

---

---

**VII MEĐUNARODNA KONFERENCIJA**  
**Zlatibor, Hotel Palisad, 14-17. oktobar 2015.**

# **UGALJ 2015**

---

---

---

## **COAL 2015**

**7<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE**  
**Zlatibor, Hotel Palisad, 14-17. October 2015.**

### **ZBORNİK RADOVA** **PROCEEDINGS**



**SAVEZ INŽENJERA RUDARSTVA I GEOLOGIJE SRBIJE**  
Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju  
Yugoslav Opencast Mining Committee  
**ASSOCIATION OF MINING AND GEOLOGICAL ENGINEERS OF SERBIA**



---

**JUKOM**

**VII MEĐUNARODNA KONFERENCIJA  
UGALJ 2015**

Zlatibor, 14.-17. oktobar 2015.

**7<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE  
COAL 2015**

Zlatibor, 14-17 October 2015.

**ZBORNIK RADOVA**

**PROCEEDINGS**



## DINAMIČKA MODIFIKACIJA KONSTRUKCIJE PRODUŽENE STRELE ROTORNOG BAGERA SchRs 740

## DINAMIC MODIFICATION OF BUCKETWHEEL SchRs 740 EXTENDED BOOM CONSTRUCTION

Petrović B.<sup>1</sup>, Ignjatović D.<sup>2</sup>, Petrović A.<sup>3</sup>, Maneski T.<sup>4</sup>, Milošević-Mitić  
V.<sup>5</sup>, Trišović N.<sup>6</sup>

### Apstrakt

Poštujući tehnološki zahtev za produženjem strele bagera, originalna strela produžena je za 6 m, tako da je dužina nove oko 41 m. Produžena strela ima manju dinamičku (i statičku) krutost u odnosu na originalnu. Već razvijena procedura dinamičke modifikacije konstrukcija na osnovu raspodele potencijalne i kinetičke energije korišćena je da se poprave dinamičke karakteristike nove produžene strele. Odnosno,

---

<sup>1</sup> Mr Petrović Branko, dipl.inž., JP EPS-Ogranak RB Kolubara, Lazarevac

<sup>2</sup> Prof. Dr Ignjatović Dragan, dipl.inž., Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geoloski fakultet

<sup>3</sup> Petrović Ana, dipl.inž., Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet fakultet

<sup>4</sup> Prof. Dr Maneski Taško, dipl.inž., Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet fakultet

<sup>5</sup> Milošević-Mitić Vesna, dipl.inž., Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet fakultet

<sup>6</sup> Trišović Nataša, dipl.inž., Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

urađena je modifikacija (elemenata) konstrukcije sa ciljem da se novoj streli poveća prva sopstvena frekvencija oscilovanja bar na vrednost koju ima osnovna strela. U toj analizi koristi se metoda konačnih elemenata za izračunavanje sopstvenih frekvencija oscilovanja, potencijalne i kinetičke energije u svakom čvoru proračunskog modela.

**Ključne reči:** strela bagera, produženje strele, sopstvene frekvencije, potencijalna i kinetička energija, metoda konačnih elemenata

## **Abstract**

Respecting the technological requirements for an extension of a bucketwheel boom, original boom was extended for 6 m, so the new one is about 41 m long. Extended boom has a lower dynamic (and static) stiffness in comparison to the original one. Already developed procedures for dynamic modification of structures based on distribution of potential and kinetic energy were used to increase dynamic characteristics of the new extended boom. Modification of structure (elements) is done in order to increase the first natural frequency of extended boom at least to value that has the basic boom. The finite element method is used in this analysis to calculate free frequencies, potential and kinetic energy in each node.

