

**PROJEKTOVANJE POMOĆU RAČUNARA (CAE) I
PRIMENA U ANALIZI TERMIČKE OBRADE I
OPTEREĆENJA DVOPLATNIH MATERIJALA**

**COMPUTER AIDED ENGINEERING (CAE) AND APPLICATION
IN ANALYSIS OF THE HEAT TREATMENT AND STRESS
PROPERTIES OF THE TWO LAYERS MATERIALS**

MILAN TASIĆ

Viša tehnička mašinska škola Beograd - Zemun, SCG, tassa@memodata.net

IZVOD

Uticaj računarskih tehnologija u projektovanju oblika i analizi nosivosti konstrukcija i aparata, sa osvrtom na neke od osobina konstrukcionih materijala analiziran je u radu. Prikazano je projektovanje mašinskih delova pomoću programskog paketa AMD (Auto Desk Mechanical Desktop - AutoCAD) i to najpre kao modeliranje oblika konstrukcije u prostoru (3D), a zatim i izrada konstrukcione dokumentacije (2D), sa posebnim osvrtom na mogućnost programiranja i prilagođavanja programskog paketa potrebama korisnika i to sa domaćim softverom ACADemy. Na primeru izvođenja posude za fermentaciju piva, prikazana je mogućnost primene računara u analizi napona i deformacija u konstrukcijama, primenom programskih paketa zasnovanih na teoriji Metode konačnih elemenata (MKE). Projekat hlađenja TV pojačivača, ukazuje na primenu MKE u određivanju uticaja specifičnosti provođenja toplote u pojedinim slojevima, kod primene "dvoplastnih" materijala za izradu hladnjaka. Pored ostalog, u radu su prikazane mogućnosti simulacije procesa hlađenja kod termičke obrade kaljenjem, tj. određivanje promene temperaturnog polja u određenom mašinskom elementu u toku vremena, što omogućava procenu strukture i mehaničkih osobina primenjenog konstrukcionog materijala.

Ključne reči: računarske tehnologije, MKE, projektovanje, softver, programski paketi

ABSTRACT

Influence of the computational technologies in design of the construction and stress properties, with analysis on the constructional materials properties are discussed in the paper. Mechanical part design by the program packets AMD (Auto Desk Mechanical Desktop - AutoCAD) is presented. Constructions modeling in space (3D), than production of the corresponding documentation (2D) are shown. Special attention is given on the possibilities of programming and program packet adapting to users demands by the domestic software ACADemy. On the design of the vessel for beer

fermentation, computer application in analysis of the stress and deformation in constructions by the FE methodology is presented. In design of the TV amplifier cooling, is showed an effect of the heat flow in layers in two layer materials for refrigerators production. In the paper are presented simulation of the cooling in the process of the steel heat treatment by quenching. Temperature fields changing in the mechanical parts in time are also presented. Obtained results could be used for microstructure and properties prediction for applied constructional material.

Key words: computer technology, FEM, design, software, program packs

UVOD

Dramatičan uticaj razvoja informacionih tehnologija osetio je se i u poslovima projektovanja, analize i simulacije ponašanja mašinskih konstrukcija i aparata. Iz osnova je promenjen način prilaza razvoju novih proizvoda jer su računari i specijalizovani programski paketi omogućili da se ostvari tzv. projektovanje "virtuelnih" konstrukcija, da se analizira njihovo ponašanje pod opterećenjem, simulira proces izrade i slično i to bez gubitka vremena i sredstava za izradu funkcionalnih modela, prototipova i njihovog ispitivanja. Kao orijentacija u tom smislu, može da posluži podatak da je npr. za razvoj novog modela putničkog automobila u 70-tim godinama bilo uobičajeno vreme od 5 godina, a da danas taj proces traje čak i manje od jedne godine. Težnja ovoga rada je da bar delimično prikaže neke od mogućnosti primene programskih paketa i računarske opreme u svakodnevnom radu i to na primerima iz naše privrede.

Šematski prikaz razruđenosti procesa projektovanja ukazuje na nemogućnost da se sve faze rada sagledaju u jednom ovakvom pregledu pa je detaljnija pažnja posvećena primerima neposrednog projektovanja u smislu definisanja oblika proizvoda i primerima analize bilo naprezanja ili toplotnog opterećenja konstrukcije.

