

Analiza raspodele opterećenja u cilindrično valjkastom ležaju za uležištenje osovinskog sklopa na železnici

Vladimir Blanuša, Branko Milisavljević
Mašinski odsek
Visoka tehnička škola strukovnih studija
Novi Sad, Srbija
blanusa@vtsns.edu.rs, branmyl@gmail.com

Milan Zeljković, Aleksandar Živković
Departman za proizvodno mašinstvo
Fakultet tehničkih nauka
Novi Sad, Srbija
milanz@uns.ac.rs, acoz@uns.ac.rs

Abstract—Unutrašnja geometrija ležaja (zazor, nulti zazor i preklop) ima značajan uticaj na raspodelu opterećenja u ležaju. Cilindrično valjkasti ležaj za uležištenje osovinskog sklopa na železnici se montira sa zazorom. U radu je izložena uprošćena Štribekova teorija raspodele opterećenja za slučaj kad je ležaj montiran sa zazorom. Razmatran je uticaj faktora raspodele opterećenja na statičko ponašanje ležaja za četiri slučaja, i to kad se opterećenje prenosi na 7, 5, 3 i 1 kotrljajni element. Primenom programskog sistema opšte namene na bazi metode konačnih elemenata određena su pomeranja i Von Misses-ovi naponi u ležaju, u zavisnosti od raspodele opterećenja po kotrljajnim elementima.

Ključne reči: cilindrično valjkasti ležaj za železnicu, raspodela opterećenja, statičko ponašanje

I. UVOD

Problematikom raspodele opterećenja u ležaju bavio se i bavi se veći broj istraživača duži niz godina. Raspodela spoljašnjeg opterećenja u ležaju u mnogome zavisi od unutrašnje geometrije ležaja, odnosno od načina montaže (zazor, nulti zazor i preklop). Pored toga raspodela opterećenja ima značajan uticaj na statičko i toplotno ponašanje sklopa u koji je ugrađen ležaj [1].

Štribek [2] je prvi razmatrao problematiku raspodele opterećenja po kotrljajnim telima, kugličnog ležaja sa kosim dodirnom, koja je i danas aktuelna. U radu su prikazani izrazi, određeni na osnovu Hercove teorije kontakta, za izračunavanje raspodele aksijalnog i radijalnog opterećenja po pojedinim kotrljajnim telima - kuglicama. Matematički model je definisan za opterećenje ležaja ugrađenog sa zazorom $\epsilon \leq 0.5$, odnosno za slučaj kada se ukupno radijalno opterećenje prenosi samo na kotrljajna tela koja se nalaze ispod meridijanske ravni. Izvršena su eksperimentalna ispitivanja deformacija kuglica pod dejstvom opterećenja koje se na kuglicu prenosi pritiskom ravne površine ili drugim kuglicama postavljenim u kavez. Pored toga, su određene i vrednostideformacija kontaktne površine u zavisnosti od prečnika kuglice i opterećenja.

Sjövall [3] razmatra raspodelu opterećenja u radijalnom i aksijalnom pravcu kod kotrljajnih ležaja do i iznad meridijanske ravni. Takođe prikazuje raspodelu aksijalnog opterećenja po kotrljajnim telima i konstatuje da je raspodela aksijalnog opterećenja kod valjkastih ležaja linearna, dok je raspodela aksijalnog opterećenja kod kugličnih ležaja sa kosim dodirnom nelinearna. Autor uvodi kompletne eliptičke integrale prve i druge vrste za izračunavanje radijalnog i aksijalnog integralau cilju određivanja raspodele opterećenja na kotrljajna tela iznad meridijanske ravni. Takođe, definisei izraze za određivanje vrednosti radijalnog i aksijalnog opterećenja na pojedinim kotrljajnim telima.

Ruski naučnik u oblasti teorije elastičnosti Makušin je autor, u okviru Priručnik-a za proračune čvrstoće u mašinstvu, poglavlja koja se odnose na teoriju naponskog stanja, proračune krutosti, kao i statički neodređene sisteme [4]. Tu se nalazi i poglavlje posvećeno Hercovoj teoriji kontaktnih napona i njena primena na raspodelu opterećenja kod kotrljajnih ležaja. Nakon jasno izložene Hercove teorije kontakta dva elastična tela Makušin izlaže teoriju raspodele opterećenja u kotrljajnim kugličnim ležajima prema Štribeku.