**Key words:** bucketwheel boom, extension, free frequencies, potential and kinetic energy, finite element method

## **1. UVOD**

Uopšteno govoreći, bolje je da strela bagera bude što duža. U radu [1] data je uporedna analiza uticaja dužine strele na tehničke parametre bloka, kao i na kapacitet različitih tipova bagera. Zaključak je da duža strela obezbeđuje veću visinu bloka za istu visinu etaže. Ovo vodi zaključku da bageri sa dužom strelom imaju veći kapacitet, odnosno veću efikasnost bloka, a veća širina bloka smanjuje potreban dodatni rad vezano za transport.

Reanaliza je tehnika kojom se poboljšava dinamički odziv strukture. Nekoliko studija se bavi predmetom modalne reanalize i strukturne dinamičke modifikacije. Rad [2] bavi se osnovnom teorijom pronalaženja rešenja optimizacije na osnovu frekvencija. Na osnovu ove teorije, sopstvene frekvencije se ne menjaju sa uniformnom promenom rešetkaste structure i ključno ograničenje za pronalaženje optimalnog

rešenja su bas sopstvene frekvencije.

Optimizacione procedure koje su predstavljene u [3, 4, 5] obuhvataju optimizaciju (smanjenje) mase na osnovu napona, sopstvenih frekvencija i frekventnog odziva. U radu [6] predstavljen je problem pronalaženje optimalne pozicije oslonaca i oblika poprečnog preseka jednog porstornog rama na osnovu napona i sopstvenih frekvencija. Analiza je sprovedena analitički, a efikasnost i tačnost optimizacione metode provereni su numerički. Zaključak je da je odziv strukture najsenzitivniji na promenu položaja oslonaca.

Procedura reanalize zasniva se na raspodeli energije, koja direktno ukazuje na mesta gde treba izvesti modifikacije da bi se povećale sopstvene frekvencije konstrukcije. Prema tome, glavni korak metode reanalize predstavlja određivanje raspodele potencijalne i kinetičke energije. Metodologija modifikacije (reanalize) konstrukcija predstavljena je u [7]. Pokazano je kako postupiti u različitim slučajevima razlika vrednosti kinetičke i potencijalne energije. Segmenti koji poseduju nizak novo (i potencijalne i kinetičke) energije u poređenju sa drugim segmentima nisu senzitivni na dinamičke promene. Segmenti u kojima je kinetička energija dominantna u odnosu na potencijalnu su mesta čije pomeranje će prilikom deformisanja biti najveće. To zahteva uvođenje novog oslonca na tom mestu ili smanjenje mase tih segmenata. Segmenti u kojima je potencijalna energija dominantna zahtevaju povećanje krutosti na tim mestima. Segmenti koji pokazuju značajan nivo i potencijalne i kinetičke energije zahtevaju povećanje krutosti na tim mestima ali tako da se masa konstrukcije ne poveća. Dinamička modifikacija može se provesti promenom načina oslanjanja, materijala ili promenama oblika konstrukcije.

Potencijalna i kinetička energija izračunate su primenom MKE softverskog paketa KOMIPS [8]. Metoda konačnih elemenata je pogodna za rešavanje kompleksnih problema za kratko vreme, a dobijaju se pouzdani rezultati.

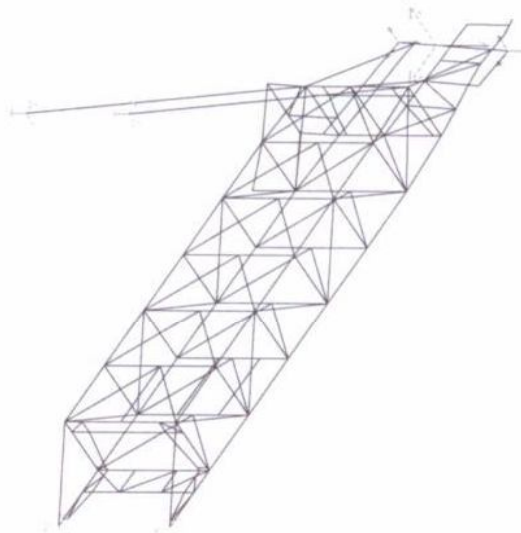
U radu [9] prikazan je problem poboljšanja dinamičkih karakteristika donjeg postolja rotornog bagera korišćenjem procedure razvijene u [7]. Predloženo je nekoliko mogućih modifikacija.

