

TEHNOLOGIJA, INFORMATIKA I OBRAZOVANJE
ZA DRUŠTVO UČENJA I ZNANJA

6. Međunarodni Simpozijum, Tehnički fakultet Čačak, 3–5. jun 2011.

TECHNOLOGY, INFORMATICS AND EDUCATION
FOR LEARNING AND KNOWLEDGE SOCIETY

6th International Symposium, Technical Faculty Čačak, 3–5th June 2011.

UDK: 004.451.9CATIA

Stručni rad

ANALIZA ČVRSTOĆE MAŠINSKIH DELOVA POMOĆU SOFTVERSKIH PAKETA

Sreten Obradović¹, Dragana Beljić², Svetislav Lj. Marković³

Rezime: U radu je analiziran uticaj računarskih tehnologija na projektovanje oblika i analizu nosivosti konstrukcija i sistema, sa osvrtom na neke od osobina konstrukcionih materijala. Na primeru proste grede prikazana je mogućnost primene računara u analizi napona i deformacija u konstrukcijama, primenom programskih paketa zasnovanih na teoriji Metode konačnih elemenata (MKE). Ovaj rad ukazuje na perspektive daljeg razvoja u oblasti modeliranja mašinskih elemenata i konstrukcija u obrazovnom sistemu i industriji koristeći softverski paket CATIA. Dat je i pogled na radna okruženja programa CATIA, gde se ova okruženja definišu kao specifična okruženja, koja se sastoje od skupa alata, omogućavajući korisniku da izvršava specifične konstruktorske zadatke u određenoj oblasti.

Ključne reči: Metoda konačnih elemenata, CATIA, modeliranje.

STRENGTH ANALYSIS OF MACHINE PARTS USING SOFTWARE PACKAGES

Summary: The paper analyzes the impact of computer technologies on the design of the shape and load analysis of structures and systems, with emphasis on some of the characteristics of the construction materials. The example of simple beam is used to demonstrate the possibility of using computers in the analysis of stress and strain in structures by application of software packages based on the theory of Finite Element Method (FEM). This paper emphasizes the perspective of development in the area of modeling of machine elements and structures in education and industry, using the software package CATIA. It also provides a view of the working environment of the program CATIA, where the environment is defined as a specific environment, which consists of a set of tools, allowing the user to perform specific tasks of the designers in a particular area.

Key words: Finite element method, CATIA, modeling.

¹ Sreten Obradović, maš.ing., Tehnička škola, Ub, Srbija, E-mail: sretenobradovic@gmail.com

² Dragana Beljić, maš. ing., Kolubara Metal, Vreoci, Srbija, E-mail: dragana.beljic@gmail.com

³ Dr Svetislav Lj. Marković, profesor, VŠTSS Čačak, E-mail: svetom@open.telekom.rs

1. UVOD

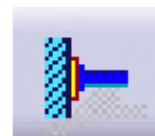
Dramatičan uticaj razvoja informacionih tehnologija osetio se i u poslovima projektovanja, analize i simulacije ponašanja mašinskih elemenata, konstrukcija i sistema. Iz osnova je promenjen način prilaza razvoju novih proizvoda, jer su računari i specijalizovani programski paketi omogućili da se ostvari 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 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. Razrušenost procesa projektovanja ukazuje na nemogućnost da se sve faze rada sagledaju u jednom ovakvom pregledu, pa je detaljnija pažnja posvećena primeru neposrednog projektovanja, primerom analize čvrstoće proste grede.

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.

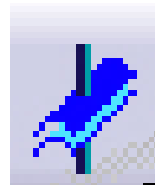
2. OSLANJANJE MAŠINSKIH DELOVA I SKLOPOVA

Prva faza u izradi analize čvrstoće mašinskih elemenata i konstrukcija je uvođenje oslonaca.

Prvi i osnovni vid oslonca je CLAMP (uklještenje). Ovaj oslonac sprečava svih 6 stepeni slobode svih čvorova KE mreže na koje se odnosi. Može se primenjivati za ukrućivanje realnih površina, ivica i temena modela, kao i za ukrućivanje virtuelnih elemenata.



