

ODREĐIVANJE VREDNOSTI ZAZORA NA LEŽAJEVIMA KOLENASTOG VRATILA MOTORNIH VOZILA

Prof.dr. Živoslav Adamović, email: adamovic@tfzr.uns.ac.rs

Univerzitet u Beogradu i Novom Sadu,

Prof.dr. Dragan Nikolić, email: dakinika07@gmail.com

Fakultet primenjenih tehničkih nauka, Niš,

Doc.dr. Veljko Vuković, email: v.velja@gmail.com

Železnice Republike Srpske

Sažetak: Praćenje pohabanosti ležajeva kolenastog vratila motornih vozila, vrši se u uslovima eksploatacije određenim nizom različitih faktora koji dovode do poremećaja komponenata. Uticaj svake promene parametara stanja pouzdanosti usled zazora predstavlja nivo pouzdanosti ležajeva baziran na praćenju provere stanja komponenata sklopova motornih vozila. Istraživanjem 250 vozila pri otkazu ležajeva, strukturni parametri ukazuju na međusobnu uslovljenost izlaznih karakteristika stanja I, bilo da se radi o performansama ili pokazateljima pratećih procesa rada komponenata sklopova.

Ključne reči: parametri, zazor, motorna vozila, dijagnostika, pohabanost.

DETERMINING THE VALUE OF CLEARANCE ON BEARINGS CRANKSHAFT MOTOR VEHICLE

Abstract: Monitoring wear crankshaft bearings for motor vehicles is carried out in conditions of exploitation specific number of different factors that lead to the disorder of the components. Impact of each change parameters of reliability due to the backlash is the level of reliability of bearings based on monitoring checks the status of the components assemblies of motor vehicles. The survey of 250 vehicles in the cancellation of bearings, structural parameters indicate the mutual dependence of the output characteristics of the condition I, whether in performance or indicators supporting the work process component assemblies.

Keywords: parameters, gap, motor vehicle, diagnostics, wear

UVOD

Najčešća pojava otkaza ležajeva jeste habanje. Analiza je rađena na ležajevima vozila tokom generalnih opravki i konstatovano je da su različite vrste habanja prisutne u različitim slučajevima i to zbog plastične deformacije i loma ležajeva. Slaba su sva ona merna mesta komponenata motornih vozila koja su podložna otkazima i ona se mogu pojaviti usled: slabih konstruktivnih rešenja, nedovoljno dobrih postupaka izrade, neodgovarajućeg rukovanja i održavanja, neodgovarajućeg tehnološkog procesa rada, uticaja okoline (vlažnost, prašina, temperatura i dr.), neodgovarajućeg materijala i dr. Merenje zazora na ležajevima realizovana je na svakih 100000 km, tako da je veličina uzorka bila $n = 6$, tabela 1., motornih vozila Volvo - D9B 340 i D7C 275, JGSP – Novi Sad, „Nišekspress“ – Niš, Lasta – Beograd [6].

Raspored mernih mesta za merenje temperature i pohabanosti ležajeva motornih vozila:

- Merno mesto 1 – kolenasto vratilo (stabilni ležaj) – M_1
- Merno mesto 2 – kolenasto vratilo (leteći ležaj) – M_2
- Merno mesto 3 – bregasto vratilo (klizni ležaj) – M_3

Broj evidentiranih otkaza, nastalih usled povećanja nivoa pohabanosti ležajeva motornih vozila, odredio je pouzdanost u toku eksploatacionog rada svakog posmatranog sklopa a analiza otkaza sastavnih komponenata posmatranih sklopova biće okrenuta oblasti njihovog nestabilnog rada kada dolazi do njihovog intenziviranja. [5].