MODELIRANJE MAŠINSKIH KONSTRUKCIJA

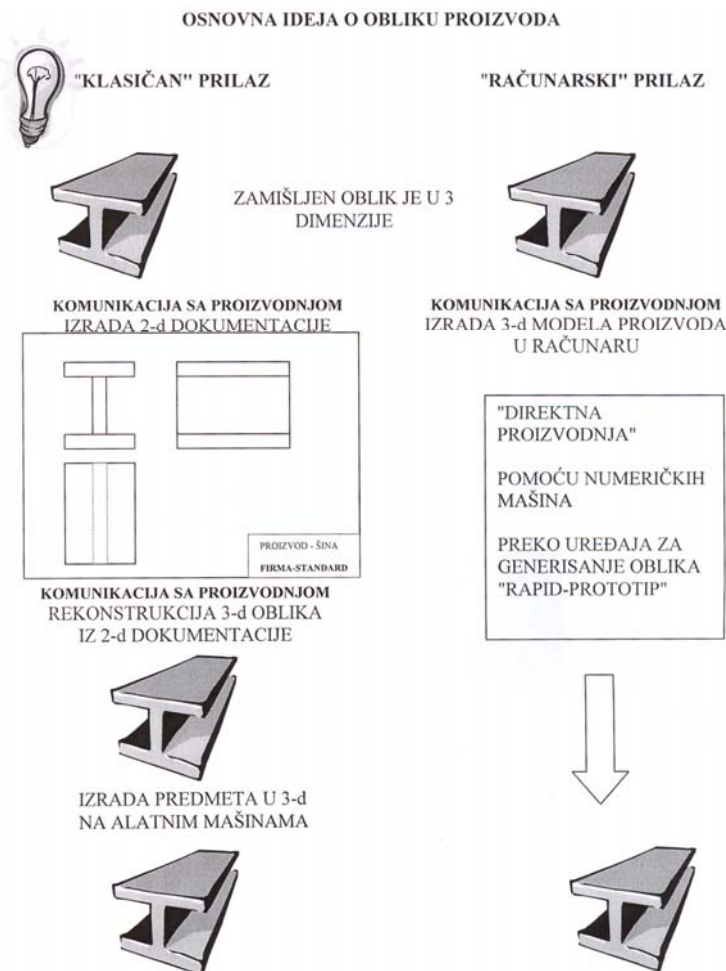
Prva faza u projektovanju je oblikovanje ideje projektanta u neki od manje ili više složeni sklop osnovnih geometrijskih oblika, koji treba da omoguće željenu funkcionalnost proizvoda. Ideja (oblik predmeta) je u mislima projektanta definisana u trodimenzionalnom obliku i kada bi on sam vršio izradu predmeta, skoro da mu ne bi trebali nikakvi posrednici u obliku crteža, modela i sl. Ovaj model bi odgovarao pojedinačnom zanatskom ili umetničkom stvaranju. Međutim, podela rada u industrijskoj proizvodnji zahteva intezivnu i JEDNOZNAČNU komunikaciju između učesnika u stvaranju proizvoda, počev od projektanta do prodaje i održavanja. U cilju prikaza mogućnosti računarske tehnike da ubrza i pojednostavi ovaj proces na slici 1 je prikazana šema "klasičnog" i "računarskog" projektovanja.

Na delu koji opisuje klasičan prilaz (leva strana), uočava se da u procesu rada postoji komunikacija između projektanta i ostalih učesnika u radu preko crteža na kojima je proizvod prikazan u dve dimenzije, preko niza projekcija.

Ovaj postupak je bio uslovljen PAPIROM kao nosiocem informacija. Poštujući određena pravila tehničkog crtanja, naučena u toku procesa obrazovanja, svaki dalji učesnik u procesu rada na proizvodu "rekonstruiše" trodimenzionalni oblik predmeta na osnovu postojeće dvodimenzionalne dokumentacije. Svakako da je proces dvodimenzionalnog prikazivanja iznuđen i suvišan pa bi ga trebalo ako je to ikako moguće izbeći.

Računarska tehnologija i odgovarajući programski paketi su omogućili prenos informacija u trodimenzionalnom obliku između svih učesnika u procesu izrade proizvoda. Čak u nekim, zasada retkim slučajevima, najčešće pri izradi prototipova proizvoda, na uređajima nazvanim "Rapid prototip" se automatski generiše oblik predmeta bilo iz polimera ili praškastih materijala.

Dakle budućnost projektovanja pripada PROJEKTOVANJU U TRI DIMENZIJE.



