

UDK: 631.372

*Originalni naučni rad  
Original scientific paper*

## **UTICAJ DIJAGNOSTIKE STANJA NA POUZDANOST DVOSTRUKIH POLJOPRIVREDNIH KARDANSKIH VRTAILA**

**Aleksandar N. Ašonja** \* <sup>1</sup>, **Aleksandr Gennadievč Pastuhov**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Srpski akademski centar, Novi Sad, Srbija*

<sup>2</sup>*Belgorodska državna poljoprivredna akademija, V.Я. Gorina, Belgorod, Rusija*

**Sažetak:** U radu je predstavljen model pouzdanosti dvostrukih poljoprivrednih kardanskih vratila zasnovan na dijagnostici stanja ležišnih sklopova na kardanskim zglobovima. Model pouzdanosti kardanskih vratila bio je zasnovan na ispitivanju dijagnostičkih veličinama na ležišnim sklopovima kardanskih zglobova. Osnovani cilj predloženih i izvršenih istraživanja u okviru prezentovanog rada je bila dijagnostika stanja ležišnih sklopova na zglobovima kardanskih vratila u cilju definisanja pouzdanosti kardanskih vratila. Za potrebe istraživanja isprojektovan je i izrađen laboratorijsko-opitni sto, model: "ANA", tip: modela: 23-26-26-04, koji je prvenstveno namenjen za ispitivanje pouzdanosti poljoprivrednih kardanskih vratila.

**Ključne reči:** *pouzdanost, dvostruko kardansko vratilo, ležišni sklopovi*

### **UVOD**

Mehanizam koji je razmatran u ovom istraživanju je kardansko vratilo. Kardansko vratilo ima veliku primenu u različitim vrstama industrijskih i transportnih mašina. Elementi kardanskog vratila su opterećeni kombinovanim naprežanjem na savijanje, uvijanje, smicanje i površinski pritisak. Tokom eksploatacije, usled preopterećenja, može doći do različitih vidova razaranja materijala i loma delova kardana [1].

Od četiri načina prenosa snage (mehanički, hidraulični, električni i pneumatski) od traktora do priključne mašine, u praksi najveći značaj imaju mehanički i hidraulični prenos. Za sada je mehanički prenos daleko više zastupljen od hidrauličnog. Mehanički

---

\* Kontakt autor. E-mail: [aleksandar.asonja@gmail.com](mailto:aleksandar.asonja@gmail.com)

prenos snage kod poljoprivrednih mašina ostvaruje se direktno, remenicama, lančanicima, zupčanicima, kardanskim vratilima ili elastičnim vratilima [2].

Kardanska vratila danas imaju značajnu ulogu u prenošenju obrtnog momenta sa radne mašine (traktora) na priključnu mašinu. Danas, na skoro svim priključnim mašinama u poljoprivredi (prese, sejalice, rasipači mineralnog đubriva, vadilice krompira itd.) obrtni moment i snaga od traktora se uglavnom prenosi mehaničkim putem preko kardanskog vratila [3].

U eksploataciji se vek trajanja kardanskih prenosa kod poljoprivrednih mašina automobila, traktora i druge opreme koja koristi kardanske prenose, ograničava narušavanjem radne sposobnosti kardanskih zglobova u 80 - 90 % slučajeva. Sve ovo je uslovljeno nedozvoljenim povećanjem aksijalnog i radijalnog zazora i kružnog (međugličastog) zazora u spojevima kardanskog zgloba (spoljašnjem radijalnom rukavcu vratila krstaka i igličastog ležaja) i (igličastog ležaja i otvora šoljice na viljuškama). Osnovni vidovi narušavanja pouzdanosti kardanskih prenosa (pri uslovima pravilnog izbora veličine kardanskih vratila i isključivanja iz razmatranja pojave korozije i oštećenja površina i kvarova koji su uslovljeni grubim greškama u proizvodnji i eksploataciji) su zamor površina materijala i abrazivno habanje u 41 % i formiranje uzdužnih, često strmih, kosih udubljenja izazvanih efektom tzv. „brinelovanja“ (plastična deformacija) u 45 %. Prema današnjim ispitivanjima poljoprivrednih mašina 14 % otkaza na mehaničkim prenosnicima odlazi na kardanske prenose, a na njima su oko 60 % zastupljeni otkazi kardanskih zglobova [4].



