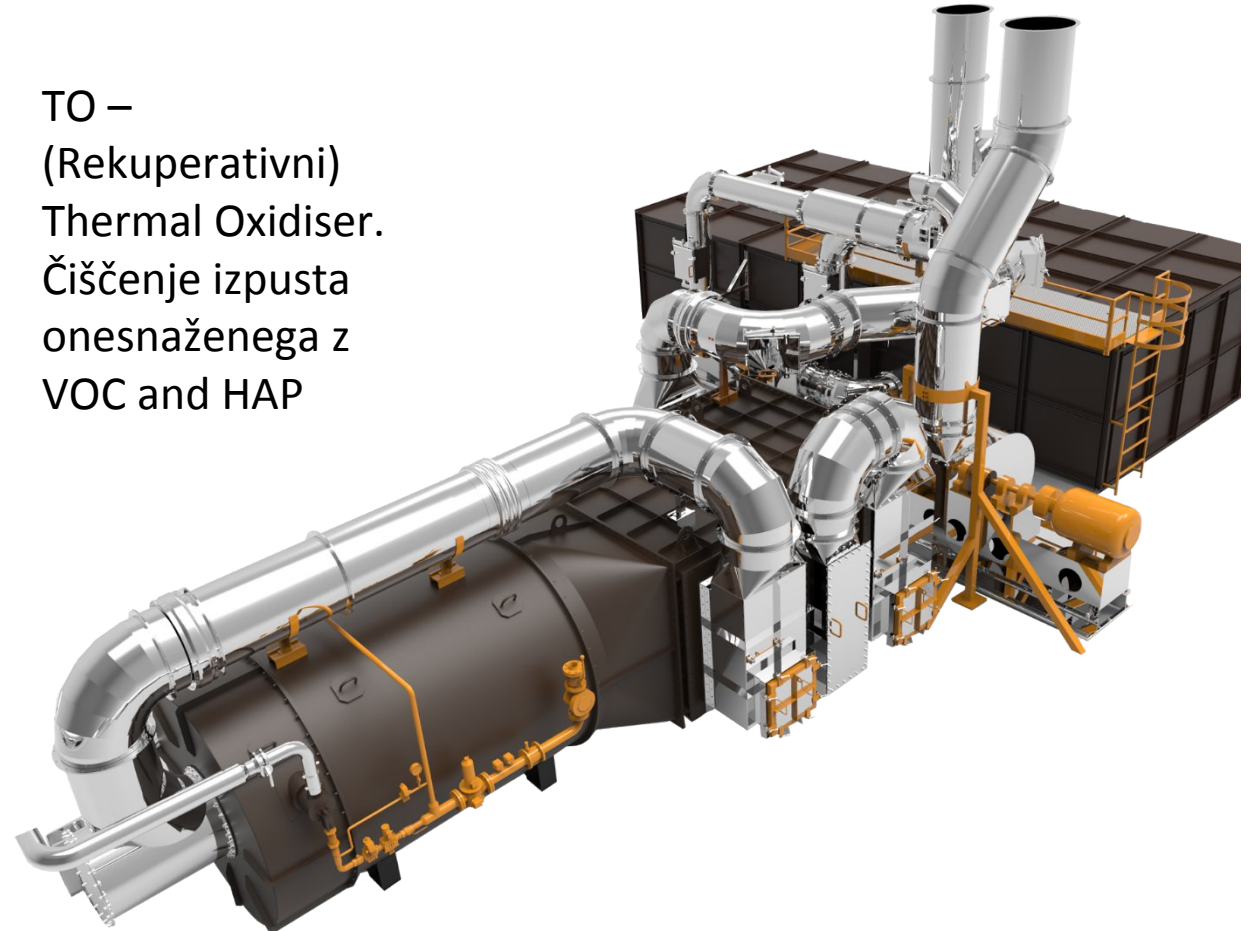


RTO – Regenerative Thermal Oxidiser.
Čiščenje izpusta v farmaciji.

Kaj počnemo

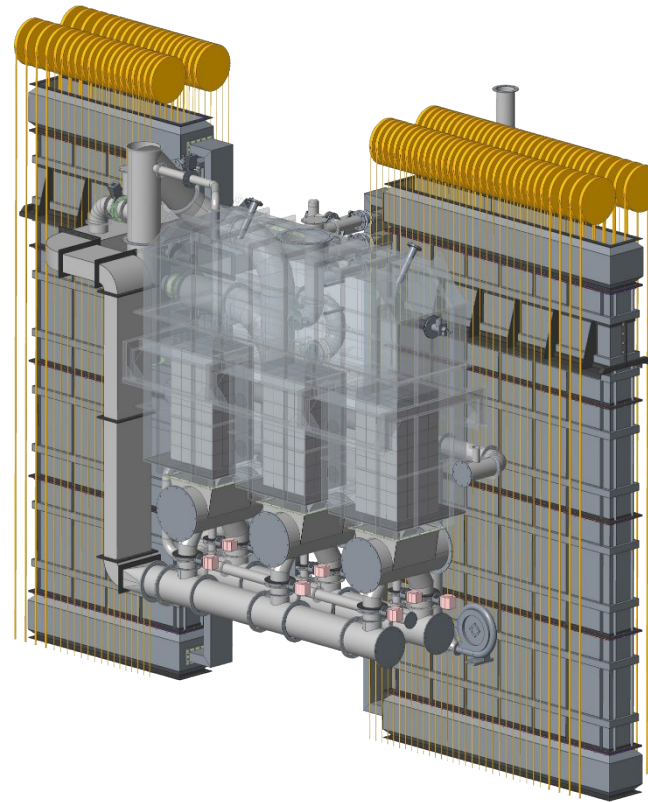
- Čiščenje odpadnih plinov (termična oksidacija)
- Industrijsko sušenje
- Industrijsko čiščenje materiala
- Peči

TO –
(Rekuperativni)
Thermal Oxidiser.
Čiščenje izpusta
onesnaženega z
VOC and HAP

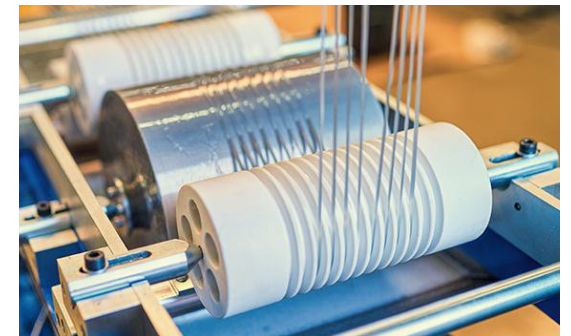


Kaj počnemo

- Čiščenje odpadnih plinov (termična oksidacija)
- Industrijsko sušenje
- Industrijsko čiščenje materiala
- Peči



