

**OCJENA KVALITETA PONAŠANJA DIZALIČNIH MAŠINA
ANALIZOM REDUKOVANIH NUMERIČKIH MODELA**

**ESTIMATION OF BEHAVIOUR QUALITY OF CRANES BY
ANALYSIS OF REDUCED NUMERICAL MODELS**

Fuad Hadžikadunić, Dušan Vukojević, Nedeljko Vukojević

**Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet u Zenici
Fakultetska 1, Zenica
Bosna i Hercegovina**

REZIME

U okviru kompleksne analize rada dizaličnih postrojenja statička i dinamička analiza ponašanja njihovih čeličnih konstrukcija je veoma bitan segment u ocjeni kvaliteta rada i stabilnosti. Posebna prednost numeričkih analiza jeste što se realno veoma kompleksni sistemi mogu posmatrati kao redukovani modeli, čija analiza je dovoljna u ocjeni ponašanja složenih struktura. Po potrebi se dalje razvijaju složeni dvodimenzionalni ili trodimenzionalni modeli, ako se žele analizirati specifična mjesta konstrukcije, ili dobiti još detaljnije vrijednosti pojedinih posmatranih veličina. Kao parametri ocjene kvaliteta idejnih rješenja pojedinih dizaličnih konstrukcija mogu biti maksimalne deformacije na konstrukciji, te vrijednosti sopstvenih frekvenci kao prvi i najbitniji element procjene dinamičke stabilnosti složenih sistema.

Ključne riječi: dizalične mašine, numerička analiza, kvalitet idejnih rješenja.

ABSTRACT

During a complex analysis of crane machine's work, static and dynamic analysis of their steel constructions is a very important part in assesment of their quality of work and stability. A specific contribution of numerical analysis is a fact that very complex real systems can be observed as reduced numerical models, which analysis is significant in complex structure's behaviour assesment. If needed complex two-dimensional and three-dimensional numerical models could be developed for detailed specific part of construction analysis, or could be estimated more accurate values of some specific parameters. As significant parameters of quality assesment of crane construction solutions could be maximal strains, and natural frequency values as first and the most important element in assesment of dynamic stability of complex systems.

Key words: cranes, numerical analysis, quality of conception solutions.

1. UVOD

Razvoj numeričkih metoda omogućio je suvremen pristup tretiranja složene konstrukcije, koji se ogleda u ekonomičnom i visoko pouzdanom nivou sagledavanja stvarnog ponašanja konstrukcije u eksploataciji, određivanje uzroka lošeg ponašanja ili popuštanja, procjene eksploatacionog vijeka i vremena pouzdanog rada. Problemi koji nastaju u eksploataciji opreme prvenstveno potiču od neadekvatno projektovane geometrije ili nedovoljne otpornosti materijala, prvenstveno oko zavarenih spojeva. Numerička analiza metodom konačnih

elemenata sistema KOMIPS omogućava dobijanje rasporeda opterećenja, membranskih i savojnih napona, energije deformacije, kao i kinetičke i potencijalne energije, što daje efikasnu analizu stanja i dijagnostiku ponašanja projektovane ili izvedene konstrukcije. Dobro ponašanje konstrukcije podrazumijeva: veću razliku između najvećeg napona i napona tečenja, ravnomjerniju raspodjelu deformacije, napona i energije, manje prisustvo koncentracije napona, veću otpornost materijala na nastanak i rast prsline, veću duktilnost i žilavost materijala, dalji dinamički odzivi od eventualne pobude, viša prva frekvencija i što veće rastojanje između frekvenci, manji faktor dinamičkog pojačanja. Osnovu razumijevanja ponašanja konstrukcije predstavlja određivanje toka kretanja i raspodjele opterećenja po konstrukciji od mjesta uvođenja do oslonaca, jer opterećenje putuje linijom najmanjeg otpora (najveće krutosti i najkraćeg puta). Sagledavanje rasporeda membranskih i savojnih napona, normalnih i tangencijalnih napona prisutno je kod konačnih elementata ploče i grede. Slaba mjesta imaju veliko prisustvo savijanja, a dobra mjesta prisustvo membranskog napona, a također, bitna su mjesta malog nivoa napona. Takva analiza ukazuje na modifikacije koje treba preuzeti da se minimizira negativan uticaj savijanja i bolje preraspodijeli opterećenje. Također, povoljno je prisustvo normalnog napona, a treba izbjegavati tangencijalne napone. Raspodjela energije deformacije veoma efikasno ukazuje na tok opterećenja, kao i elemente koji prenose ili nose opterećenje. Nekada se može desiti da "ojačanje" konstrukcije uzrokuje preusmjerenje opterećenja u negativnom smislu i dovede do dodatnih problema. Numerička analiza ukazuje na osjetljivost modificiranja. Raspodjela kinetičke i potencijalne energije po glavnim oblicima oscilovanja još jasnije ukazuje na ponašanje konstrukcije. Sanacija i revitalizacija konstrukcije vrši se pri lošem lokalnom ponašanju, a pri lošem globalnom ponašanju mijenja se kompletna. Numeričkim metodama moguće je otkriti uzroke lošeg ponašanja konstrukcije, dok se u praksi uglavnom liječi posljedica, [1].