Slika 1. Primeri mogućih pojava opasnosti na dvostrukim kardanskim vratilima:  
 a) oštećeno vratilo na kamionu sa cisternom i b) oštećeno vratilo na poljoprivrednom traktoru  
*Figure 1. Examples of the possible occurrence of hazards on a double cardan shafts:  
 a) the damaged shaft on a truck with tank and b) the damaged shaft on agricultural tractor*

Neki od primera snižene pouzdanosti kardanskih vratila prikazani su na Sl.1. Na Sl.1-a prikazano je oštećeno dvostruko kardansko vratilo, koje je smrtno ranilo 61-godišnjeg vozača kamiona cisterne. Nastradali radnik je pokušao uključiti vratilo, koje je služilo za pogon pumpe na cisterni, međutim, isto je otkazalo otkačivši se na jednom od

zglobova [5]. Još jedan od primera smrtne povrede koja se desila na nezaštićenom dvostrukom kardanskom vratilu u poljoprivredi u Italiji prikazan je na Sl.1-b [6].

## MATERIJAL I METODE RADA

Ispitivanja pouzdanosti vršena su na dvostrukim poljoprivrednim kardanskim vratilima u laboratorijskim i eksploatacionim uslovima. Za ispitivanje je korišćena veličina I dvostrukog kardanskog vratila. Korišćena je Z radna izvedba kardanskih vratila, pod uglom zakretanja  $20^\circ$ , Sl.2. Na Sl. 3 prikazan je ispitivani kardanski zglob u radu koji se sastoji iz 5 radnih elemenata: igličastih ležajeva, krstaka, šoljica, maziva i zaptivača.



Slika 2. Dvostruko kardansko vratilo prikazano u 3D  
*Figure 2. 3D image of a double cardan shaft*



Slika 3. Kardanski zglob prikazan u 3D  
*Figure 3. 3D image of a cardan joints*

### Dinamičke metode ispitivanja

Od dinamičkih metoda ispitivanja pouzdanosti kardanskih vratila u radu su korišćene dinamičke metode za praćenje vibracija i temperature u kardanskim zglobovima i metoda ispitivanja broja obrtanja kardanskog prenosnika.

Dijagnostika stanja kotrljajnih ležajeva u ležišnim sklopovima je izvođena kako na zglobovima kardanskih vratila, tako i na fiksnim ležajevima pogonskog i gonjenog vratila. Na fiksnim ležajnim jedinicama, koji su bliže kardanskim zglobovima odn. koji se nalaze na kraju vratila na kojima su vezani kardanski zglobovi ispitivane su vibracije, čije vrednosti su u stvari vrednosti vibracija u ležišnim sklopovima kardanskih zglobova.

Instrumenti korišćeni za merenje bili su:

- Marlin sonda SMVL 3600 IS - za merenje nivoa vibracija,
- Laserski infracrveni termometar - za praćenje stanja temperature i
- Probator - za merenje broja obrtaja.

