

METODOLOGIJA, ALATI I MOGUĆNOSTI STRUKTURNE ANALIZE KUKU U SKLOPU DONJE KOTURAČE U CAD/CAE SISTEMU CATIA

METHODOLOGY, TOOLS AND POSSIBILITIES OF STRUCTURAL ANALYSIS OF THE HOOK IN ASSEMBLY OF THE LOWER PULLEY IN CAD/CAE SYSTEM CATIA

Papić Sajfo¹
Hasanović Elida²

¹ Univerzitet u Sarajevu,

² FeBoCon doo Sarajevo

Ključne riječi:

Konačni elementi,
MKE modeliranje, Naponi,
Strukturalna analiza.

Key Words:

Finite elements,
FEM modeling, Stresses,
Structural analysis.

Paper received:

02.02.2018.

Paper accepted:

19.03.2018.

Stručni rad

REZIME

U ovom radu prikazana je metodologija MKE modeliranja kuke i dat je opis mogućnosti alata modula za strukturalnu analizu u CAD/CAE sistemu CATIA. Opisani su alati za definisanje: ograničenja, opterećenja, oblika i tipa kontakata na primjeru kuke, sklopa donje koturače, za koju je formiran MKE model i izvršena strukturalna analiza. Strukturalna analiza u CATIA-i vrši se metodom konačnih elemenata, pri čemu se razmatrani model diskretizuje tj. dijeli na elemente konačnih dimenzija koji predstavljaju osnovu razmatranja. Naponi dobijeni strukturalnom analizom u CATIA-i upoređeni su sa vrijednostima napona dobijenih analitičkim putem na karakterističnim mjestima kuke i na osnovu toga izvedeni zaključci o uspješnosti modeliranja i ispitivanja u CAD/CAE sistemu CATIA.

Professional paper

SUMMARY

This paper presents the methodology of the FEM modeling of the hook and provides a description of the possibility of tools of the module for structural analysis in the CAD / CAE CATIA system. The tools are described for defining: constraints, loads, shapes and types of contacts on the example of the hook, a lower pulley assembly, for which the FEM model is formed and a structural analysis is performed. The structural analysis in CATIA is performed using the finite element method, whereby the observed model is discretized, i.e., is divided into elements of finite dimensions which represent the basis of the observation. The stresses obtained by structural analysis in CATIA are compared with the values of stresses at the characteristic hook locations which are obtained analytically, and based on that, conclusions about the success of modeling and testing in CAD/CAE CATIA system are drawn out.

1. UVOD

Veliki i komplikovani proračuni koji su u prošlosti zahtijevali mnogo vremena pravilnom upotrebom tehničkih programskih paketa danas postaju lakše rješivi. Uz projektovanje „virtualnih konstrukcija“, koje je moguće u sve boljim specijaliziranim programima, potpuno je promijenjen način prilaza razvoju novih proizvoda, analizi njihovog ponašanja pod opterećenjem, simulaciji procesa izrade i dr. Prednosti konstruisanja su mnogostruke. Ogladaju se prije svega u lakoći formiranja modela i mogućnosti izvođenja njegovih korekcija. Uočene nedostatke konstrukcije lako

1. INTRODUCTION

Large and complicated calculations that required a lot of time in the past are now becoming easily solvable with the correct use of technical software packages. With the designing of „virtual constructions“, which is possible in continuously improving specialised programs, has completely changed the way of approaching the development of new products, the analysis of their behaviour under load, the simulation of the manufacturing process etc. There are multiple advantages of constructing. Primarily, the ease of forming the model and the possibility of carrying out its corrections. The

je odstraniti i izvršiti ponovni proračun. U komparaciji sa analitičkim metodama proračuna, kod kojih postoji vrlo mali broj rješenja u zatvorenom obliku, primjenom ovih programskih paketa moguće je izvršiti najkompleksnije analize na jako složenim modelima, i to za relativno kratko vrijeme [1]. CATIA (računarom podržana trodimenzionalna interaktivna aplikacija) je proizvod najvišeg tehnološkog razvoja i predstavlja standard u svijetu konstruisanja. Trenutno je najsavremeniji integrisani CAD (konstruisanje podržano računarom)/CAE (inženjerstvo podržano računarom) softverski sistem koji je moguće naći na tržištu za komercijalnu upotrebu i naučnoistraživački rad. Strukturna analiza u CATIA-i vrši se metodom konačnih elemenata.

Metoda konačnih elemenata spada u metode diskretne analize. Za razliku od ostalih numeričkih metoda, koje se zasnivaju na matematičkoj diskretizaciji jednačina graničnih problema, MKE se zasniva na fizičkoj diskretizaciji razmatranog domena na konačan broj elemenata malih dimenzija koji predstavljaju osnovu razmatranja. Sa stanovišta fizičke interpretacije, to znači da se razmatrano područje kao kontinuum sa beskonačno mnogo stepeni slobode, zamjenjuje diskretnim modelom međusobno povezanih konačnih elemenata, sa konačnim brojem stepeni slobode. Rješenje kompleksnog problema dobija se procedurom „spajanja“ rješenja pojedinačnih elemenata.