1. MATERIJAL I METOD RADA

Predmet istraživanja posmatran u radu je tehnički sistem motornih vozila (autobusa) Volvo - D7C 275, u firmi: JGSP - Novi Sad. Ukupno je dijagnostičkom ispitivanju podvrgnuto 250 motornih vozila Volvo - D7C 275. Na ovim sistemima ispitivana je pouzdanost njihovih motora, posmatrana kroz praćenje veličina pohabanosti tj. zazora ležajeva (stabilnih - M_1 letećih - M_2 i kliznih ležajeva - M_3) na kolenastom i bregastom vratilu. Pod uticajem mera tehničke dijagnostike u određenim vremenskim periodima izvođene su mere tehničkog održavanja, koje su se sastojale od: zamene oštećenih ležajeva i uvođenje kvalitetnih ulja u sam proces podmazivanja.

Prikaz broja otkaza u vremenu praćenja određenog pređenog puta i rada ležajeva na komponentama (M_1 , M_2 i M_3) motornih vozila – Volvo D9B 340 JGSP – Novi Sad, tabela 1.

datum provere pojave otkaza	pređeni put (km)	naziv mernih mesta sastavnih komponenata motornih vozila: M_1 - kolenasto vratilo, M_2 - kolenasto vratilo, M_3 - bregasto vretilo		
		ukupan broj otkaza na ležajevima		
		M_1 - stabilni ležaj	M_2 - leteći ležaj	M_3 - klizni ležaj
30.06.2009.	500 000	4	4	3
31.12.2009.	550 000	5	5	4
06.06.2010.	600 000	4	3	5
31.12.2010.	650 000	6	5	3
30.06.2011.	700 000	5	4	3
31.12.2011.	750 000	4	3	4
30.06.2012.	800 000	5	4	3
31.12.2012.	850 000	4	5	4
30.06.2013.	900 000	5	4	3
30.09.2013.	950 000	5	5	3
31.12.2013.	1 000 000	6	5	4

Tabela 1. Izmereni rezultati određenog vremenskog perioda broja otkaza i pređenog puta na mernim mestima ležajeva M_1 , M_2 i M_3 motornih vozila – Volvo D9B 340 JGSP – Novi Sad

Tabela 2 pomoći će u konstruisanju dijagrama zavisnosti broja otkaza u funkciji izmerenog unutrašnjeg prečnika kolenastog vratila - stabilni ležajevi – M_1 , (slika 1). Za određivanje procene očekivane vrednosti zazora do koga kolenasto vratilo - stabilni ležajevi (M_1 i M_2) imaju ispravan rad usled pohabanosti njihovog unutrašnjeg prečnika (d_{lsr}) uzećemo aritmetičku sredinu vrednost z tih merenja [2] [7]:

$$d_{l_{M_1, M_2}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{li}$$

Jednačina modela praćenja promene pri merenju zazora između vratila i ležajeva u toku određenog pređenog puta motornih vozila ima svoj sledeći konačni izraz [6] [13]:

$$z_{sM_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - z_{\max})^2}{n-1}}$$

Gde je:

n - broj nezavisnih merenja zazora,

d_{li} - zazori svih izmerenih unutrašnjih prečnika ležaja

2. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Primenom aritmetičke sredine vrednosti prečnika stabilnog ležaja M_1 je:

$$z_{M_3} = \frac{1}{10} \sum_{i=10}^{10} (90,550 + 90,546 + 90,542 + 90,540 + 90,538 + 90,536 + 90,534 + 90,532 + 90,530 + 90,528) =$$

$$z_{M_3} = 90,540[mm] \geq z_{opt}$$

Zabeležena najveća vrednost zazora kod ležaja, Volvo D9B 340, JGSP – Novi Sad je:

$$z_{M_3 \max} = d_{lsr} - z = 90,550 - 90,538 = 0,012[mm]$$

datum provere pojave otkaza	pređeni put (km)	merno mesto M_1 – stabilnih ležajeva	
		ukupan broj otkaza	zabeležena vrednost unutrašnjeg prečnika ležaja $d_{li} [(\Phi)(mm)]$
30.06.2009.	500 000	4	90,550
31.12.2009.	550 000	5	90,546
06.06.2010.	600 000	4	90,542
31.12.2010.	650 000	6	90,540
30.06.2011.	700 000	5	90,538
31.12.2011.	750 000	4	90,536
30.06.2012.	800 000	5	90,534
31.12.2012.	850 000	4	90,532
30.06.2013.	900 000	5	90,530
30.09.2013.	950 000	6	90,529
31.12.2013.	1 000 000	6	90,528

