

# Uticaj težine tereta na radijalne deformacije osovinskog sklopa vučenog vozila na železnici

Vladimir Blanuša, Branko Savić  
Visoka tehnička škola strukovnih studija  
Novi Sad, Srbija  
[blanusa@vtsns.edu.rs](mailto:blanusa@vtsns.edu.rs), [savic@vtsns.edu.rs](mailto:savic@vtsns.edu.rs)

Milan Zeljković  
Departman za proizvodno mašinstvo  
Fakultet tehničkih nauka  
Novi Sad, Srbija  
[milanz@uns.ac.rs](mailto:milanz@uns.ac.rs)

**Sažetak**— U radu su prezentovani rezultati predikcije statičkog ponašanja osovinskog sklopa vučenih vozila na železnici primenom metode konačnih elemenata. Razmatrane su vrednosti radijalnog opterećenja po jednoj osovini od 17, 20, 22,5 i 25 tona. Navedeno opterećenje nastaje pri kretanju voza po pravolinijskoj putanji. Prikazani su pomeranja karakterističnih tačaka u radijalnom pravcu kao i naponi na osovinskom sklopu usled radijalnog opterećenja.

**Ključne riječi:** 1; železnički saobraćaj 2; osovinski sklop vučenih vozila na železnici, 3; Autodesk Inventor

## I. UVOD

Železnički saobraćaj predstavlja jedan od najstarijih vidova transporta i danas zauzima drugo mesto po obimu prevoza tereta posle morskog saobraćaja i putnika posle drumskog saobraćaja. Jedna od njegovih najvažnijih funkcija jeste prevoz industrijskih i poljoprivrednih proizvoda, drvne građe, rude i poluproizvoda hemijske industrije na velikim rastojanjima.

Iako u poređenju sa drugim vidovima transporta železnica ima niz prednosti u pogledu ekonomske isplativosti (manja potrošnja energije, ekološka održivost, mogućnost prevoza različitih vrsta roba), neefikasnosti stvorene železničkom regulativom postavile su ograničenja koja su onemogućila efikasnu tržišnu utakmicu ovom vidu transporta. Zastoji u inovacijama tehnologije železničkog saobraćaja i neadekvatan odgovor na značajan porast količina roba malih pakovanja, uz smanjenje roba pogodnih za prevoz železnicom, su primarno objašnjenje zbog čega je smanjen obim transporta železnicom. Evropska unija danas železnicu tretira kao prevoznika budućnosti i nastoji da u evropskim razmerama reafirmiše železnički transport, sa zahtevom konkurentnog, sigurnog i kvalitetnog prevoza svih vrsta roba. Ostvarenje ovih ciljeva između ostalog nalaže izgradnju savremenih vagona prilagođenih tržišnim izazovima, specifičnim tehnološkim zahtevima i sistemima koji omogućuju brzo obavljanje utovarnih/istovarnih operacija [1].

Osovinski sklop točka vučenih vozila na železnici predstavlja jedan od vitalnih sklopova zbog činjenice da prenosi kompletna opterećenja na šinu. Njegov otkaz predstavlja jedan od čestih uzroka koji dovodi do otkaza na železnici [2].

Mohan [3] je primenom metoda konačnih elemenata izvršio predikciju toplotnog i statičkog ponašanja točka vučnih i

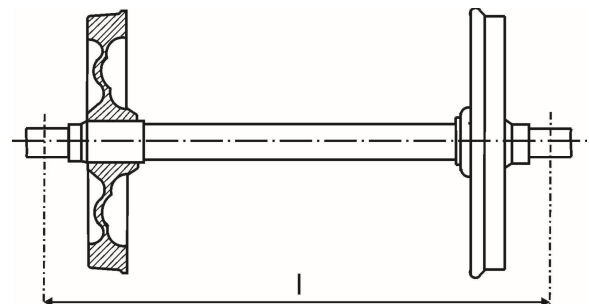
vučenih vozila za železnicu. Izračunata vrednost temperature na bandažu točka je 70 [°C]. Statičkom analizom određene su vrednosti Von Mises-ovih napona u zavisnosti od deformacija izazvanih statičkim opterećenjem. Maksimalno pomeranje je na bandažu točka i iznosilo je 0,2196 [mm], a maksimalni napon na točku 46,34 [N/mm<sup>2</sup>]. Integracijom toplotnog i statičkog ponašanja na jednom modelu određene su vrednosti pomeranja i napona na točku. Maksimalno pomeranje na bandažu točka iznosi 1,084 [mm] a maksimalni napon na točku je 148,98 [N/mm<sup>2</sup>].