Sa aspekta vrste primijenjenih numeričkih modela statička i dinamička identifikacija ponašanja složene konstrukcije sa grubim modelom daje ocjenu valjanosti modela sa stanovišta graničnih uslova, izbora tipa konačnih elemenata, diskretizacije i modeliranja opterećenja. Grubi model će se ovdje posmatrati kao redukovani model jer se radi o metodologiji umanjena broja stepeni slobode čvora, kutijasti presjek zamjenjuje se grednim elementom itd., a dobija se pouzdana globalna ocjena kvaliteta ponašanja konstrukcije. Za lokalnu ocjenu potrebni su finiji modeli.

Modeliranje je najvažnija stepenica u sistemu proračuna konstrukcija. Najteži dio posla predstavlja preslikavanje fizičkog modela u računski model. Sama konstrukcija i njeno naprezanje ukazuju na primjenu potrebnog elementa za ispravno modeliranje. Mora se poznavati karakter promjene unutrašnjeg opterećenja u nosećem elementu, odnosno po kojoj dimenziji postoji promjena opterećenja, a po kojoj ne. Ukoliko se žele statička i dinamička pomjeranja i nominalni napon dovoljan je gredni model, za utvrđivanje koncentracije napona na prelazima potreban je površinski model, a za koncentraciju napona u okolini žljebova potreban je zapreminski model.

2. MODELIRANJE NEKIH SLOŽENIH DIZALIČNIH MAŠINA

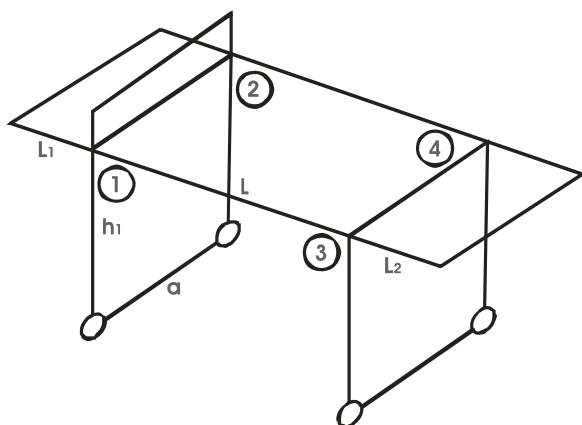
Sa aspekta modeliranja kompleksnih slučajeva dizalične mašine su posebno interesantni primjeri jer se relativno često dešava da konstruktivna rješenja ne predstavljaju i optimalna. Prvenstveno se misli na geometriju, a zatim mogu doći u pitanje i ostali parametri kao što su npr. mjesta i načini pogona. Stoga je bitan preduslov za numeričku analizu složenih konstrukcija poznavati ukupne djelujuće ulazno-izlazne parametre, fizionomiju konstrukcije,

a za sam numerički model vrstu i veličinu konačnog elementa, granične uslove, karakter opterećenja, itd.

Dva su primjera transportnih sredstava koja će se predstaviti u radu, kao karakteristična: ramna dizalica i mostovska dizalica.

Prema načinu oslanjanja glavnih nosača ramne dizalice mogu biti u izvedbi sa oba para krutih nogu ili jedan par krutih, a drugi zglobnih. Kranovi sa obje krute noge su jednostavniji sa aspekta konstrukcije i manje su osjetljivi na uticaj zakošenja kao i dejstvo horizontalnih dinamičkih opterećenja, ali su veoma osjetljivi na stanje kranske staze (naročito greške raspona staze). Na mehanizme i noseću konstrukciju ramne dizalice djeluju: vertikalna opterećenja od sopstvene težine i korisnog tereta, horizontalna opterećenja od sopstvene težine i korisnog tereta usljed nagiba kranske staze, opterećenja od vjetrova, snijega, termička opterećenja, dinamička opterećenja svih vrsta, opterećenja od zakošenja, montažna opterećenja i opterećenja od otpora kretanja kрана, [2,3].