U radu [10] autori su primenili procedure razvijenu u [7] na unapređenje dinamičkog ponašanja stranica plastičnog kontejnera.

U ovom radu razmatrano je produženje strele od 6m, a prethodno spomenuta metodologija dinamičke modifikacije je iskorišćena za popravljavanje dinamičkog ponašanja nove produžene strele.

## 2. DINAMIČKI PRORAČUN STRELE BAGERA PRIMENOM METODE KONAČNIH ELEMENATA

Uzimajući u obzir izgled konstrukcije strele bagera SchRs 740 konstrukcija je modelirana grednim elementima (elementima kratke grede). Osim rešetkaste čelične konstrukcije strele, u obzir su uzeti i svi ostali elementi koji utiču na krutost konstrukcije strele, odnosno uzeta su u obzir i poprečna ukrućenja, kao i vratila radnog točka i povratnog bubnja, moment-poluge oba reduktora, delovi konstrukcije za nošenje trake kao i zatege. Konačno, model strele sastoji se od 290 grednih elemenata i prikazan je na Slici 1. Strela je smeštena u elastično okruženje, odnosno modelirane su i zatege o kojima strela visi na jarmu.



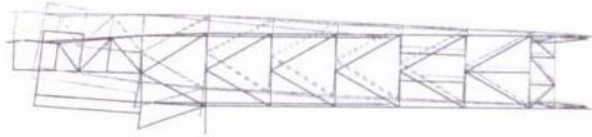
*Slika 1. Dinamički model strele bagera, oslonci i opterećenja*

Tačkama koje predstavljaju uležištenje strele sprečena je translacija u sva tri pravca. Tačkama koje predstavljaju veze zatega i jarma sprečena su sva pomeranja (i translacije i rotacije). Tačkama koje predstavljaju zglobne veze strele i zatega lokalno je oslobođen jedan stepen slobode, odnosno dozvoljena je rotacija u tom zglobu oko ose upravne na pravac strele. Mase reduktora (po oko 8 t) i rotora (oko 20 t) uzete su u obzir kao koncentrisane mase, kao što se može videti sa Slike 1.

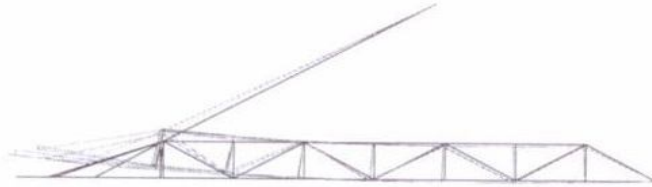
Dužina osnovne (postojeće) strele je 34,93 m, a njena masa je 64,869 t.

Prva tri moda oscilovanja konstrukcije strele prikazana su na Slici

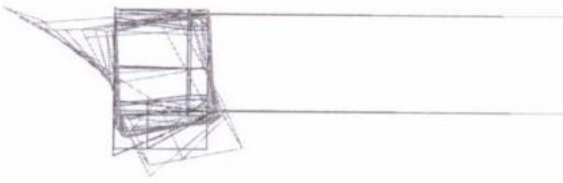
2.