U radu je analiziran uticaj težine tereta na radijalna pomeranja karakterističnih tačaka osovinskog sklopa. Određene su vrednosti Von Mises-ovih napona za sve razmatrane slučajeve radijalnog opterećenja.

Analiza statičkog ponašanja osovinskog sklopa sa promenljivim radijalnim opterećenjem je posledica ne mogućnosti tačnog utvrđivanja težine pri punjenju vagona teretom (rudom, ugljem, drvetom, itd.). Nije redak slučaj je vagon opterećen i većim teretom od maksimalno propisanog (maksimalno dozvoljena težina tereta po osovini je 22,5 tone). Iz ovog razloga izvršena je analiza statičkog ponašanja i za opterećenje od 25 tona, što je veće opterećenje od dozvoljenog osovinskog opterećenja (~ 10 % veće opterećenje, dok je minimalno opterećenje ~ 25% manje od nominalnog).

## II. OSOVINSKI SKLOP TOČKA

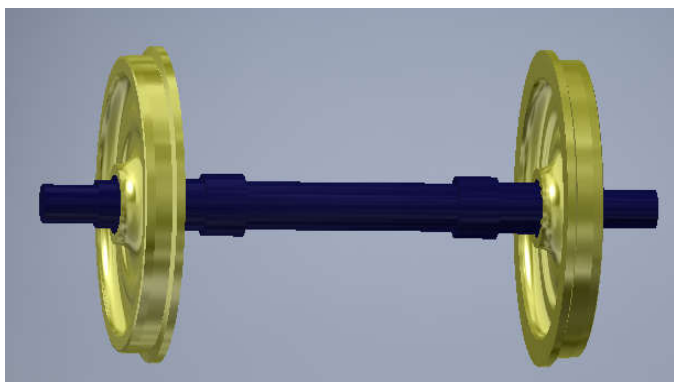
Osovinski sklop točka vučenih vozila na železnici se može uležištiti različitim tipovima ležaja (cilindrično valjkasti, buričasti i konično valjkasti) [4]. U radu se razmatra osovinski sklop koga čini samo osovina i točkovi (slika 1.), ne razmatrajući posebno način uležištenja i deformacije samog ležaja [5] [6].



Slika 1. Izgled sklopa točka

### III. MODELOVANJE STATIČKOG PONAŠANJA

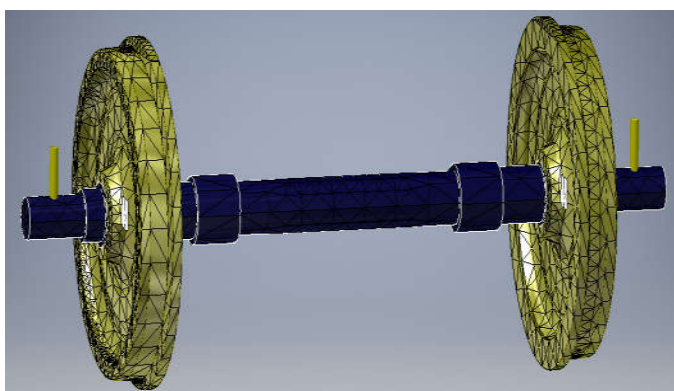
Primenom programskog sistema Autodesk Inventor Professional 2017 modelovana je osovina i točak, a nakon toga je definisan sklop kao što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Model sklopa točka

Podešavanje koordinatnog sistema, izbor kontaktnih parova (2 kontaktna para tipa BOND), definisanje ograničenja i opterećenja, izbor tipa i veličine konačnog elementa (SOLID 87 - izoparametarski tetraeder) izvedeno je u okviru preprocesiranja.

Na slici 3 je prikazan diskretizovan model osovinskog sklopa točka. Sklop je diskretizovan mrežom od 21519 konačnih elemenata i 37217 čvorova.



