

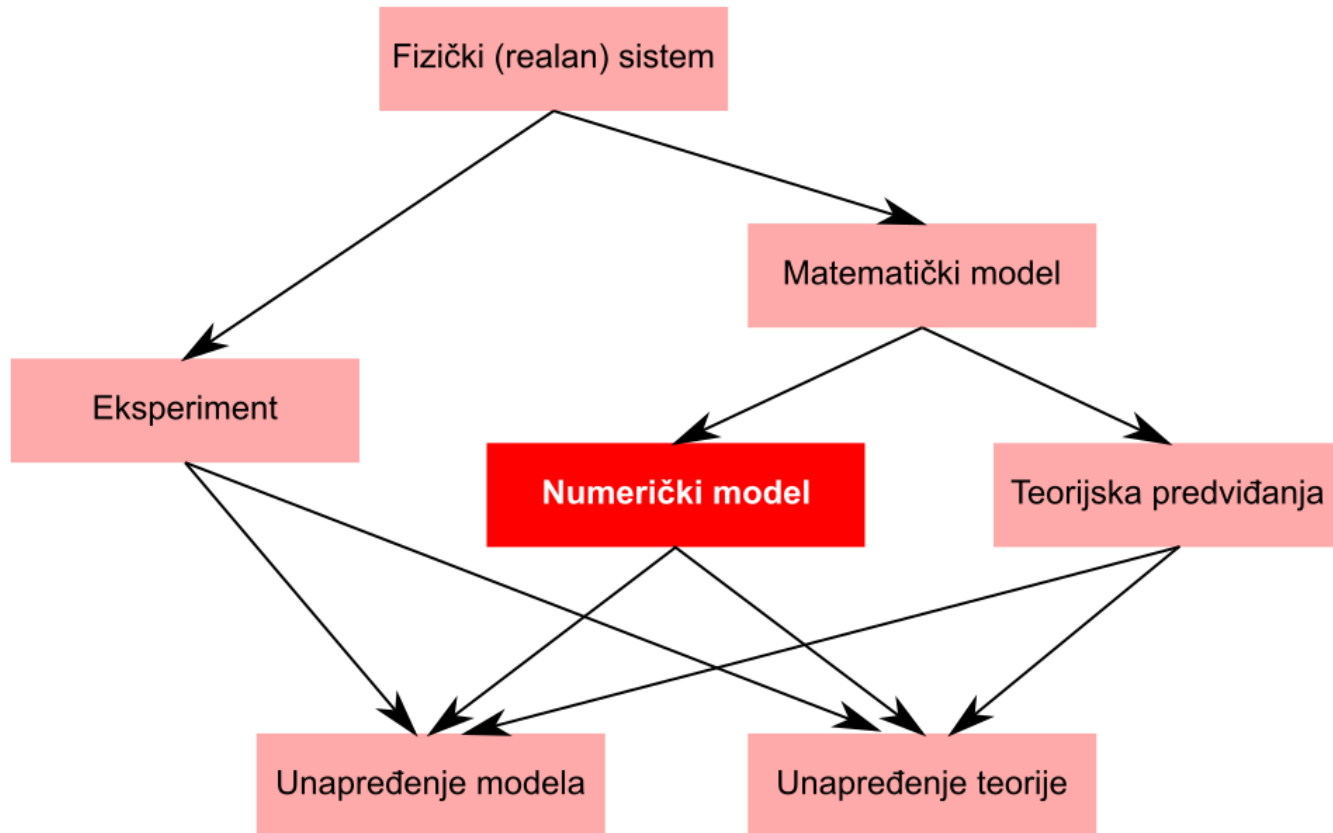
TERMIČKA OBRADA SAVREMENIH ALATA

RAČUNARSKE (NUMERIČKE) SIMULACIJE PROCESA TERMIČKE OBRADE

UVODNE NAPOMENE

MODELOVANJE I SIMULACIJE

- Matematičko modelovanje je metoda koja uz pomoć matematičkih zakonitosti i računarskih algoritama reprezentuje određen fizički fenomen.



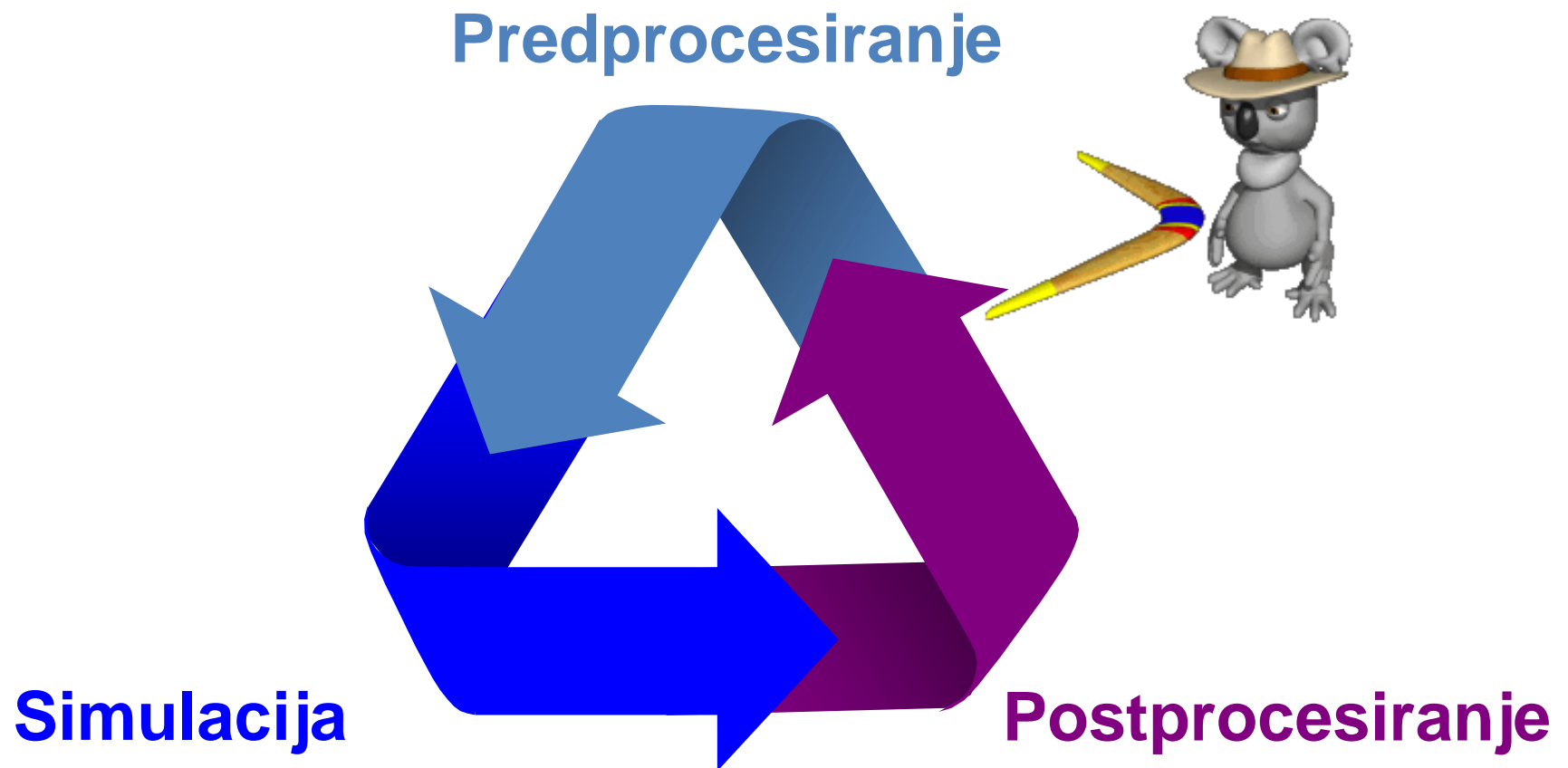
- Postoji određena razlika između termina modelovanje i simulacija.

NUMERIČKI MODELI

- Razlikujemo sledeće osnovne metode rešavanja (postoji još niz drugih):
 - **Metod konačnih razlika**. Prvenstveno se koriste pravilne strukturirane Dekartove mreže a jednačine rešavaju razvijanjem u Tejlorove serije u graničnim tačkama na kojima se seku linije mreže.
 - **Metod kontrolnih zapremine**. Jednačine se rešavaju integracijom preko cele kontrolne zapremine (tj. ćelije mreže), uz pretpostavku linearne (ili neke slične) varijacije zavisnih promenljivih. Ovime se u suštini izjednačavaju protoci kroz granice ćelije, tj. jednačine se svode na zakone održanja energije i mase za pojedinačne kontrolne zapremine. Moguće je primeniti i tačkastu diskretizaciju (čime metod postaje vrlo sličan metodu konačnih razlika), ali se tada implicitno podrazumeva da čvorna mesta predstavljaju ćelije (kontrolne zapremine) koje ih okružuju. Mogu se koristiti svi tipovi mreža, ali se obično lakše primenjuje na strukturiranim.
 - **Metod konačnih elemenata**. Postoji više implementacije ovih metoda, od kojih se najčešće koristi Galjorkinova metoda ponderisanih reziduala kod koje se polje unutar svakog elementa aproksimira jednostavnom funkcijom (linearna ili jednostavan polinom). Mogu se koristiti svi tipovi mreža, ali se obično koriste nestrukturirane, zbog lakoće generisanja.

OSNOVNE FAZE SIMULACIONE ANALIZE

- Predprocesiranje
- Simulacija
- Postprocesiranje



OSNOVNE OPERACIJE

- Najvažnija faza simulacione analize jer u njoj korisnik kreira računarski model koji treba da reprezentuje realni proces termičke obrade zadatog komada.
- Potrebno je izvršiti sledeće operacije:
 - Kreirati računarski model geometrije
 - Generisati proračunsku mrežu
 - Definisati osobine materijala i dodeliti ih određenim domenima mreže
 - Definisati početne uslove
 - Definisati granične uslove
 - Definisati parametre simulacije



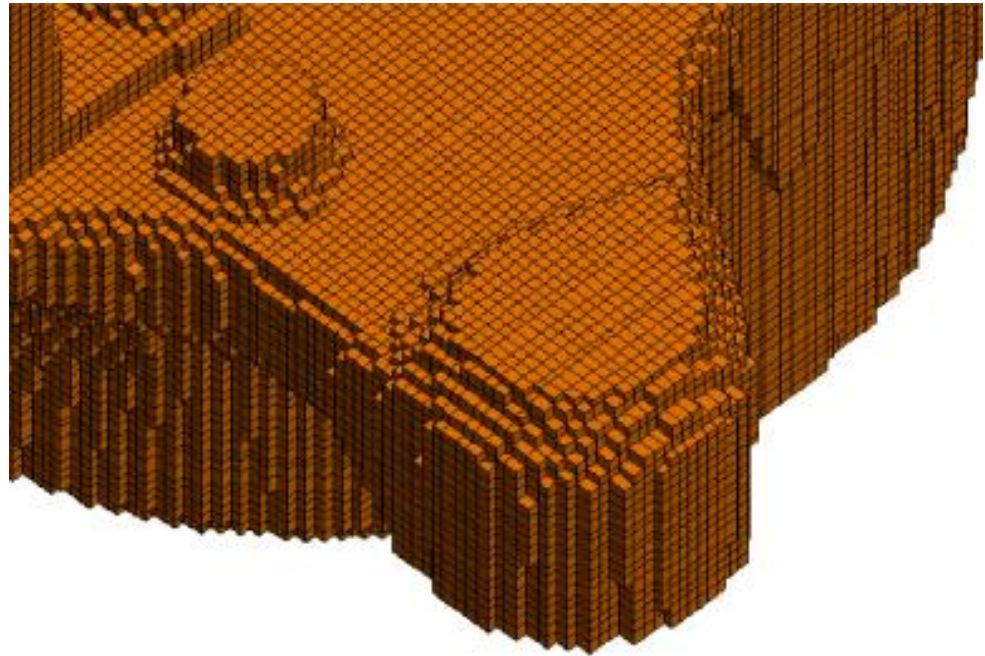
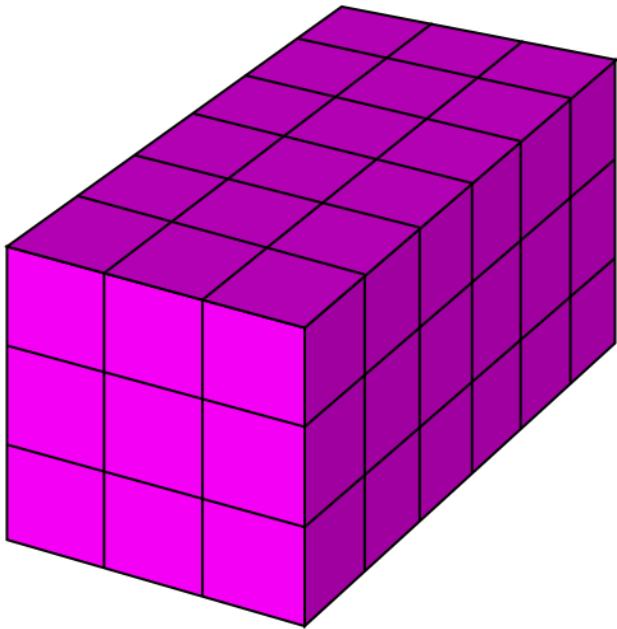
GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