Savijanje u horizontalnoj ravni, prvi mod oscilovanja, 1,44 Hz



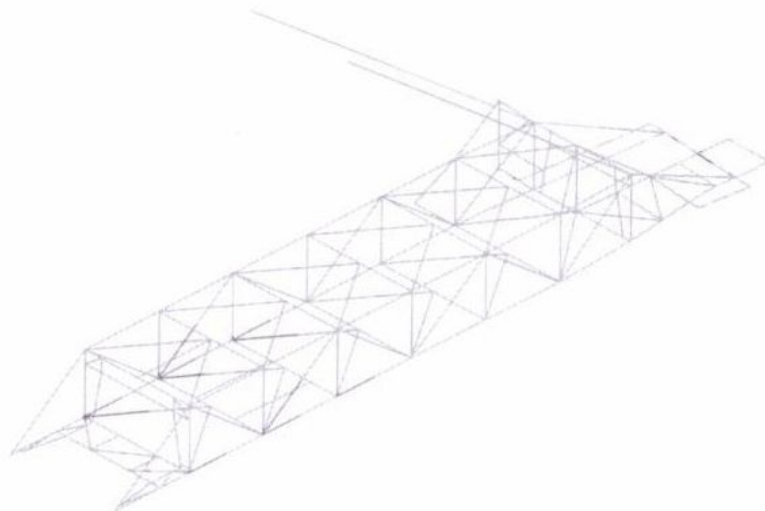
Savijanje u vertikalnoj ravni, drugi mod oscilovanja, 3,98 Hz



Torzija, treći mod oscilovanja, 5,47 Hz

*Slika 2. Prva tri moda oscilovanja, postojeća strela*

Raspodela razlika potencijalne i kinetičke energije za osnovnu strelu data je na Slici 3.



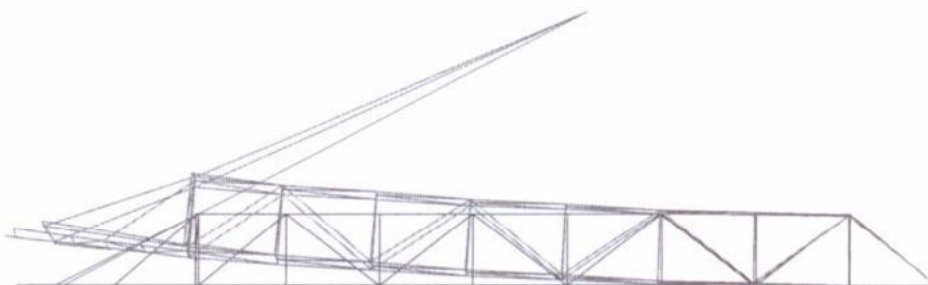
1.46E+00	...	1.97E+00
9.40E-01	...	1.46E+00
4.25E-01	...	9.40E-01
-4.00E-02	...	4.25E-01
6.05E-01	...	-4.00E-02
-1.12E+00	...	-6.05E-01

*Slika 3. Raspodela razlika potencijalne i kinetičke energije, postojeća strela*

### 3. PRODUŽENJE STRELE BAGERA ZA 6M, DINAMIČKO PONAŠANJE PRODUŽENE STRELE

Prvi segment do uležištenja strele je specifičan po svojim karakteristikama, dok je preostalih 5 segmenata međusobno gotovo identično. Ako bi se ukupno produženje od 6m ravnomerno raspodelilo na tih 5 segmenata to bi podrazumevalo produženje jednog segmenta za 29,56% dužine, što je nepovoljno sa mnogo aspekata čvrstoće konstrukcije. Iz tog razloga se za ukupno produženje strele od 6 m uvodi jedan novi segment i celokupno produženje se sada raspodeljuje na šest (5+1) segmenata.

Pri ovom proračunu originalne zatege postojeće strele korišćene su i za produženu strelu. Položaj zatega diktiran je geometrijom (dužinom) jarma i samih zatega, što znači da nije isti za izvornu i produženu strelu (Slike 2 i 4).