Vertikalna
sušilnica za
silikonsko
inzulacijo žice

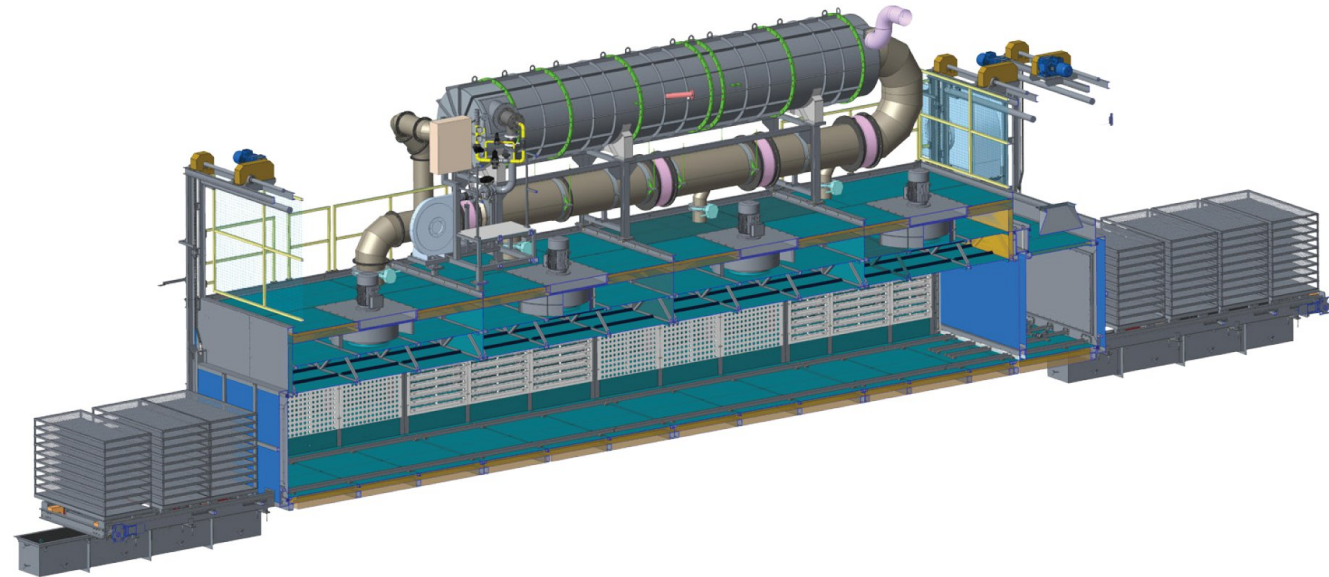


Kaj počnemo

- Čiščenje odpadnih plinov (termična oksidacija)
- Industrijsko sušenje
- Industrijsko čiščenje materiala
- Peči



Sušilnica z odsesom in oksidacijo
VOC z recikliranjem energije.

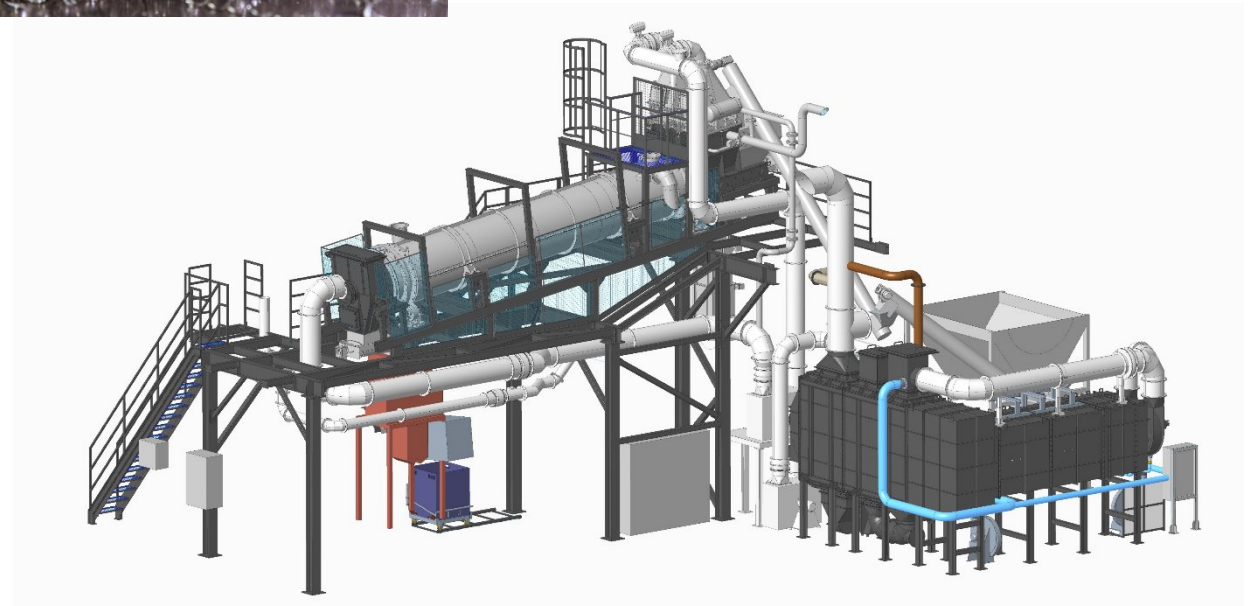


Kaj počnemo

- Čiščenje odpadnih plinov (termična oksidacija)
- Industrijsko sušenje
- Industrijsko čiščenje materiala
- Peči



Odstranjevanje nečistoč iz surovin z uporabo termične oksidacije, s sistemom za rekuperacijo toplote



Kaj počnemo

- Čiščenje odpadnih plinov (termična oksidacija)
- Industrijsko sušenje
- Industrijsko čiščenje materiala
- Peči