Slika 1 - Klasično i računarsko projektovanje
 Figure 1 - Classical and computer design

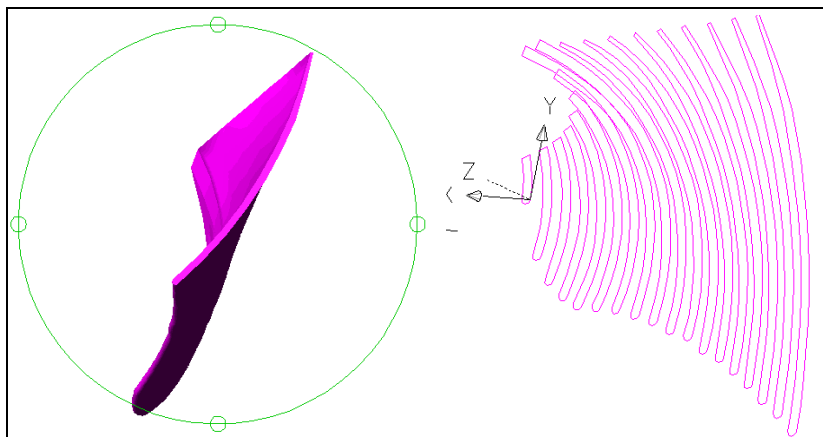
PREGLED PROGRAMSKIH PAKETA

Na tržištu progama za projektovanje se može naći čitav niz paketa vrlo različitih cena i mogućnosti. Svaki od njih ima svoj ciljni segment tržišta. Kratak pregled koji sledi je jako podložan kritici, ali može poslužiti kao prva orijentacija u ovoj oblasti. Programi namenjeni velikim projektnim organizacijama u oblasti automobilske i avio industrije:

- I-DEAS Najkompleksniji program sa najviše mogućnosti (veoma zastupljen u avio industriji), ali vrlo zahtevan u pogledu računarske opreme, organizacije rada, obuke kadra i investicija. Jedno radno mesto sa svim modulima košta oko 100.000 eura,
- CATIA Ovaj program je takodje u skupljem segmentu, jedna instalacija košta oko 30.000 eura i zahteva nešto skromnije računarske resurse. Masovna primena je u automobilskoj i avio industriji.

Programi namenjeni konstrukcionim biroima srednjih i manjih firmi opšte namene, najčešće sastavljeni iz niza nezavisnih celina, medjusobno manje ili više uspešno povezanih. Cene ovih paketa se kreću oko 20.000 eura za komplet, ali svako od korisnika može odabrati onaj skup programa (funkcija) koji smatra neophodnim za svoju delatnost. Neke od vrlo korisnih kombinacija paketa koštaju oko 3.000 eura po radom mestu i na njima se može vrlo uspešno vršiti projektovanje mašinskih konstrukcija opšte namene. U nastavku je dat samo spisak nekih od paketa bez ulaženja u detalje:

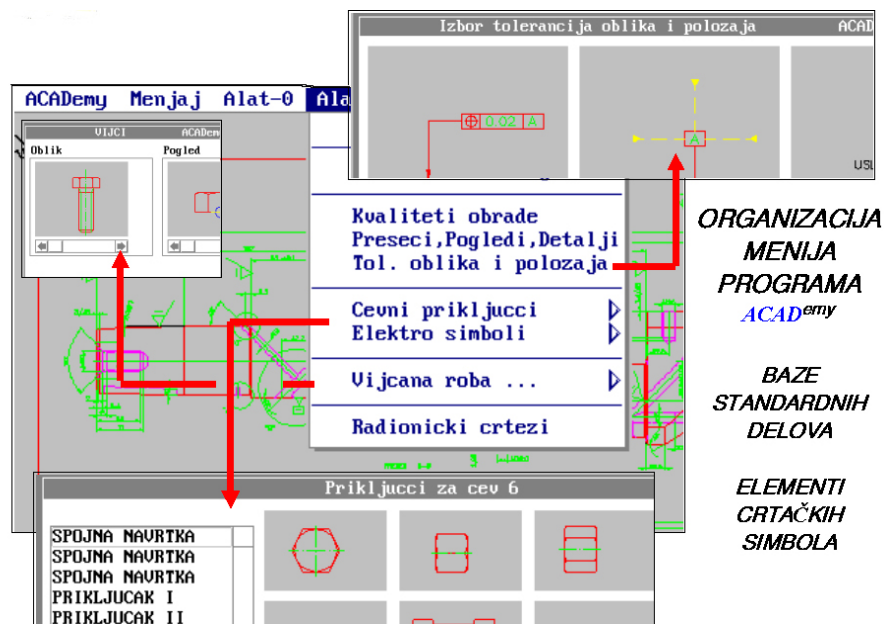
- o MECHANICAL DESK TOP (AUTO-CAD)
- o PROENGINEER
- o MICROSTATION
- o SOLIDWORKS