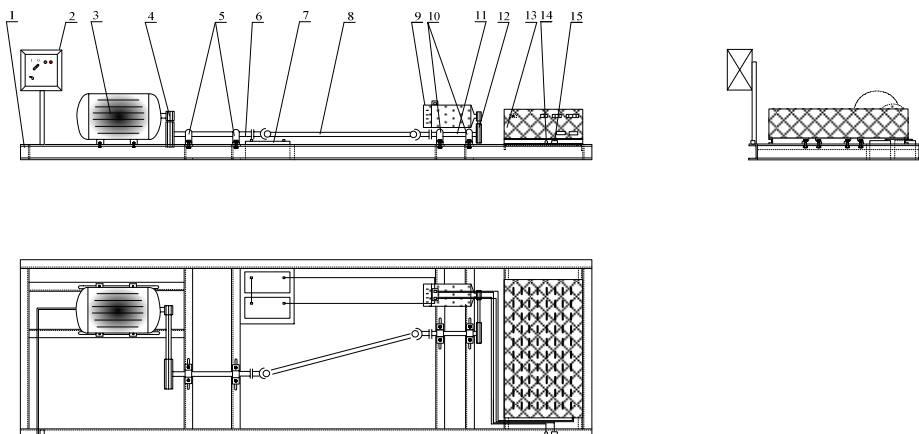
### Laboratorijski sto

Za potrebe istraživanja isprojektovan je i izrađen laboratorijsko-opitni sto, model: "ANA", tip: modela: 23-26-26-04, koji je prvenstveno namenjen za ispitivanje pouzdanosti poljoprivrednih kardanskih vratila, međutim, on se može koristiti i za ispitivanje ostalih kardanskih vratila i ostalih mehaničkih prenosnika snage [7,8,9].

Osnovni delovi ovog opitnog stola, na kojem su vršena ispitivanja pouzdanosti kardanskih vratila, Sl.4, su: 1 čelična konstrukcija (postolje), 2 glavni elektro razvodni

ormar za snabdevanje strujom elektromotora i sistema za regulaciju opterećenja, 3 pogonski deo (elektromotor), 4 remeni prenosnici na pogonskom delu, 5 ležišne jedinice na prvom pomoćnom vratilu, 6 prvo pomoćno vratilo, 7 akumulatori (baterije), 8 ispitno kardansko vratilo, 9 DC generator jednosmerne struje, 10 ležišne jedinice na drugom pomoćnom vratilu, 11 drugo pomoćno vratilo, 12 remeni prenosnici na kočionom delu, 13 sistem za regulaciju opterećenja, 14 ručna regulacija pobude DC generatora i 15 kontrolna lampa pobude DC generatora [7]. Na šematskom crtežu, zbog jednostavnosti prikazivanja, izostavljen je sistem zaštite stola i sistem sa mobilnim stop tasterom.

Na laboratorijskim uzorcima kardanskih vratila ispitivana su vratila pri broju obrtanja od 540 °/min, koja su radila dok nisu dostigla ukupan broj ciklusa obrtanja od  $10^7$ , što odgovara dužini ispitivanja do 300 časova rada. Takođe su na laboratorijskom opitnom stolu ispitivana i poljoprivredna dvostruka kardanska vratila u predotkaznom stanju doneta iz eksploatacije, na kome su merene krajnje dijagnostičke veličine, kao i na uzorcima u samo laboratorijskim ispitivanjima. Za potrebe ispitivanja korišćen je promenljivi režim opterećenja po unapred određenim ciklusima od po 50 časova rada. Navedeni režimi opterećenja su režimi koji su dosta zastupljeni u praksi, radi se o potrebnoj snazi za pogon priključnih mašina (2, 3 i 4 kW) odn. 36, 55 i 75 Nm.



Slika 4. Šematski prikaz laboratorijsko-opitnog stola „ANA” za ispitivanje pouzdanosti kardanskih vratila

Figure 4. The schematic view of the laboratory stand - "ANA" for testing the reliability of cardan shaft

Na laboratorijsko-opitnom stolu specijalno za ova istraživanja je isprojektovana i izrađena električna kočnica za simulaciju opterećenja, model: "EK", tip: 6/28. Na sistemu za regulaciju opterećenja na električnoj kočnici EK 6/28 ručno se moglo zadavati opterećenje na izlazu laboratorijskog stola, kroz vrednosti snage.