Peč za kaljenje/popuščanje
jeklenega granulata



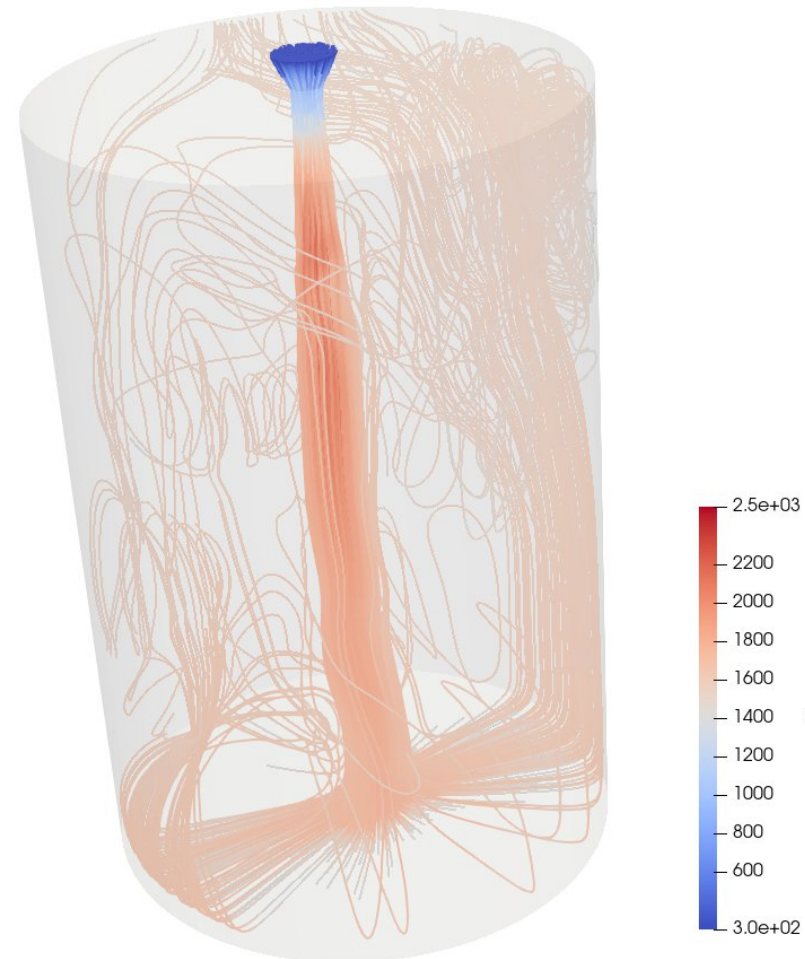
HPC aplikacija: dinamika tekočin



- Gorilniški sistemi
- Oksidacijska komora
- LowNOx zgorevanje
- Mešanje granulata

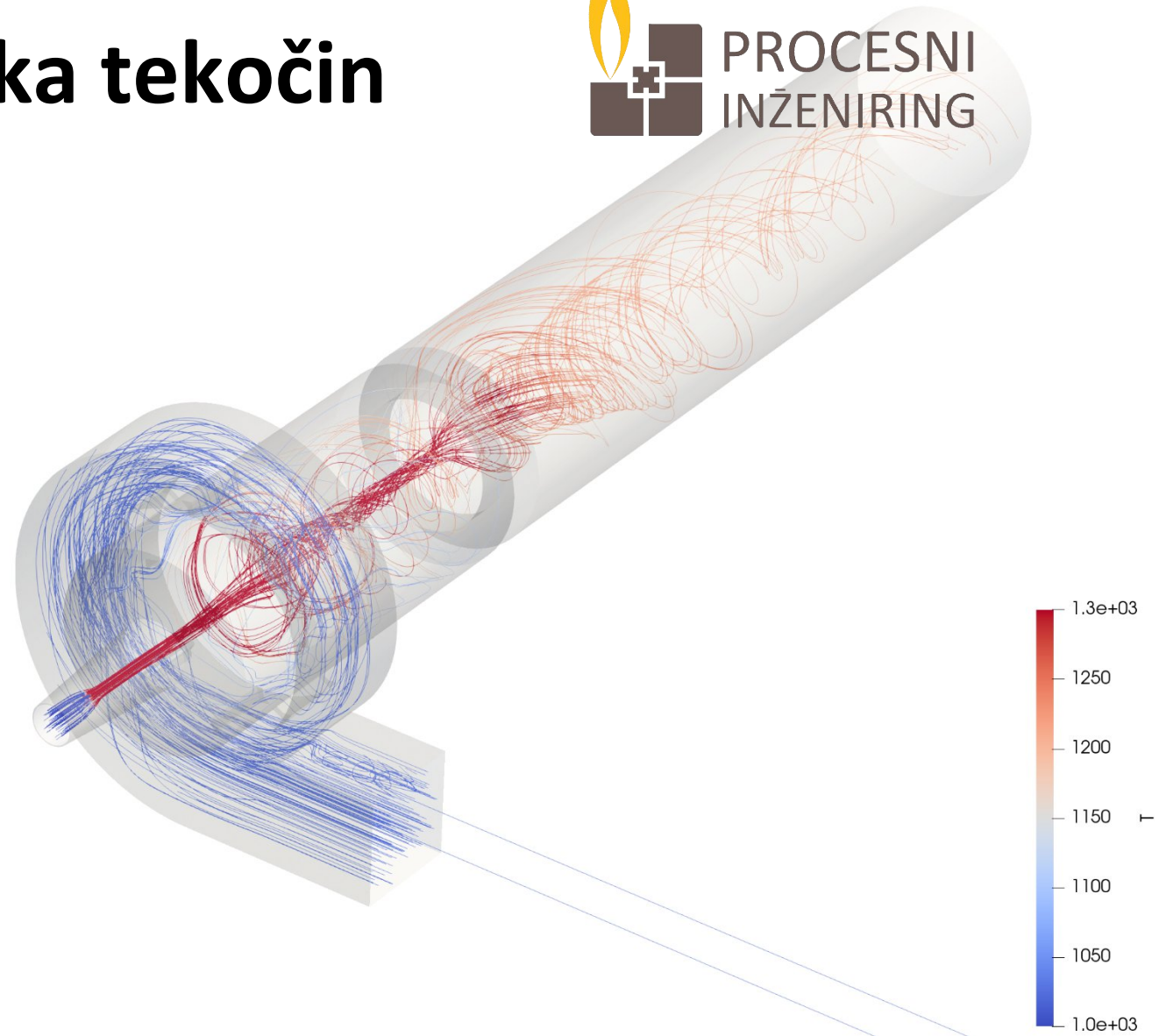
HPC aplikacija: dinamika tekočin

- Gorilniški sistemi
- Oksidacijska komora
- LowNOx zgorevanje
- Mešanje granulata