Slika 2 - Definisane 3D oblike lopatice
Figure 2 - 3D defining of the blade shape

Kao primer izrade predmeta složenog oblika poslužiće definisanje oblika lopatica i alata za savijanje (kovanje) lopatica za ventilator svežeg vazduha firme TERMOPRO iz Beograda, a za potrebe termoelektrane NIKOLA TESLA A

(slika 2). Oblik lopatica je dobijen rekonstrukcijom niza preseka lopatica (desno) na postojećem ventilatoru u elektrani. Kroz te preseke je primenom programa AMD (Mechanicaldesktop), provučen omotač i izvršeno formiranje punog tela lopatice (levo). Ovako dobijen model je poslužio za definisanje površine alata za kovanje i za dinamičku (modalnu) i naponsku analizu obrtnog kola i lopatica ventilatora.



Slika 3 - Primer prilagođavanja programa korisniku
 Figure 3 - Sample of the program accommodation to the user

Mnogi od pomenutih paketa mogu biti, uz određenu nadoknadu ili sopstveni razvoj, prilagođeni navikama korisnika, tako da se "vrlo bezbolno" može preći sa klasičnog na računarsko projektovanje. Kao primer prikazana je kompozicija nekih elemenata domaćeg programa ACADemy, koji predstavlja nadgradnju programa AutoCAD u pomenutom smislu (slika 3).

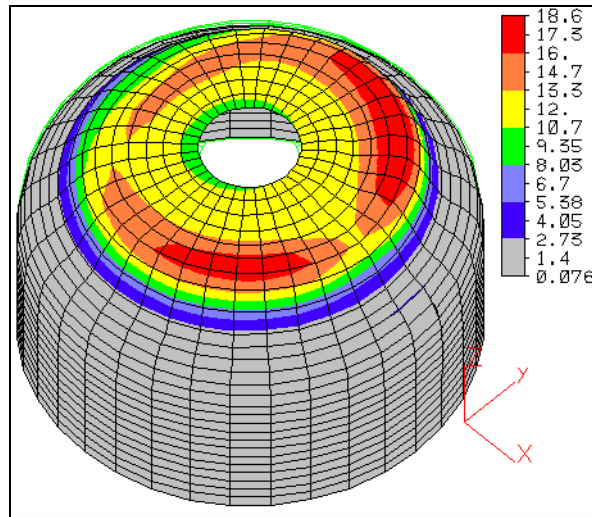
ANALIZA KONSTRUKCIJA

Naredni postupak u razvoju proizvoda je testiranje njegove funkcionalnosti, izdržljivosti, trajnosti i td. To je u klasičnom prilazu zahtevalo veoma mnogo vremena i sredstava za pravljenje i ispitivanje prototipova. Primena računara i numeričkih metoda približnog rešavanja parcijalnih diferencijalnih jednačina, omogućena je analiza različitih fizičkih polja, što u osnovi predstavljaju problemi napona, provođenja toplote, magnetizma u svakodnevnoj inženjerskoj praksi.

Formiranje "virtuelnog" modela proizvoda, pružilo je mogućnost da se na njemu simuliraju i procesi opterećenja, zamora materijala i sl. te da se veliki deo razvoja u smislu varijacije konstrukcije proizvoda obavi "u računaru". Na taj način se od desetak varijanti proizvoda, broj realnih prototipova na kojima će biti izvršena eksploatacijska ispitivanja smanji na dva tri ili čak samo jedan.