Tabela 2. Izmereni rezultati određenog vremenskog perioda i otkaza motronih vozila u periodu praćenja rada stabilnih ležajeva M_1 – Volvo D9B 340, JGSP – Novi Sad

Izračunata optimalna vrednost dozvoljenog zazora pomoću eksperimentalne standardne devijacije iznosi [3]:

$$z_{SM_{3opt}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (0,022 - 0,012)^2}{9}} = 0,016[mm]$$

$$\text{Odnosno } z_{M_{3opt}} = 90,550 - 90,534 = 0,016[mm]$$

Najmanja, tzv. minimalna vrednost zazora je:

$$z_{\min} = 0,45\sqrt[3]{90,550} + 0,001 \cdot 90,550 = 0,012[mm]$$

Idealni zazora beleži vrednost jednaku:

$$z_{M_3 \min} = z_{ideal} = 0,012[mm]$$

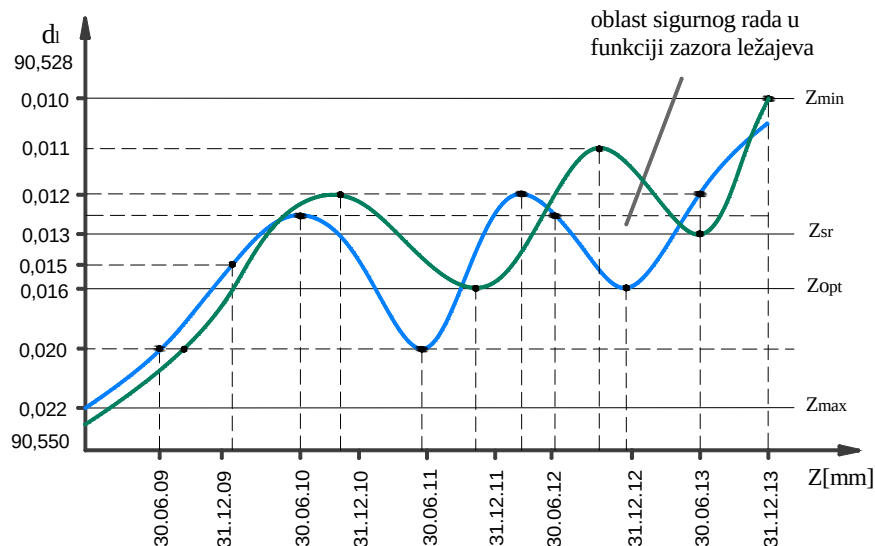
Utvrđene ekstremne vrednosti su [3]:

$$z_{M_3 \max} = 0,022[mm] = z_{\max p}$$

$$z_{M_3 \text{ opt}} = z_{sr} = 0,016[mm] = z_{\text{opt} \cdot p} = z_{sr \cdot p}$$

$$z_{M_3 \min} = z_{ideal} = 0,012[mm] = z_{\min p}$$

$$z_{\max} = \frac{90,528}{90,550}[mm], \quad z_{S \text{ opt}} = \frac{90,274}{90,296}[mm], \quad z_{\min} = \frac{90,020}{90,042}[mm]$$



Slika 1. Grafik prikazane vrednosti dozvoljenih zazora promenom zazora stabilnih ležajeva M_1 motornih vozila – Volvo D7C 275, JGSP – Novi Sad

Izračunate vrednosti zazora su [11]:

$$z_{M_1, M_2 \max} = 90,550 - 0,022 = 90,528[mm]$$

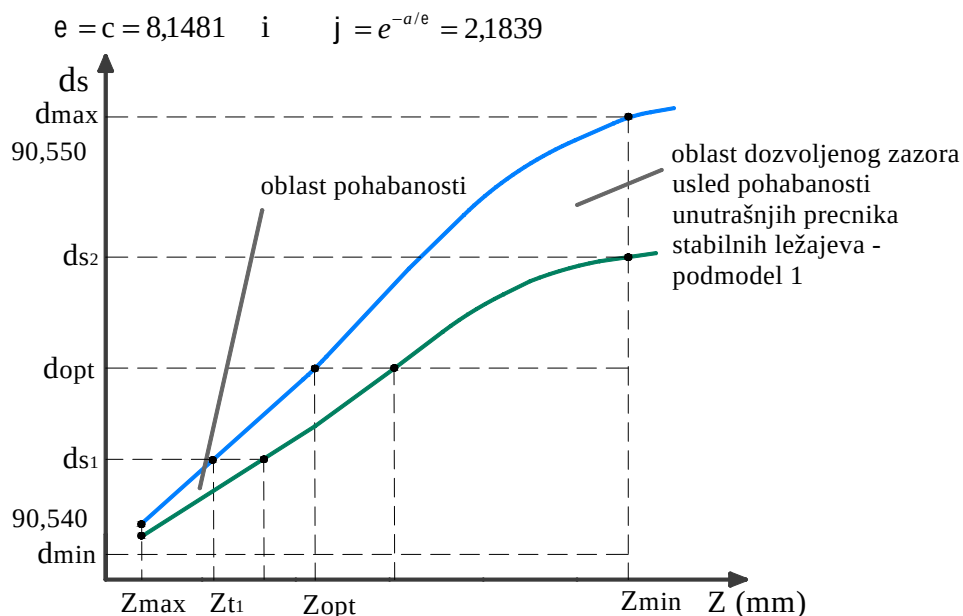
$$z_{S M_1, M_2 \text{ opt}} = 90,550 - 0,016 = 90,534[mm]$$

$$z_{M_1, M_2 \min} = z_{ideal} = 90,538[mm]$$

Za stabilni ležaj (M_1) i (M_2) vrednosti zazora $z_{\max}$, $z_{\text{opt}} = z_{sr}$, $z_{\min}$ su jednake, dok je za ležaj kolenastog vratila (M_1) nešto drugačiji iz razloga što ovaj stabilni ležaj ima veći unutrašnji prečnik i iznosi $d_{lsr} = 90,540[mm]$, (tabela 2.), slika 2.

Prikazane eksperimentalne tačke Weibull-ove raspodele (tabela 3.) su u neposrednoj okolini teorijskih, pa se može zaključiti da reprezentuju kontroli odstupanja pohabanosti ležajeva. Date jednačine mogu se odrediti parametrima Weibull-ove raspodele sa optimalnim vrednostima [1]:

- parametar oblika e i razmere j Weibull-ove raspodele [5] [11]:



Slika 2. Grafik prikazane vrednosti dozvoljenih zazora promenom unutrašnjih prečnika stabilnih ležajeva na M_1 – Volvo D7C 275, “Nišekspress” – Niš [16]

U slučaju kada su poznate vrednosti parametara Weibull-ove raspodele ($e = c = 8,1481$ i $j = 2,1839$) lako se mogu formirati funkcije osnovnih teorijskih Weibull-ovih pokazatelja pouzdanosti, i to u obliku [4] [9] [12]:

- funkcija pouzdanosti:

$$K(t) = e^{-(t/2,1839)^{8,1481}} = 0,9459$$

- funkcija nepouzdanosti:

$$N(t) = 1 - e^{-(t/2,1839)^{8,1481}} = 0,0441$$

- funkcija gustine otkaza:

$$g(t) = 1,78923 \cdot \left(\frac{t}{2,1839} \right)^{6,3714} \cdot e^{-(t/2,1839)^{8,1481}} = 0,0214$$

- funkcija intenziteta otkaza:

$$l(t) = 1,78923 \cdot \left(\frac{t}{2,1839} \right)^{6,3714} = 0,01851$$

Vrednosti teorijskih pokazatelja pouzdanosti ležajeva M_1 i M_2 prikazane su u tabeli 4, uporedo sa eksperimentalnim, predstavlja dijagnostike stanja motornih vozila. Tako je, npr., za verovatnoću 50 % pređeni put bezotkaznog rada $t_{50\%} = 7,4971 \cdot 10^3$ [km], za verovatnoću 80 %, $t_{80\%} = 6,4729 \cdot 10^3$ [km] ili za verovatnoću 90 %, $t_{90\%} = 7,0183 \cdot 10^3$ [km] [12] [15] [16].