Kovaljev, M. i Narodecki, M. [5]su izložili različita tehnička rešenja i teorijske prikaze vezane za oslanjanja u mašinama i uređajima, kao i analizu kontaktnih napona i deformacija nastalih pri dodiru elastičnih tela. Prethodno je osnova za razmatranje raspodele opterećenja u radijalnim ležajima. Razmatarana je raspodela opterećenja u radijalnim ležajima sa radijalnim opterećenjem i nultim zazorom, kao i sa radijalnim opterećenjem i zazorom. Krutost radijalnog ležaja je takođe razmatrana. Analizirani su slučajevi statičkog i dinamičkog opterećenja ležaja. Štribekova teorija je izložena detaljno. Zatim, je prikazana Ševalova teorija, u kojoj figurišu radijalni i aksijalni integrali, izraženi bez primene eliptičkih integrala, čime je pojednostavljen sam proračun. Primena softverskih paketa, još više olakšava postupak proračuna raspodele opterećenja.

Košelj, M. V. [6] prvo razmatra tipove kotrljajnih ležaja, da bi u drugom poglavlju analizirao kinematiku, napone i sile koje se javljaju u ležajima. Posle analize trenja i njegovih karakteristika u kotrljajnim ležajima prikazuje se analiza napona i deformacija. Razmatra se raspodela opterećenja u kotrljajnim ležajima, i to za jednoredi kuglični ležaj pri radijalnom i kombinovanom opterećenju. Primena Štribekove teorije je detaljno prikazana. Koristeći Ševalovu teoriju autor određuje radijalnu i aksijalnu komponentu opterećenja i definiše približne izraze za ove izračunavanje ovih komponenti, koji sadrže radijalni i aksijalni integral. Takođe su date i tabele koje sadrže vrednosti ovih integrala u širokom dijapazonu faktora raspodele opterećenja.

Harris, A. i Kotzalas, M. [7] su sistematizovali jednačine za određivanje raspodele opterećenja u aksijalnom i radijalnom pravcu za kotrljajne ležaje (kuglični ležaji sa kosim dodirnom i cilindrično valjkasti ležaji). Vrednosti radijalnog i aksijalnog integrala za tačkasti i linijski dodir su prikazane numerički u vidu tabela. Vrednost eksponenta za tačkastidodiriznosi $n = \frac{3}{2}$, a za linijski $n = \frac{10}{9}$. Prikazane su numeričke vrednosti faktora raspodele opterećenja ϵ za tačkasti i linijski dodir kod radijalnog opterećenja ležaja.

Ricci, C. M. [8] koristi iterativni metod proračuna za određivanje raspodele statičkog opterećenja jednoredih kugličnih ležaja sa kosim dodirnom. U radu su prikazani numerički aspekti iterativne metode. Numerički rezultati su poređeni sa rezultatima drugih autora. Ukupno aksijalno opterećenje kugličnog ležaja sa kosim dodirnom vrednosti 17.800 N, iznosi 1.676 N za svaku kuglicu ležaja po Herisov, a uprikazanom radu 1.681 N. Odstupanje ove metode od Herisove je -0,34%. Prikazana je zavisnost ugla kontakta kuglice od veličine aksijalnog opterećenja kao i aksijalnog pomeranja prstenova. Poređeni su rezultati Herisa i Ričija.

II. UGRADNJA LEŽAJA

Sveobuhvatna analiza cilindrično valjkastih ležaja za specijalne namene podrazumeva kompleksno ispitivanje velikog broja parametara koji utiču na ponašanje ležaja u eksploataciji. Jedan od najznačajnijih parametara u analizi ponašanja predstavlja raspodela opterećenje po kotrljajnim telima u zavisnosti od faktora raspodele opterećenja odnosno načina ugradnje ležaja.

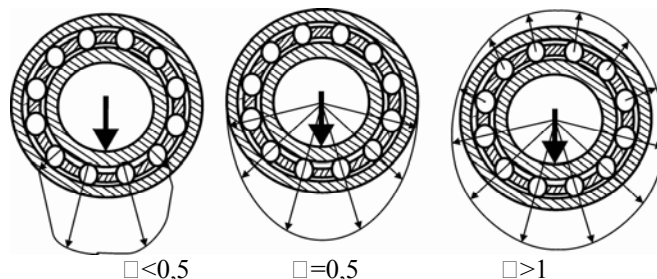
Raspodela opterećenja na kotrljajna tela zavisi direktno od unutrašnje geometrije ležaja, a montažu ležaja moguće je izvršiti na tri načina:

- sa zazorom,
- nultim zazorom,
- preklopom.