Fermentor pivare Čelarevo

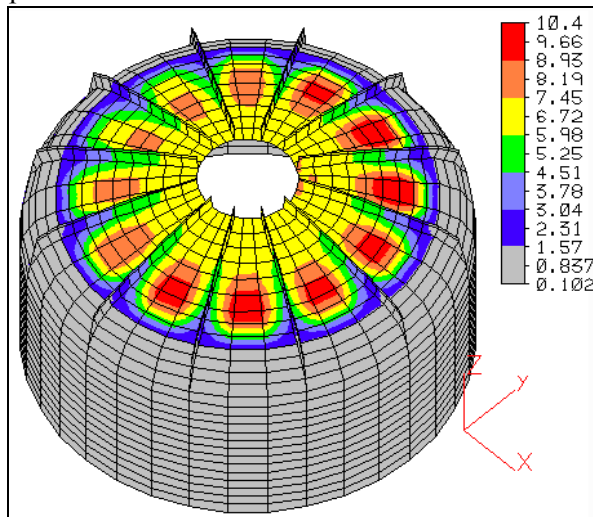
Na primeru proračuna napona u posudi za fermentaciju piva pivare Čelarevo (slike 4 i 5) pokazaće se mogućnosti numeričke analize napona i pomeranja u konstrukcijama i aparatima.



Slika 4 - Raspord napona na "segmentnom" dancu fermentora

Figure 4 - Stress distribution in bottom segment of the fermentator

Na slici 4 se uočava vrlo visok nivo napona nastalih usled savijanja lima zida danca fermentora. Savijanje je nastalo usled odstupanja geometrije od idealnog osnosimetričnog oblika zbog izrade danca iz niza segmenata. Na nekom mestima je dostignuta granica razvačenja materijala, što je prema postojećim propisima nedopustivo.



Slika 5 - Raspored napona u dancu fermentora sa rebrima

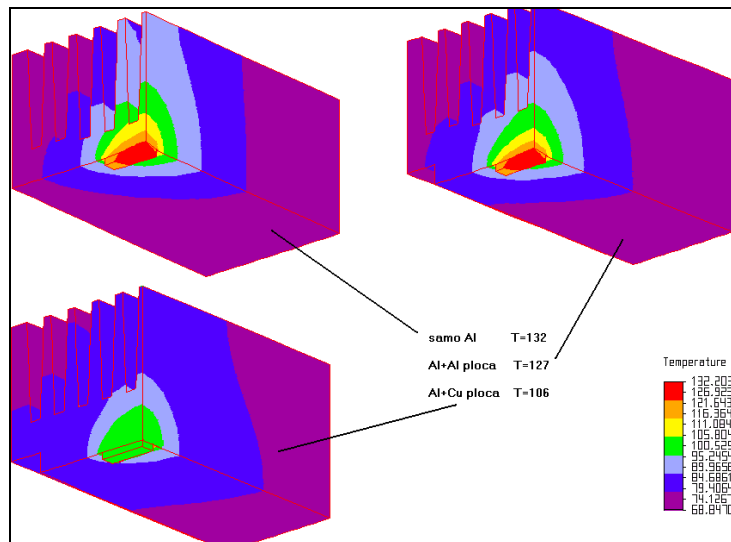
Figure 5 - Stress distribution in bottom segment of the fermentator with ribs

Posle rekonstrukcije posude u vidu ugradnje radijalnih rebara po površini danca, naponi su dovedeni u dozvoljene granice.

Kod ovakvih analiza treba ukazati na činjenicu da se sve više konstrukcija proračunava da svoju funkciju obavlja sa elementima opterećenim i preko granice elastičnosti materijala. Numeričke metode kao što je Metoda konačnih elemenata (MKE), su u stanju da uzmu u obzir i promenljivost koeficijenta elastičnosti sa opterećenjem i temperaturom i da daju prilično jasno predviđanje ponašanja konstrukcije u takvim uslovima. Ovo se posebno ističe što proizvođači materijala vrlo retko ili skoro nikako ne daju podatke o nosivosti materijala u PLASTIČNOM području i na POVIŠENIM temperaturama, što u velikoj meri osiromašuje mogućnosti analize konstrukcija raspoloživim softverom.

PROBLEMI DVOPLATNIH MATERIJALA

Metoda konačnih elemenata se vrlo efikasno može primeniti u analizi konstrukcija i aparata izrađenih od raznorodnih materijala, bilo dvoplastnih ili kompozitnih. Na primeru izrade hladnjaka uređaja za pojačavanje televizijskog signala snage 300 W (toplotni gubici iznose 2400 W), ukazaće se na mogućnost analize toplotne provodljivosti kod konstrukcija sastavljenih od dva ili više raznorodnih materijala. U ovom slučaju to je kombinacija bakra i aluminijuma (slika 6). Od aluminijuma je napravljena osnovna konstrukcija hladnjaka (u obliku češlja - gore levo) koja nije zadovoljila uslov da temperatura na mestu ugradnje tranzistora padne ispod 110 °C. Kako povećanje dužine hladnjaka nema smisla jer se najveći deo toplotne energije preda vazduhu u prvoj polovini hladnjaka, a postoji i konstrukciono ograničenje dužine zbog veličine ormara u koji se uređaj ugrađuje, to se išlo na povećanje debljine hladnjaka i primenu dvoplastnih materijala.