Razlikujemo tri osnovna tipa proračunskih mreža (ima ih znatno više):

- Strukturirane mreže
 - Pravilna linearna (Dekartova) mreža
 - Nepravilna linearna mreža
 - Nelinearna mreža (curvilinear grid)
- Nestrukturirane mreže
- Hibridne mreže

GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

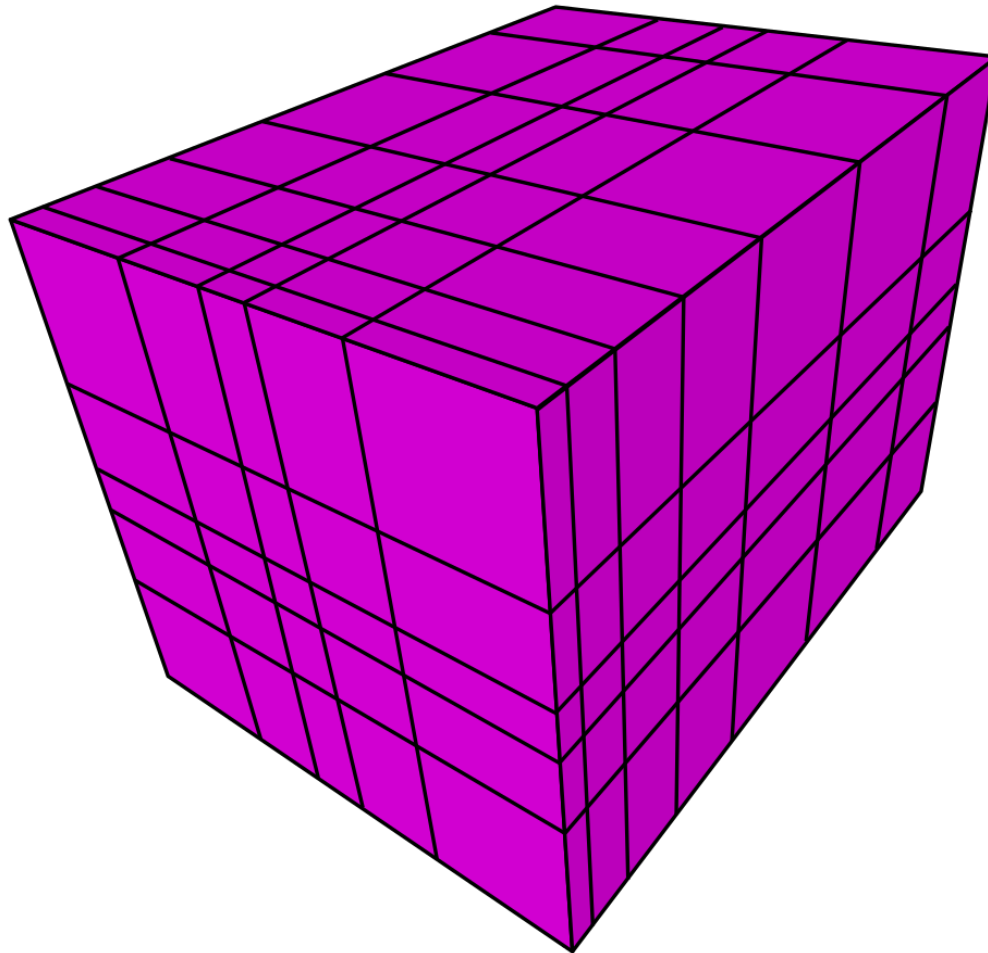
- Pravilna strukturirana Dekartova mreža



PREDPROCESIRANJE

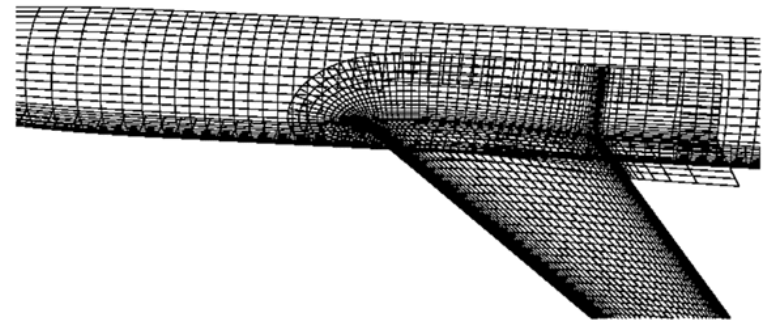
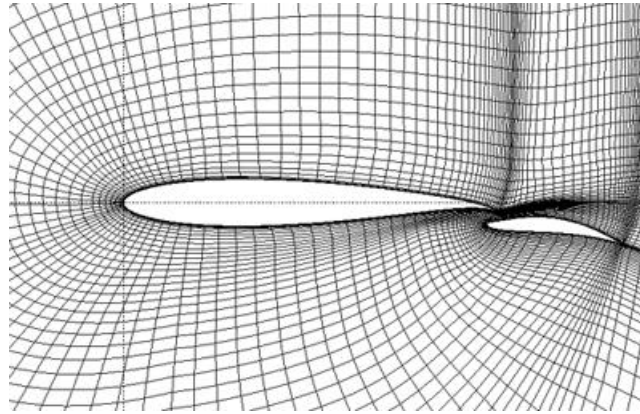
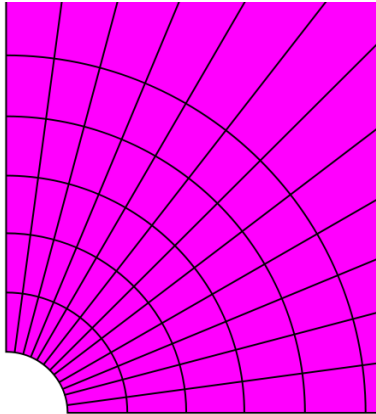
GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

- Nepravilna strukturirana mreža



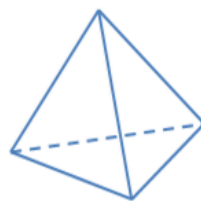
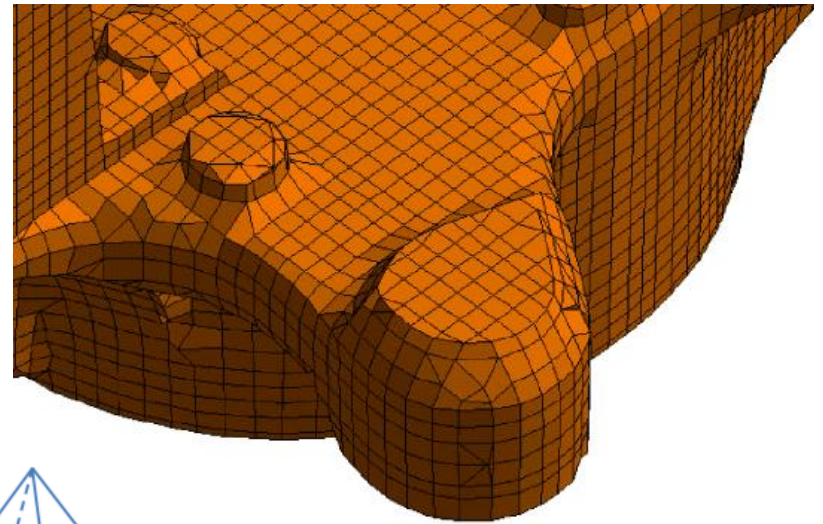
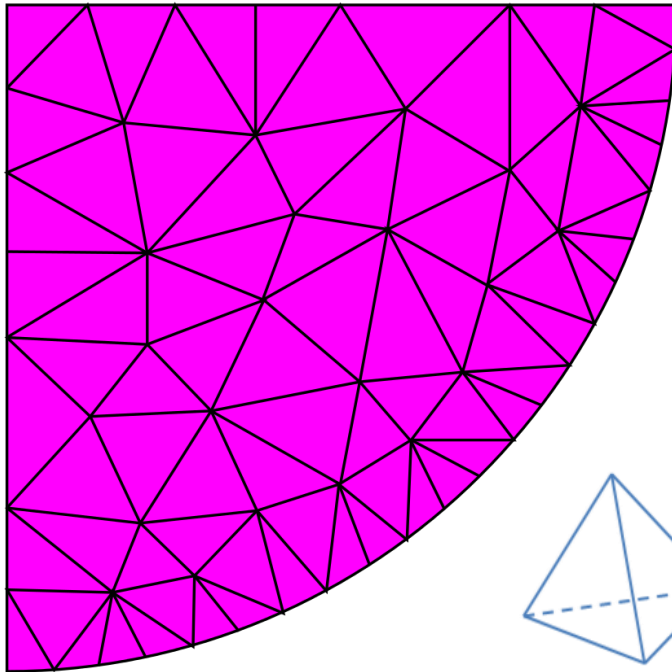
GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

- Nelinearna strukturirana mreža



GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

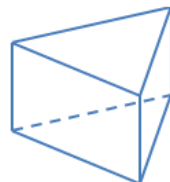
- Nestrukturiranamreža



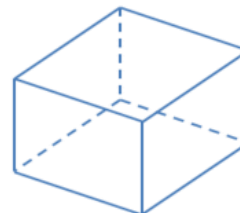
Tetrahedron



Pyramid



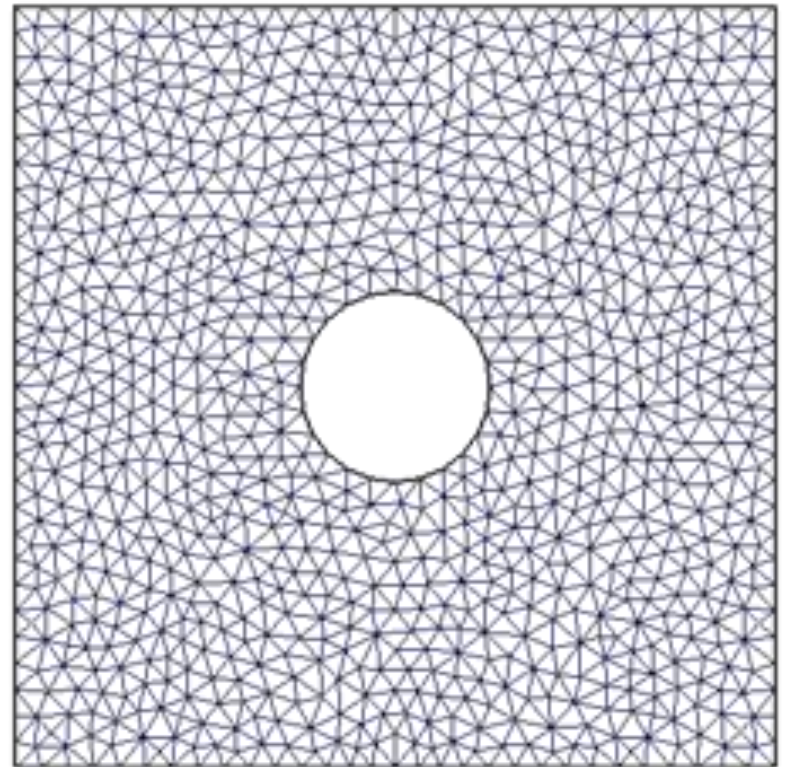
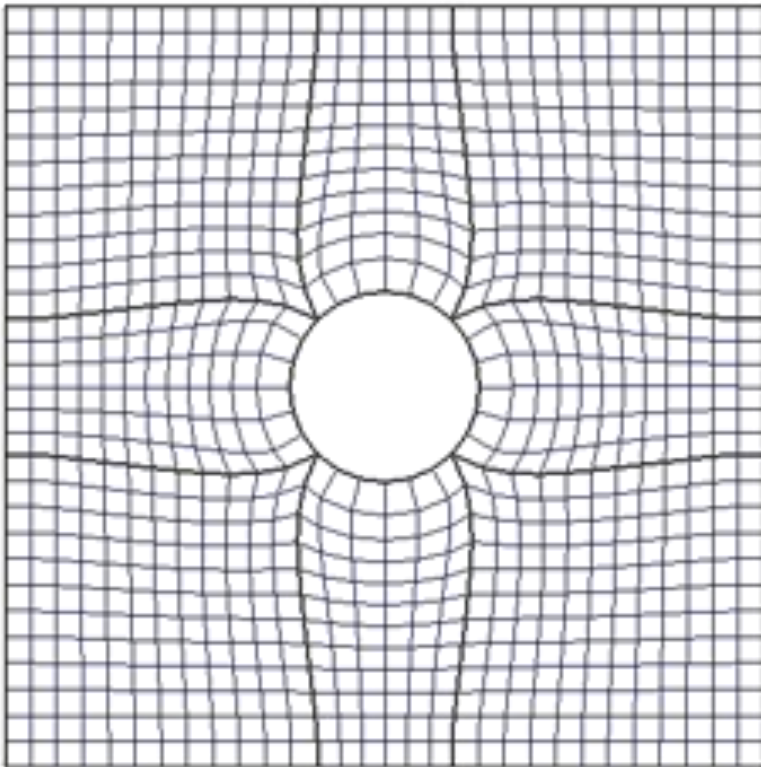
Triangular Prism