Tako se na osnovu ispisanih vrednosti (struje  $I$  i napona  $U$ ) na digitalnim displejevima računala snaga  $P$  po Jed.1 odnosno vrednost obrtnog momenta  $M$  preko izmerene snage  $P$  i broja obrtaja  $n$ , Jed. 2, [7]:

$$P = U \cdot I \quad (1)$$

gde je:

$P$  [kW] - snaga,  
 $U$  [V] - napon,  
 $I$  [A] - jačina struje.

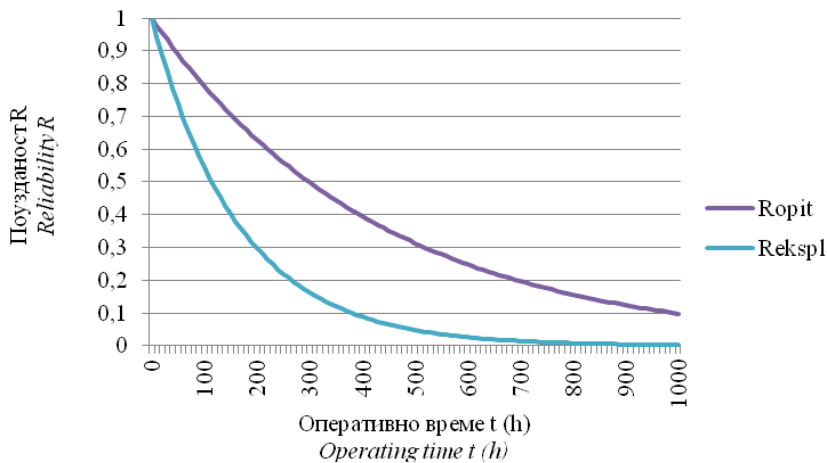
$$M = \frac{P \cdot 9550}{n} \quad (2)$$

gde je:

$M$  [Nm] - obrtni moment,  
 $P$  [kW] - snaga,,  
 $n$  [min<sup>-1</sup>] - broj obrtaja.

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

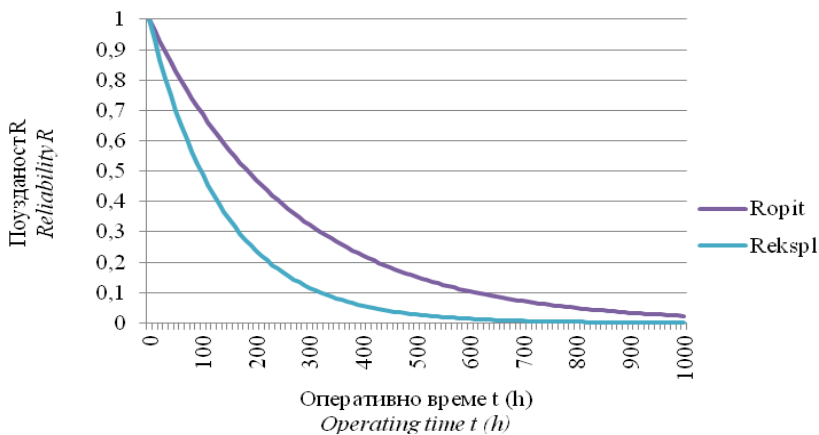
Na Sl. 5 prikazane su ukupne prosečne pouzdanosti posmatranih dijagnostičkih parametra temperature i aksijalnih ubrzanja vibracija na ležišnim sklopovima prvih zglobova u laboratorijskim i eksploatacionim ispitivanjima. Sa Sl. 5 se može zaključiti da bi ležišni sklopovi prvih zglobova u laboratorijskim uslovima dostigli pouzdanost od 10% na ~993 h, dok bi oni u eksploatacionim uslovima ispitivanja to dostigli na ~380 h.