Slika 6 - Uticaj kombinacije materijala aluminijuma i bakra na odvođenje toplote
 Figure 6 - Effects of the materials combination of the aluminum and copper on heat transfer

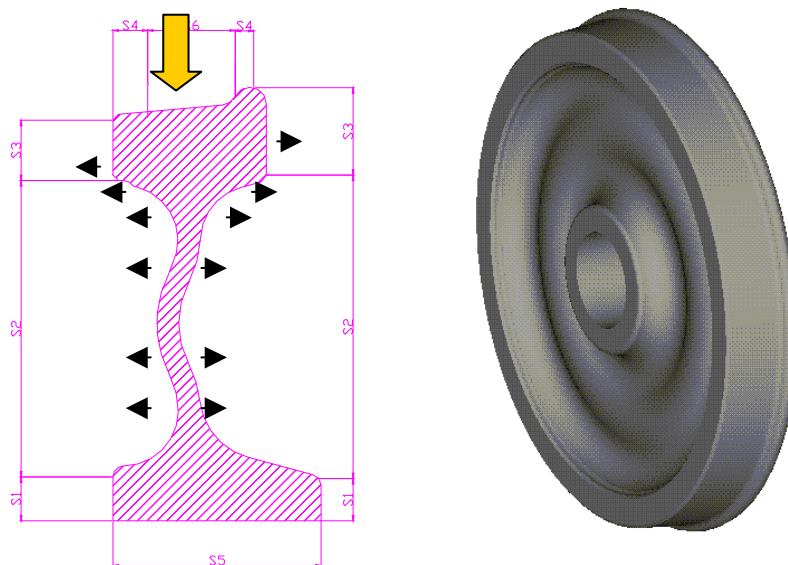
Na slici 6 se može zapaziti da povećanje debljine Al hladnjaka (gore desno) dovodi do neznatnog smanjenja temperature na mestu ugradnje tranzistora kao izvora toplote. Međutim, kombinacija Al hladnjaka (gore levo) sa bakarnom pločom, dovodi do bržeg odvođenja toplote i smanjenja temperature za skoro 30%.

Ovaj primer bi trebao da ukaže na mogućnost metode konačnih elemenata da u različitim slojevima konstrukcije može da koristi različite definicije pojedinih osobina materijala. U ovo slučaju je to koeficijent provođenja toplote, ali da je zahtevana i naponska analiza ovakve konstrukcije, primenjene bi bile i različite vrednosti modula elastičnosti što bi istaklo naponskop stanje na dodirnim površinama dvoplastnih elemenata.

PROCESI TERMIČKE OBRADE

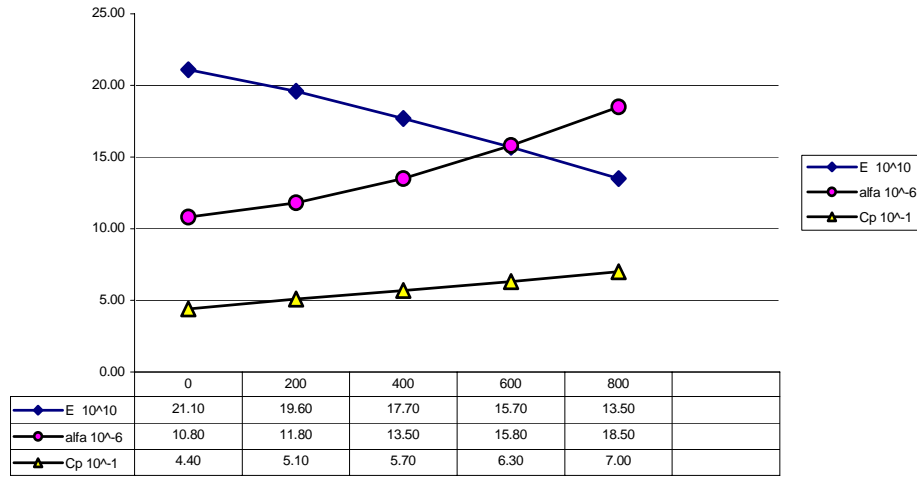
U osnovi problem termičke obrade sa stanovišta metode konačnih elemenata se svodi na analizu nestacionarnog provođenja toplote u materijalu tj. poznavanju promene temperaturnih polja u vremenu. Na osnovu ovakvih podataka inženjeri metalurgije su u stanju da predvide strukturne promene u kristalima materijala tokom vremena.