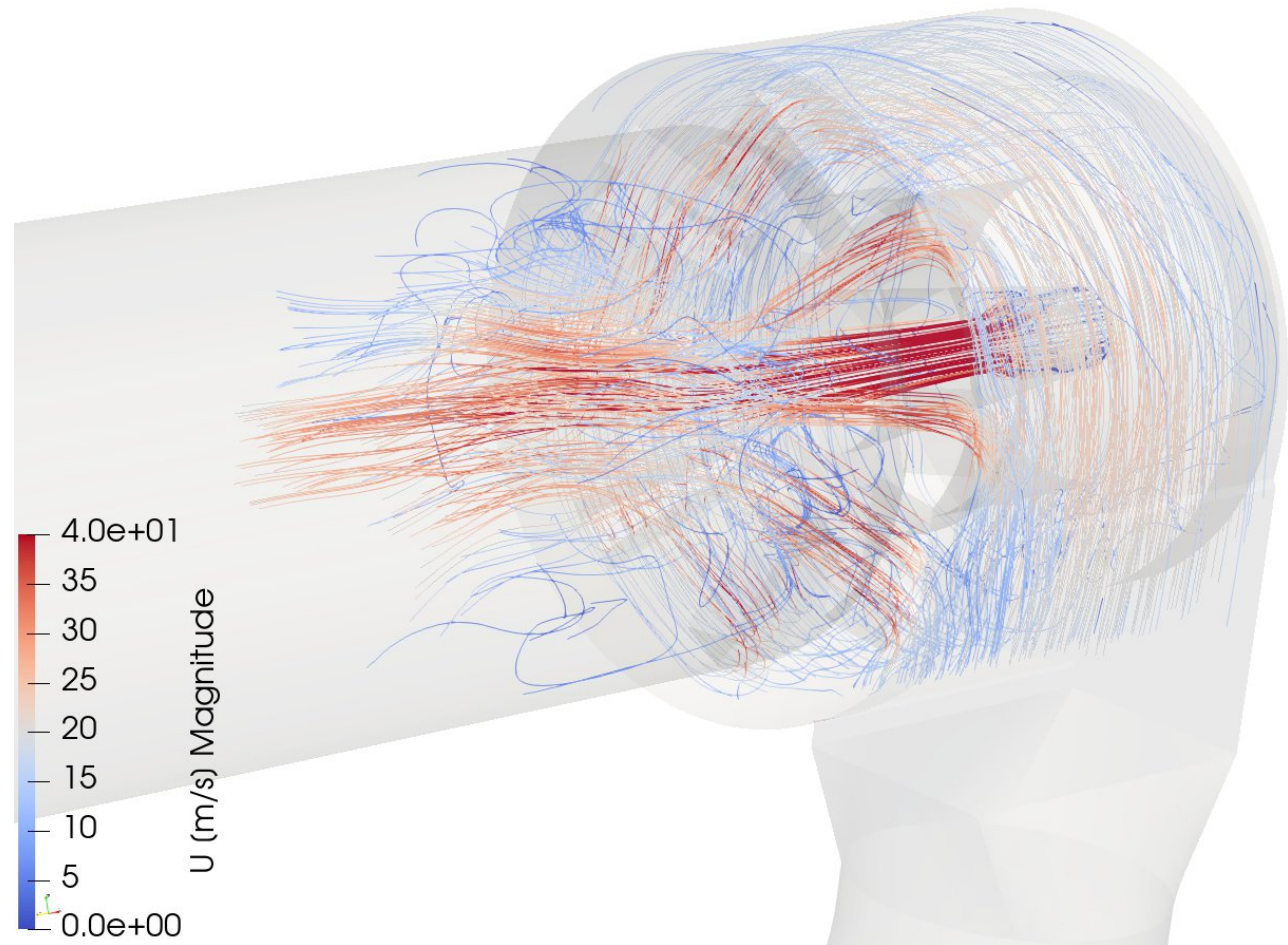
HPC aplikacija: dinamika tekočin

- Gorilniški sistemi
- Oksidacijska komora
- LowNO_x zgorevanje
- Mešanje granulata



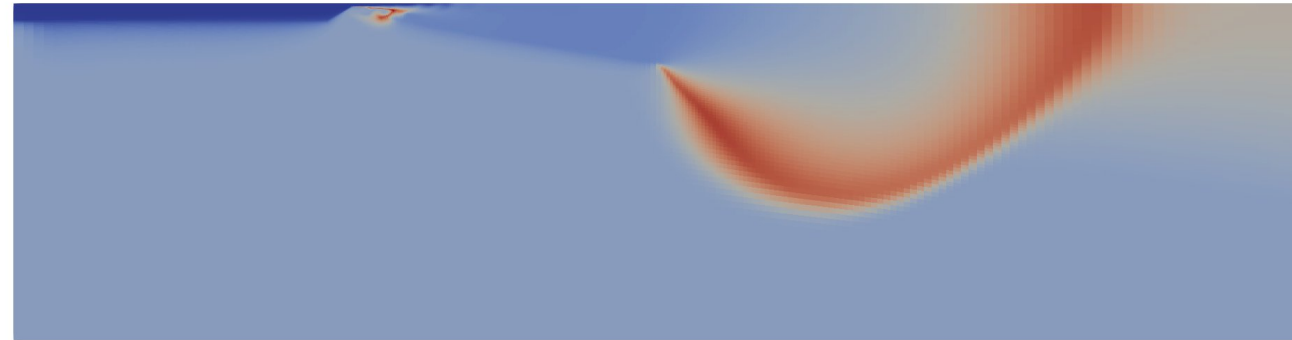
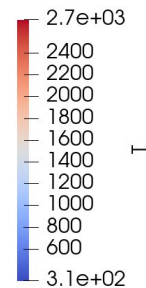
HPC aplikacija: dinamika tekočin

- Gorilniški sistemi
- Oksidacijska komora
- LowNOx zgorevanje
- Mešanje granulata



HPC aplikacija: dinamika tekočin

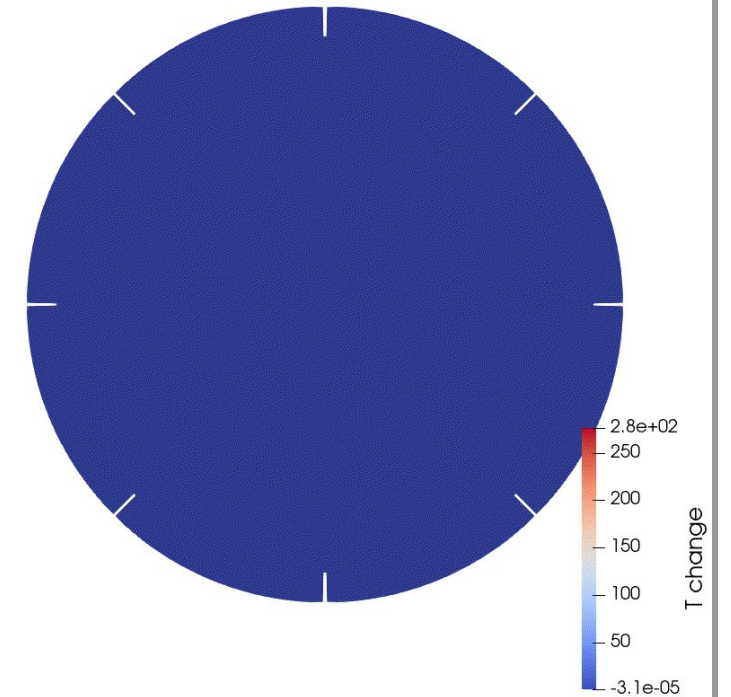
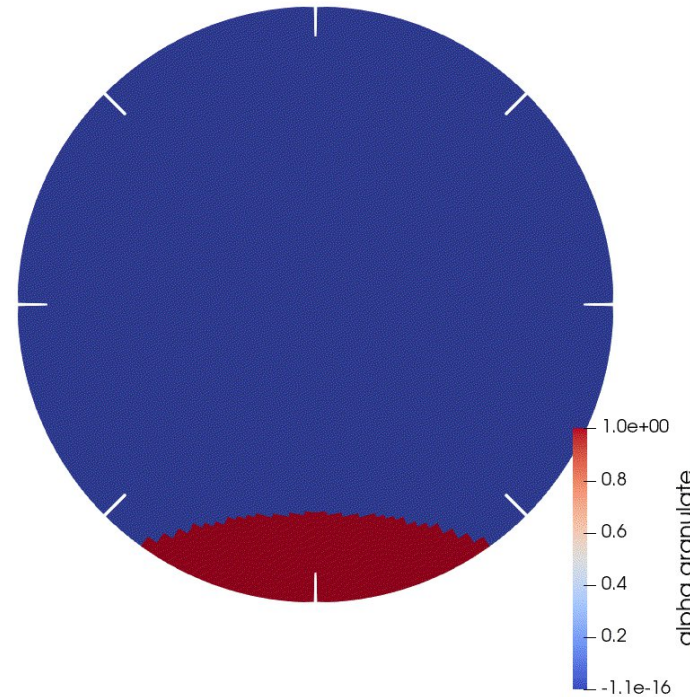
- Gorilniški sistemi
- Oksidacijska komora
- LowNOx zgorevanje
- Mešanje granulata