Hexahedron

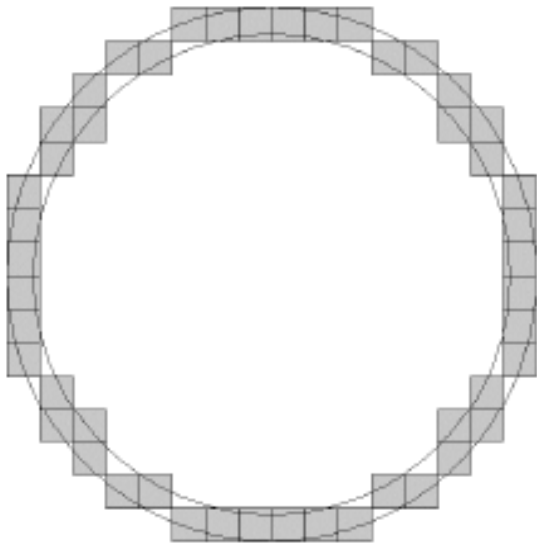
GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

- Razlika između strukturiranih i nestrukturiranih mreža

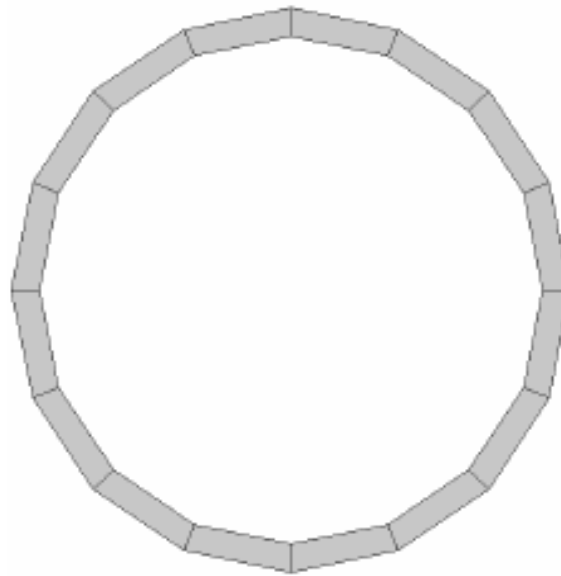


GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

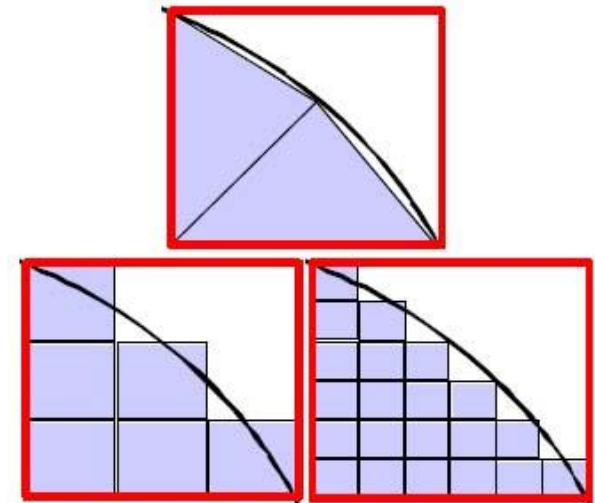
- Razlika između strukturiranih i nestrukturiranih mreža
 - tačnost prikaza geometrije (potrebna gustina mreže)



Strukturirana mreža:
48 čvornih tačaka
108 elemenata;



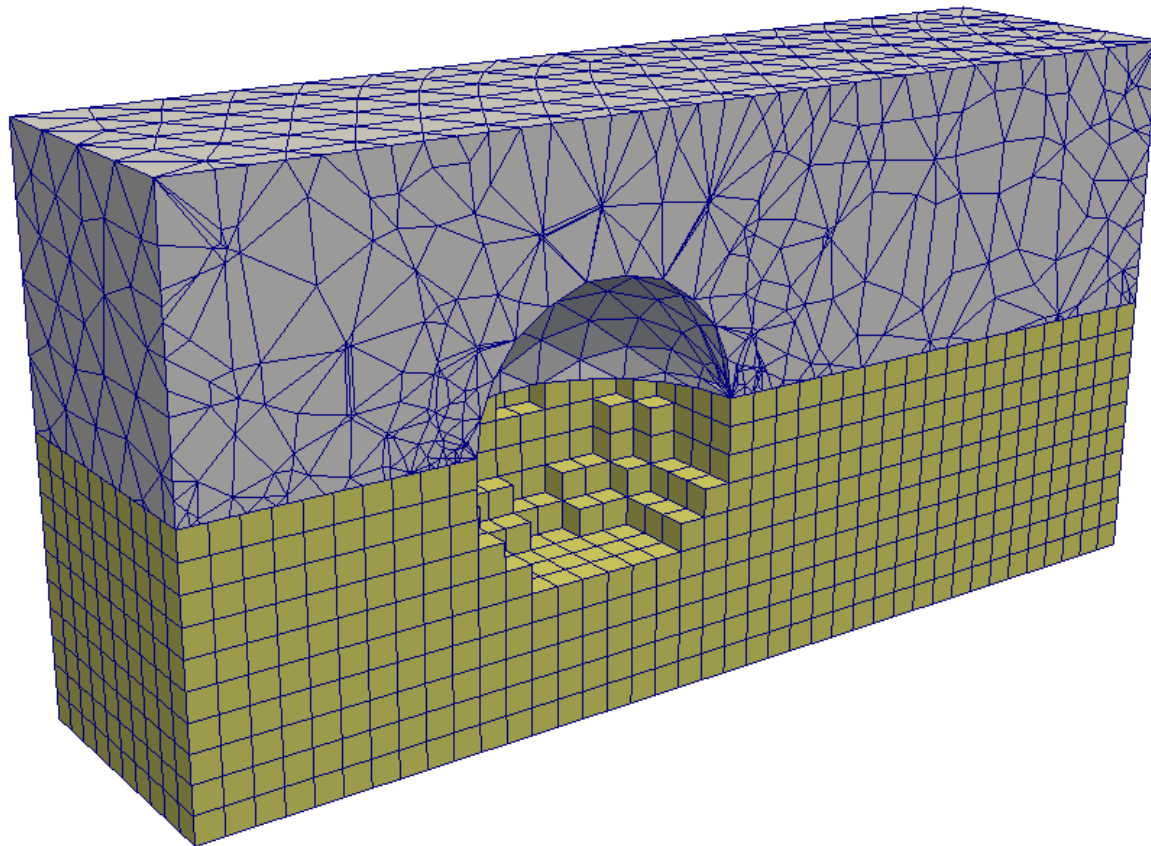
Nestrukturirana mreža:
32 čvorna mesta
16 elemenata



Tačnost predstavljanja kruga

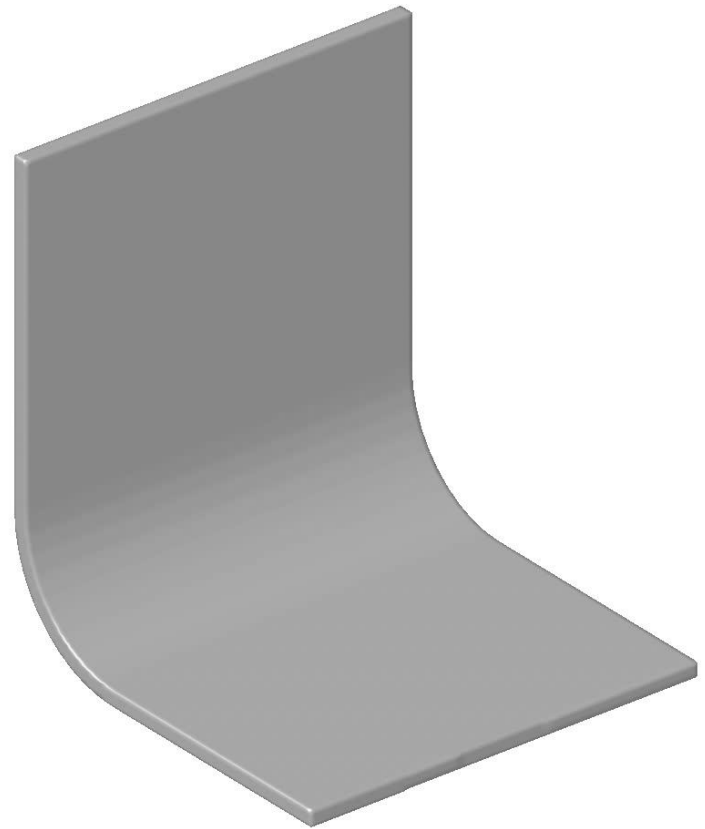
GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

- Razlika između strukturiranih i nestrukturiranih mreža
 - tačnost prikaza geometrije



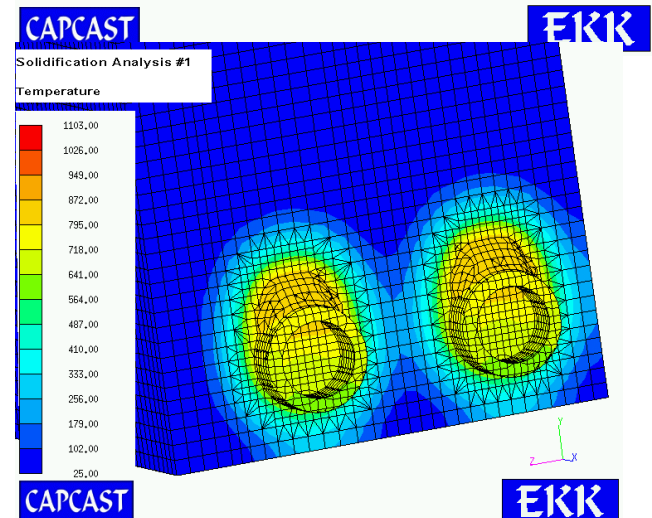
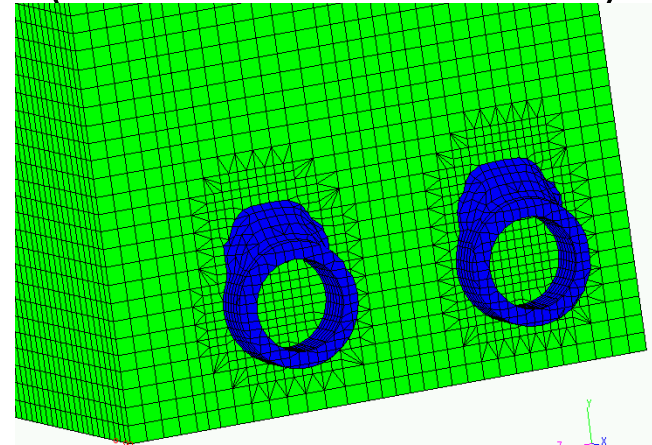
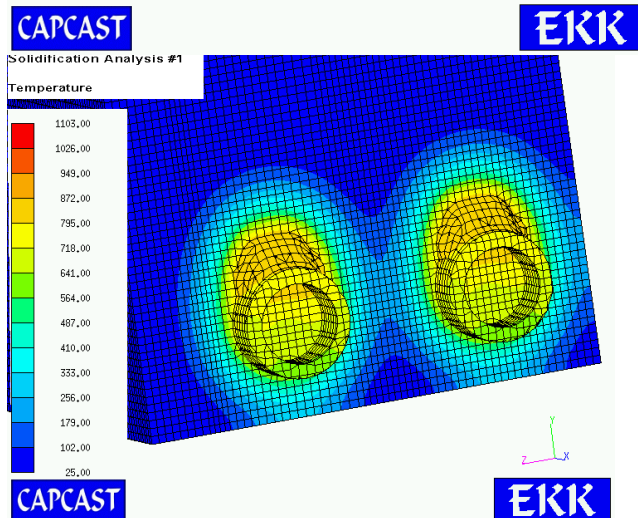
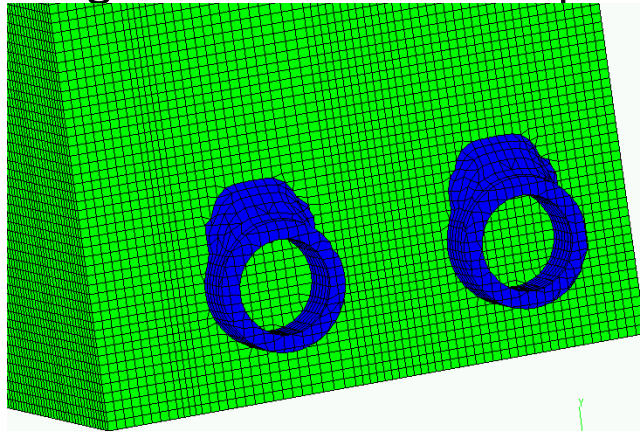
GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