2. FORMIRANJE MODELA

Formiranje diskretnog modela kuke u CATIA-i je pripremna procedura prije analize metodom konačnih elemenata. Formiranjem diskretnog modela stvara se osmišljena, uskladjena i povezana grupa konačnih elemenata kojom je opisan kontinuum koji je predmet analize [2]. Formiranje modela na kojem će biti izvršena strukturna analiza sastojao se iz dvije faze:

- formiranje geometrijskog modela, slika 1,
- formiranje diskretnog modela, slika 2.

Geometrijski model je kreiran u CATIA-i, u modulima *Part Design*, *Generative Shape Design* i *Assembly Design*. Time je nastala datoteka podataka koji realno opisuju geometriju objekta sa svim potrebnim detaljima za izradu. Geometrijski model može da sadrži geometrijske elemente koji nemaju značaja za analizu jer ne utiču na naponsko-deformacionu sliku objekta. Radi toga se može formirati

observed deficiencies of the construction are easy to remove and carry out a re-calculation. In comparison to analytical methods of calculation, where there is only a small number of solutions in a closed form, using these software packages it is possible to perform the most complex analyses of very complex models in a relatively short period of time [1].

CATIA (Computer-Aided Three-dimensional Interactive Applications) is a product of the peak technological development and represents a standard in the world of constructing. Currently, it is the latest integrated CAD (Computer Aided Design)/CAE (Computer Aided Engineering) software system that can be found in the market for commercial use and scientific research. Structural analysis in CATIA is conducted using the finite element method.

The finite element method is a method of discrete analysis. Unlike other numerical methods, which are based on mathematical discretization of the boundary – problems equations, FEM is based on physical discretization of the observed domain to a finite number of small – dimensional elements that form the basis of observation. From the viewpoint of physical interpretation, that means that the observed area, as a continuum with an infinite number of degrees of freedom is replaced by a discrete model of interconnected finite elements with a finite number of degrees of freedom. The solution of the complex problem is obtained by the procedure of „merging“ the solutions of individual elements.

2. FORMING THE MODEL

The formation of a discrete hook model in CATIA, is a preparatory procedure before the finite elements method analysis. By forming a discrete model a conceived, coordinated and connected group of finite elements is created, which the continuum of the subject of analysis [2] is described with.

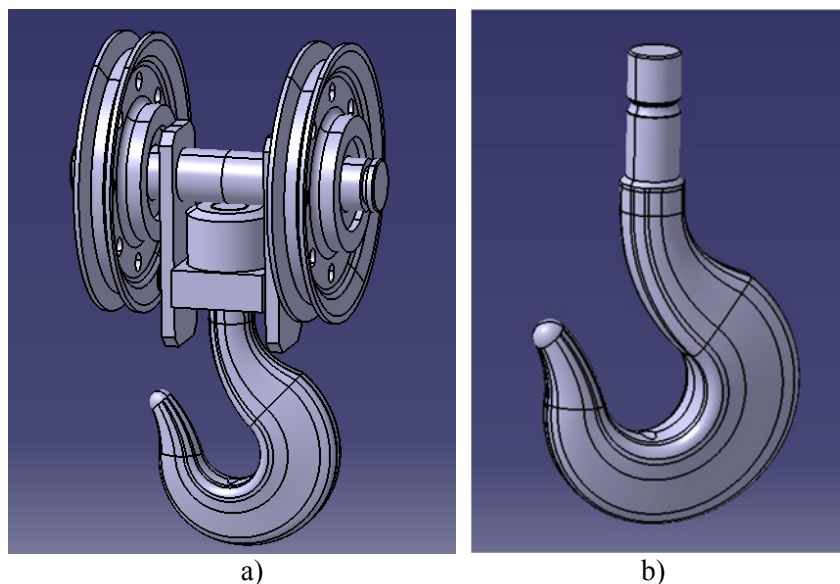
The formation of the model on which the structural analysis will be carried out consists of two phases:

- formation of the geometric model, Figure 1.
- formation of a discrete model, Figure 2.

The geometric model was created in CATIA in modules: *Part Design*, *Generative Shape Design*, *Assembly Design*. Thus a data file that realistically describes the geometry of the object with all the necessary details for making appeared. A geometrical model can contain geometrical elements that are not important for the analysis because they do not affect the stress-deformation image of the object. For this reason an idealised

idealizovan model u kome bi bili odbačeni nevažni detalji.

model can be formed with the rejection of unimportant details.



Slika 1. Geometrijski model: a) sklop donje koturače, b) kuka
Figure 1. Geometrical model: a) lower pulley assembly, b) hook

Diskretizovani model se formira u modulu *Generative Structural Analysis* trodimenzionalnim konačnim elementima, podrazumijeva određivanje čvorova, konačnih elemenata, podataka o materijalu, diskretnom opterećenju i diskretnim graničnim uslovima. Diskretni model ima potrebna prilagodjavanja mreže konačnih elemenata graničnim uslovima oslanjanja i tačkama i površinama dejstva spoljašnjih sila. Razvijena mreža konačnih elemenata se ocjenjuje parametrima oblika mreže: geometrijski okviri u kojima je primijenjen konačan element (deformisanost oblika), pravilnost razvoja mreže (kontinualnost promene pravca i oblika elementa), pravilnost promjene veličine elementa (kontinualnost promjene geometrije). Na bazi ovih parametara vrši se poboljšanje mreže prije nego što se formira konačan diskretni model. Konačnim diskretnim modelom vrši se analiza.