Na slici 1 dat je primjer ramne dizalice sa dva prepusta, a u tabeli 1 globalni podaci za kreiranje njenog numeričkog modela.



Slika 1. Skica fizičkog modela ramne dizalice

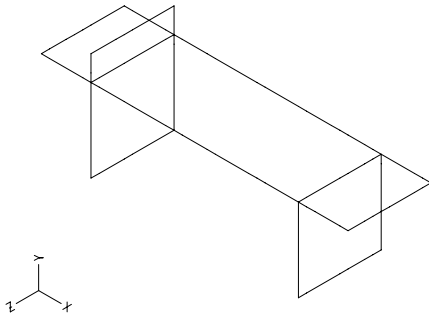
Tabela 1. Osnovni podaci fizičkog modela

Korisni teret, Q	25 [t]
Raspon glavnog nosača, L	25 [m]
Prepusti, lijevi i desni, l ₁ i l ₂	6 [m]
Visina vertikalnih oslonaca, h ₁	10 [m]
Rastojanje vertikalnih oslonaca, a	10 [m]
Slučaj 1: veze 1,2,3,4 - krute	
Slučaj 2: veze 1,2 – krute ; 3,4 – zglobne	

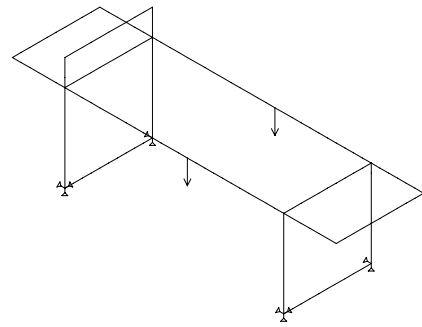
Glavni nosači su kutijastog poprečnog presjeka 75 [cm] x 150 [cm] x 1 [cm], a vertikalni nosači kružnog poprečnog presjeka površine $A_x = 350$ [cm²] i momenta inercije $I_x = 1 \times 10^6$ [cm⁴].

Na slici 2 prikazan je diskretizacioni model redukovano grednog karaktera, a na slici 3 posmatrani slučaj vertikalnog opterećenja sa osloncima. Kompletna ramna dizalica diskretizovana je sa 185 čvornih tačaka i 190 grednih elemenata. Na slikama 4 i 5 dato je deformaciono stanje portalne dizalice krutih veza, a na slikama 6 i 7 deformaciono stanje dizalice sa parom krutih i parom zglobnih veza.

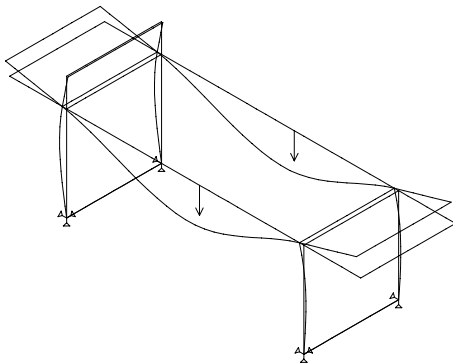
U oba slučaja naznačen je princip pravilnog i nepravilnog modeliranja.



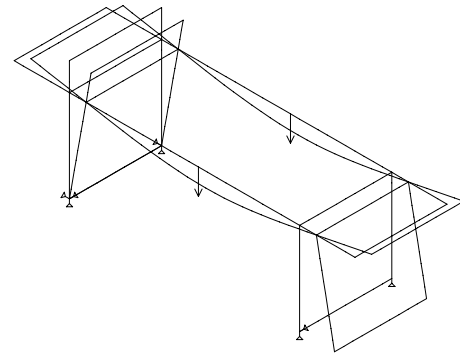
Slika 2. 3D model portalne dizalice sa prepustima i kruto vezanim elementima



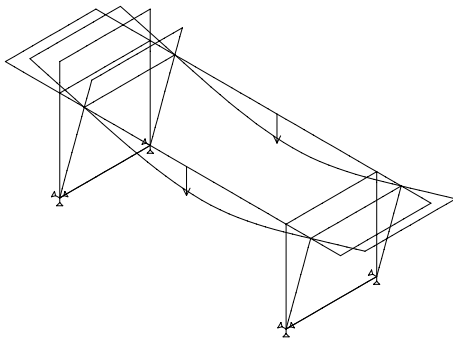
Slika 3. Opterećenje i oslonci portalne dizalice