- Razlika između strukturiranih i nestrukturiranih mreža
 - tačnost prikaza geometrije



GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

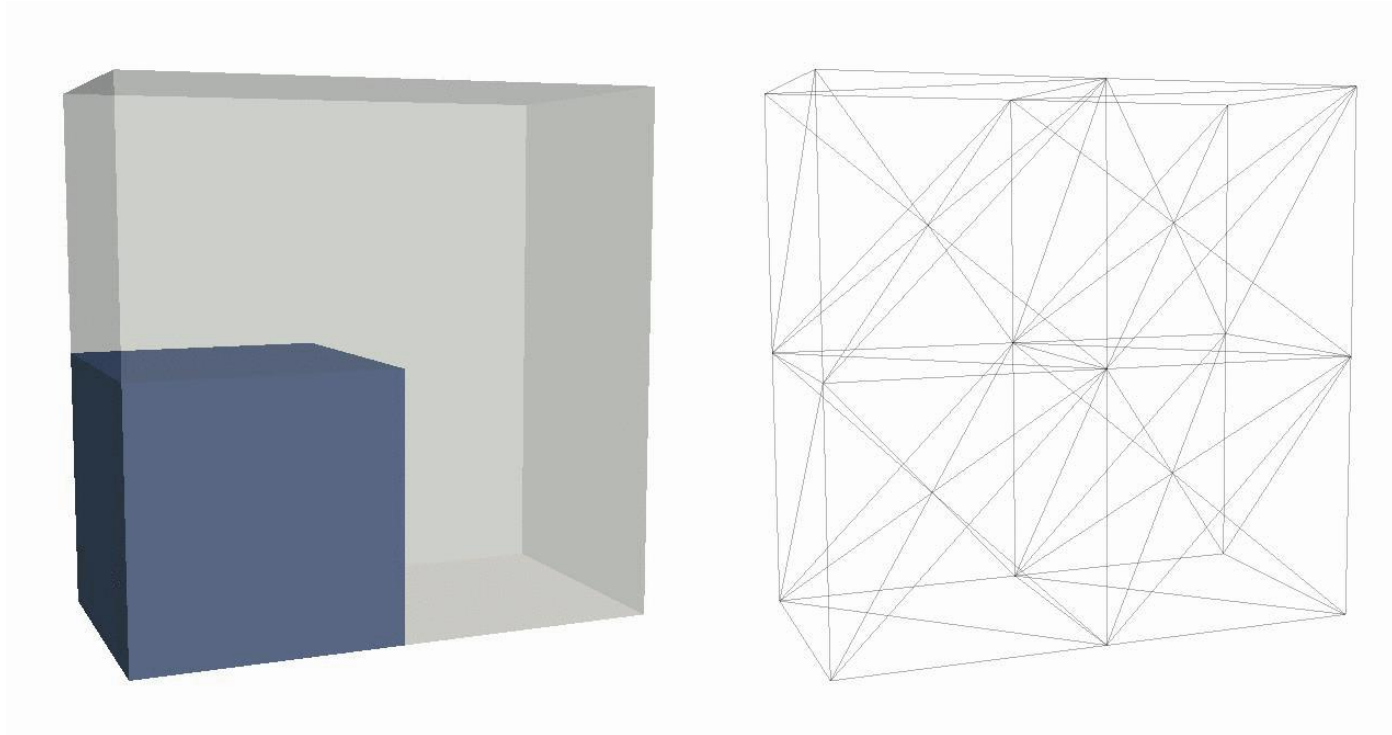
- Razlika između strukturiranih i nestrukturiranih mreža
 - Mogućnost izrade mreže promenljive gustine (za nestrukturirane mreže)



GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

- Nov koncept: **adaptivne mreže**

Problem je procesorsko vreme potrebno za neprekidno premrežavanje. Nepotrebno je za običan prenos toplote, ali može biti korisno za simulacije gde je prisutno strujanje fluida.

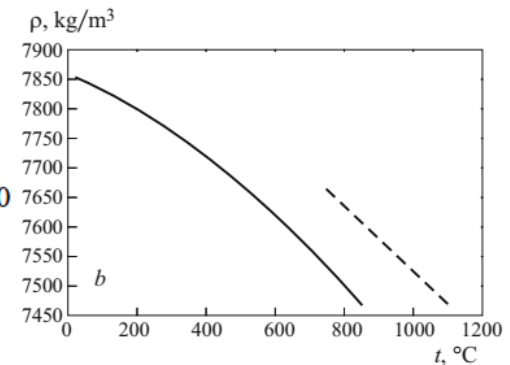
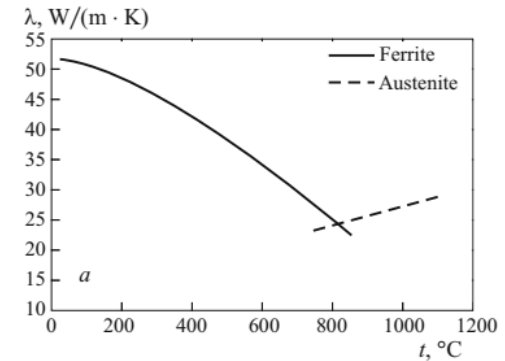
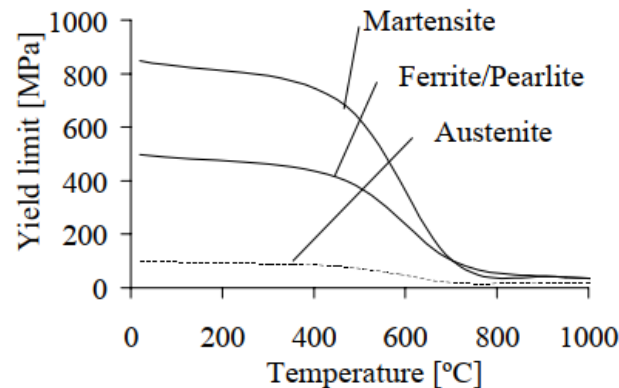
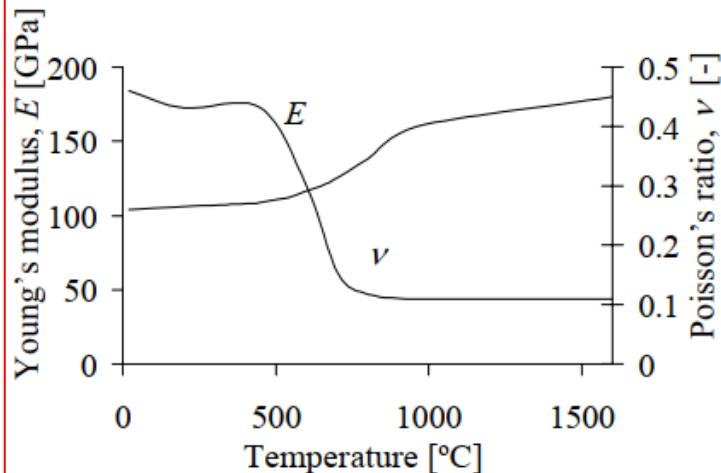


GENERISANJE PRORAČUNSKE MREŽE

- Veoma važno je odrediti potrebnu gustinu mreže:
 - tačnost rezultata,
 - stabilnost i konvergencija rešenja,
 - efikasnost (procesorsko vreme, količina RAM i hard disk memorije)

DEFINISANJE OSOBINA MATERIJALA I DODELJIVANJE DOMENIMA

- Potrebne osobine značajno zavise od korišćenog modela (šta želimo da simuliramo). Da li samo temperaturno polje, da li je dovoljno predviđanje mikrostrukture, ili nas zanima i vitoperenje delova.
- Primeri potrebnih osobina: toplotna provodljivost, gustina, specifični toplotni kapacitet, modul elastičnosti, poasonov odnos, granica tečenja, koeficijent linearnog/zapreminskog širenja i sl.



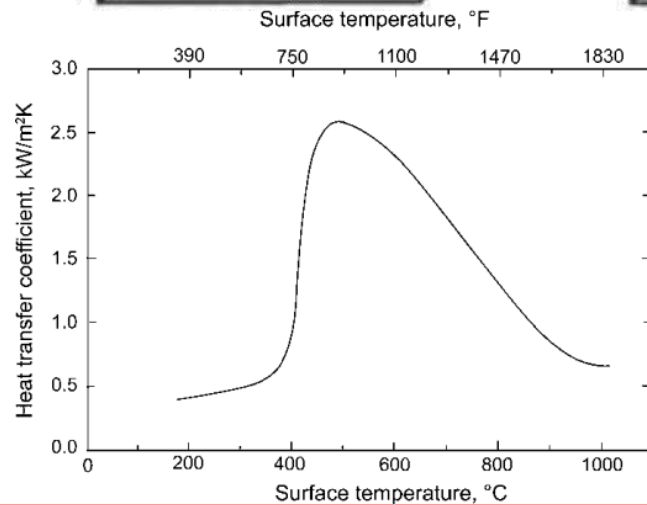
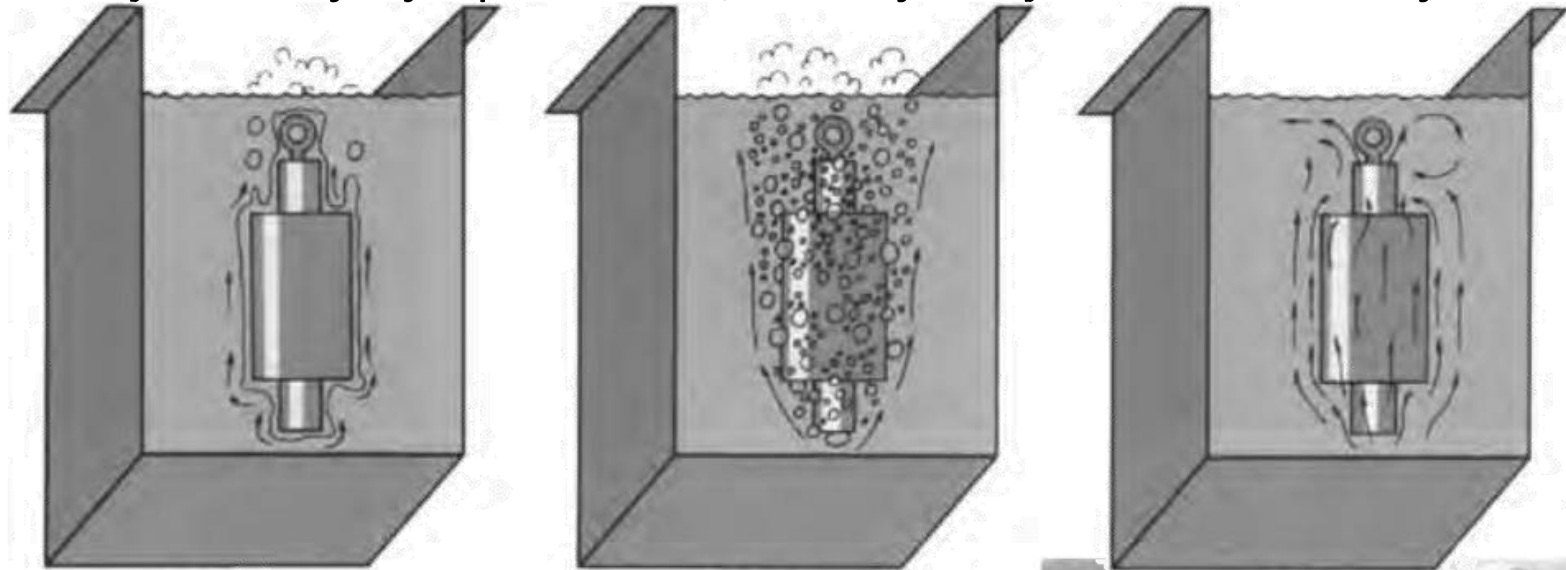
PREDPROCESIRANJE

- Definirati osobine materijala i dodeliti ih određenim domenima mreže
- Definirati početne uslove: početno temperaturno polje za svaku ćeliju mreže, brzine strujanja fluida ukoliko je i ono obuhvaćeno modelom, koncentracije pojedinih hemijskih elemenata, početno naponsko stanje i sl.
- Definirati granične uslove: koeficijenti prenosa toplote za svaku međufaznu granicu
- Definirati parametre simulacije (kriterijumi za kraj simulacije, veličina vremenskog koraka, intervali čuvanja rezultata, kriterijumi konvergencije, u ovom koraku se često vrši izbor korišćenog matematičkog modela i sl.)