Formiranjem mreže konačnih elemenata podrazumijeva se generisanje mreže kao cjeline jednom komandom kojom nastaje diskretni model iz zadatog geometrijskog modela. Ulaskom u modul *Generative Structural Analysis* automatski se, na elementima, generiše mreža 3D (trodimenzionalnih) konačnih elemenata slika 3. U polju *Size* se unosi veličina konačnog elementa. Termin *Sag* je karakterističan samo za CATIA-u, i postoji jer stvarna površina nekog tijela njegova MKE aproksimacija se ne podudaraju u

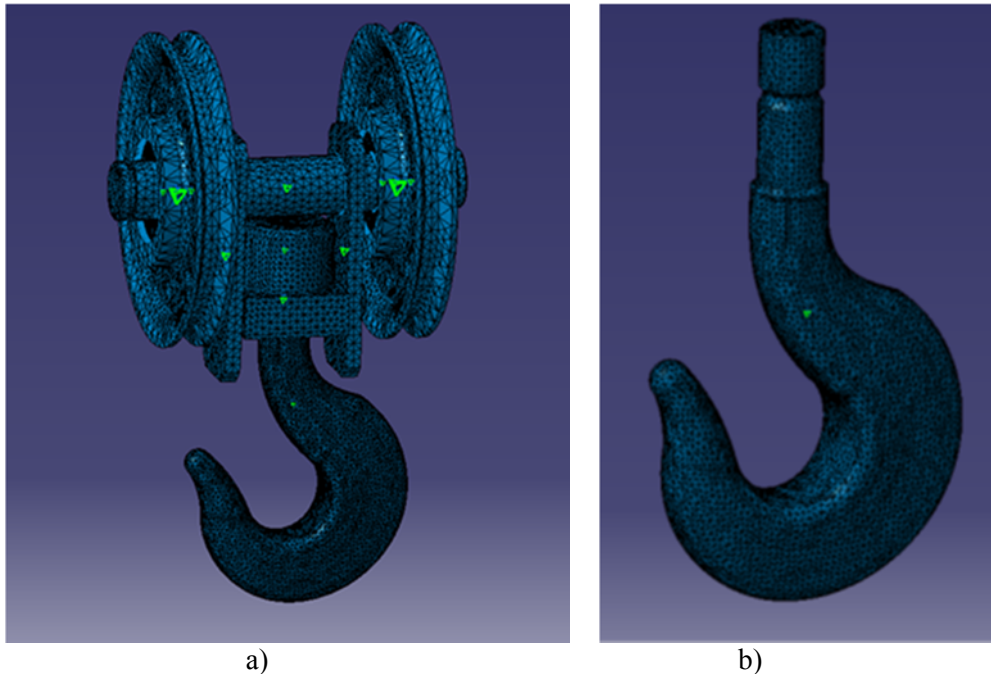
The discretized model is formed in the *Generative Structural Analysis* module using the three-dimensional finite elements, implies the determination of nodes, finite elements, material data, discrete load and discrete boundary conditions. The discrete model has the necessary adjustments of the mesh of finite elements to the boundary support conditions and the points and surfaces of the action of external forces. The developed finite elements mesh is evaluated by shape mesh parameters: the geometric frames in which finite element is applied (form deformation), regularity of mesh development (continuation of direction and shape of the element change), regularity of change of element size (the continuity of geometric change). Based on these parameters the mesh is improved before the final discrete model is formed. The analysis is done on the final discrete model.

Forming a mesh of finite elements implies to generate a mesh as a whole by a single command that creates a discrete model from a given geometric model. By entering the *Generative Structural Analysis* module, mesh of 3D (three-dimensional) finite elements is automatically generated, Figure 3.

In the *Size* field the size of the final element is entered. The term *Sag* is characteristic only for CATIA, and exists because the actual surface of a body and its FEM approximation do not fully coincide. By controlling the size of deviation

potpunosti. Kontrolom veličine odstupanja od geometrije (*sag*), zapravo se kontroliše odstupanje aproksimirane površine dijela u odnosu na stvarnu, slika 4. Manje vrijednosti *sag* parametra po pravilu daju tačnije rezultate. [5]

from the geometry (*sag*), the deviation of the approximated surface area relative to the actual is actually controlled, Figure 4. The lower values of the *sag* parameter give more precise results. [5]



Slika 2. Diskretizovani modeli: a) sklop donje koturače, b) kuke
Figure 2. Discretized models: a) lower pulley assembly, b) hook

Tip elementa može biti linearni i parabolični. Linearni ne uzimaju u obzir uticaj savijanja (previše su kruti), a parabolični uzimaju savijanje u obzir ali im je potrebno mnogo više vremena za proračun [2].

Oblik 3D elemenata je tetraedar. Linearni i parabolični tetraedar, predstavljaju osnovne solid elemente u sistemu CATIA [7].