U slučaju kada je ležaja ugrađen sa zazorom ukupno radijalno opterećenje se prenosi samo na ona kotrljajna tela koja se nalaze ispod meridijanske ravni (ispod centralne ose ležaja) $\square < 0,5$. Kada je ležaj ugrađen sa nultim zazorom $\square = 0,5$ raspodela radijalnog opterećenja se vrši do meridijanske ravni pri čemu su kotrljajna tela u nivou meridijanske ravni neopterećena. Opterećenje kotrljajnih tela od meridijanske

ravni pa do kotrljajnog tela koje se nalazi ispod centralne ose ležaja povećava se po određenoj zakonitosti tako da kotrljajno telo koje se nalazi tačno ispod centralne ose trpi najveće opterećenje. Pri ugradnji ležaja sa preklopom $\square > 1$ sva kotrljajna tela su radijalno opterećena.

Na slici 1 prikazan je izgled cilindrično valjkastog ležaja ugrađenog sa zazorom, nultim zazorom i preklopom kao i raspodela opterećenja.



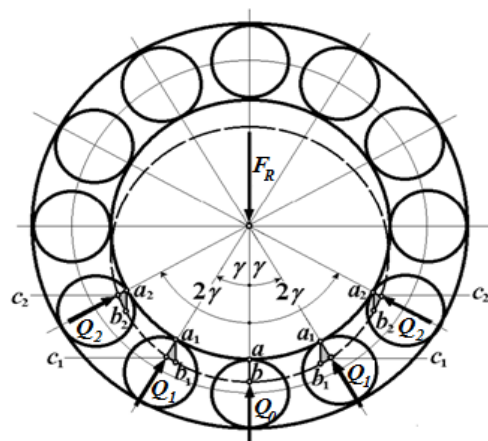
Slika 1. Raspodela opterećenja na kotrljajna tela ležaja ugrađenog sa zazorom, nultim zazorom i preklopom

Za slučaj ugradnje ležaja sa preklopom u ležaju se javlja prednaprezanje. Prednaprezanje predstavlja silu koja je aktivna između kotrljajnih elemenata i prstenova ležaja, a nije nastala usled dejstva spoljašnjeg aktivnog opterećenja. Prednaprezanje se može smatrati negativnim zazorom (preklopom). Razlozi primene prednaprezanja su:

- povećanje krutosti,
- veća tačnost vođenja,
- niži nivo buke,
- duži vek ležaja.

III. MATEMATIČKI MODEL ZE ODREĐIVANJA RASPODELE OPTEREĆENJA

Cilindrično valjkasti ležajiza železnicu se montiraju sa zazorom, i u eksploataciji prenose velika aktivna radijalna opterećenja. Zakon raspodele opterećenja kod radijalnih ležaja prikazuje se na primeru cilindrično valjkastog ležaja ugrađenog sa nultim zazorom (Slika 2)[9].



Slika 2. Raspodela opterećenja kod radijalnog ležaja sa nultim zazorom

Na ležaj deluje radijalna sila F_R . Unutrašnji prsten, kao kruto telo, pomera se u pravcu delovanja sile F_R za veličinu $\alpha_0 = ab$. Savijanje prstena se zanemaruje, tj. on se posmatra kao kruto telo, pa za odsečak a, b_i važi:

$$a b = a_1 b_1 = a_2 b_2 = \alpha_0 \quad (1)$$

Iz trouglova $a_1 b_1 c_1, a_2 b_2 c_2 \dots$ se mogu odrediti izrazi za radijalna pomeranja tačaka kontakta elastičnih valjčića ka unutrašnjem prstenu preko veličine α_0 . Tako se za približenja valjčića unutrašnjem prstenu u radijalnom pravcu, može pisati:

$$\begin{aligned} a &= \alpha_0 \\ a_1 b_1 &= a_1 = \alpha_0 \cos \gamma \\ a_2 b_2 &= a_2 = \alpha_0 \cos 2\gamma, \\ &\dots \\ a_n b_n &= a_n = \alpha_0 \cos n\gamma \end{aligned} \quad (2)$$

Uglovi $\gamma, 2\gamma, n\gamma$ u prethodnim izrazima predstavljaju uglove između napadne linije sile F i položaja valjčića koje primaju opterećenje (Slika 2). Najveći od ovih uglova treba da zadovolji uslov:

$$n \gamma < \frac{\pi}{2} (= 90^\circ) \quad (3)$$

jer valjčići iznad meridijanske ravni nisu opterećeni.

Veličine radijalnih pomeranja $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ zavise od kontaktnih deformacija usled pomeranja unutrašnjeg prstena ka valjčićima. Pomeranje dva elastična tela pod dejstvom opterećenja određuje se izrazom:

$$\alpha_i = n_\alpha \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{9}{4} \cdot \beta_0^2 \cdot K \cdot Q_i^2}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Za posmatrani ležaj, radijalno pomeranje i -tog valjčića unutrašnjem prstenu, može da se napiše u obliku:

$$\alpha_i = n_\alpha \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{9}{4} \cdot \beta_0^2 \cdot K \cdot Q_i^2}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

gde je:

$$n_\alpha \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{9}{4} \cdot \beta_0^2 \cdot K} = \text{const} \quad - \text{konstanta za sve}$$

valjčiće posmatranog ležaja.