PREDPROCESIRANJE

DEFINISANJE GRANIČNIH USLOVA

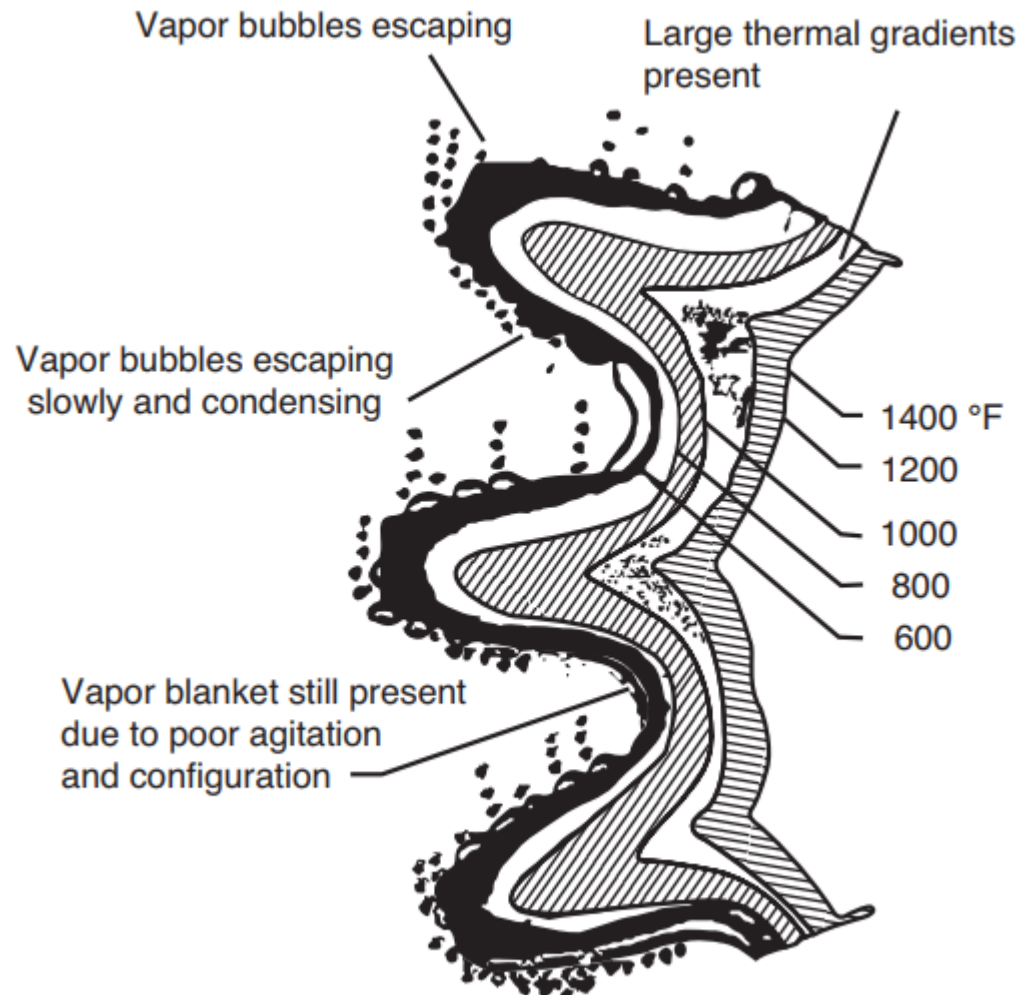
- Tri stadijuma kaljenja: parna faza, faza ključanja i faza konvekcije.



PREDPROCESIRANJE

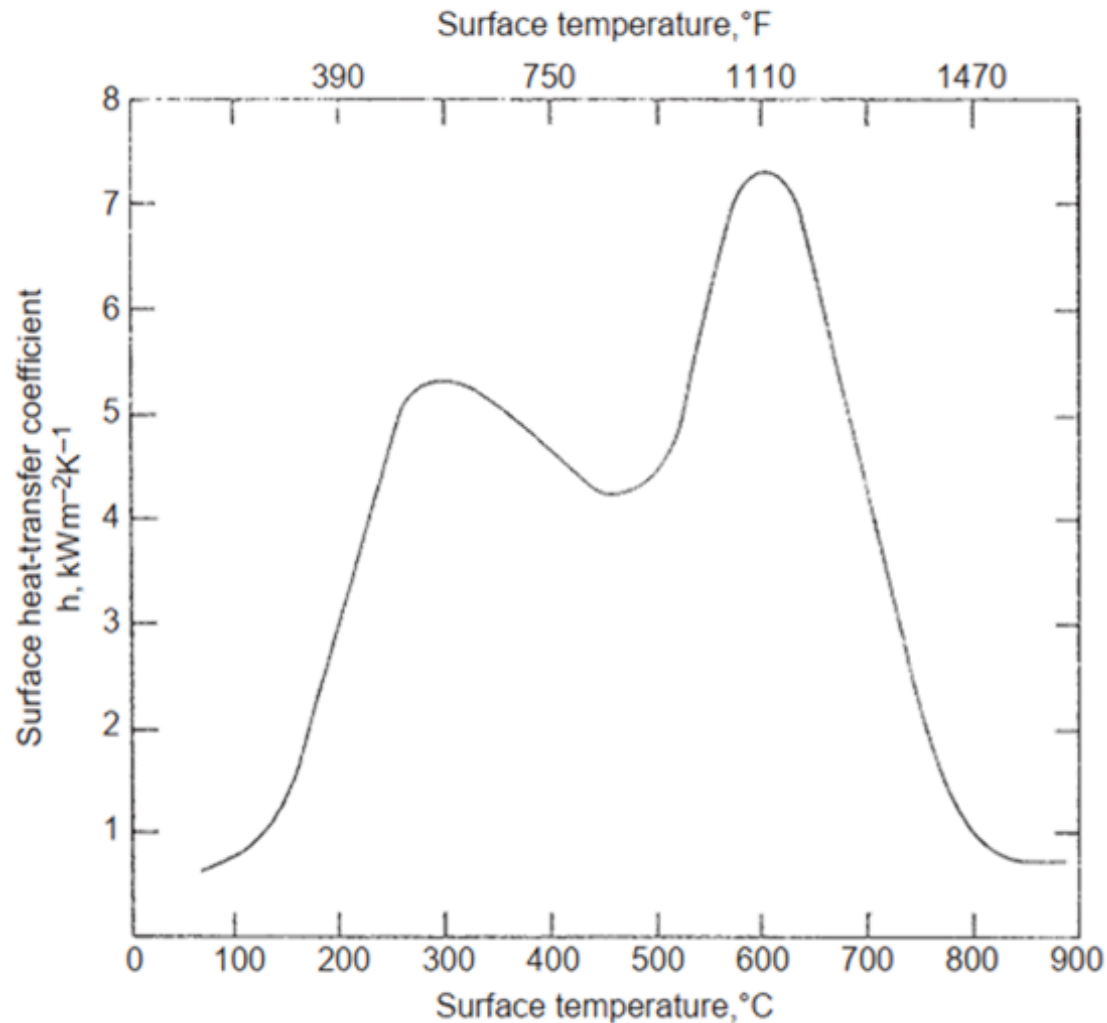
DEFINISANJE GRANIČNIH USLOVA

- U pojedinim slučajevima mogu postojati sva tri stadijuma istovremeno!



DEFINISANJE GRANIČNIH USLOVA

- Međutim, neki polimeri se ponašaju ovako



DEFINISANJE GRANIČNIH USLOVA

- Uticaj vlage na ponašanje jedne vrste ulja:

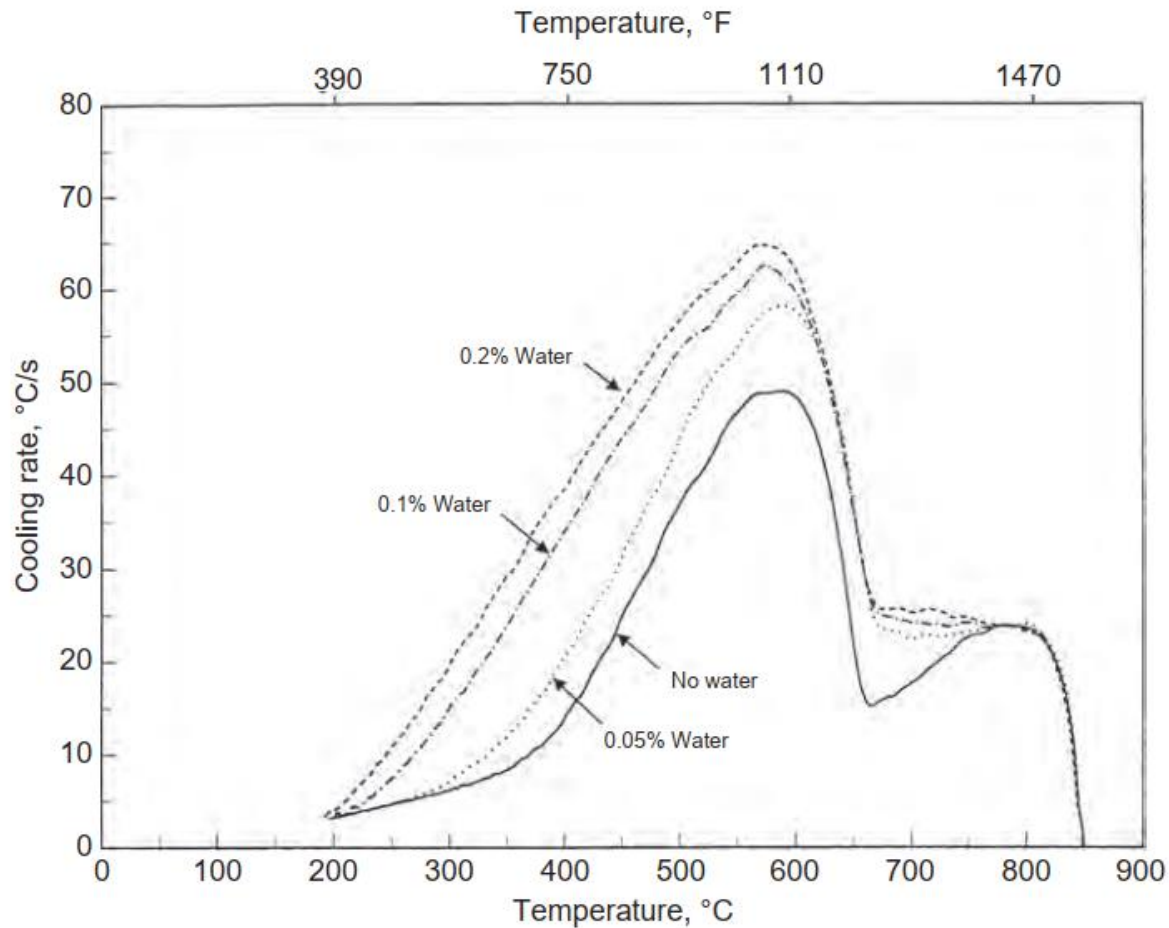


Fig. 16 Effect of water contamination in oil on the cooling rate (laboratory test). Source: Ref 38

DEFINISANJE GRANIČNIH USLOVA

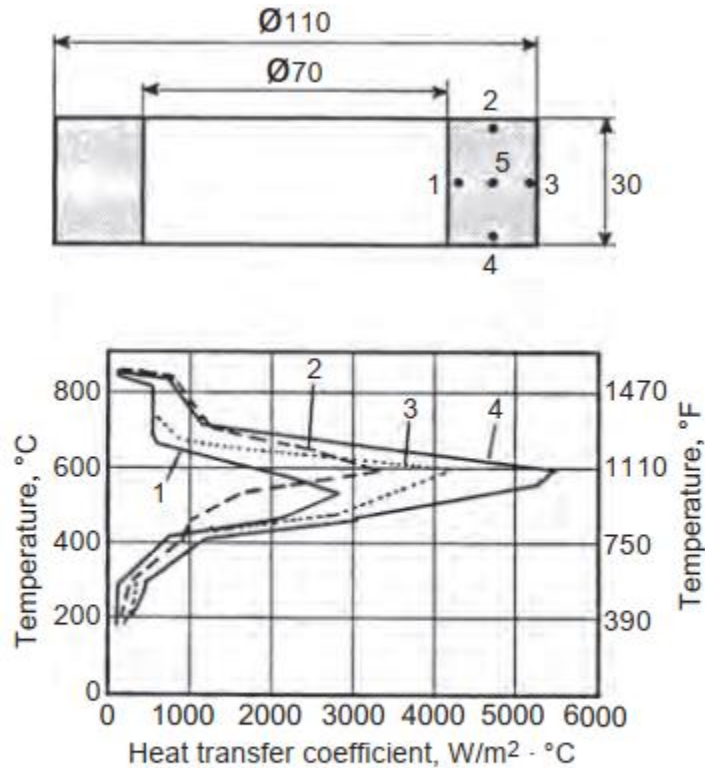


Fig. 10 Heat-transfer coefficients around a ring. Cooling was carried out in stationary oil at a temperature of 70 °C (160 °F) with the ring in a horizontal position. Source: Ref 29