Na primeru kočenja železničkog točka na nizbrdici i njegovog zagrevanja, prikazani su rezultati izračunatih temperaturnih polja u toku vremena.

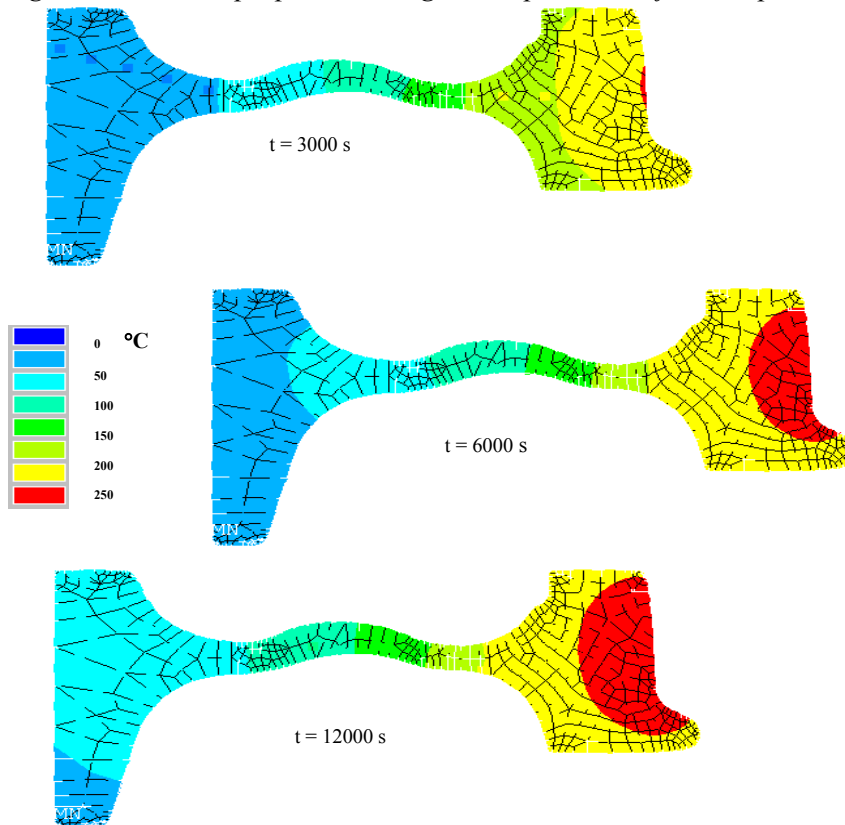


Slika 7 - Stvarni oblik i matematički model železničkog točka
Figure 7 - Real shape and mathematical model of the rail wheel

Dovođenje toplote kočenjem (kod termičke obrade grejanjem) se vrši po gornjoj površini točka (slika 7), označenoj velikom narandžastom strelicom (slično indukcijom ili plamenom zagrevanju kod kaljenja). Odvođenje toplote (hlađenje) se vrši na površinama označenim crnim strelicama. I ovde se ukazuje na nedostatak podataka o promenljivosti fizičkih karakteristika materija sa temperaturom.