HPC aplikacija: dinamika tekočin

- Gorilniški sistemi
- Oksidacijska komora
- LowNOx zgorevanje
- Mešanje granulata

Time: 0.00

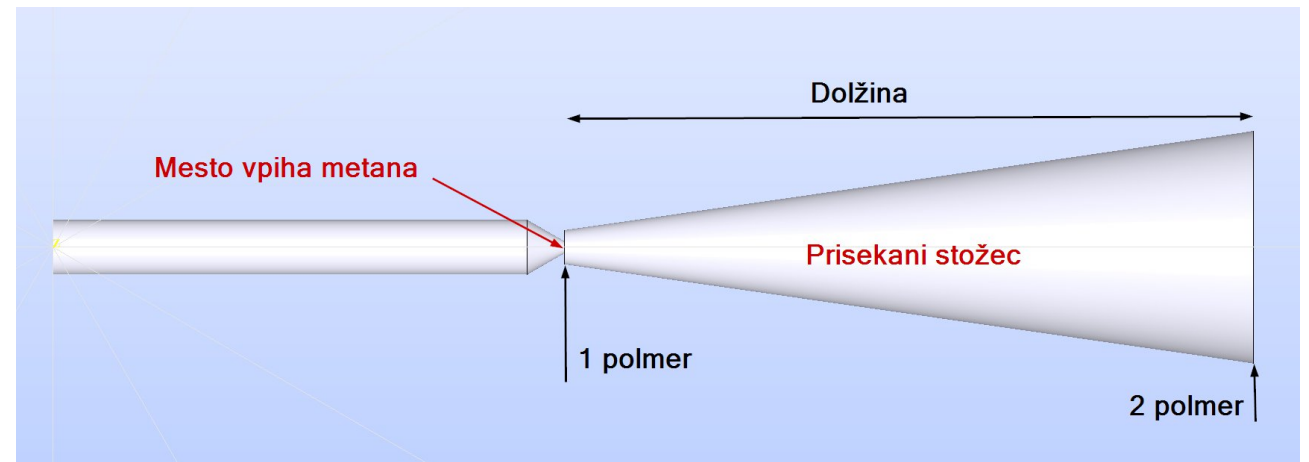


Zasnova LowNOx plinskega gorilnika

- Cilj zasnovati gorilnik, ki bo pri delovanju zagotavljal nizke izpuste Nox.
- Dušikovi oksidi nastajajo, ko sta je mešanica kisika in dušika izpostavljena previsoki temperaturi.
- Koncept: vpih metana v vroč zrak, pri čemer s pomočjo prisekanega stožca nadzorujemo območje in hitrost zgorevanja.

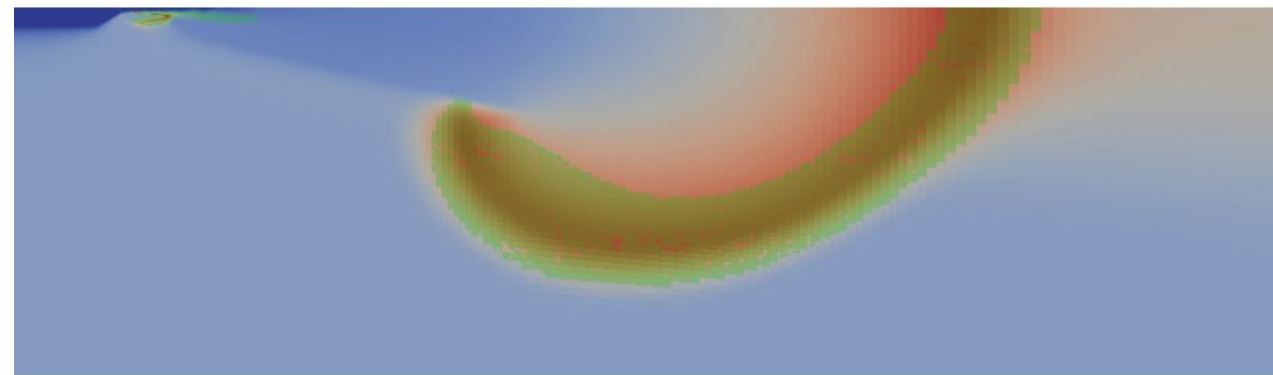
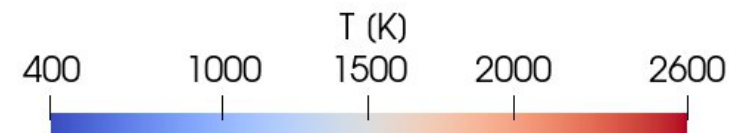
Zasnova LowNOx plinskega gorilnika

- Trije optimizirani parametri prirezanega stožca
 - Prvi polmer 0,01 m – 0,1 m
 - Drugi polmer 0,01 m – 0,1 m
 - Dolžina 0,05 m – 0,5 m



Zasnova LowNOx plinskega gorilnika

- Orodje
 - **openFoam**
 - transient solver rhoReactingFoam
 - parametri zgorevanja iz spletnih virov (potrebna validacija)
 - upoštevana osna simetrija
 - strukturirana parameterizirana mreža z 40200 volumni
- Ciljna funkcija
 - Območje kjer poteka zgorevanje
 - Povprečna temperatura znotraj območja
 - Iščemo minimum



Kako najti optimalne vrednosti?

1. Trial and error
2. One factor at a time
3. Design of experiments

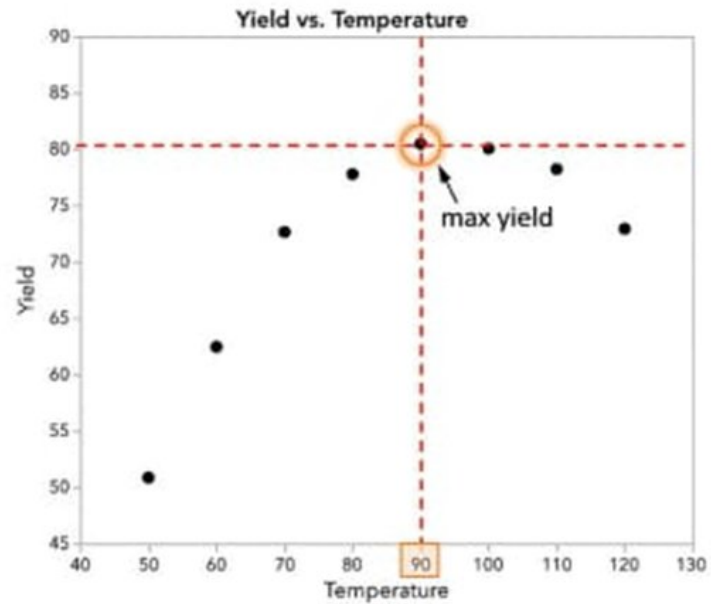
Trial and error

Trial	Temperature	Time	Yield
1	50	24	53.86
2	120	24	60.48
3	100	20	77.93
4	80	20	77.01
5	100	12	87.75
6	120	12	85.97