Slika 3. Diskretizovani modela osovinskog sklopa

Definisano je opterećenje po jednoj osovini u iznosu od 17, 20, 22.5 i 25 [t] što rezultira opterećenju u radijalnom pravcu od 166770, 196200, 220725 i 245250 [N] respektivno. Navedeno opterećenje se javlja pri pravolinijskom kretanju voza. Kretanje voza u krivini, pri čemu krivina može imati razlučit poliprečnik (od 500 do 2000 mm), kao i različitu visinu nadvišenja (od 110 do 180 mm), što izaziva različite vrednosti aksijalnog opterećenja.

Obzirom da kretanje u krivini predstavlja relativno malo učešće u odnosu na pravolinijsku putanja ( $\pm 10\%$ ) ovde se neće razmatrati uticaj aksijalnog opterećenja, koje je, pored toplotnog, posebno interesantno pri analizi ponašanja ležaja za uležištenje osovinskog sklopa.

Težina tereta se izračunava na osnovu izraza:

$$G=m \cdot g \quad (1)$$

m- masa tereta po jednoj osovini (17000, 20000, 22500, 25000 kg),

g- gravitaciona konstanta ( $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ).

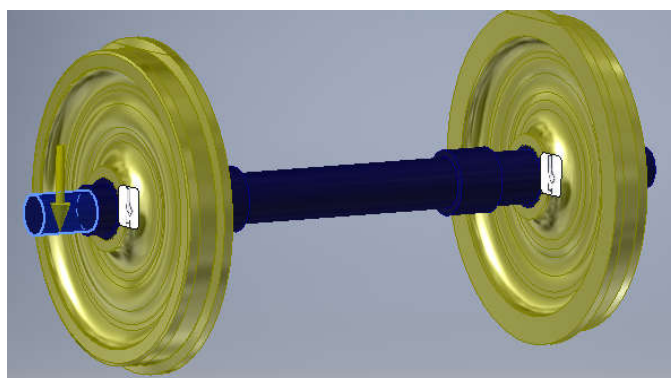
Opterećenje po jednom rukavcu izračunava se kao:

$$G_1=\frac{G}{n} \quad (2)$$

n- broj rukavaca na osovini.

Nakon izračunavanja opterećenja potrebno je u računarski model uneti veličine opterećenja, kao i ograničenja. Opterećenja sa platforme vagona se prenose preko kućišta ležaja i ležaja na rukavce osovine. U radu se ne razmatra dejstvo opterećenja na ležaj.

Na slici 4 se vide površine na koje deluju opterećenja, kao i pravac i smer dejstva. Ograničenja pomeranja definisana su na bandažu točka (ograničeno pomeranje u pravcu sve tri ose  $X=0$ ,  $Y=0$  i  $Z=0$ ).



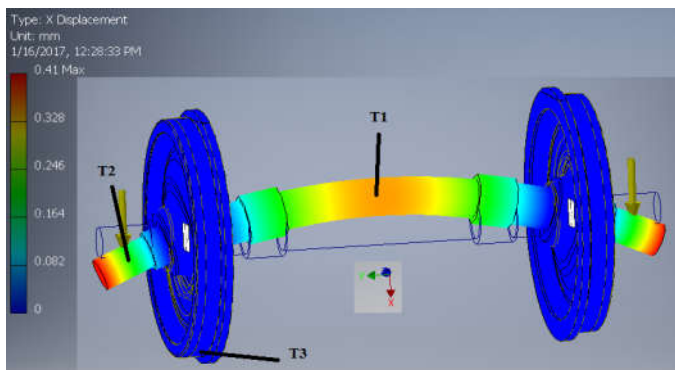
Slika 4. Radijalno opterećenje na rukavcu osovine

Posle proračuna i nakon postprocesiranja dobijeni su grafički prikazi rasporeda pomeranja i napona za osovinski sklop točka, kao i numeričke vrednosti u karakterističnim tačkama.

### IV. REZULTATI I DISKUSIJA

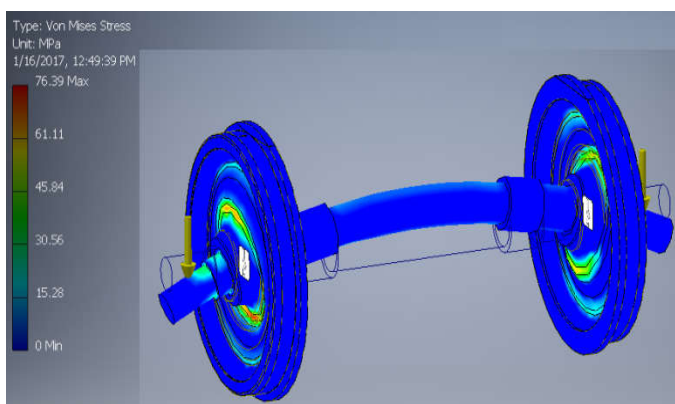
Vrednost deformacija pri radijalnom opterećenju zavisi od težine tereta i povećanjem težine povećavaju se deformacije osovinskog sklopa točka.