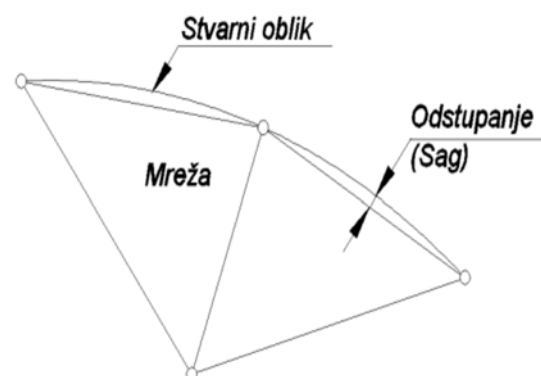
The type of element can be linear and parabolic. Linear do not take into account the effect of bending (they are too rigid), and parabolic take it into account but they take a lot more time to calculate [2].

The Shape of the 3D element is a tetrahedron. Linear and parabolic tetrahedron, represent the basic solid elements in the CATIA system [7].



Slika 3. Definisavanje veličine i tipa konačnog elementa kuke

Figure 3. Defining size and type of a finite element of the hook



Slika 4. Odstupanje modelirane geometrije u odnosu na stvarnu

Figure 4. Deviation of the modeled geometry from the real one

2.1. Definisanje graničnih uslova

Nakon formiranja diskretnog modela pristupa se definisanju kontakata, ograničenja i opterećenja između dijelova u sklopu konstrukcije.

Obzirom da svi dijelovi naliježu jedan na drugi svojim površinama definisana je kontaktna konekcija kao oblik veze između dijelova operacijom *General Analysis Connection*. Tip te konekcije je definisan operacijama iz palete *Connection Properties*. Čvrstom konekcijom (*Fastened Connection*) je označena veza između ležaja i koturova, nosećeg lima i traverze. Presovana veza (*Pressure Fitting Connection*) je definisana između kuke i njene navrtke.

Ograničenje predstavlja ograničavanje pomjeranja po nekom od šest stepeni slobode: translacija duž x, y, z osa, kao i rotacija oko tih osa. Dije se na globalna, definisana u globalnom koordinatnom sistemu, koja važe za svaki čvor mreže konačnih elemenata, i na lokalna ograničenja, definisana u lokalnom koordinatnom sistemu, koja važe u određenim čvorovima. U sklopu donje koturače definisano je uklještenje (*Clamp*) i postavljeno na koturovima. U CATIA-i opterećenja se definišu operacijama iz palete Loads. Za simuliranje djelovanja užeta sa teretom na kuku korišteno je opterećenje *Bearing load* koje simulira kontaktno opterećenje između cilindričnih dijelova, slika 5. Ova sila uzima u obzir i raspored djelovanja opterećenja.

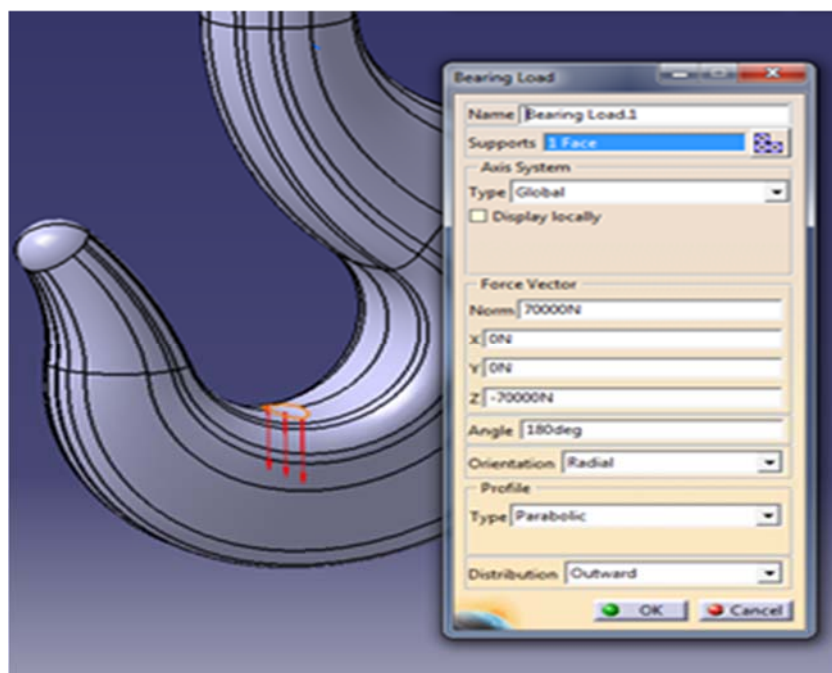
2.1. Defining boundary conditions

After the formation of a discrete model, it is possible to define the contacts, constraints and loads between the parts in the assembly of the construction.

Since all the parts lie on one another with their surfaces, a contact connection is defined as a form of connection between parts with the operation *Generative Analysis Connection*. The type of this connection is defined by operations from the *Connection Properties* palette. Fastened Connection is placed between the bearing and the pulleys, the bearing plate and the traverse. And the Pressure Fitting Connection is defined between the hook and its nut.

A Constraint is the restriction of the movement by one of six degrees of freedom: translation along x, y, z axis, and rotation around these axes. They are divided into global, defined in the global coordinate system, which apply to each node of the finite element mesh, and the local constraints, defined in the local coordinate system that are valid in certain nodes. In the assembly of the lower pulley the Clamp is defined and placed on the pulleys.