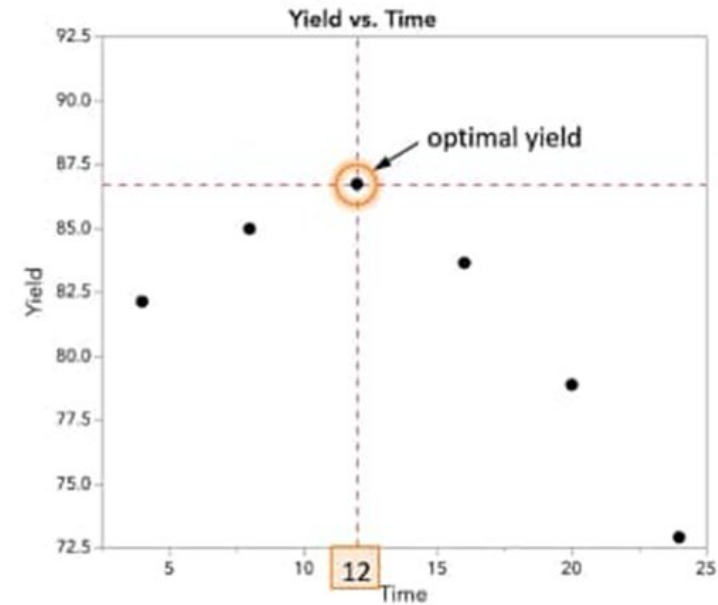
best set of values →

"OFAT – one factor at a time"

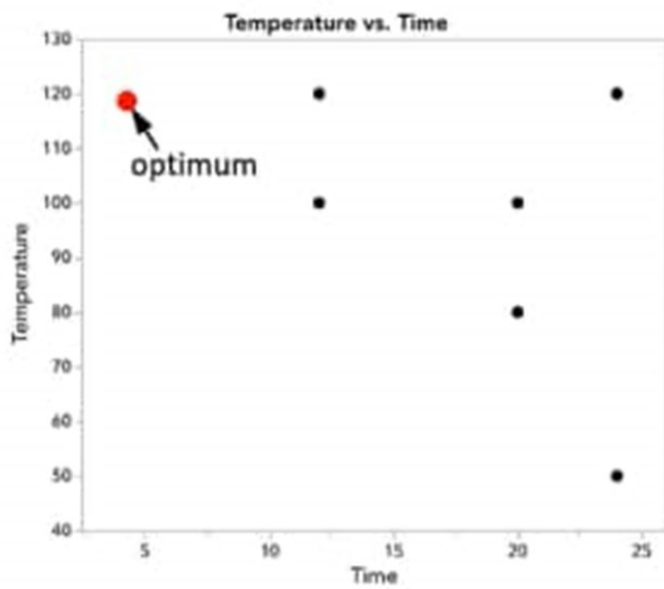
Step 1: $t = 20$ h



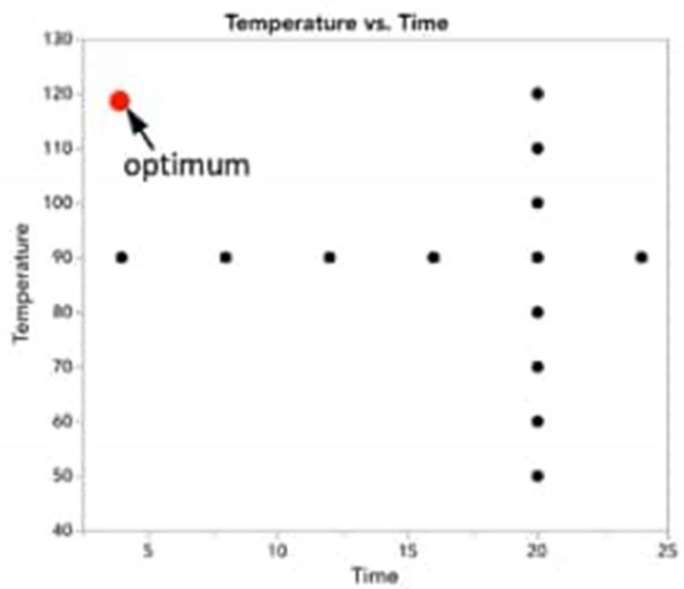
Step 2: $T = 90$ deg



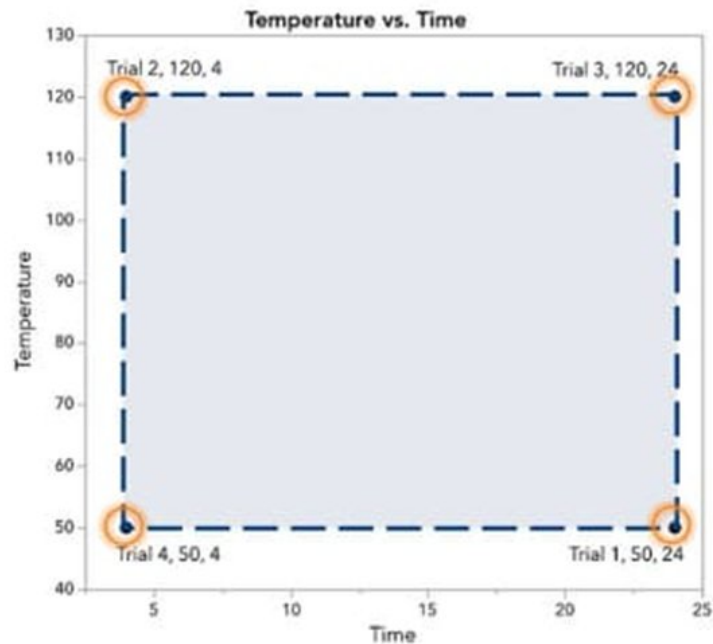
Ad Hoc (Trial and Error)



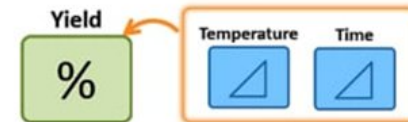
OFAT



Design of experiments

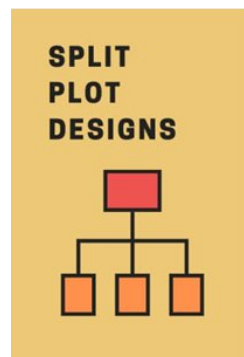
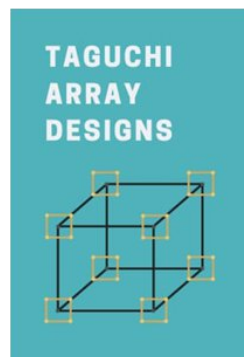
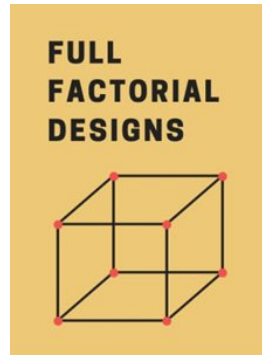


$$\widehat{Yield} = 58.45 + 16.82(\text{Temp}) - 2.5(\text{Time}) - 14.37(\text{Temp})(\text{Time})$$