Vrednost pomeranja u karakterističnim tačkama T1, T2 i T3 za teret od 17 [t] što je proporcionalno opterećenju 166 770 [N] za pravac X ose prikazana je na slici 5. Pomeranja u pravcima Z i Y ose se neće razmatrati jer se u radu razmatra samo radijalno opterećenje koje nema uticaja na pomeranja u pravcu ove dve ose.



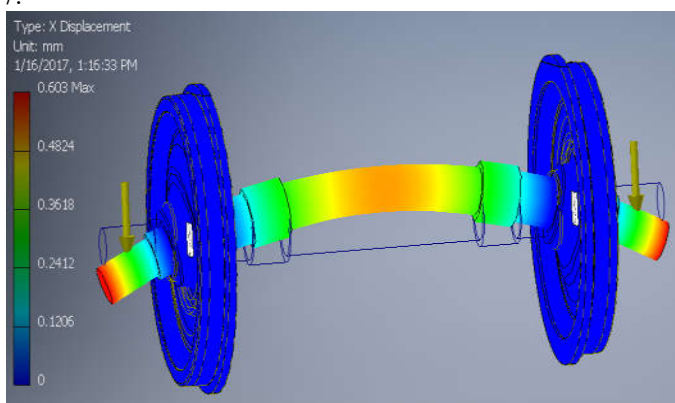
Slika 5. Pomeranja karakterističnih tačaka u pravcu X ose pri teretu od 17 [t]

Grafički prikaz vrednosti Von Mises's - ovih napona na osovinskom sklopu točka pri radijalnom opterećenju od 166770 [N] dat je na slici 6. Mesto maksimalnih napona je na prelazu između glavčine i tela točka.



Slika 6. Vrednosti Von Mises's- ovih napona pri teretu od 17 [t]

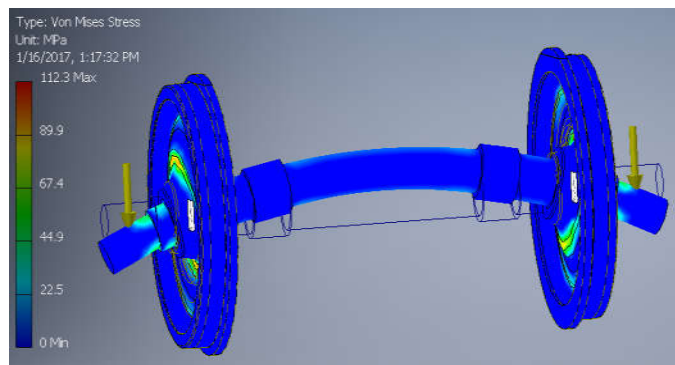
Vrednost pomeranja u karakterističnim tačkama T1, T2 i T3 za maksimalni teret od 25 [t] što je proporcionalno opterećenju 245250 [N] za pravac X ose prikazane su na slici 7.



Slika 7. Pomeranja karakterističnih tačaka u pravcu X ose pri teretu od 25 [t]

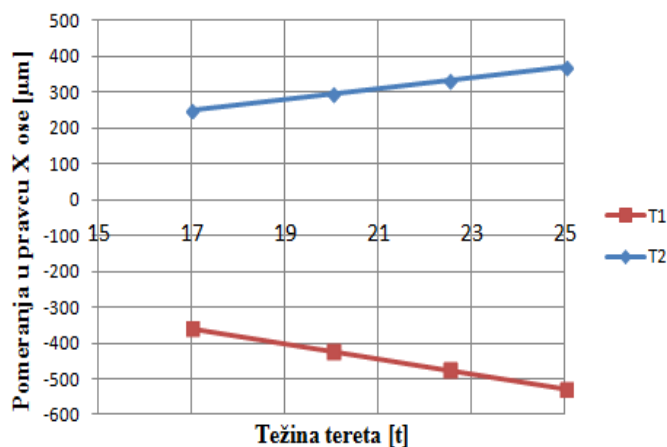
Vrednosti Von Mises's- ovih napona na osovinskom sklopu točka pri radijalnom opterećenju od 245250 [N]

prikazane su na slici 8. Mesto maksimalnih napona je na prelazu između glavčine i tela točka.