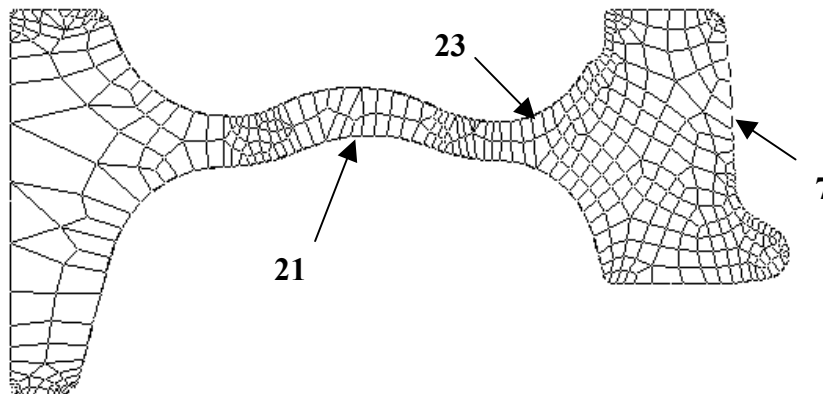
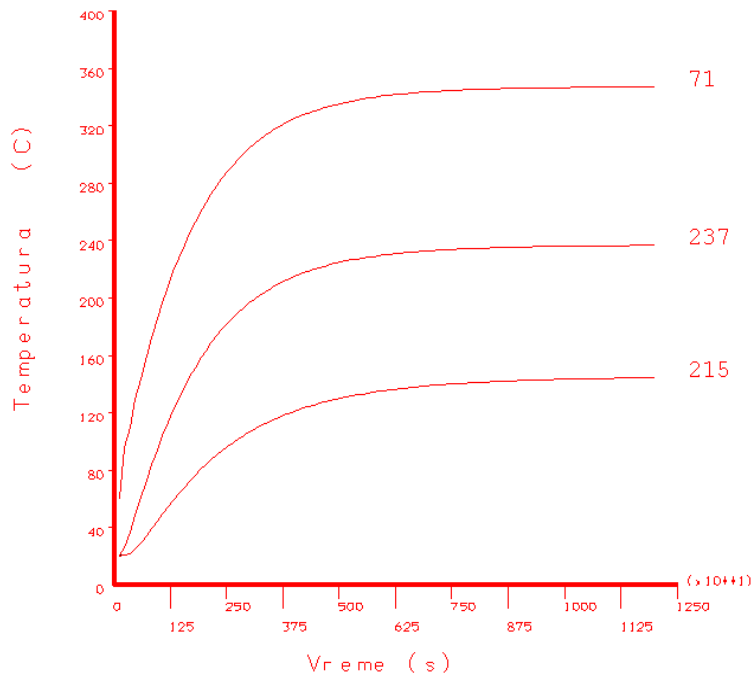
Slika 8. Promenljivost osobina materijala sa temperaturom
 Figure 8 - material properties changes in dependence of the temperature



Slika 9 - Promena temperaturnog polja u toku vremena
 Figure 9 - Temperature field changes in time

Slika 8 prikazuje promjenljivost modula elastičnosti, koeficijenta izduženja u specifične toplote materijala od koga je izrađen točak u temperaturnom intervalu od 0 do 800⁰ C.

Na slici 9 se mogu uočiti promene temperaturnog polja u toku vremena po radijalnom preseku točka. Radi boljeg sagledavanja promene temperature sa vremenom, izdvojene su tri tačke (čvorovi) na preseku točka i prikazan dijagram porasta temperatura sa vremenom.



Slika 10 - Prikaz promene temperature tokom vremena u izabranim tačkama preseka
 Figure 10 - Temperature changes in time for some points in cross section

Može se uočiti izrazita promenljivost temperaturnog polja u početku unošenja toplote sve dok se posle oko 5000 sekundi ne dođe do stacionarnog stanja. Sa ovakvih dijagrama se numeričkim diferenciranjem mogu dobiti brzine promene temperaturnog polja, tj. brzine hlađenja odnosno grejanja, što je svakako od koristi metalurzima pri proceni promena u kristalnoj strukturi materijala ili predviđanju njegovih mehaničkih osobina.

ZAKLJUČCI

Kratak uporedni pregled metoda definisanja oblika proizvoda i njegove izrade na klasičan način i pomoću računarske tehnike i odgovarajućih programa, ukazuje na nespornu prednost novih tehnologija jer se u procesu stvaranja "preskaču" određene neproduktivne faze rada koje mogu dovesti i do pogrešaka u razvoju.

Takođe modeliranje oblika proizvoda na računaru omogućava direktan prenos modela u programe za analizu ponašanja konstrukcije u radnim uslovima nekim od programa metode konačnih elemenata ili sličnim.

Primenom računarskih tehnologija je omogućeno višestruko ubrzanje procesa razvoja podrazumevajući pod tim i analizu naprezanja u radu i ispitivanje na zamor "virtuelnog" modela proizvoda.

LITERATURA

- [1] AMD 5.0, Reference Manual, AutoDesk 2000
- [2] ALGOR, Reference Manual, 1995
- [3] ANSYS 6.0, Reference Manual, 2001