Slika 5. Ukupna pouzdanost ležišnih sklopova prvih zglobova u laboratorijskim i eksploatacionim uslovima ispitivanja  
 Figure 5. Overall reliability of bearing assemblies of the first joints in laboratory and exploitation conditions

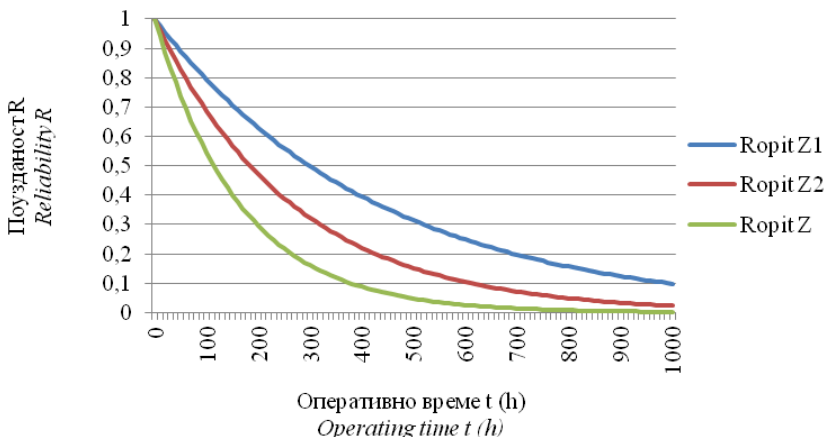
Na Sl. 6 prikazane su ukupne prosečne pouzdanosti za posmatrane dijagnostičke parametre temperature i aksijalnih ubrzanja vibracija na ležišnim sklopovima drugih zglobova u laboratorijskim i eksploatacionim uslovima ispitivanjima. Sa Sl. 6 se može zaključiti da bi ležišni sklopovi drugih zglobova u laboratorijskim uslovima dostigli

pouzdanost od 10% na ~611 h, dok bi oni u eksploatacionim uslovima ispitivanja to dostigli na ~321 h.



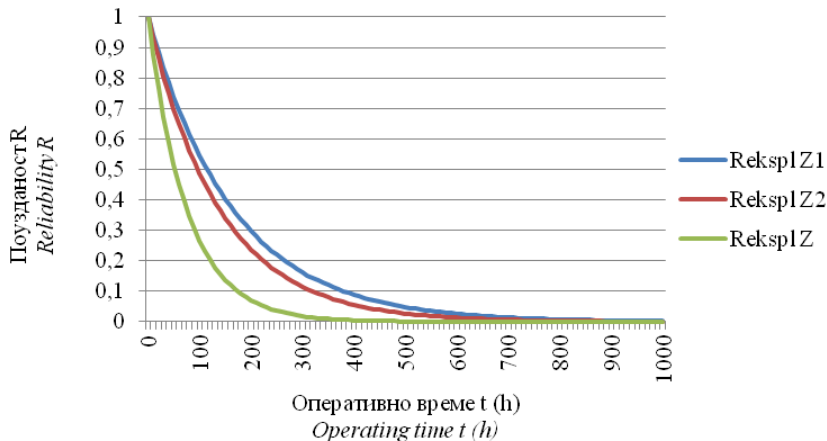
Slika 6. Ukupna pouzdanost ležišnih sklopova drugih zglobova u laboratorijskim i eksploatacionim uslovima ispitivanja  
Figure 6. Overall reliability of bearing assemblies of the second joints in laboratory and exploitation conditions

Završna ispitivanja, ukupne pouzdanosti dvostrukih poljoprivrednih kardanskih vratila, zasnovana na prosečnim pouzdanostima posmatranih dijagnostičkih parametara na prvim i drugim zglobovima za laboratorijske i eksploatacione uslove, prikazana su na Sl. 7 i 8. Na Sl. 7 vidi se da bi prosečna predviđena pouzdanost kardanskog vratila u laboratorijskim uslovima bila ~378 h rada, pouzdanost samo drugih zglobova ~611 h, dok bi prvih bila znatno viša.



Slika 7. Prosečne pouzdanosti zglobova (vratila) u laboratorijskim ispitivanjima  
Figure 7. Average reliability of joints (shaft) in laboratory test

Na Sl. 8 vidi se da bi prosečna predviđena pouzdanost kardanskog vratila u eksploatacionim uslovima bila ~174 h rada, pouzdanost samo drugih zglobova ~321 h, dok bi pouzdanost prvih zglobova iznosila ~380 h.