Slika 8. Vrednosti Von Mises's- ovih napona pri teretu od 25 [t]

Maksimalna pomeranja karakterističnih tačaka T1 i T2 pri različitim težinama tereta prikazana su grafički na slici 9.



Slika 9. Maksimalna pomeranja karakterističnih tačaka T1 i T2 u pravcu X ose

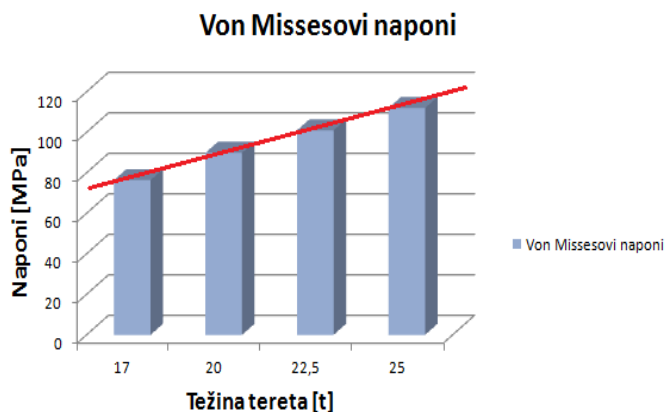
Na osnovu rezultata se vidi povećanje pomeranja karakteristične tačke T1 sa povećanjem težine tereta, odnosno da postoji linearna zavisnost pomeranja od težine tereta. Smer pomeranja je suprotan smeru X ose što se vidi na slici 5.

Pomeranja karakteristične tačke T2 se poklapa sa smerom X ose pa su vrednosti pomeranja prikazane na dijagramu sa pozitivnim vrednostima.

Na osnovu rezultata se vidi da karakteristična tačka T2 (rukavac osovine) ima manja pomeranja od tačke T1. Tačka T3 nema pomeranja obzirom da se nalazi na bandažu točka a tu je u matematičkom modelu definisano ograničenje.

Maksimalne vrednosti Von Misesovih napona su na točku i prikaz njihove zavisnosti od težine tereta je dat na slici 10.

Na osnovu rezultata može se zaključiti da se sa povećanjem težine tereta, takođe linearno povećavaju vrednosti Von Mises's - ovih napona i da je maksimalna vrednost 112 MPa, što je manje od dozvoljene vrednosti za materijal točka.



Slika 10. Promena Von Mises's- ovih napona u zavisnosti od veličine tereta

Prethodno ukazuje da veću pažnju treba usmeriti na koncentraciju napona na razmatranom osovinskom sklopu i/ili na složeniji osovinski sklop koji sadrži i uležištenje osovine. Takođe treba imati u vidu da u stvarnim uslovima eksploatacije treba uzeti u obzir i toplotno opterećenje navedenog sklopa. Generisana toplota je posledica trenja točak (bandaž) – šina, kočnica-točak, a određena toplota se generiše i u samom uležištenju. Imajući u vidu da je osovina uležištena određenim tipom uležištenja, važno je sagledati naponsko-deformaciono stanje samog sklopa ležaja, što je razmatrano u [7] sa stanovišta statičkog ponašanja i u [8], [9] sa stanovišta toplotnog ponašanja, za slučaj uležištenja dvoredim cilindrično valjčastim ležajima. U navedenim radovima je razmatran i uticaj aksijalnog opterećenja, odnosno i kretanje voza po krivolinijskoj putanji različitim brzinama ( $v = 20; 30; 40$  km/h) za različite vrednosti nadvišenja šine u krivini ( $h = 110; 140; 180$  mm). Za najnepovoljniji slučaj, analiza statičkog ponašanja pri kretanju voza po krivolinijskoj putanji brzinom  $v = 20$  km/h i visini nadvišenja  $h = 180$  mm, pomeranje u ležaju iznosi  $64 \mu\text{m}$  (~20% pomeranja tačke  $T_2$ ), pri teretu od 22,5 t [10]. Usled generisane toplote u ležaju i pri istom teretu deformacije ležaja usled toplotnog opterećenja iznose  $55 \mu\text{m}$  [8]. Na osnovu prethodnih rezultata se vidi da je uticaj statičkog i toplotnog opterećenja na uležištenje ravnopravan. Imajući u vidu da svi razmatrani modeli koriste linearnu teoriju može se konstatovati da je maksimalno pomeranje u ležaju pri dejstvu kombinovanog (toplotnog, radijalnog i aksijalnog) opterećenja  $119 \mu\text{m}$ .