CATIA loads are defined by operations from the Loads palette. For simulating the effect of a rope with heavy load on the hook, a Bearing load which simulates the contact load between the cylindrical parts is used, Figure 5. This force also takes into account the load distribution.



Slika 5. Postavljanje sile na kuku
Figure 5. Placing the load on the hook

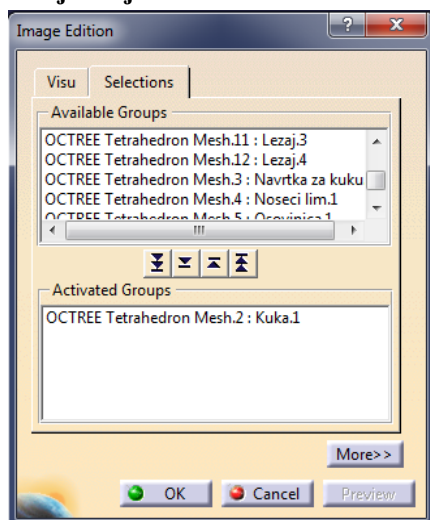
3. ANALIZA REZULTATA

Nakon formiranja MKE modela pristupa se izvođenu proračuna. Uz prethodno pravilno modeliranje, sav posao proračuna vrši CATIA. Vrijeme trajanja proračuna zavisi od kompleksnosti strukture, gustine mreže, broja kontakata i dr. Analizirana su ukupna pomjeranja, von Mises naponi i glavni naponi. Na osnovu ukupnih pomjeranja može se uvrđiti krutost sklopa, von Mises naponi ukazuju na mjesta najveće koncentracije napona, a glavni naponi, koji djeluju u okomitim ravnima, ukazuju na naprezanja koja se dešavaju u samo određenim pravcima, pa su stoga upoređeni sa analitičkim proračunom na karakterističnim mjestima konstrukcije.

Za teret težine $Q_n = 70kN$, vrši se odabir užeta i proračun svih dijelova u sklopu. Nosivost dizalice ima vrijednost [4]:

$$Q = F_{n1} = \frac{Q_n \cdot 9,81}{10} = \frac{70 \cdot 9,81}{10} = 68,67kN = 68670N \quad (1)$$

3.1. Pomjeranja



Slika 6. Ukupno pomjeranje kuke: a) prozor za definisanje prikaza pomjeranja, b) pomjeranje kuke
Figure 6. Total displacement of the hook: a) window for defining hook displacement review, b) hook displacement

Sa slike 6 se može primjetiti da je najveće pomjeranje kuke 0,577mm.

3.2. Von Mises naponi

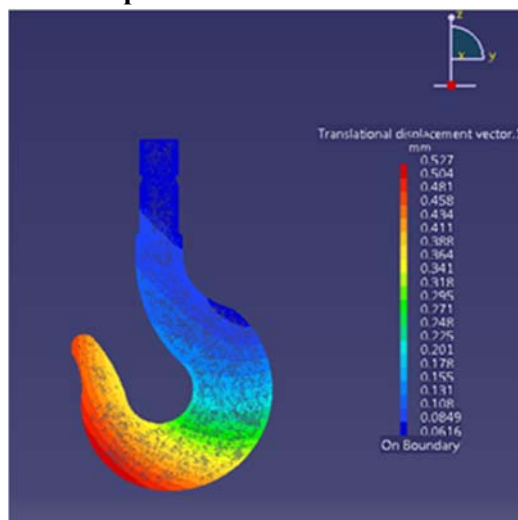
Von Mises ili ekvivalentni napon često se koristi u mehanici čvrstih tijela za predviđanje razvlačenja materijala kod višeosnih opterećenja koristeći rezultate ispitivanja u slučaju jednosnog zatezanja. Definiše se sa [3]:

3. ANALYSIS OF THE RESULTS

After the formation of the FEM model the calculations are approached. With previous correct modeling all the calculation is done by CATIA. Duration of calculation depends on structure complexity, mesh density, number of contacts etc. Total displacements, von Mises stresses and main stresses have been analyzed. Based on total displacements it is possible to find the rigidity of the assembly, von Mises stresses indicate the places with highest stress concentration, and main stresses, acting in normal planes, indicate the strains that occur only in certain directions, and these are, therefore, compared with the analytical calculation on characteristic places of construction.

For the load of $Q_n = 70kN$, the rope selection and calculation of all parts in the assembly is carried out. Load capacity of the crane has the value [4]:

3.1. Displacements



From figure 6 it can be seen that the biggest movement of the hook is 0,577 mm.

3.2. Von Mises stresses

Von Mises or equivalent stress is often used in solid-state mechanics for predicting the stretching of materials in multi-axis loads using the results from the case of single-axis tension. It is defined with: [3]:

$$\sigma_m = \sigma_e = \sqrt{3J_2} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (2)$$

Pri čemu je J_2 druga invarijanta napona a $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ glavni normalni naponi u pravcu osa x, y, z

Analizirajući raspodjelu von Mises naponskih polja najveći napon nastaje na kuki, slika 7, što je i očekivano obzirom na djelovanje opterećenja, i iznosi 167 MPa.