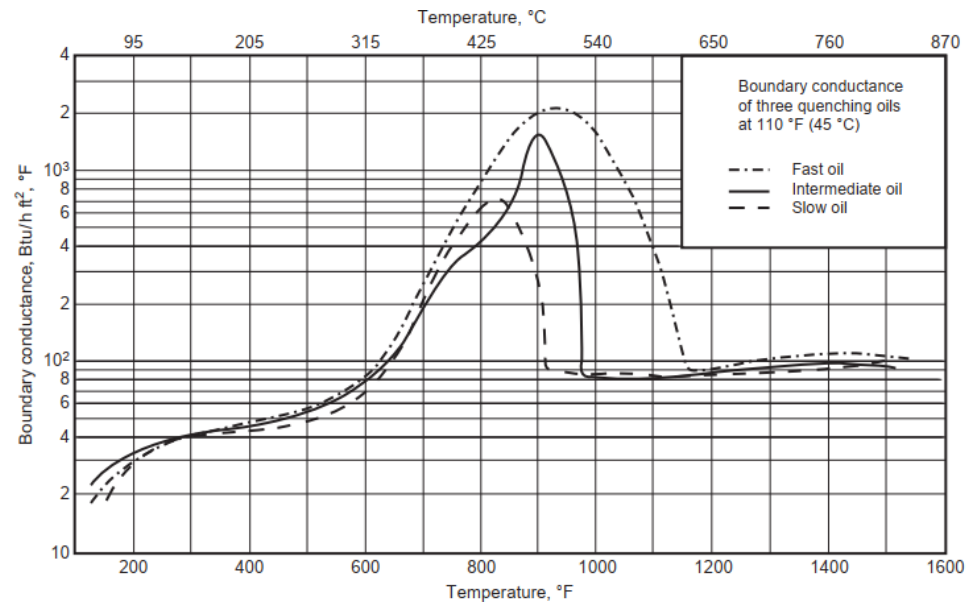


Fig. 4 Boundary conductance of three quenching oils at 45 °C (110 °F). Source: Ref 22

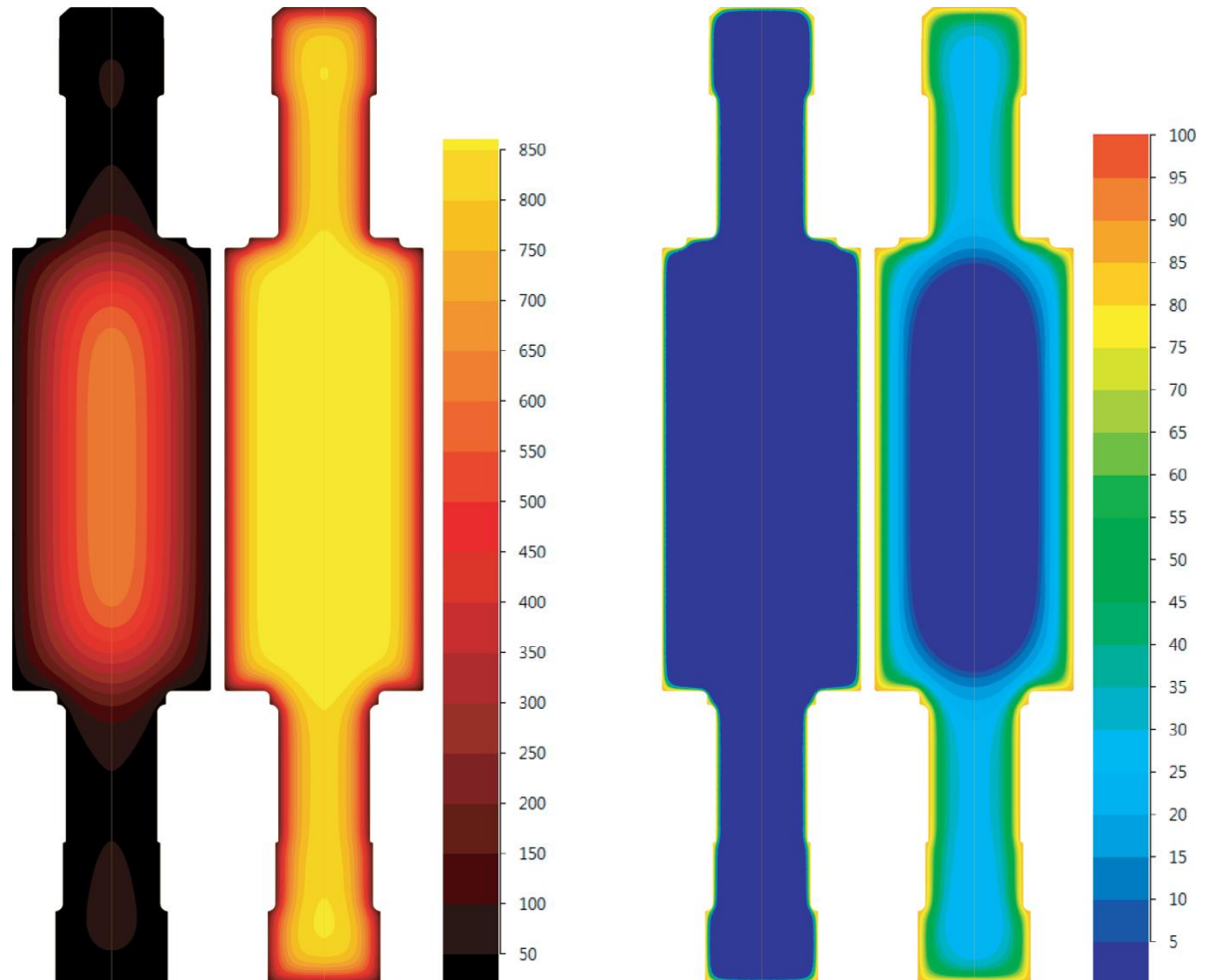
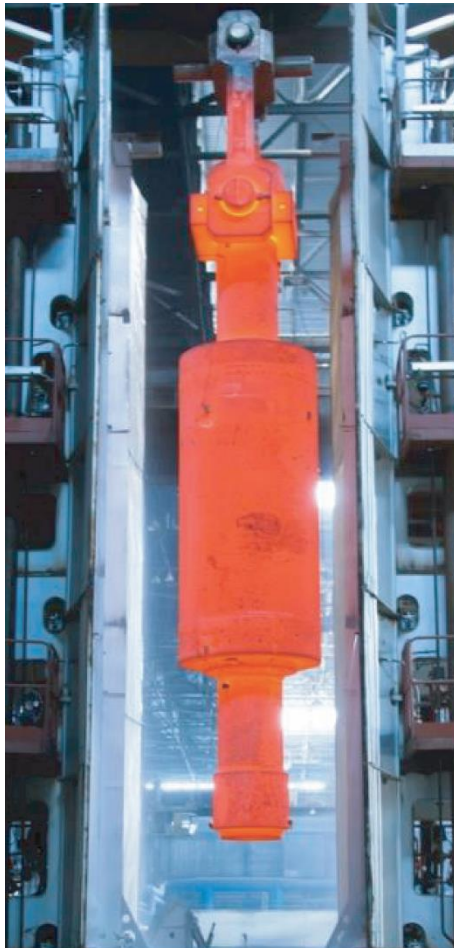
SIMULACIJA



POSTPROCESIRANJE

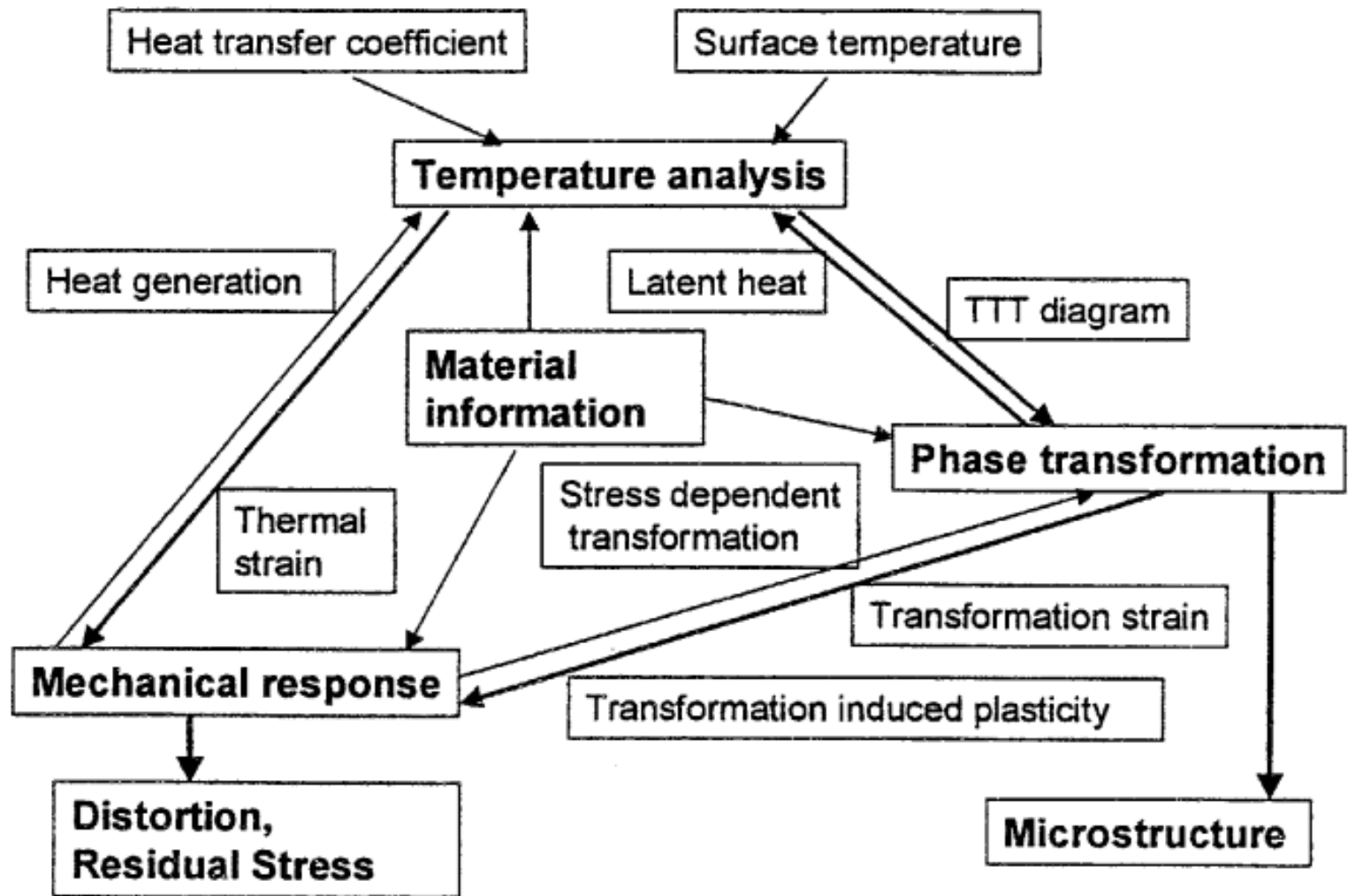
- Obuhvata vizuelizaciju i analizu rezultata. Rezultati simulacije mogu biti
 - Direktne veličine, proistekle iz proračuna. Sirovi podaci koji obuhvataju, npr. Temperaturno polje u različitim vremenskim koracima, vrednosti napona u različitim vremenskom koracima i sl.
 - Indirektne veličine, dobijaju se dodatnim proračunom iz direktnih veličina. Primer indirektnog rezultata su izohrone, krive hlađenja, brzine hlađenja, temperaturni gradijenti, gradijenti napona i sl.

POSTPROCESIRANJE



PROBLEMI VEZANI ZA MODELIRANJE PROCESA

PRIMER MEĐUZAVISNOSTI MEHANIZAMA ZA PREDVIĐANJE VITOPERENJA PRI TO



PREGLED DOSTUPNIH SOFTVERA

OPŠTI MKE/MKZ SOFTVERI

- ABAQUS
- ANSYS
- NASTRAN
- ALGOR
- FLUENT
- OPENFOAM
- ...