Na osnovu prethodnog, gornja jednačina za radijalna približenja valjčića, može da se napiše kao:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \text{const} \cdot Q_0^{\frac{3}{2}}, \\ \alpha_1 &= \text{const} \cdot Q_1^{\frac{3}{2}}, \\ &\dots \\ \alpha_n &= \text{const} \cdot Q_n^{\frac{3}{2}} \end{aligned} \quad (6)$$

U sažetom obliku ovi izrazi glase:

$$\text{const} = \frac{\alpha_0}{Q_0^{\frac{3}{2}}} = \frac{\alpha_1}{Q_1^{\frac{3}{2}}} = \frac{\alpha_2}{Q_2^{\frac{3}{2}}} = \dots = \frac{\alpha_n}{Q_n^{\frac{3}{2}}} \quad (7)$$

Daljim sređivanjem dobijaju se sledeće jednačine:

$$\frac{\alpha_0}{Q_0^{\frac{3}{2}}} = \frac{\alpha_0 \cdot \cos \gamma}{Q_1^{\frac{3}{2}}} = \frac{\alpha_0 \cdot \cos 2\gamma}{Q_2^{\frac{3}{2}}} = \dots = \frac{\alpha_0 \cdot \cos n\gamma}{Q_n^{\frac{3}{2}}} \quad (8)$$

odakle se određuju radijalne sile:

$$\begin{aligned} Q_1^{\frac{2}{3}} &= Q_0^{\frac{2}{3}} \cdot \cos \gamma, \\ Q_2^{\frac{2}{3}} &= Q_0^{\frac{2}{3}} \cdot \cos 2\gamma, \\ &\dots \\ Q_n^{\frac{2}{3}} &= Q_0^{\frac{2}{3}} \cdot \cos n\gamma \end{aligned} \quad (9)$$

Stepenovanjem ovih relacija eksponentom $\frac{3}{2}$, dobija se:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_0 \cdot \cos^{\frac{3}{2}} \gamma, \\ Q_2 &= Q_0 \cdot \cos^{\frac{3}{2}} 2\gamma, \\ &\dots \\ Q_n &= Q_0 \cdot \cos^{\frac{3}{2}} n\gamma \end{aligned} \quad (10)$$

Uslov ravnoteže za unutrašnji prsten, koji je izložen dejstvu vertikalne sile F_R i radijalnih sila (sila reakcije) $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ glasi:

$$F_R = Q_0 + 2 \cdot Q_1 \cdot \cos \gamma + 2 \cdot Q_2 \cdot \cos 2\gamma + \dots + 2 \cdot Q_n \cdot \cos n\gamma \quad (11)$$

Sređivanjem jednačina dobija oblik:

$$F_R = Q_0 \left(1 + 2 \cdot \cos^{\frac{5}{2}} \gamma + 2 \cdot \cos^{\frac{5}{2}} 2\gamma + \dots + 2 \cdot \cos^{\frac{5}{2}} n\gamma \right) \quad (12)$$

Jasno je da je Q_0 maksimalna radijalna sila reakcije. Njena veličina se lako nalazi iz poslednjeg izraza:

$$Q_0 = \frac{F_R}{1 + 2 \cdot \cos^{\frac{5}{2}} \gamma + 2 \cdot \cos^{\frac{5}{2}} 2\gamma + \dots + 2 \cdot \cos^{\frac{5}{2}} n\gamma} \quad (13)$$

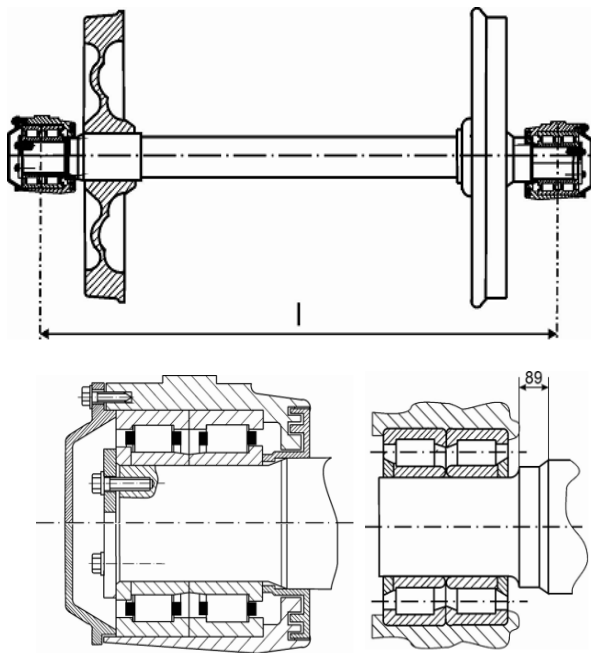
Centralni ugao između pravaca središtasusednih valjčića određuje se na osnovu jednačine:

$$\gamma = \frac{2\pi}{z} \quad (14)$$

IV. RASPODELA OPTEREĆENJA U CILINDRIČNO VALJKASTOM LEŽAJU ZA ŽELEZNICU

Uležištenje sklopa točka vučenih vozila na železnici moguće je izvršiti različitim tipovima ležaja (cilindrično valjkasti, buričasti i konično valjkasti). U ovom radu se razmatra uležištenje sklopa točka sa cilindrično valjkastim ležajima (oznaka ležaja je NJ 324 EC.M1C4 VA301). Na slici

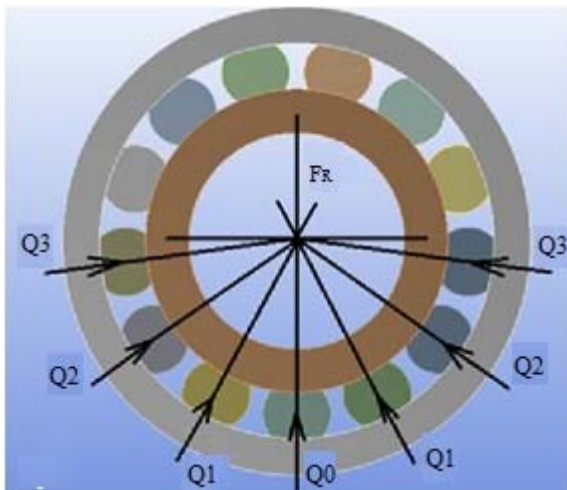
3 prikazan je sklop točka kao i detalji ležaja postavljenih na osovinu.



Slika 3. Izgled sklopa točka sa detaljima ležaja

Ovaj tip ležaja za uležištenje osovinskog sklopa montira se sa zazorom što obezbeđuje da samo ona kotrljajna tela koja se nalaze ispod meridijanske ravni prenose opterećenje sa unutrašnjeg na spoljašnji prsten. Raspodela opterećenja zavisi od veličine zazora, odnosno od faktora raspodele opterećenja ϵ .

Na slici 4 prikazan je ležaj oznake NJ 324 EC.M1C4 VA301 kod kog se ukupno radijalno opterećenje prenosi na 7 valjčića koji se nalaze ispod meridijanske ravni.

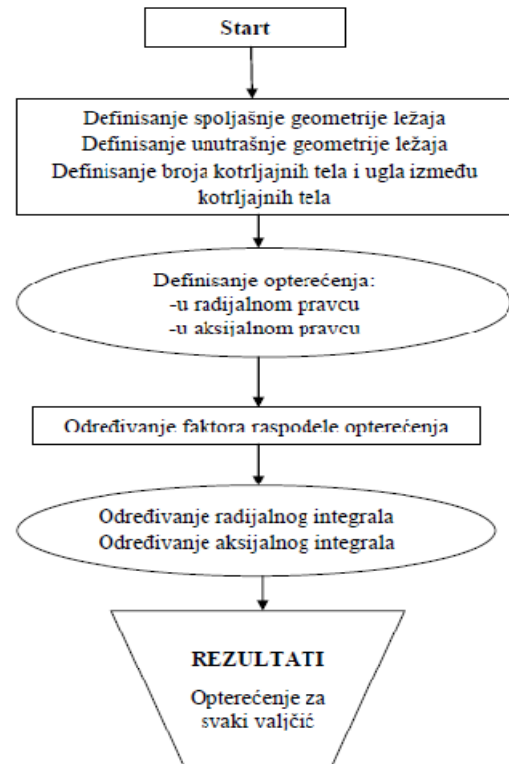


Slika 4. Izgled cilindrično valjkastog ležaja sa raspodelom radijalnog opterećenja F_r na valjčiće

Ukupno opterećenje po jednoj osovini iznosi $G_1=22,5$ tona i prenosi se na ležaje pri čemu je radijalno opterećenje na jednom ležaju:

$$F_r = \frac{G_1}{4} \quad (15)$$

Algoritam raspodele opterećenja po kotrljajnim elementima cilindrično valjkastog ležaja prikazan je na slici 5.