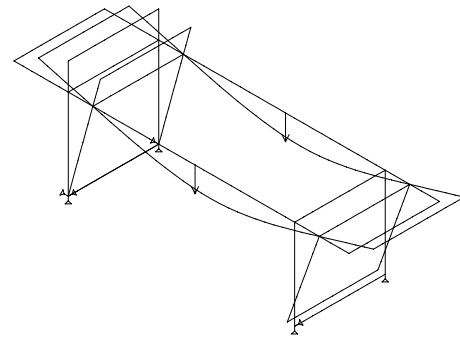
Slika 4. Slučaj 1, max. deformacija 3,237 [cm], pravilno modeliranje



Slika 5. Slučaj 1, max. deformacija. 19,385 [cm], nepravilno modeliranje

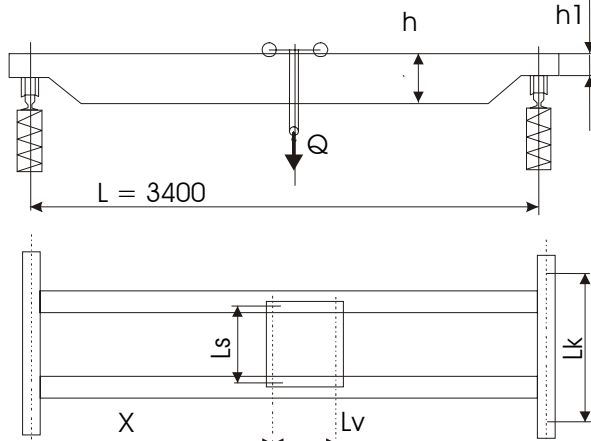


Slika 6. Slučaj 2, max. deformacija 12,969 [cm], pravilno modeliranje



Slika 7. Slučaj 2, max. deformacija 12,969 [cm], nepravilno modeliranje

Kao drugi primjer numeričke simulacije dijagnostike realne konstrukcije uzeta je mostovska dizalica nosivosti $Q = 200/50$ [kN], raspona oslonaca 34 [m], slika 8. Glavni uzdužni nosač, kao i poprečni nosač izrađeni su od kutijastih profila, vertikalnih limova debljine 10 [mm], te pojasnih limova debljine 12 [mm]. Dimenzije konstrukcije prikazane su u tabeli 2. Kod analize opterećenja bit će posmatrana dva karakteristična slučaja; srednjeg i krajnjeg lijevog položaja tereta, [3,4].

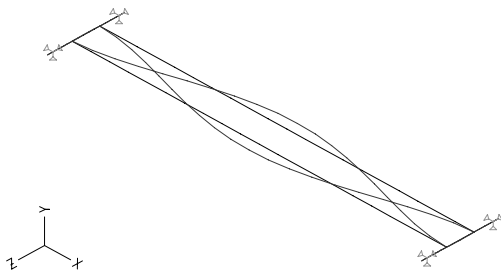


Slika 8. Shematski prikaz mostovske dizalice

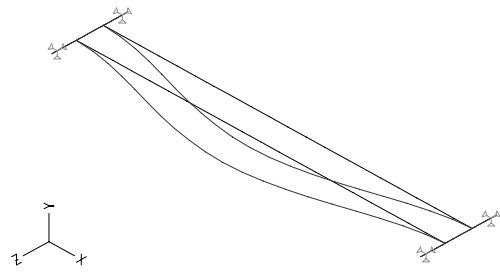
Tabela 2. Dimenzioni parametari mostovske dizalice

Oznaka	Dužina (mm)	Oznaka	Dužina (mm)
L	34000	L _k	6000
h	1998	L _s	2500
h ₁	1100	L _v	2300

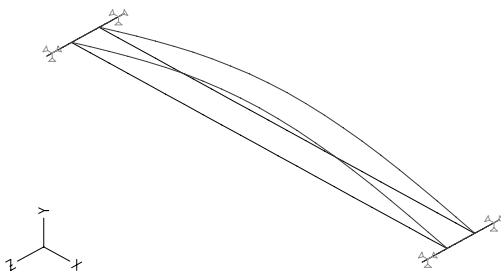
Numerička analiza može se izvesti grednim ili pločastim konačnim elementima. Dinamička analiza je izvršena za diskretizirani model sa 96 tačaka i 96 grednih elemenata.