PREGLED DOSTUPNIH SOFTVERA

SPECIJALIZOVANI SOFTVERI

- DANTE (nije samostalan i zahteva postojanje ABAQUS ili Kiva solvera)
- SYSWELD
- HEARTS (HEAt tReaTment Simulation system)
- DEFORM-HT
- TRAST
- Magmasoft (vezan je za tehnologiju livenja, predviđa TO odlivaka)
- Qform

PRIMENA NUMERIČKIH SIMULACIJA

UTICAJ POLOŽAJA KALJENJA NA PREDVIĐENU DISTORZIJU

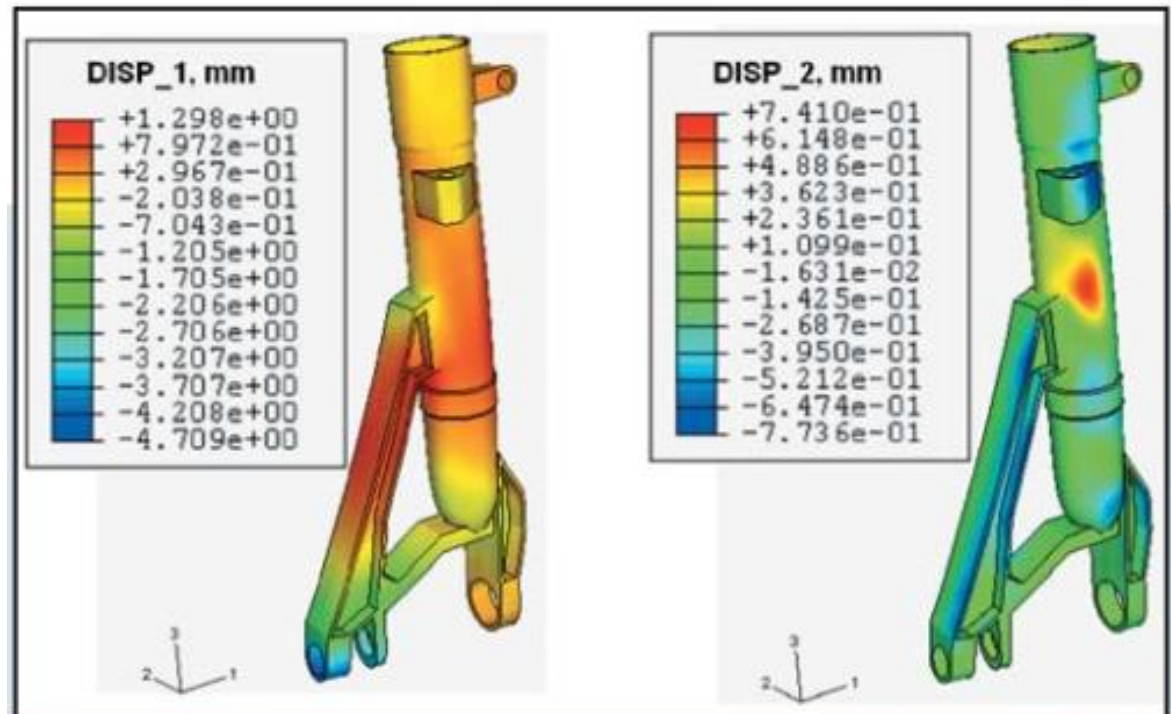


Fig. 2 — Predicted displacements due to heat treatment; direction "1" and "2" are as indicated by the axes.

PRIMENA NUMERIČKIH SIMULACIJA

SIMULACIJA KONVEKTIVNOG ZAGREVANJA

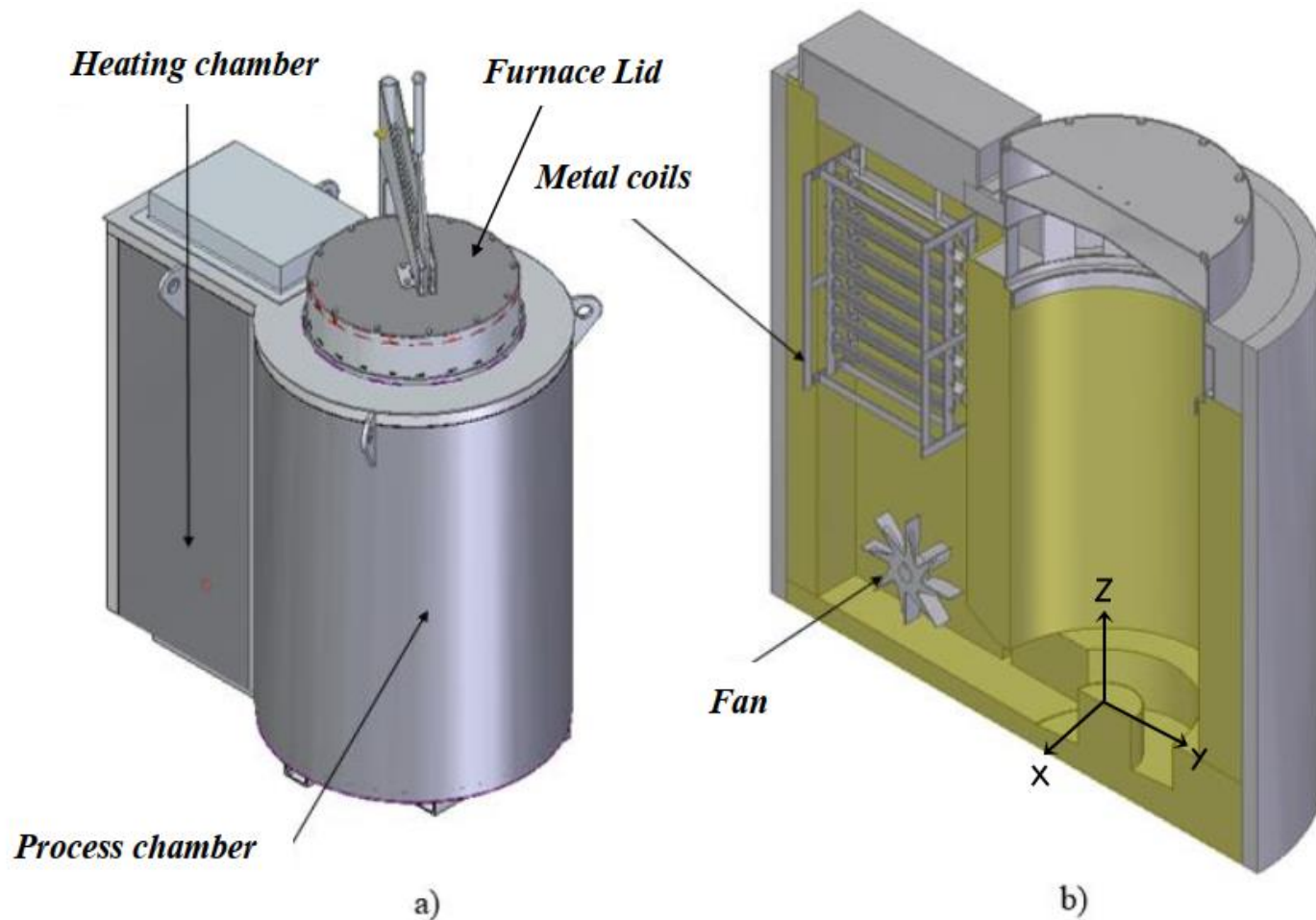


Figure 1. Tempering furnace studied in this work. (a) Isometric external view of the furnace and (b) cut view of the furnace with the coordinate system.

PRIMENA NUMERIČKIH SIMULACIJA

SIMULACIJA KONVEKTIVNOG ZAGREVANJA

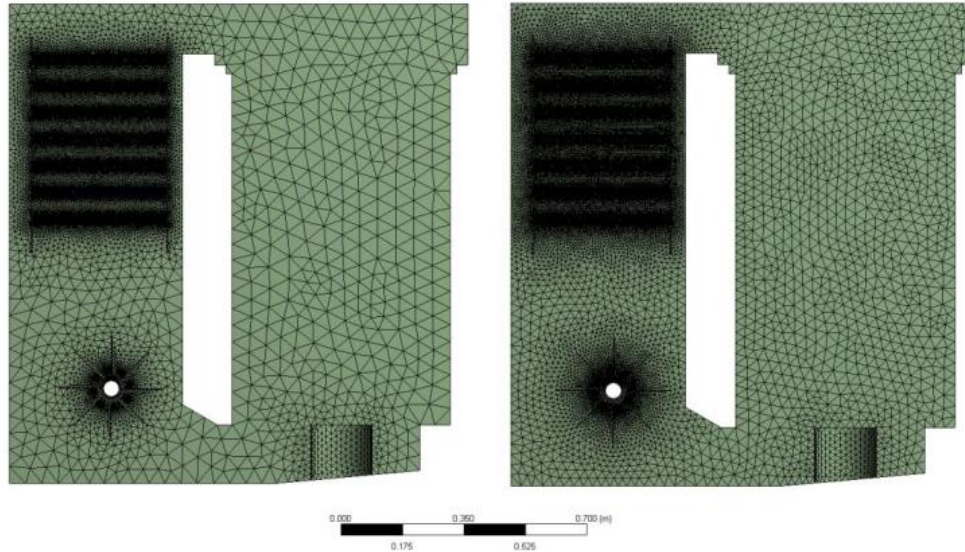


Figure 5. Grid systems (a) coarse mesh, 1.5 million cells, and (b) fine mesh, 3 million cells.

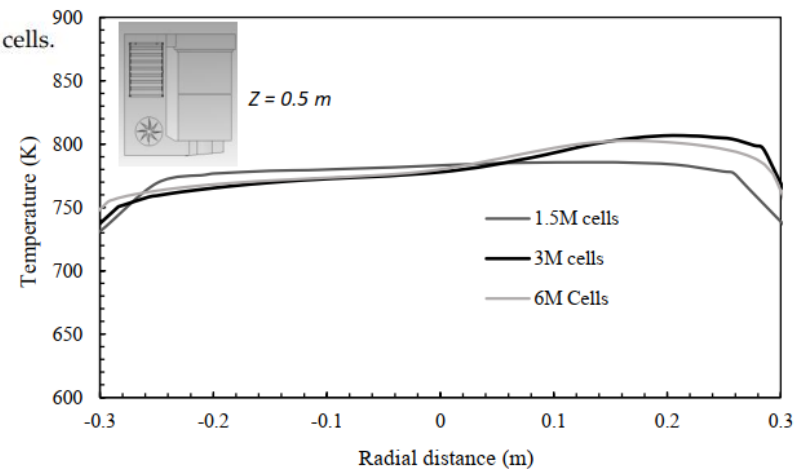


Figure 6. Temperature profile at a horizontal line located in the middle of the workspace for the three different meshes studied at 990 rpm.