Slika 8. Prosečne pouzdanosti zglobova (vratila) u eksploatacionim ispitivanjima  
 Figure 8. Average reliability of joints (shaft) in exploitation conditions

Rezultati dijagnostičkih istraživanja pri ispitivanju pouzdanosti kardanskih vratila na laboratorijskom stolu, pri uglu zakretanja vratila od  $20^\circ$ , ukazali su na veoma složene uslove rada. Razloge zašto se vek trajanja, dvostrukih poljoprivrednih kardanskih vratila, u eksploatacionim rezultatima ispitivanja razlikuje od rezultata dobijenih u laboratorijskim uslovima i zašto je nivo eksploatacije poljoprivrednih kardanskih vratila znatno složeniji, treba tražiti u sledećim konstatacijama [10]:

- nedovoljan nivo tehničkog održavanja, (prvenstveno u vršenju procesa podmazivanja koje treba da se izvodi u skladu sa preporukama proizvođača kardanskih vratila, koja su kod svih ista i izvode se na svakih 8 časova rada),
- nezaštićenost vratila od atmosferskih uticaja kako za vreme rada tako i za vreme kada se vratilo ne koristi,
- nemogućnost konstantnog održavanja paralelnih uglova na ulaznom i izlaznom vratilu, zbog veoma složenih uslova (konfiguracije terena, okretanja mašina i sl.) koji vladaju u poljoprivrednoj proizvodnji,
- nagli udari prilikom svakog uključivanja kardanskih vratila,
- promena radnih uglova u toku rada kardanskog vratila pod opterećenjem,
- prenos vibracija sa radne i priključne mašine na vibracije u ležišnim sklopovima kardanskog zgloba,
- korišćenje vratila za rad na više raznih priključnih mašina; ponekad se koriste i na mašinama čiji obrtni momenti prevazilaze ukupne dozvoljene obrtne momente na kardanskim prenosima,
- ne pridržavanje uputstava da se kardanska vratila uvek obrću u istom smeru i
- neadekvatna upotrebi.

Ključni rezultati istraživanja u okviru navedenih ispitivanja pouzdanosti dvostrukih kardanskih vratila su:

- drugi kardanski zglobovi na dvostrukom kardanskom vratilu je deo tehničkom sistema koji prvi otkazuje,
- veoma mala pouzdanost i vek trajanja poljoprivrednih kardanskih vratila u eksploataciji, su posledice neadekvatnog tehničkog održavanja i upotrebe, kao i složenih uslova koji vladaju u poljoprivrednoj proizvodnji,
- gotovo identične dijagnostičke parametre na praćenju ležišnih sklopova kardanskih zglobova pokazale su vrednosti aksijalnih vibracija, prvenstveno ubrzanja i temperature,
- ne preporučuje se korišćenje kardanskih vratila u eksploataciji pod uglom zakretanja  $>20^\circ$ , jer pri navedenim uglovima zakretanja i pri opterećenjima  $>75$  Nm, u uslovima strogo paralelnih vratila u Z izvedbi, nivo aksijalnih vibracija (ubrzanja) ulazi u zonu nepoželjnih,
- pod uglom zakretanja dvostrukih kardanskih vratila od  $20^\circ$  čak i pri minimalnim korišćenim opterećenjima od 36 Nm primetno je bilo izlivanje masti iz ležišnih sklopova na oba zgloba, što je sigurno bila posledica visokog nivoa vibracija,
- pri jednosmerno promenljivim opterećenjima od 36,15, 55,25 i 74,86 Nm, dvostruka kardanska vratila u laboratorijskim uslovima ispitivanja izdržala su bez ikakvih vidljivih oštećenja do 304 h rada, dok su ona u eksploatacionim ispitivanjima izdržala u proseku 139 h rada,
- predviđena pouzdanost na dvostrukim poljoprivrednim kardanskim vratilima u eksploataciji (u trenutku vremena predotkazne pouzdanosti od 10 %), mogla bi se uvećati za  $\sim 2,17$  puta i iznosila bi  $\sim 378$  h, sl.7 i 8,
- kao najvažniji razlozi u odstupanju veka trajanja u eksploatacionim u odnosu na laboratorijska ispitivanja mogu se nabrojati: neadekvatno tehničko održavanje, složeni uslovi konfiguracije terena i eksploatacije koji vladaju u poljoprivrednoj proizvodnji, mogućnosti pojave kratkotrajnih neparalelnosti između ulaznih i izlaznih vratila i sl.,
- kao posledice nelinearnog kontakta između iglica i rukavaca krstaka odn. šoljica, na svakom rukavcu krstaka vidljiva su bila oštećenja u vidu otanjene površine na gornjem delu rukavca pod najvećim uglom od  $\sim 120^\circ$ , odn. na šoljicama od  $100^\circ$ ,
- nešto veći ugao oštećenja primetan je bio na površinama rukavaca krstaka drugih kardanskih zglobova u odnosu na prve,
- predstavljeni matematički modeli zasnovani na analizi dijagnostičkih veličina, korišćeni u analizi pouzdanosti dvostrukih poljoprivrednih kardanskih vratila, su validni i predstavljaju novinu u definisanju pouzdanosti ovakvih tipova mehaničkih prenosnika snage i
- predstavljeni matematički modeli zasnovani na analizi dijagnostičkih parametara mogu se primeniti i na ostalim mehaničkim prenosnicima snage.