Drugi vid oslonca je SURFAE SLIDER (površinski klizač). Ovaj oslonac omogućava čvorovima odabrane površine da klizaju po koincidentnoj krutoj površi. Sprečava rotacije čvorova KE mreže oko osa koje pripadaju odabranoj površini, kao i njihovu translaciju po osama upravnom na izabranu površinu. Može se primenjivati samo na površinama realnog modela.



Treći vid oslonca je SLIDER (linijski klizač). Ovaj oslonac omogućava odabranoj tački („handle point“ nekog virtuelnog dela) da kliza po određenoj osi. Može se primenjivati samo na virtuelne elemente.



Četvrti vid oslonca je SLIDING PIVOT (klizni cilindrični oslonac). Oslonac koji istovremeno omogućava klizanje izabrane tačke po zadatoj osi i njenu rotaciju oko iste. Translacije i rotacije oko upravne osa su sprečene. Može se primenjivati samo na virtuelne elemente.



Peti vid oslonca je PIVOT (konični spoj). Oslonac koji omogućava samo jedan stepen slobode, rotaciju izabrane tačke oko zadate ose. Može se primenjivati samo na virtuelne elemente.



Šesti vid oslonca je BALL JOINT (sferni oslonac). Oslonac koji omogućava slobodnu rotaciju modela oko zadate tačke. Sve tri translacije zadate tačke su sprečene. Može se primenjivati samo na virtuelne elemente.



Sedmi vid oslonca je USER-DEFINED RESTRAINT (oslonac koji kreira korisnik). Pomoću ove alatke može se kreirati oslonac kakav se želi. Može se primenjivati na površine, ivice i temena realnog modela, kao i na virtuelne elemente. Prilikom korišćenja realne geometrije modela kao nosača oslonca, moguće je sprečiti samo translacije odgovarajućih čvorova mreže KE. Sprečavanje rotacija istih neće biti uzeto u obzir prilikom proračuna. Virtuelnim elementima moguće je sprečiti svih šest stepeni slobode.



Osim oslonaca postoje i virtualni elementi, koji su pominjani u prethodnom tekstu.

Prvi virtuelni element koji se koristi je RIGID VIRTUAL PART (kruti virtuelni element). „Kruti“ virtuelni element je kruto telo koje povezuje određene tačke sa izabranim geometrijskim entitetima modela. To je objekat bez mase, koji kruto prenosi sile koje deluju na odabranu tačku (handle point) ili ograničenja zadata istoj, dok lokalno ukrućuje deformabilne elemente modela, koji predstavljaju nosače virtuelnog elementa. „Kruti“ virtuelni element ne uzima u obzir elastičnu deformabilnost elemenata koji predstavljaju njegove nosače. Nosači virtuelnog elementa mogu biti samo realne ivice i površine modela. „Handle point“ se opciono bira. Ukoliko se ova tačka ne izabere, program će je postaviti u težište površine koja predstavlja nosač virtuelnog „krutog“ elementa.



Drugi virtuelni element je SMOOTH VIRTUAL PART (elastični virtuelni element). „Elastični“ virtuelni element je kruto telo koje povezuje određene tačke sa izabranim geometrijskim entitetima modela. To je objekat bez mase, koji elastično prenosi sile koje deluju na odabranu tačku (handle point) ili ograničenja zadata istoj, dok lokalno ne ukrućuje deformabilne elemente modela, koji predstavljaju nosače virtuelnog elementa. „Elastični“ virtuelni element uzima u obzir elastičnu deformabilnost elemenata koji predstavljaju njegove nosače. Nosači virtuelnog elementa mogu biti samo realne ivice i površine modela. „Handle point“ se opciono bira. Ukoliko se ova tačka ne izabere, program će je postaviti u težište površine koja predstavlja nosač virtuelnog „elastičnog“ elementa.



Treći virtuelni element je CONTACT VIRTUAL PART (kontaktni virtuelni element). „Kontaktni“ virtuelni element je kruto telo koje povezuje određene tačke sa izabranim geometrijskim entitetima modela. To je objekat bez mase, koji kruto prenosi sile koje deluju na odabranu tačku (handle point) ili ograničenja zadata istoj, dok lokalno ne ukrućuje deformabilne elemente modela, koji predstavljaju nosače virtuelnog elementa. „Kontaktni“ virtuelni element uzima u obzir elastičnu deformabilnost elemenata koji predstavljaju njegove



nosače. Nosači virtuelnog elementa mogu biti samo realne ivice i površine modela. „Handle point“ se opciono bira. Ukoliko se ova tačka ne izabere, program će je postaviti u težište površine koja predstavlja nosač virtuelnog „kontaktnog“ elementa. Ovaj element omogućava postojanje klirensa. Moguće je definisati pomeranja nakon kojih realni model i virtuelni element ulaze u dodir.