3.3. Glavni naponi

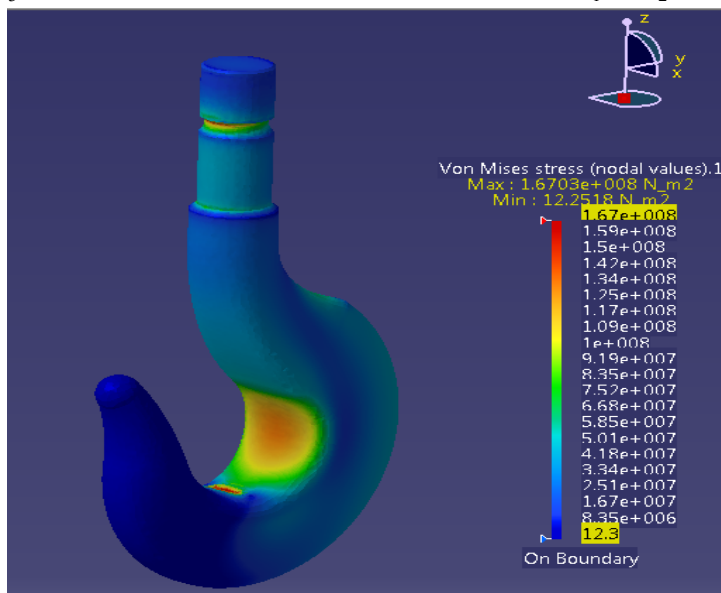
Glavni naponi se nazivaju i normalnim naponima zato što su njihovi pravci djelovanja međusobno okomiti [6]. Usvojena je standardna konvencija da je $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

Where J_2 is the second invariant of stress, and $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ the main stresses in the direction of x, y, z axes.

Analyzing the distribution of von Mises stress fields, highest stress is generated on the hook, Figure 7, which is expected, due to the action of the load, and it is 167 MPa.

3.3. Main stresses

The main stresses are also called normal stresses because their directions of action are mutually normal [6]. A standard convention has been adopted that is $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.



Slika 7. Von Mises naponi na kuki
Figure 7. Von Mises stresses on the hook

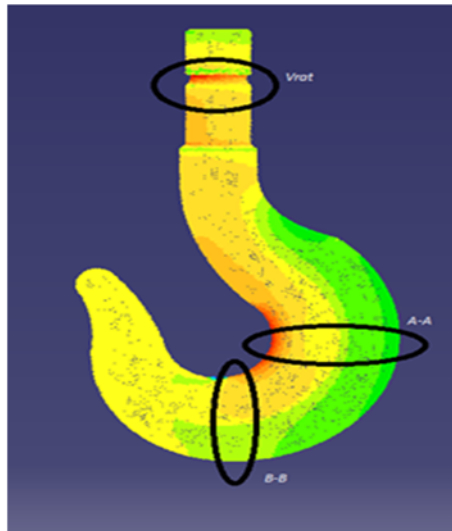
U programskom paketu CATIA naponi σ_1, σ_2 i σ_3 odgovaraju naponima C11, C22, C33 respektivno. Oni daju bolji prikaz stvarnog stanja konstrukcije. Biće prikazani naponi u horizontalnoj (C11) i vertikalnoj ravni (C33) na karakterističnim presjecima kuke i upoređeni sa analitičkim, slika 8.

Naponi u karakterističnim presjecima kuke, slika 9, dobijeni analizom u CATIA-i prikazani su na slikama 9, 10 i 11. Ispitivani su naponi u vratu kuke, u krajnjim vlaknima sa unutrašnje strane u horizontalnoj ravni, i u krajnjim vlaknima sa vanjske strane u vertikalnoj ravni, u presjecima A-A i B-B. Može se konstatovati da nema velikih razlika između analitičkog i numeričkog proračuna.

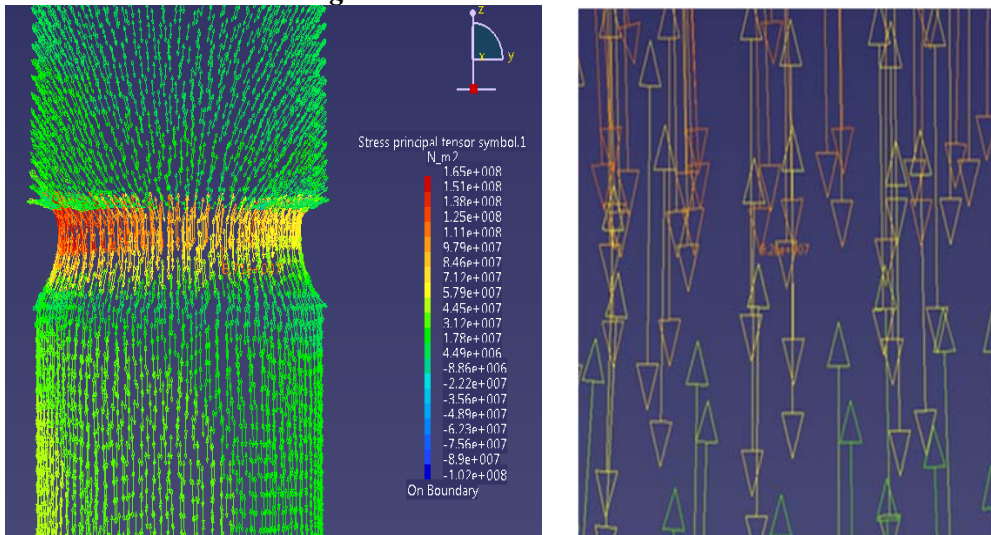
In CATIA software package, the stresses σ_1, σ_2 i σ_3 correspond to C11, C22, C33, respectively.