Slika 4. Strela produžena za 6 m, savijanje u vertikalnoj ravni

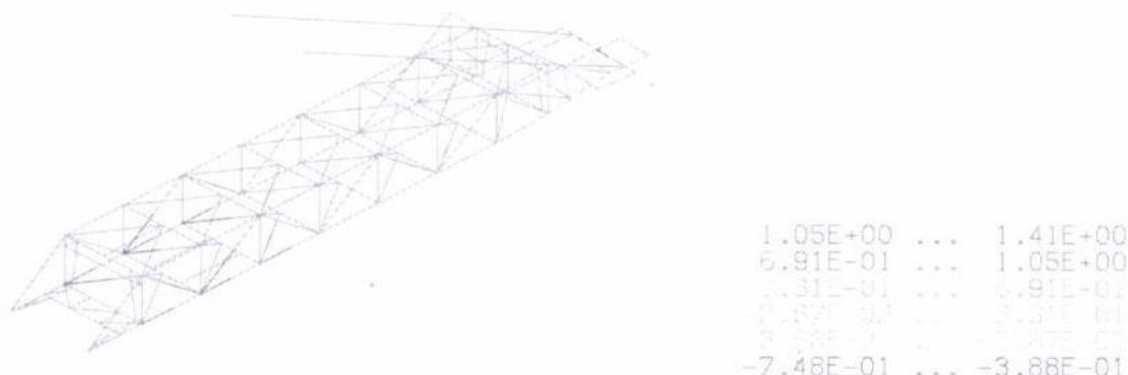
Masa strele produžene za 6m iznosi 69,862 t, što znači da se masa u odnosu na osnovnu strelu povećala za oko 5 t, a prva frekvencija oscilovanja je jako niska (Tabela 1), što ukazuje na malu dinamičku krutost produžene strele.

Tabela 1. Prva tri moda oscilovanja, strela produžena za 6 m

Mod oscilovanja	Sopstvena frekvencija (Hz)
1. Savijanje u horizontalnoj ravni	1,19
2. Savijanje u vertikalnoj ravni	3,22
3. Torzija	4,60



Raspodela razlika potencijalne i kinetičke energije za strelu produženu za 6 m data je na Slici 5.



Slika 5. Raspodela razlika potencijalne i kinetičke energije, strela produžena za 6 m

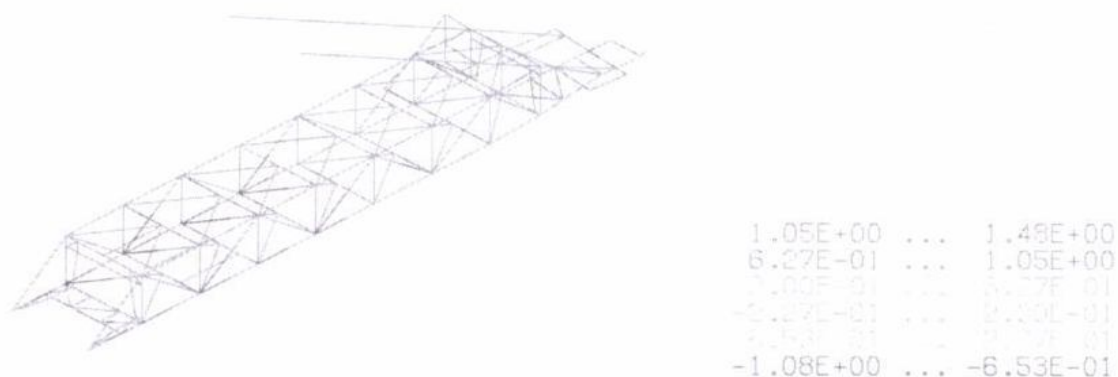
#### 4. DINAMIČKA MODIFIKACIJA KONSTRUKCIJE STRELE PRODUŽENE ZA 6 M

Kao što se sa Slika 3 i 5 može uočiti osnovna i produžena strela imaju ista slaba mesta. To su mesta gde je razlika potencijalne i kinetičke energije najveća, odnosno elementi donjeg pojasa blizu uležištenja strele. Tu je potencijalna energija dominantna u odnosu na kinetičku i upravo to su segmenti za modifikaciju strele na kojima će biti izvršeno ukrućivanje konstrukcije produžene strele. Ukrućivanje se vrši sa ciljem da se prva sopstvena frekvencija poveća do vrednosti sopstvene frekvencije oscilovanja osnovne strele (Tabela 2).