Slika 5. Algoritam za definisanje raspodele opterećenja za svako kotrljajno telo

Na osnovu jednačine (13) određuje se maksimalna radijalna sila reakcije Q_0 .

Dok se vertikalne projekcije sila Q_1 , Q_2 i Q_3 određuju na osnovu jednačina:

$$Q_{1\text{VER}} = Q_0 \cdot \left(\cos\left[\frac{2\pi}{13}\right]\right)^2 \quad (16)$$

$$Q_{2\text{VER}} = Q_0 \cdot \left(\cos\left[\frac{4\pi}{13}\right]\right)^2 \quad (17)$$

$$Q_{3\text{VER}} = Q_0 \cdot \left(\cos\left[\frac{6\pi}{13}\right]\right)^2 \quad (18)$$

Numeričke vrednosti raspodele radijalnog opterećenja na svako kotrljajno telo za različite faktore raspodele opterećenja ($\epsilon < 0,5$) prikazane su u tabeli I.

TABLA I. VREDNOSTI KOMPONENTA VERTIKALNE PROJEKCIJE RADIJALNE SILE

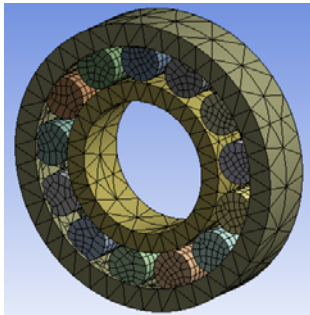
Ukupna radijalna sila F_R [N]	$Q_{0\text{VER}}$	$Q_{1\text{VER}}$	$Q_{2\text{VER}}$	$Q_{3\text{VER}}$
Opterećenje na 7 kotrljajnih tela				
55.181	18.566,6	13.697,8	4.515,7	93,7
Opterećenje na 5 kotrljajnih tela				
55.181	18.630	13.744	4.531	0
Opterećenje na 3 kotrljajna tela				
55.181	22.290	16.445	0	0

V. ANALIZA STATIČKOG PONAŠANJA CILINDRIČNO VALJKASTOG LEŽAJA ZA ŽELEZNICU

Analiza statičkog ponašanja cilindrično valjkastog ležaja za železnicu izvršena je primenom programskog sistema opšte namene na bazi MKE. Proces analize definisan je sa tri faze, i to: preprocesiranje, procesiranje i postprocesiranje.

U okviru faze preprocesiranja izvršeno je: modelovanje 3D modela ležaja, definisanje vrste materijala svih elemenata ležaja, definisanje kontaktnih parovi, diskretizovanje modela, definisanje ograničenja, definisanje opterećenja itd.

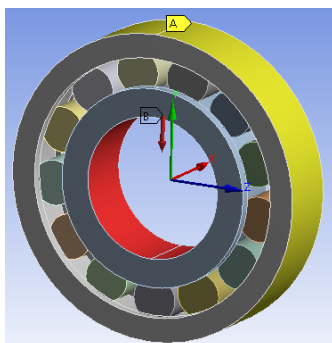
Diskretizovan model cilindrično valjkastog ležaja za uležištenje osovinskog sklopa vučenih vozila za železnicu prikazan je na slici 6.



Slika 6. Diskretizovan model cilindrično valjkastog ležaja za železnicu

Diskretizovan model čine 3.607 elemenata tipa izoparametarskog tetraedra i 14.946 čvorova. Kontaktni parovi su definisani tipom *Bondu* kontaktu između kotrljajnih elemenata i prstenova samo za ona kotrljajna tela koja primaju opterećenja, dok su kontaktni parovi između kotrljajnih elemenata i prstenova koja ne primaju opterećenje definisani kontaktnim parovima tipa *Frictional*.

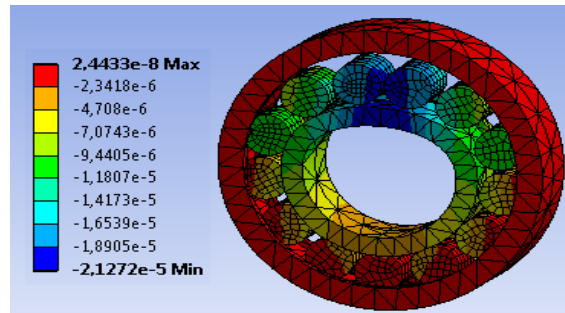
Definisanje ograničenja kao i opterećenja na računarskom modelu prikazano je na slici 7.