r.b.	vremenski interval rada komponentata	temperaturni intervali	t	$x_i = \ln t$	$S(t)$	$K_r = \ln \frac{1}{1 - S(t)}$
1.	31.12.2010 ÷ 31.12.2011	99,0 – 99,5	7,00	1,793	0,0517	0,947
2.	31.12.2010 ÷ 31.12.2011	98,0 – 98,5	7,25	2,147	0,2168	0,791
3.	31.12.2010 ÷ 31.12.2011	97,0 – 97,5	7,75	2,238	0,5725	0,892
4.	31.12.2010 ÷ 31.12.2011	96,0 – 96,5	8,25	2,273	0,6863	0,685
5.	31.12.2010 ÷ 31.12.2011	95,0 – 95,5	8,75	2,351	0,8419	0,573
6.	31.12.2010 ÷ 31.12.2011	94,0 – 94,5	9,25	2,399	0,9379	0,294
7.	31.12.2010 ÷ 31.12.2011	93,0 – 93,5	9,75	2,423	1,0000	0,147

Tabela 3. Rezultati parametara stanja komponentata funkcije Weibull-ove raspodele $S(t)$ otkaza ležajeva M_1 i M_2 Volvo - D7C 275, JGSP – Novi Sad

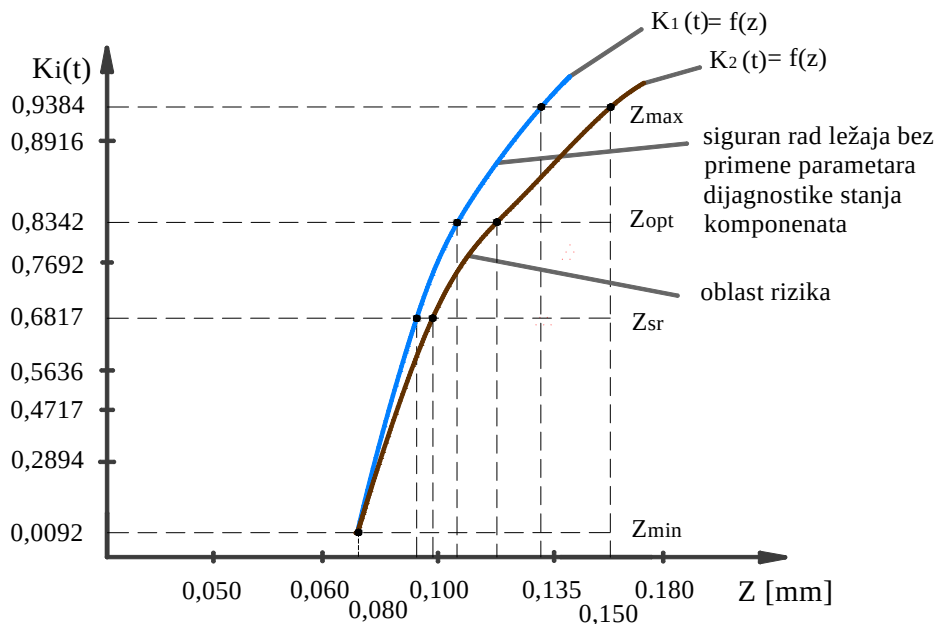
r.b.	grupni intervali	t	n	$S(t)$	μ	δ	r	$K_r(t)$	$\lambda(t)$
1.	7,0 – 7,5	7,25	2,0129	0,0213	0,1147	0,1384	10,4179	0,9479	0,0934
2.	7,5 – 8,0	7,75	3,4175	0,0204	0,4392	0,1572	9,0427	0,8762	0,3517
3.	8,0 – 8,5	8,25	6,2841	0,0199	0,3927	0,2571	7,8278	0,6573	0,5379
4.	8,5 – 9,0	8,75	7,6137	0,0195	0,1842	0,3617	4,1046	0,5614	1,0045
5.	9,0 – 9,5	9,25	2,6139	0,0125	0,4838	0,5791	2,2791	0,4294	1,6932
6.	9,5 – 10,0	9,75	1,3825	0,0841	0,5825	0,5913	0,3674	0,3728	2,2516