PRIMENA NUMERIČKIH SIMULACIJA

SIMULACIJA KONVEKTIVNOG ZAGREVANJA

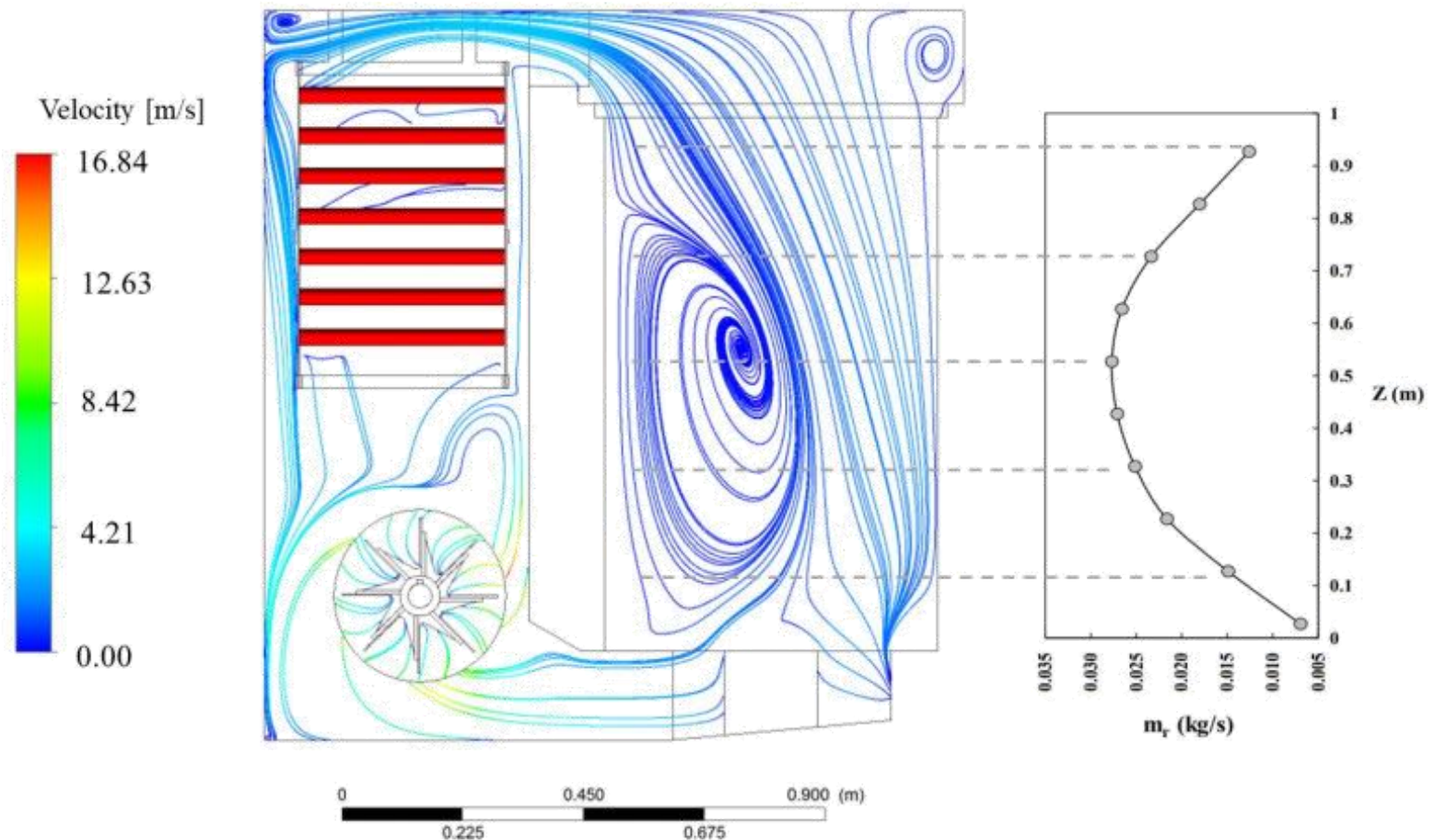


Figure 9. Streamlines inside the furnace for baseline operation and air mass recirculation behavior. Velocity legend applies to the recirculating gases.

PRIMENA NUMERIČKIH SIMULACIJA

SIMULACIJA KONVEKTIVNOG ZAGREVANJA

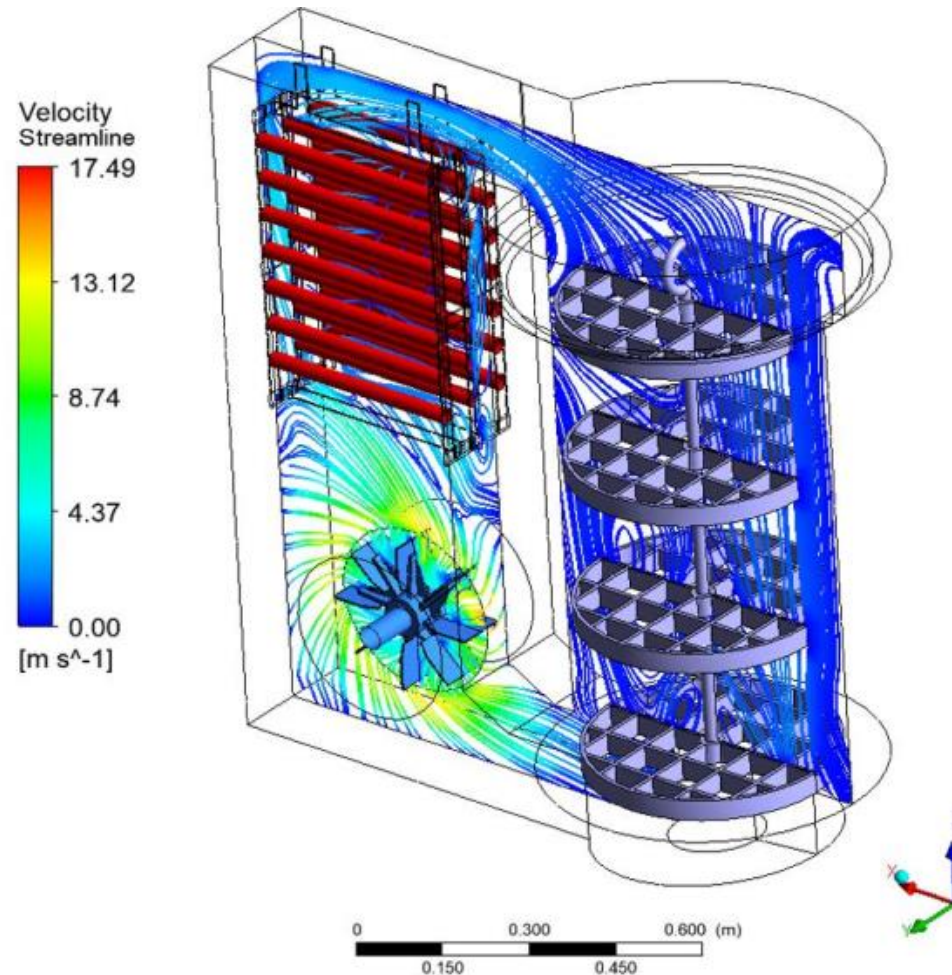


Figure 12. Streamlines inside the furnace for baseline operation with a charging basket. The velocity streamline legend applies to the recirculating gases.

PRIMENA NUMERIČKIH SIMULACIJA

SIMULACIJA KONVEKTIVNOG ZAGREVANJA

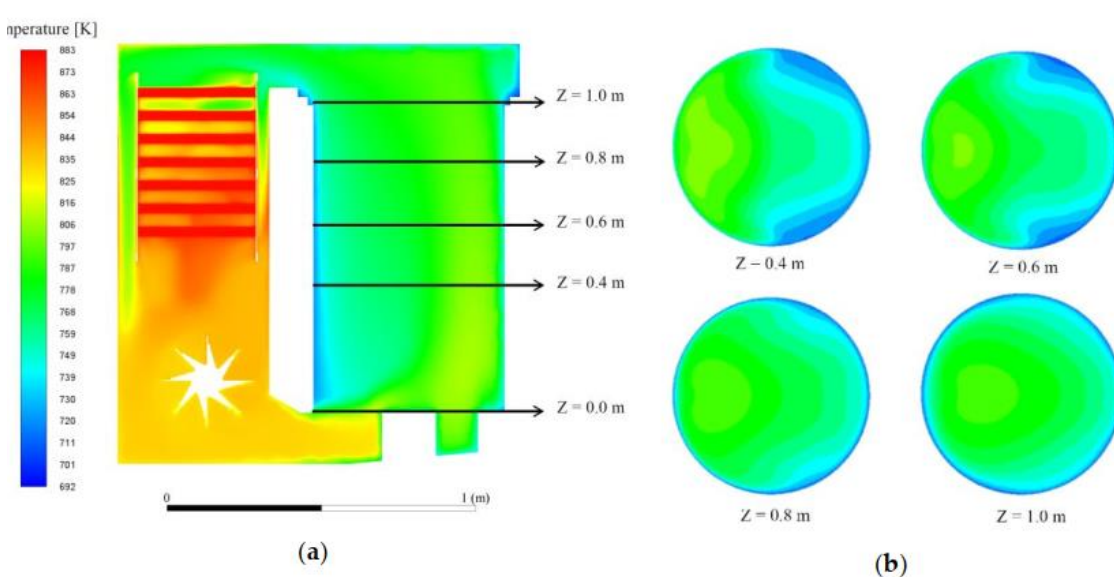


Figure 8. Temperature distribution of the baseline operation without the charging basket. (a) Cut view of the symmetry plane; (b) cut views at different heights.

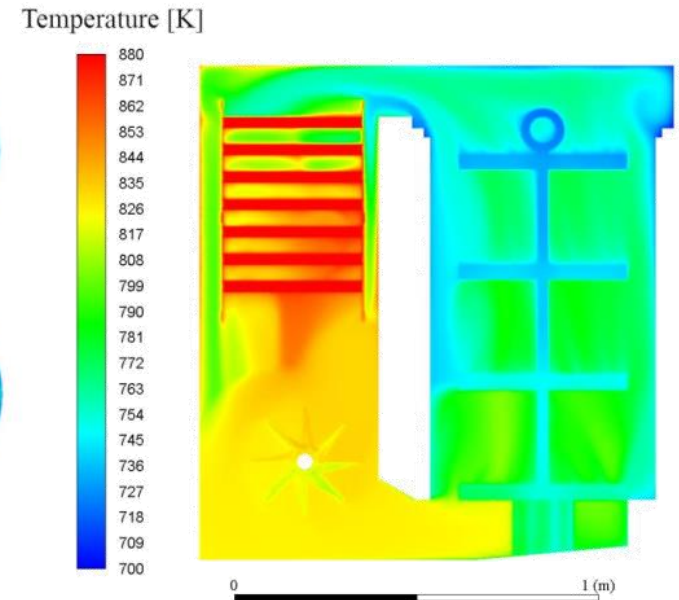


Figure 11. Temperature distribution of the baseline operation with a charging basket.

PRIMENA NUMERIČKIH SIMULACIJA

SIMULACIJA KONVEKTIVNOG ZAGREVANJA

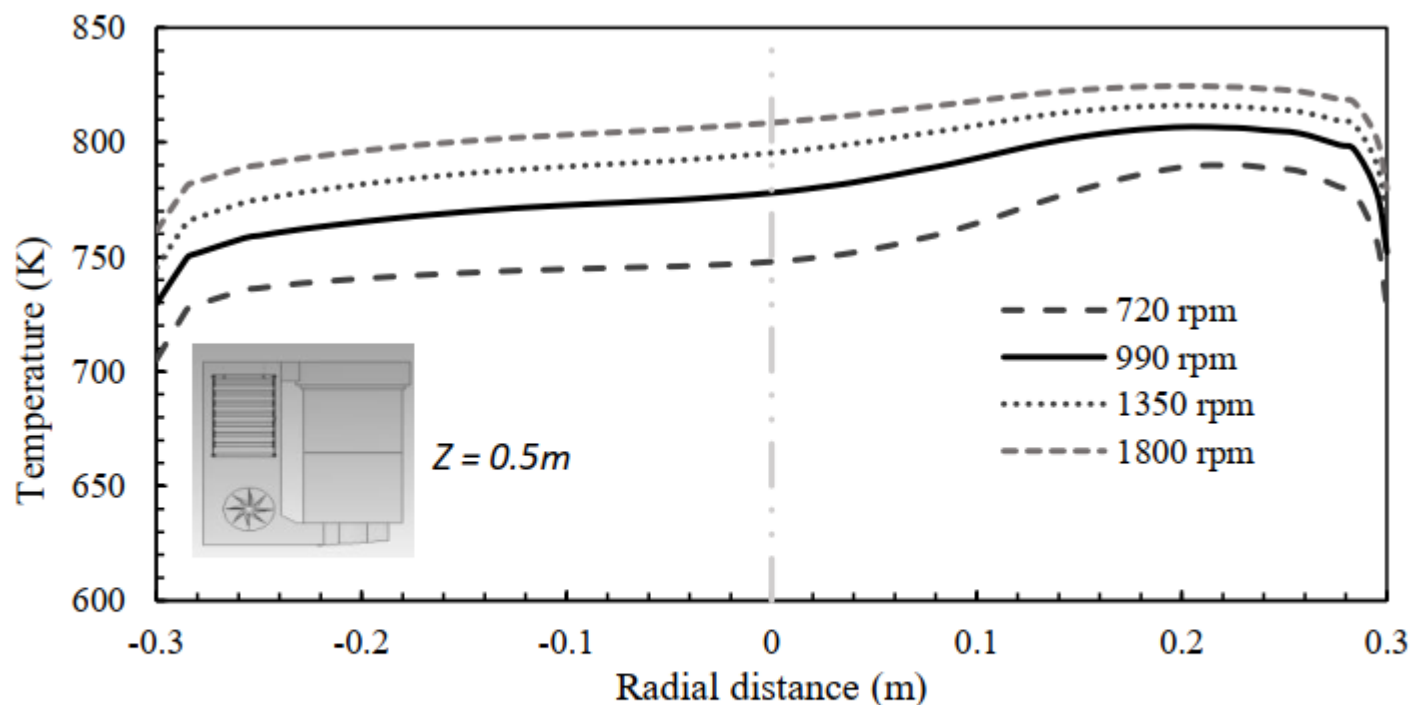


Figure 14. Temperature profile at a horizontal line located in the middle of the workspace for the five different angular rotation rates studied.

TERMIČKA OBRADA SAVREMENIH ALATA

HVALA NA PAŽNJI