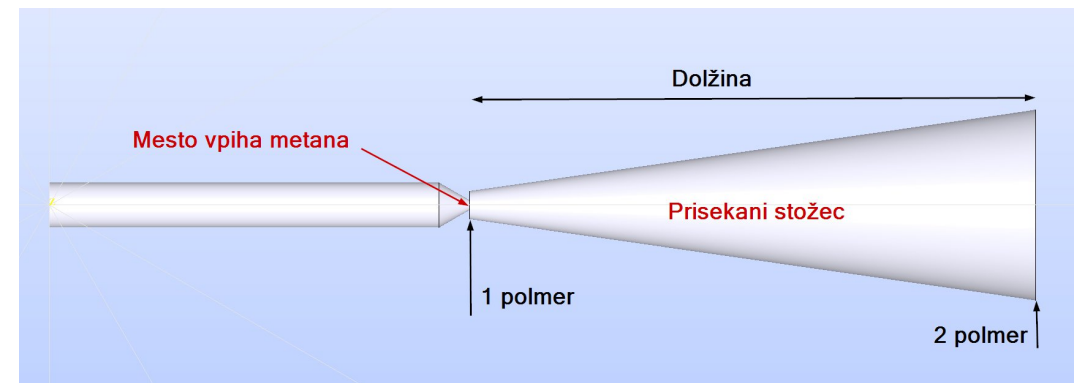


- DOE - sistematičen pristop k analizi medsebojnih vplivo parametrov in odzivov
- Zahtevano število eksperimentov je odvisno od kompleksnosti sistema.

Tipi dizajnov



- Parametri
 - r_1, r_2, l
- Odziv
 - Povprečna temperatura znotraj območja
- Cilj
 - Vrednosti iščemo minimum
- Celoten dizajn
 - $3 \times 3 \times 3 = 27$ možnih variacij
- Uporabljen dizajn
 - 16 eksperimentov