Tabela 4. Tabelarni prikaz osnovnih parametara stanja komponentata teorijskih Weibull - ovih pokazatelja pouzdanosti ležajeva M_1 i M_2 Volvo - D7C 275, “Nišekspress” – Niš

Na osnovu dobijenih vrednosti zazora u oblasti rada ležajeva M_1 , M_2 i M_3 (tabela 5.), prikazano je na dijagramu zavisnosti pouzdanosti od zazora sa oblastima sigurnog – ispravnog rada i rizika bez primene parametara dijagnostike stanja motornih vozila (slika 3.).

r.b.	pređeni put (km)	$K_r(t)$	$z[mm]_{M_1, M_2}$	oblast rada ležajeva M_1 i M_2	$z[mm]_{M_3}$	oblast rada ležaja M_3
1.	500000 ÷ 1300000	0,5270	0,019 (z_{max})	rizik komponentata	0,022 0,016	rizik komponentata
2.	500000 ÷ 1300000	0,6798	0,015 ($z_{opr} = z_{ir}$)			
3.	500000 ÷ 1300000	0,7138	0,014 ($z_{opr} = z_{ir}$)			
4.	500000 ÷ 1300000	0,8962	0,011 (z_{min})	ispravan rad komponentata	0,012	ispravan rad komponentata
5.	500000 ÷ 1300000	0,8571				
6.	500000 ÷ 1300000	0,7413				
7.	500000 ÷ 1300000	0,7098				

Tabela 5. Izmereni rezultati pouzdanosti i zazora u oblasti pređenog puta i rada ležajeva motornih vozila (M_1 , M_2 i M_3) – Volvo D7C 275, JGSP – Novi Sad [5]



Slika 3. Grafiki prikaz zavisnosti pouzdanosti od zazora sa oblastima sigurnog i ispravnog rada i rizika bez kontrole parametara dijagnostike stanja motornih vozila Volvo - D7C 275, JGSP – Novi Sad

Dati izračunati merodavni zazori ležajeva motornih vozila, Volvo - D7C 275, JGSP – Novi Sad su [7] [13]:

$$z_{\max} = 0,022[\text{mm}]$$

$$z_{\text{opt}} = z_{\text{sr}} = \frac{0,022 + 0,012}{2} = 0,016[\text{mm}]$$

$$z_{\min} = 0,012[\text{mm}]$$

3. ZAKLJUČAK

Uzeti rezultati istraživanja pohabanosti ležajeva sa zabeleženim otkazima na mernim sklopovima motornih vozila, a bez primene parametara zabeležene su vrednosti unutrašnjih prečnika ležajeva. Utvrđene vrednosti zazora nam pokazuju da se radi o čvrstom naleganju, a ekstremne vrednosti zazora ukazuju na to da se sa primenom parametara ukupna pohabanost ležajeva smanjuje. Dobijene vrednosti o veličini zazora bez primene kontrole parametara od 30.06.2009. god. do 31.12.2011. god, Volvo D7C 275, JGSP – Novi Sad za ležajeve M_1 i M_2 iznose: $z_{M_1, M_2 \min} = 0,014(\text{mm})$, $z_{M_1, M_2 \max} = 0,022(\text{mm})$ pa je to period njihovog nestabilnog rada, što procentualno iznosi 32,7%, a sa primenom kontrole parametara u periodu od 31.12.2011. god. do 31.12.2013. god., iznose (promena naleganja): $z_{M_1, M_2 \min} = 0,011(\text{mm})$, $z_{M_1, M_2 \max} = 0,015(\text{mm})$, a vrednosti veličine zazora bez primene kontrole parametara za M_3 iznosi: $z_{M_3 \min} = 0,012(\text{mm})$, $z_{M_3 \max} = 0,014(\text{mm})$, a sa primenom kontrole parametara iznosi: $z_{M_3 \min} = 0,010(\text{mm})$, $z_{M_3 \max} = 0,012(\text{mm})$ dolazi do smanjenja pojave otkaza, u funkciji eksploatacionog vremena (t), procentualno od 19,7% na 12,4%.