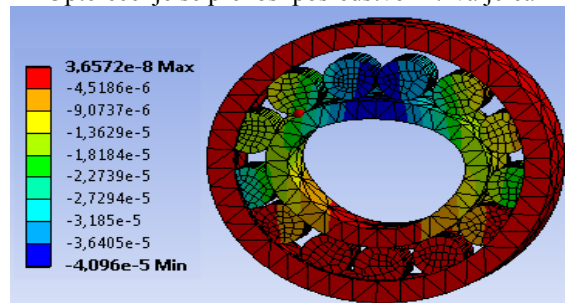
Slika 7. Definisanje ograničenja i opterećenja na računarskom modelu

Spoljašnji prsten ležaja (površina *A* na slici 7) ima ograničeno pomeranje u pravcima *X*, *Y* i *Z*, dok je na unutrašnjem prstenu ležaja (površina *B* na slici 7) definisano radijalno opterećenje u pravcu *Y* ose. Smer radijalnog opterećenja suprotan je smeru *Y* ose i ima intenzitet od 55.181 N.

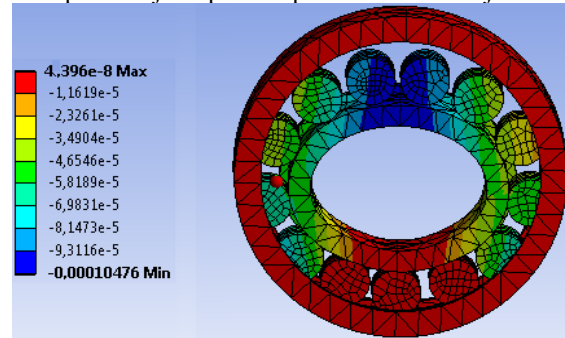
Nakon preprocesiranja vrši se procesiranje i postprocesiranje, odnosno analiza rezultata (pomeranja i Von Misses-ovih napona). Na slici 8 prikazani su rezultati pomeranja cilindrično valjkastog ležaja za slučaj kad se statičko opterećenje prenosi na 7, 5, 3 i 1 kotrljajno telo.



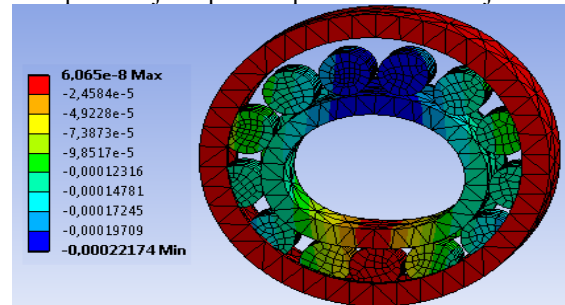
Opterećenje se prenosi posredstvom 7 valjčića



Opterećenje se prenosi posredstvom 5 valjčića

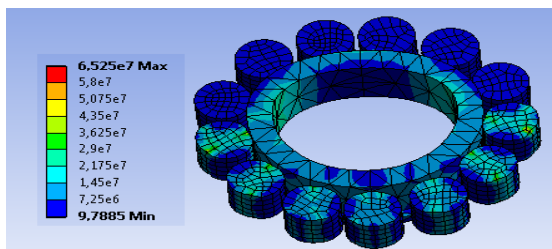


Opterećenje se prenosi posredstvom 3 valjčića

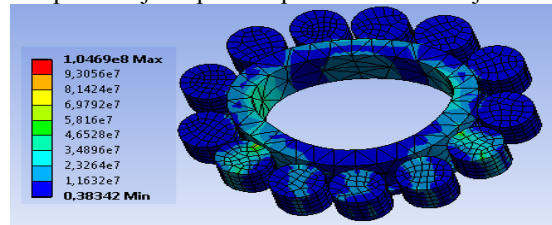


Opterećenje se prenosi posredstvom 1 valjčić
Slika 8. Rezultati pomeranja u pravcu *Y* ose

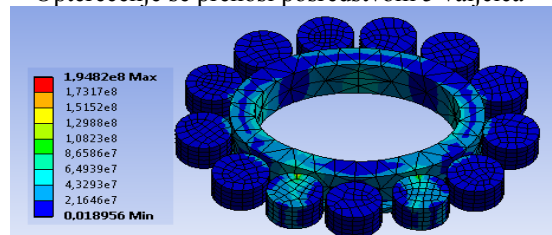
Vrednosti Von Misses-ovih napona pod dejstvom radijalnog opterećenja u zavisnosti od broja kotrljajnih elemenata na koje se prenosi opterećenje prikazane su na slici 9.