Test razširjanja dizajna

- Dve poti do modela
 - $12 + 4$
 - $12 + 1 + 1 + 1 + 1$

Potek dela

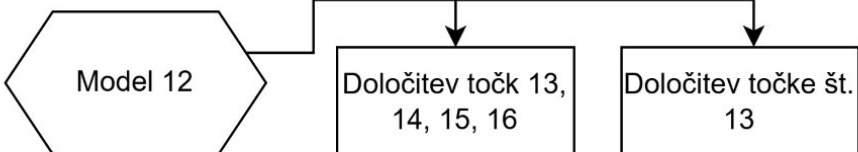
Sklop 1

Zasnova 12
simulacijskih točk

SIM

Simulacije

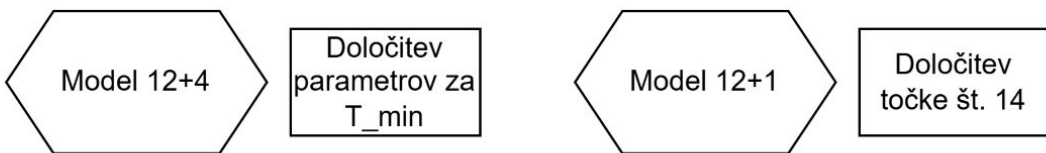
Sklop 2



SIM

Simulacije

Sklop 3



SIM

Simulacije

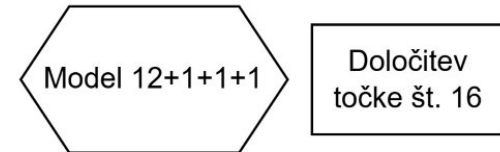
Sklop 4



SIM

Simulacije

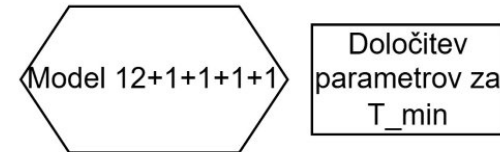
Sklop 5



SIM

Simulacije

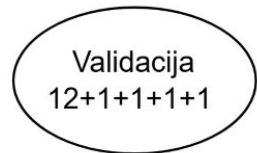
Sklop 6



SIM

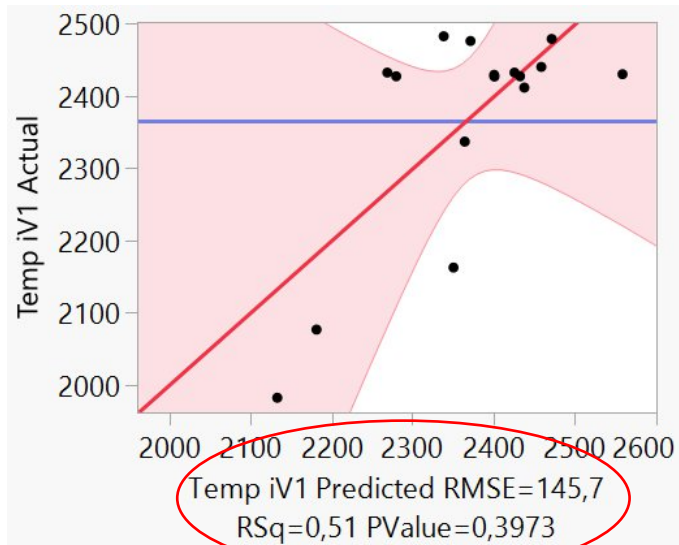
Simulacije

Sklop 7

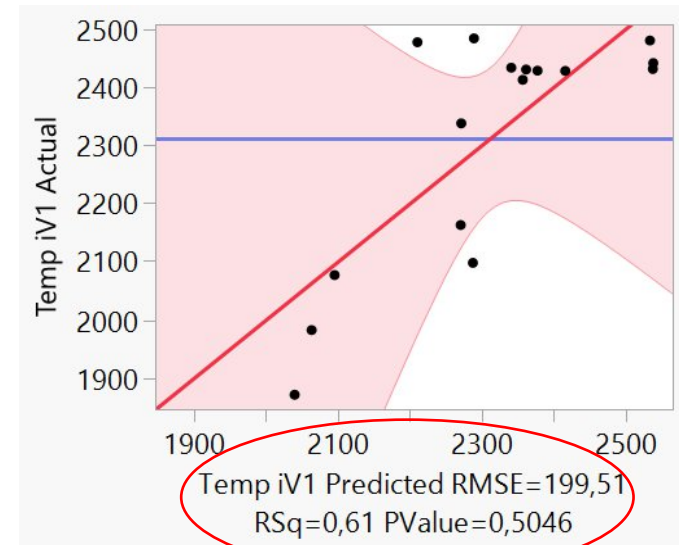


Rezultati

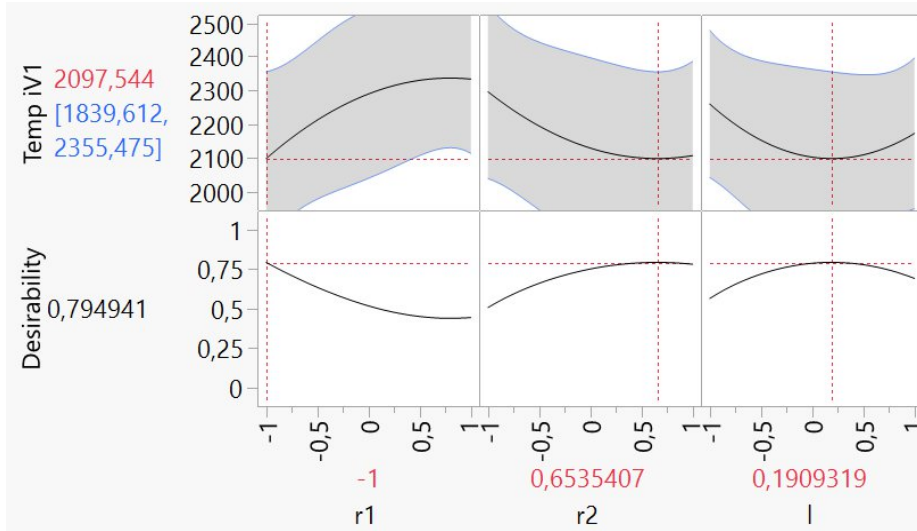
Model 12+1+1+1+1



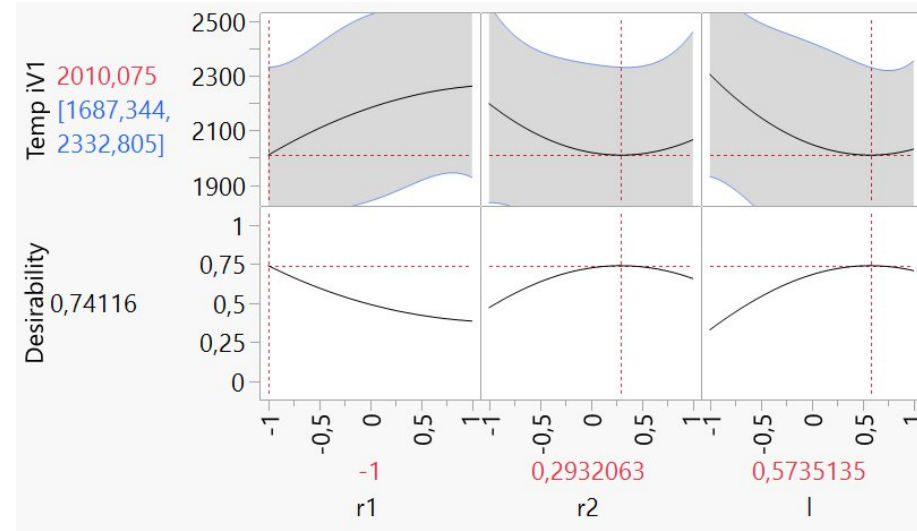
Model 12+4



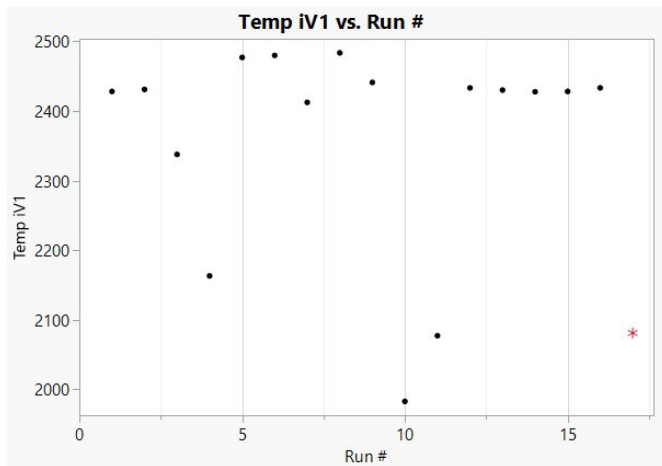
Model 12+1+1+1+1



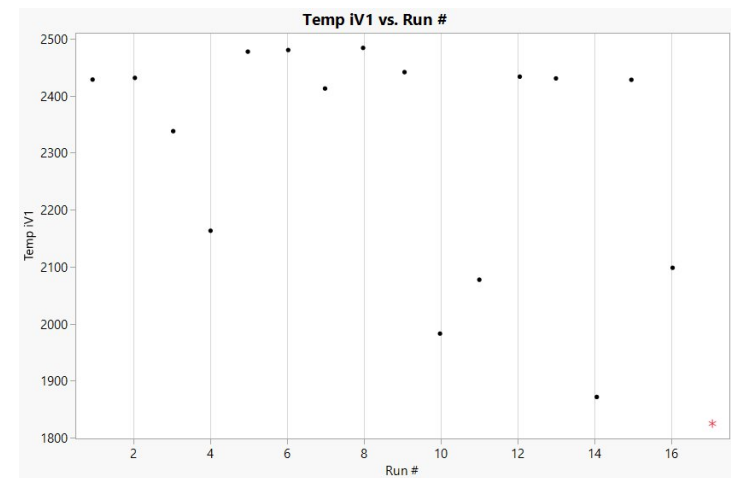
Model 12+4



T_min = 2081 K



T_min = 1825 K



Zaključki



- S pomočjo parametrizirane in avtomatizirane simulacije z obdelavo rezultatov omogočimo DOE
- Za določitev dobrega modela potrebujemo tudi dobro določene spremenljivke
- S pametnim DOE sistematično in predvidljivo najdemo optimalne nastavitve ter zmanjšamo porabo računskega časa
- Uporabljen dizajn je treba prilagoditi problemu

SLING



EuroHPC
Joint Undertaking



REPUBLIKA SLOVENIJA
**MINISTRSTVO ZA VISOKO ŠOLSTVO,
ZNANOST IN INOVACIJE**

Projekt EuroCC 2 financira Evropska unija. Financiran je s sredstvi Skupnega podjetja za evropsko visokozmogljivo računalništvo (EuroHPC JU) ter Nemčije, Bolgarije, Avstrije, Hrvaške, Cipra, Češke republike, Danske, Estonije, Finske, Grčije, Madžarske, Irske, Italije, Litve, Latvije, Poljske, Portugalske, Romunije, Slovenije, Španije, Švedske, Francije, Nizozemske, Belgije, Luksemburga, Slovaške, Norveške, Turčije, Republike Severne Makedonije, Islandije, Črne gore in Srbije v okviru sporazuma o dodelitvi sredstev št. 101101903.