3. ANALIZA ČVRSTOĆE PROSTE GREDE (SVOĐENJE PROSTORNOG NA RAVNSKI PROBLEM)

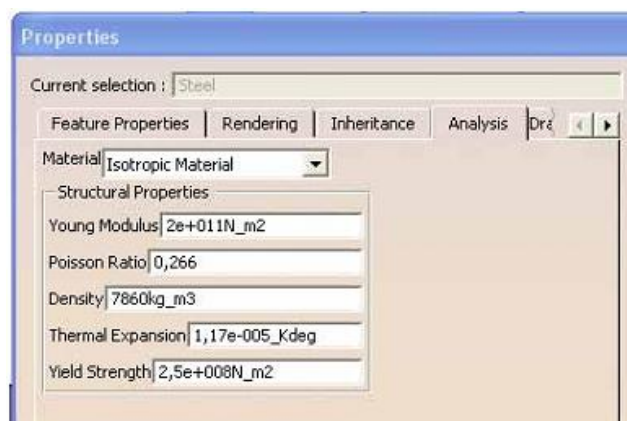
Redosled izvođenja operacija prilikom analize naponsko-deformacionog stanja proste grede primenom metode konačnih elemenata (MKE) je: a) Priprema modela za analizu; b) Oslanjanje modela; c) Unos opterećenja; d) Izbor tipa i veličine konačnih elemenata; e) Proračun i prikaz rezultata.

Analički proračun naponsko deformacionog stanja proste grede opterećene kontinualnim opterećenjem i momentom savijanja na nepokretnom osloncu. Dimenzije proste grede su 20x20x200 mm; $F=1000$ N (rezultanta kontinualnog opterećenja); $M=1000$ Nm (moment savijanja na nepokretnom osloncu).

$$M_{\max} := \frac{F \cdot l}{4} - \frac{q \cdot l^2}{8} \quad \sigma_{\max} := \frac{M_{\max}}{I_x} \cdot y_{\max} \quad \sigma_{\max} = 1.875 \times 10^7 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$q := \frac{F}{l} \quad f_{\max} := \frac{\sqrt{3}}{27} \cdot \frac{M \cdot l^2}{E \cdot I_x} \quad f_{\max} = 0.916 \text{ mm}$$

a) Priprema modela za analizu. Pre ulaska u modul za analizu (**Generative structural Analysis**), neophodno je zadati materijal modelu. Metoda konačnih elemenata je linearna numerička metoda, koja pored geometrijskih karakteristika modela koristi i karakteristike zadatog materijala, kao što su: modul elastičnosti (E), Poasonov koeficijent (ν) i gustina (ρ). Program nudi mogućnost izmene karakteristika odabranog materijala. Iz palete materijala izabere se čelik.



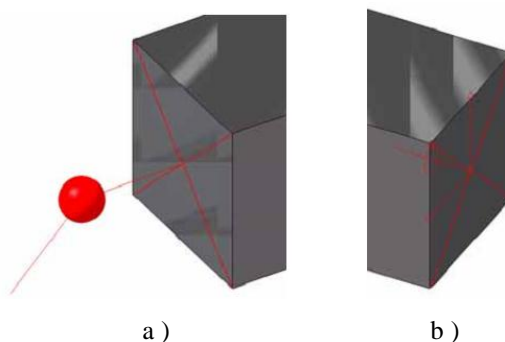
Slika 1. Izgled dijaloga modula za izbor karakteristika materijala

Ako se za unos opterećenja ili postavljanje oslonaca modela koriste virtuelni elementi, tačke nosače (handle points) treba postaviti u modulu Part Design. Ove tačke ne mogu biti deo crteža (Sketch-a), već moraju, pomoću seta komandi Reference Elements, biti zadate kao prostorne. Postave se dve prostorne tačke, kao nosači oslonaca, na početak i kraj srednje linije grede.