They give a better picture of the actual state of construction. The stresses in horizontal (C11) and vertical (C33) plane at the characteristic cross-sections of the hook will be shown and compared with the analytical, Figure 8.

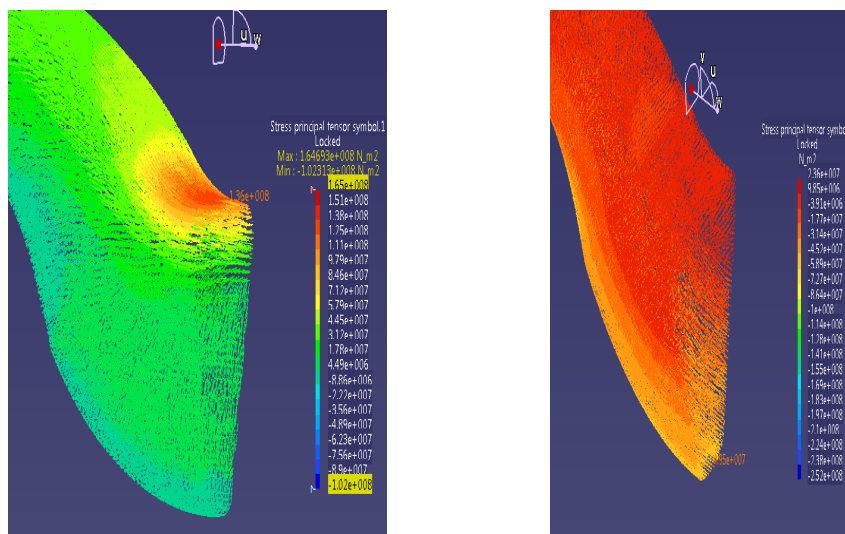
Stresses on characteristic hook sections, Figure 9, obtained by analysis in CATIA, are shown on Figures 9, 10, 11. The stresses are examined in the hooks neck, in the end fibers from the inside, in the horizontal plane, and in the outer fibers, in the vertical plane, in sections A-A and B-B. It can be noticed that there are no major differences between analytical and numerical calculations.



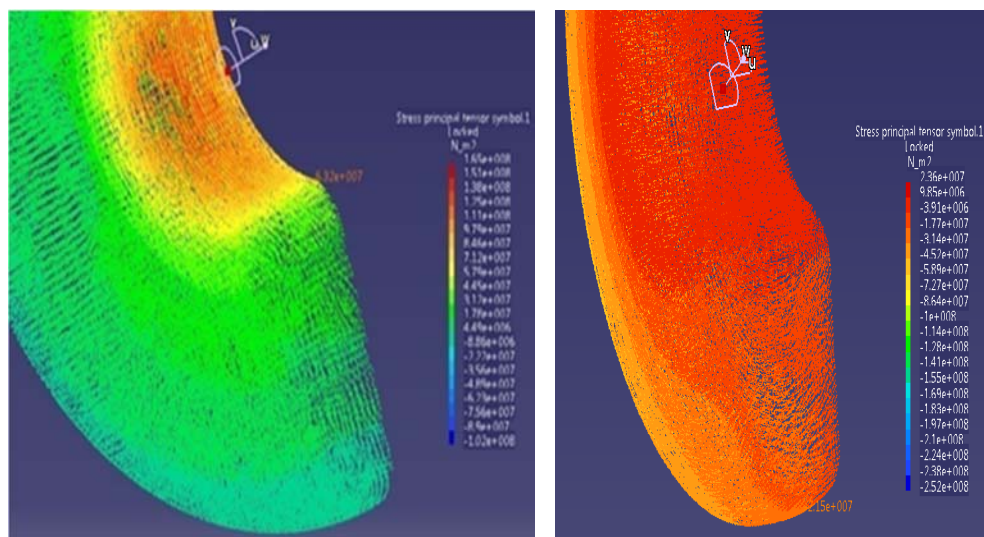
Slika 8. Ukupni napon kuke
Figure 8. Total stress on the hook



Slika 9. Glavni naponi na vratu kuke u vertikalnoj ravni
Figure 9. Main stresses on the hooks neck on the vertical plate



Slika 10. Glavni naponi u presjeku A-A
Figure 10. Main stresses in section A-A



Slika 11. Glavni naponi u presjeku B-B
Figure 11. Main stresses in section B-B

Naponi na presjecima kuke imaju približno iste vrijednosti sa analitički dobijenim naponima. Vrijednosti napona u pojedinim presjecima kuke dobijeni analitičkim proračunom i pomoću CATIA-e, date su u tabeli 1. Odstupanja dobijenih rezultata kreću se do 14,79 %. Imajući u vidu da su za veće napone odstupanja do 0,71 %, može se konstatovati da je ovaj način strukturne analize prihvatljiv.