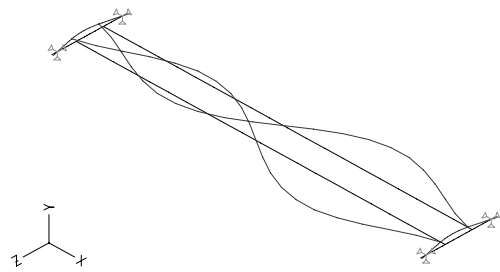
Slika 9. Prvi mod oscilovanja: $f_{01} = 0,2$ [Hz], max. amplituda $0,126$ [cm], oscilovanje u ravni X-Z



Slika 10. Drugi mod oscilovanja: $f_{02} = 0,2$ [Hz], max. amplituda $0,127$ [cm], oscilovanje u ravni X-Z



Slika 11. Treći mod oscilovanja: $f_{03} = 0,3$ [Hz], max. amplituda $0,114$ [cm], oscilovanje u ravni X-Y i Y-Z



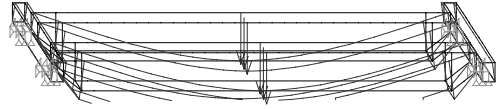
Slika 12. Četvrti mod oscilovanja: $f_{04} = 0,6$ [Hz], max. amplituda $0,116$ [cm], oscilovanje u ravni X-Z

Ukoliko se, kao detaljnije informacije potrebne za kompletniju analizu, zahtijevaju polje deformacija ili polje napona u smislu podstrukturalne analize, tada redukovani model nije dovoljan, te se mora primijeniti pločasti model. U ovom slučaju korišteni su pločasti konačni elementi tipa (736 elemenata), jednakih dužina za glavne noseće grede, a zatim jednakih dužina za poprečne vezne grede.

Na slikama 13 i 14 dato je polje pomjeranja i polje napona za tretirana dva slučaja položaja opterećenja od 205 kN (teret i težina voznog vitla), za položaj opterećenja na 1/2 dužine i na 1/7 dužine grede.



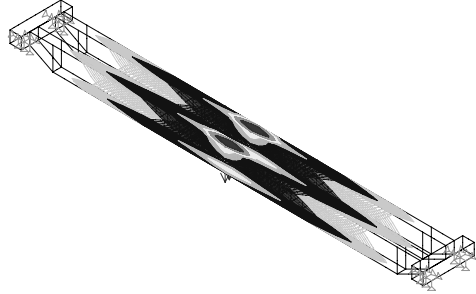
Slika 13. Max. pom. 1,76 [cm] ; (1/7 L).



Slika 14. Max. pom. = 3,58 [cm] ; (1/2 L).



Slika 15. Sekvencijalni napon 10,2 [kN/cm²] ;
(1/7 L)
M/S = 76,12/23,88 ; $\sigma/\tau=79,13/20,87$



Slika 16. Sekvencijalni napon 11,4 [kN/cm²] ;
(1/2 L)
M/S = 83,21/16,79 ; $\sigma/\tau=82,97/17,03$

3. ZAKLJUČAK

Za slučaj ramne dizalice akceptiran je pristup modeliranju i pokazani slučajevi ispravnog i neispravnog modeliranja sa aspekta prihvatanja horizontalnih reakcija, kao posljedica deformacionog ponašanja konstrukcije. U ovom slučaju tretiran je samo segment cjelokupne analize koja bi još trebala obuhvatiti horizontalne dinamičke sile, uslove zakošenja i razne kombinacije položaja opterećenja, ali bi takva analiza narušila obim rada. Deformaciona analiza već ukazuje na potrebu optimiranja konstrukcije.

Na osnovu provedene statičke analize mostovske dizalice za dva slučaja opterećenja, prvi slučaj opterećenja je nepovoljniji za glavni uzdužni nosač, a drugi slučaj je nepovoljniji za poprečni (vezni) nosač. Sagledavajući polje napona na konstrukciji drugi slučaj opterećenja je nepovoljniji jer ukazuje na situaciju da će u odgovarajućem položaju naponi biti još veći te da je veza nosača najslabije mjesto na konstrukciji. Dinamička analiza daje korelaciju sa statičkom analizom jer glavni oblici oscilovanja imaju oblike deformacije modela pod zamišljenim opterećenjem. Najlošije ponašanje konstrukcije iskazuje se prvim oblikom oscilovanja. Dobro dinamičko ponašanje konstrukcije podrazumijeva visoku prvu frekvencu, tj. povoljan odnos maksimalne krutosti i male mase. S tog aspekta tretiranu konstrukciju karakterizira nepovoljna dinamička stabilnost.

4. LITERATURA

- [1] T. Maneski: Kompjutersko modeliranje i proračun struktura, Mašinski fakultet, Beograd, 1998.,
- [2] Z. Petković: Metalne konstrukcije u mašingradnji, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.,
- [3] D. Ostrić: Dinamika mosnih dizalica, Mašinski fakultet, Beograd, 1998.,
- [4] B. Ćorić: Dinamika konstrukcija, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1998.