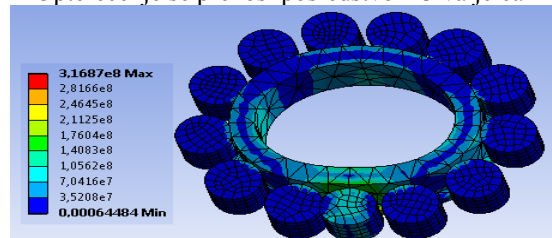
Opterećenje se prenosi posredstvom 7 valjčića



Opterećenje se prenosi posredstvom 5 valjčića



Opterećenje se prenosi posredstvom 3 valjčića



Opterećenje se prenosi posredstvom 1 valjčić

Slika 8. Vrednosti Von Misses-ovih napona u zavisnosti od broja kotrljajnih elemenata na koje se prenosi opterećenje

Pregled numeričkih vrednosti pomeranja i napona u funkciji broja kotrljajnih tela na koja se prenosi radijalno opterećenje prikazan je u tabeli II.

TABLA II. VREDNOSTI POMERANJA I NAPONA U FUNKCIJI BROJA KOTRLJAJNIH TELA

Broj kotrljajnih tela koja prenose opterećenje	Maksimalno pomeranja u μm	Maksimalni naponi u MPa
7	-21	65
5	-41	105
3	-105	195
1	-222	317

VI. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan matematički model za određivanje raspodele opterećenja za slučaj $\epsilon < 0,5$ koji je primenjen na cilindrično valjkasatom ležaju za železnicu. Primenom metode konačnih elemenata analizirano je statičko ponašanje

ležaja. Na osnovu rezultata analize statičkog ponašanja može se zaključiti da se pomeranje kotrljajnih elemenata koji se nalaze iznad meridijanske ravni povećava sa smanjenjem broja kotrljajnih elemenata na koje se prenosi opterećenje (povećava se zazor u ležaju). Negativan efekat povećavanja zazora u ležaju jeste u naponskom stanju, naponima koji se javljaju u kontaktu između kotrljajnih elemenata i prstenova ležaja i za slučaj kad se opterećenje prenosi samo na jedno kotrljajno telo napon iznosi 317 MPa, što je oko 6 puta veće u odnosu kad se opterećenje prenosi na 7 kotrljajnih elemenata.

REFERENCES

- [1] V. Blanuša, "Analiza ponašanja cilindrično valjkastih ležaja za specijalne namene", Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka-Novi Sad, 2017.
- [2] R. Stribeck, "Ball bearings for various loads", Trans. ASME 29, pp. 420-463, 1907.
- [3] H. Sjövall, "The Load Distribution within Ball and Roller Bearings under Given External Radial and Axial Load", Teknisk Tidskrift, Mekanik, Häfte. 9, Pages: 1-6, 1933.
- [4] В. М. Макушин, "Упругие перемещения и напряженное состояние в местах силового контакта деталей, Расчеты на прочность в машиностроении II, Москва, 1959.
- [5] М.П.Ковалев, М. З.Народецки, Расчет высокоточных шарикоподшипников, Машиностроение, Москва, 1975.
- [6] М.В.Кошелёв, Подшипники качения, Наука и техника, ISBN: 5-343-00926-3, Минск, 1993.
- [7] T.A. Harris, M.Kotzalas, Rolling bearing analysis: Essential Concepts of Bearing Technology, Fifth edition, Taylor&Francis Group-USA, ISBN: 0-8493-7183-X, 2007.
- [8] M.C. Ricci, "Internal Loading distribution in statically loaded ball bearings subjected to a centric thrust load: Numerical aspect", International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol. 4, No. 3, ISSN: , Pages: 322-330, 2010.
- [9] B.Milisaavljević, "Hercova teorija kontakta i analiza raspodele opterećenja", nepublikovani materijal, 2017.

ABSTRACT

The internal geometry of the bearing (gap, zero gap and preload) has a significant influence on the load distribution in the bearing. Cylindrical roller bearing for attaching the axle assembly on the rail is mounted with a gap in the internal geometry. The paper deals with the simplified Stribeck's theory of load distribution in the case when the bearing is mounted with closing. The influence of the load distribution factor on the static bearing behavior for four cases is considered, when the transfer is transferred to the 7, 5, 3 and 1 roller elements. With the application of a general-purpose software system based on finite elements, the displacements and Von Misses stresses in the bearing are determined, depending on the distribution of the load on the rolling elements.

ANALYSIS OF THE LOAD DISTRIBUTION IN A CYLINDRICAL ROLLER BEARING FOR ATTACHING THE AXLE ASSEMBLY TO THE RAIL

Vladimir Blanuša, Branko Milisaavljević, Milan Zeljković, Aleksandar Živković