The stresses in the hook sections have approximately the same values as the analytically obtained stresses. The stress values in some cross sections of the hook obtained by analytical calculation and using CATIA are given in Table 1. The deviations of the obtained results range up to 14.79%. Bearing in mind that for higher stresses deviations range up to 0.71%, it can be concluded that this method of structural analysis is acceptable.

Tabela 1. Naponi na karakterističnim mjestima kuke (MPa)
Table 1. Stresses on characteristic hook places (MPa)

Kuka		Analitički proračun	MKE analiza	Procentualna razlika (%)
Vrat kuke		92,017	92,6	0,63
Presjek A-A	Unutrašnja krajnja vlakna	104,18	103,6	0,56
	Vanjska krajnja vlakna	-43,05	-49,5	13,03
Presjek B-B	Unutrašnja krajnja vlakna	63,65	63,2	0,71
	Vanjska krajnja vlakna	-24,68	-21,5	14,79

4. ZAKLJUČAK

Strukturna analiza sve više predstavlja neophodan alat za kontrolu i provjeru konstrukcionog rješenja proizvoda u svim poljima inženjerstva. U CATIA-i se strukturna analiza vrši metodom konačnih elemenata, pri čemu se vrši diskretizacija modela odnosno njihova podjela na elemente konačnih dimenzija koji predstavljaju osnovu razmatranja. Pri formiranju MKE modela cilj je što bolje aproksimirati realno stanje konstrukcije, da bi se dobili što bolji rezultati. Posebna pažnja se posvećuje pravilnom definisanju konačnih elemenata, ograničenja,

4. CONCLUSION

Structural analysis is more and more an essential tool for controlling and verifying the solution of product construction in all fields of engineering. In CATIA, structural analysis is carried out using the finite element method (FEM), whereby the discretisation of the model and their division into the final dimension elements represents the basis of consideration. When forming an FEM model, the goal is to better approximate real state of the construction, in order to get the best possible results. Special attention is paid to the correct definition of final elements, constraints, loads and mutual contacts. After the formation of an FEM

opterećenja i međusobnih kontakata. Nakon formiranja MKE modela pristupa se izvođenju proračuna.

Upoređivanjem dobijenih vrijednosti napona može se konstatovati da su naponi približno isti, odnosno odstupanja za veće napone po intenzitetu za dati poprečni presjek iznose do 0,71 %. Osnovni razlog postojanja većih i manjih razlika između dobijenih rezultata je taj što je MKE analiza u CATIA-i ograničena linearnošću materijala i malim mogućim deformacijama. Opšte je poznato da su dobijene vrijednosti pomjeranja tačnije od vrijednosti napona, zato što se naponi dobijaju diferenciranjem pomjeranja pa sadrže grešku. Javljaju se i greške idealizacije, zbog nemogućnosti da se sva složenost realne strukture i njenog okruženja preslika na model. Ali i pored ovih ograničenja osnovni problemi dizajna konstrukcije mogu se riješiti primjenom MKE modula CATIA-e. Rješavanje konstruktivnih problema na ovaj način znatno ubrzava proces projektovanja konstrukcija jer je za kraće vrijeme moguće provjeriti niz varijanti konstruktivnih rješenja, tim prije, ako se uzme u obzir i mogućnosti provjere odabira adekvatnog materijala.

model the calculation are approached.

By comparing the obtained stress values, it can be concluded that the stresses are approximately the same, i.e., the deviations for higher stresses by intensity for a given cross section are up to 0,71%. The main reason for existence of larger and smaller differences between obtained results is that the FEM analysis in CATIA is limited by linearity of the materials and small possible deformations. It is generally known that the obtained displacement values are more precise than the stress values, because stresses are obtained by differentiating the displacement so they contain error. There can also appear errors of idealisation, because it is impossible to map the entire complexity of the real structure and its environment to the model. Besides these limitations, the basic design problems can be solved by using the CATIA FEM module. Solving constructive problems in this way greatly accelerates the construction design process, because it is possible to check a range of variants of constructive solutions for a shorter time, even more so, considering the possibility of checking the selection of adequate material.

5. LITERATURA-REFERENCES

- [1] Hasanović, E.; *Metodologija, alati i mogućnosti strukturne analize mašinske konstrukcije u CAD/CAE sistemu CATIA*, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Sarajevo, 2017.
- [2] Muminović, A., Šarić, I., Mešić, E.; *Konstruisanje podržano računarima*, Mašinski fakultet, Sarajevo, 2012.
- [3] CATIA V5: User documentation
- [4] Repčić, N., Čolić, M.; *Transportna sredstva*, Mašinski fakultet, Sarajevo, 2008.
- [5] Sekulović M.; *Metod konačnih elemenata 2. izdanje*, IRO "Građevinska knjiga", Beograd, 1988.
- [6] Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z.; *The Finite Element Method: Its Basics and Fundamentals*, 6th edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005.
- [7] Papić, S., Bašić, H., Klisura, F., Hasanović, E.; *Izbor danceta pri projektovanju posuda pod pritiskom pomoću programskog paketa CATIA*, 10. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem "QUALITY 2017", Neum, B&H, 17. - 20 maj 2017.

Corresponding autor:

Elida Hasanović, MA mašinstva,

FeBoCon doo Sarajevo,

Email: elida_b.c.a@hotmail.co.uk