4. LITERATURA

- [1] Adamović, Ž., Zlatković, D., Milenković, D. Dijagnostika putničkih automobila, Tehdis, Beograd (2011).
- [2] Adamović, Ž., Ilić, B., Bursać, Ž., Vibrodijagnostičko održavanje mašina i postrojenja, Srpski akademski centar, Novi Sad (2014).
- [3] Ašonja, A., Adamovic, Z., Jeftic, N. Analysis of Relyability of Cardan Shafts Based on Condition Diagnostics of Bearing Assembly in Cardan Joints, Journal Metalurgia International, 18(4), pp.216-221 (2013).
- [4] Asonja, A., Mikic, D., Stojanovic, B., Gligoric, R., Savin, L., Tomic, M. Examination of Motor-Oils in Exploitation at Agricultural Tractors in Process of Basic Treatment of Plot, Journal of the Balkan Tribological Association, 19(2), pp.314-322(2013).
- [5] Janjić, N., Adamović, Z., Nikolić, D., Metodologija ispitivanja dijagnostike naprezanja stabilnih ležajeva kolenastog vratila, časopis „Tehnička dijagnostika“ ISSN 1451-1975 br.3-4, str 13-20, Banja Luka, 2014
- [6] Janjić, N., Adamović, Ž., Nikolić, D., Istraživanje ekstremnih vrednosti pouzdanosti na ležajevima motornih vozila, časopis „Održavanja mašina“ godina XI, broj 3-4, ISSN 1452-9688 UDK 005, Smederevo, 2014.
- [7] Janjic, N., Adamovic, Z., Nikolic, D., Research work process at monitoring and enforcement of maintenance of motor vehicles, Tehnička dijagnostika, 13(2), pp.29-35 (2014).
- [8] Nikolic, D., J, Janjic, N., Dimitrijević, N.: Određivanje optimalne pouzdanosti pri merenju temperature ležajeva, časopis “MENADŽMENT ZNANJA” GODINA V, broj 1-2, ISSN 1452-9661, str. 91-97, Smederevo, 2010.
- [9] Karastojkovic, Z., Smaic, Z., Kovacevic, Z. Technical diagnostics of crankshaft from motor engine, Tehnička dijagnostika, 12(3), pp.38-45 (2013).
- [11] Janjic, N., Adamovic, Z., Nikolic, D., Janjić, Z., Milenković, A. Tehnologije dijagnosticiranja motornih vozila, Nova knjiga, Podgorica (2013).
- [12] Nikolic, D., J, Janjic, N., Dimitrijević, N, Milenković, A. Motorna vozila, Visoka škola primenjenih strukovnih studija, Vranje, (2012).
- [13] Janjić, N., Adamović, Z., Nikolić, D., Z., Savić, B. Istraživanje procesa rada pri praćenju i provođenju održavanja kod motornih vozila, zbornik radova XXXVII Konferencije, majski skup održavalaca Srbije, 30.05.2014. Vrnjačka Banja, (2014).
- [14] Janjic, Z., Janjic, N., Nikolic, D., Research on early temperature of motor vehicles crankshaft bearings“, KNOWLEDGE: International journal, vol.4. Scieutific and appilicative papers, ISBN 978-608-65653-8-1, p. 538-544, Bansko, Bulgaria, 2014.
- [15] Janjic, Z., Janjic, N., Nikolic, D., Determining the value of the clearance on motor vehicles crankshaft bearings“, KNOWLEDGE: International journal, vol.4. Scieutific and appilicative papers, ISBN 978-608-65653-8-1, p. 607-614, Bansko, Bulgaria, 2014.
- [16] Janjic, N., Adamovic, Z., Nikolic, D., Asonja, A., Stojanovic, B., „Impact of dijagnostics state model to the reliability of motor vehicles“, Journal of the Balkan Tribological Association, book 2, vol 21, ISSN 1310-4772, Sofia, Bulgaria, 2015.