#### V. ZAKLJUČAK

Rad prikazuje rezultate računarskog modelovanja statičkog ponašanja osovinskog sklopa vučenih vozila na železnici primenom CAD/CAE programskog sistema (Autodesk Inventor 2017.), za raspon opterećenja od ~75% do ~110% od maksimalnog. Računarskim modelovanjem određena su pomeranja u karakterističnim tačkama osovinskog

sklopa, kao i vrednosti Von Mises's- ovih napona. Računarski model se može koristiti i pri analizi koncentracije napona.

Na osnovu rezultata, se može konstatovati da predstavljeni model (iako relativno pojednostavljen) daje mala odstupanja od modela drugih autora [5]. Na odstupanja, između ostalog, ima uticaj analizirani CAD model (broj elementa koji čine osovinski sklop kao i složenost modelovane geometrije).

#### LITERATURA

1. N. Brkljač, "Proračunski modeli nosećih konstrukcija sa primenom na rešenja železničkih vagona za prevoz tereta", Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.
2. V. Vuković, "Tehničko-tehnološki i ekonomski pokazatelji opravdanosti navarivanja venca monoblok točkova kvaliteta ER7 železničkih vozila za brzine kretanja do 120 km/h", Doktorska disertacija, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2013.
3. M. Mohan, "Analysis of railway wheel to study thermal and structural behaviour", International Journal of Scientific & Engineering Research, ISSN: 2229-5518, Volume 3, Issue 11, Page: 1-4, 2012.
4. FKL, Tehnička dokumentacija za ležaj NJ 324 EC.M C4 VA301, Br. 9560, Temerin, 2009.
5. T. Horvath, "A vasúti kocsik forgóvázai," Műszaki Könyvtudó, ISBN: 963 10 6399 2, Budapest, 1987.
6. G. Sostarić, V. Balog, "Vasúti járművek, Tankönyvtudó", ISBN: 963 18 3113 2, Budapest, 1991.
7. V. Blanuša, M. Zeljković, B. Milisavljević, A. Živković, "Static analysis of behaviour of axle assembly of freight wagons", XVII scientific-expert conference on railways Railcon 16, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, ISSN: 978-86-6055-060-8, Page: 189-192, 2016.
8. V. Blanuša, M. Zeljković, A. Živković, "The thermal elastic behavior of the cylindrical roller bearing for railway vehicles", XVI scientific-expert conference on railways Railcon 14, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, ISBN: 978-86-6055-060-8, Page: 169-172, 2014.
9. V. Blanuša, M. Zeljković, A. Živković, "Prediction thermal elastic behavior of the cylindrical roller bearing for railway vehicles and calculating bearing life", Acta technica corviniensis, Bulletin of engineering, fascicule 1, ISBN: 2067-3809, Page: 21-26, 2015.

#### ZAHVALNICA

Prikazani rezultati su deo istraživanja u okviru doktorske disertacije Vladimira Blanuše. Takođe, su i deo rezultata istraživanja na projektu "Savremeni prilazi u razvoju specijalnih rešenja uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici" TR 35025. Vladimir Blanuša se zahvaljuje Visokoj tehničkoj školi strukovnih studija iz Novog Sada koja je platila kotizaciju za ovaj rad.

#### ABSTRACT

The paper presents the results of prediction of static behavior of the axle assembly of the vehicle towed to the rail using the finite element method. The case of radial load per axle of 17, 20, 22.5 and 25 tons, which occurs in the direct line of train movement. The results of displacements of characteristic points in the radial direction and stresses in axle assembly due to the radial load.

#### INFLUENCE ON WEIGHT LOADS ON RADIAL DEFORMATION AXLE ASSEMBLY TOWED VEHICLE ON RAILWAYS

Vladimir Blanuša, Milan Zeljković, Branko Savić