Slika 2. Postavljanje tačka na početku i kraju srednje linije grede

b) Oslanjanje modela. Pre zadavanja oslonaca, postavljamo dva kruta virtuelna elementa na površine koje ćemo koristiti kao nosače oslonaca na krajevima grede. Nepokretni oslonac proste grede može se simulirati sfernim, koničnim ili kliznim cilindričnim osloncem. Pokretni oslonac kreiramo sami.



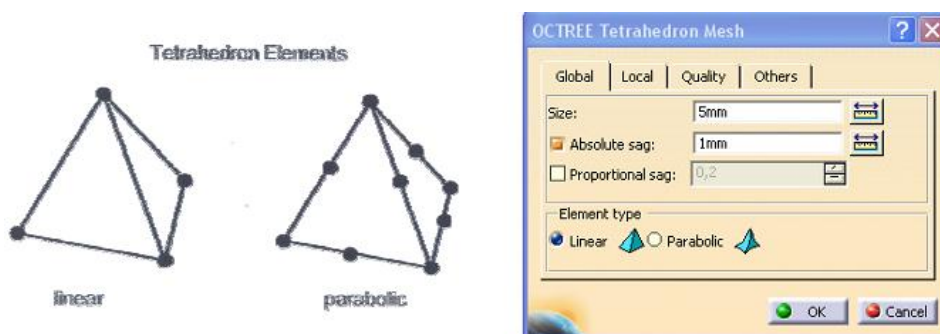
Slika 3. a) nepokretni oslonac; b) pokretni oslonac

c) Unos opterećenja. Na prostu gredu deluje ukupna sila od 1000 N kontinualno raspodeljena na površinu gornjeg vlakna. Istu unosimo pomoću komande „Distributed Force“.



Slika 4. Uneto opterećenje na prostu gredu

d) Izbor tipa i veličine konačnih elemenata. Postoje dva osnovna tipa zapreminskih konačnih elemenata tipa tetraedra; linearni i parabolički. Linearni KE tipa tetraedra su lakši za proračunavanje (sa aspekta opterećenja procesora i zauzetosti radne memorije), ali daju manje precizne rezultate od paraboličkih elemenata. Paraboličkim KE bolje se aproksimiraju cilindrične zapremine. „Absolute sag“ (odsupanje od geometrije). Korisniku je omogućeno zadavanje maksimalne mere odstupanja mreže KE od realne geometrije modela.



Slika 5. Zadavanje parametara konačnih elemenata

e) Proračun i prikaz rezultata. Pre aktiviranja proračuna pomoću komande „compute“, poželjno je proveriti sve prethodne korake. Rezultati proračuna prikazuju se pomoću sledećih komandi:



„Deformation“ – Slika mreže KE na deformisanom modelu;



„Von Mises Stress“ – Najveći specifični deformacioni rad promene oblika;



„Displacement“ – Slika pomeranja;



„Animate“ – Simulacija procesa deformisanja konstrukcije;



„Cut Plane Analysis“ – Prikazuje napone u odabranoj presečnoj ravni;



„Image Extrema“ – Globalni i lokalni maksimumi i minimumi napona i pomeranja konstrukcije.

Nakon izvršenog proračuna cele strukture modela moguće je karakteristične zone (tačke, ivice, površine i delove zapremine) izdvojiti i analizirati zasebno pomoću seta komandi „Groups“.



„Point Group“ – Prikazuje napone i deformacije odabranih temena modela;



„Line Group“ – Prikazuje napone i deformacije odabranih ivica modela;

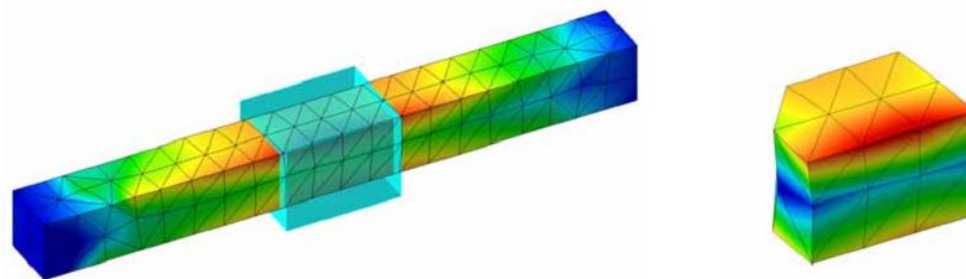


„Surface Group“ – Prikazuje napone i deformacije odabranih površina modela;