Tabela 2. Prva tri moda oscilovanja, strela produžena za 6 m i modifikovana

Mod oscilovanja	Sopstvena frekvencija (Hz)
Savijanje u horizontalnoj ravni	1,43
Savijanje u vertikalnoj ravni	3,43
Torzija	4,51

Iz više iteracija došlo se do optimalnog načina ukrućivanja. Segmenti blizu vratila radnog točka imaju dominantnu kinetičku u odnosu na potencijalnu energiju i tu bi trebalo smanjiti masu konstrukcije bez smanjena krutosti, što u ovo slučaju nije izvodljivo. Dijagram raspodele razlika potencijalne i kinetičke energije modifikovane produžene strele prikazan je na Slici 6.



*Slika 6. Raspodela razlika potencijalne i kinetičke energije, strela produžena za 6 m i modifikovana*

Modifikovana produžena strela ima prvu sopstvenu frekvenciju oscilovanja kao osnovna (postojeća) strela, međutim ima masu od 80,863 t, što je u odnosu na masu osnovne veće za oko 16 t, što bi imalo svoje posledice na noseću konstrukciju celog bagera.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu urađen je dinamički proračun strele bagera i strele bagera produžene za 6 m. Zaključeno je da produžena strela ima značajno nižu dinamičku krutost u odnosu na postojeću. Dat je predlog dinamičke modifikacije produžene strele u cilju postizanja dinamičkog ponašanja postojeće strele bagera, ne razmatrajući uticaj na ostale funkcionalne parametre bagera.

## Zahvalnica

Ovaj rad nastao je kao rezultat saradnje na projektima finansiranim od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja TR 35040, TR 35011 i Projekta bilateralne saradnje Srbije i Kine (Project of Serbian - Chinese Science - Technology Bilateral Cooperation for the years 2013-2015 (No. 2-14)).

## Literatura

1. D. Ignjatovic, B. Petrovic, P. Jovancic, S. Boskovic: Impact of the Bucket Wheel Support at Technical Parameters of the Block and

- Bucket Wheel Excavator Capacity, Proceedings of the 12th international symposium continuous surface mining-Aachen 2014.
2. W. H. Tong, J. S. Jiang, G. R. Liu: Solution Existence of the Optimization Problem of Truss Structure with Frequency Constraints, *International Journal of Solids and Structures*, 37, 30, pp. 4043-4060., 2000.
  3. W. H. Tong, G. R. Liu: An Optimization Procedure for Truss Structure with Discrete Design Variables and Dynamic Constraints, *Computers and Structures*, pp. 155-162., 2001.
  4. R. Sedaghati, A. Suleman, B. Tabarrok: Structural Optimization with Frequency Constraints Using the Finite Element Force Method, *AIAA Journal*, 40, 2, pp. 382-388., 2002.
  5. J. Vladić, R. Đokić, M. Kljajin, M. Karakašić: Modelling and Simulations of Elevator Dynamic Behaviour, *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*, 18, 3, pp. 423-434., 2011.
  6. O. Sergeyev, Z. Mroz: Sensitivity Analysis and Optimal Design of 3D Frame Structures for Stress and Frequency Constraints, *Computers and Structures*, 75, 2, pp. 167-185., 2000.
  7. N. Trisovic: Modifikacija dinamičkih karakteristika u strukturalnoj reanalizi dinamičkih sistema, *Doktorska teza*, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2007.
  8. T. Maneski: KOMIPS Kompjutersko modeliranje i proračun struktura, *Monografija*, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 1998, ISB, 20, 2, 297-304., 2013.
  9. N. Trisovic, T. Maneski, D. Kozak, Developed procedure for dynamic N 86-7083-319-0.
  10. E. Allaboudi, T. Maneski, N. Trisovic, T. Ergic: Improving structure dynamic behaviour using a reanalysis procedures technique, *Technical Gazette reanalysis of structures, Strojarstvo* , 52 (2) 147-158, 2010.