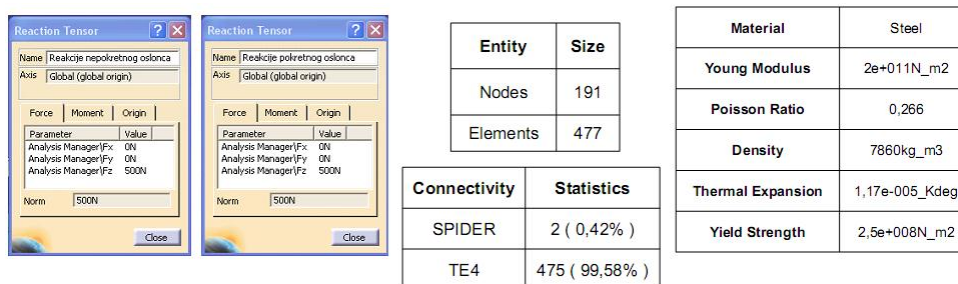


„Box Group“ – Prikazuje napone i deformacije odabranih zona modela.

Prilikom zadavanja grupa elemenata strukture modela koji se želi prikazati na ekranu, mora se voditi računa o redosledu operacija: 1) Deaktivirati rešenje; 2) Aktivirati komandu za zadavanje grupe; 3) Odabrati elemente koji se žele prikazati; 4) Aktivirati rešenje.



Slika 6. Zadavanje grupa elemenata strukture modela



Slika 7. Prikaz rezultata analize čvrstoće proste grede

Reakcije oslonaca moguće je očitati iz senzora reakcija, koji se formira desnim klikom na granu „Sensors.1“ u stablu analize. Pomoću komande „Generate Report“ dobijaju se osnovne informacije o obimu i karakteru proračuna metodom konačnih elemenata (informacije o broju čvorova, elemenata i sprečenih stepeni slobode KE mreže, kao i o zadatom materijalu dela), kao i grubi prikaz rezultata proračuna.

4. ZAKLJUČAK

Vodeći svetski softveri poseduju toliko velike mogućnosti i zasnovani su na najnaprednijim konceptima inženjerske i informatičke prakse i znatnu kvalitetnu hardversku podršku. CATIA V5 nudi novu strukturu procesa analize mašinskih elemenata i sistema, koja je razvijena na bazi jedinstvenog skupa alata za razvoj računarskih programa. Najimpresivniji aspekti programa CATIA V5 su integracija različitih skupova paleta alata i neprekidan tok rada u grafičkom korisničkom okruženju. Zapreminski elementi se uglavnom kreiraju na osnovu skiciranih elemenata, ili elemenata poznate topologije, koji zahtevaju samo reference za postavljanje na model. Ovakav pristup omogućava znatno veću fleksibilnost u odnosu na ranije pomenute verzije programa. Lanac nekonvencionalnih tehnika najčešće je definisan kao softver za proračun, softver za modeliranje, softver za ispitivanje i analizu. Izvršni program CNC mašina poznat je pod imenom interaktivno modeliranje mašinskih elemenata i konstrukcija. Interaktivnim modeliranjem mašinskih konstrukcija udruženim softverskim alatima na konkretnim primerima iz prakse ostvaruje se niz prednosti koje uočava svaki projektant. Interaktivnom modeliranju kao tehnici mašinskog projektovanja pripada budućnost.

5. LITERATURA

- [1] N. Repčić, I. Šarić, *CAD/CAM Programming by WinCAM Programming Package*, 4th International Scientific Conference on Production Engineering „Development and odernization Of Production - RIM 2003“, Conference Proceedings, sept. 25-27. 2003.
- [2] M. Ogrizović, *Interaktivno modeliranje mašinskih konstrukcija u praksi*, Kompjuter biblioteka, Čačak, 2002.
- [3] ALGOR, *Reference Manual*, 1995
- [4] Fred Karam, Charles Kleismit, *Catia V5*, Čačak, 2004.
- [5] D. S. Kelley, *Catia for Design and Engineering Version 5*, Releases 14&15, SDC.
- [6] N. G. Zamani, J. M. Weaver, *Catia V5 Tutorials in Mechanism Design and Animation*, SDC Publications.