## ZAKLJUČAK

Analiza pouzdanosti dvostrukih poljoprivrednih kardanskih vratila koja se koriste u eksploataciji između traktora i priključne mašine, ukazuju na činjenicu da se može predvideti njihov vek trajanja. Eksploataciona ispitivanja pouzdanosti kardanskih vratila ukazala su na znatno manji vek trajanja ležišnih sklopova na kardanskim zglobovima u odnosu na sprovedena laboratorijska ispitivanja. Kao prvenstveni razlozi koji utiču na to, ističu se: neadekvatno održavanje, složeni uslovi konfiguracije terena koji vladaju u poljoprivrednoj proizvodnji, neodgovarajuća upotreba i sl.

Rezultati istraživanja pokazali su da ne treba koristiti dvostruka poljoprivredna kardanska vratila pod uglovima zakretanja zglobova većim od 20°. Pod navedenim uglovima zakretanja zglobova i sa veoma malim korišćenim opterećenjima tokom ispitivanja pouzdanosti kardanskih vratila primećene su pojave veoma visokih vrednosti dijagnostičkih parametara i izlivanje maziva iz ležišnih sklopova u toku rada. Dijagnostika stanja na kotrljajnim ležajevima kardanskih vratila poljoprivrednih mašina, za date uslove korišćenja, ukazala je pre svega na sve nedostatke navedenog mehanizma u procesu eksploatacije, na osnovu kojih su predložene mere za dalje mogućnosti eksploatacije (kroz vek trajanja kotrljajnih ležajeva) u cilju povećanja pouzdanosti kardanskih vratila.

## LITERATURA

- [1] Fischer, I.S., de Waal, J.K. 1995. Experimental Study of Cardan Joint Dynamics. *ASME Journal of Mechanical Design*. American Society of Mechanical Engineers, 117 (4), pp.526-531.
- [2] Ерохин, М.Н, Пастухов, А.Г. 2008. *Надежность карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники в эксплуатации*. Белгородская государственная сельскохозяйственная академия, Белгород.
- [3] Ašonja, A. 2008. Ekonomska opravdanost reparacije ležišnih sklopova, *Poljoprivredna tehnika*, 33 (1), 67-73.
- [4] Пастухов, А.Г. (2008). *Повышение надежности карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники*. Докторская диссертация, Белгородская государственная сельскохозяйственная академия - Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина (ФГОУ ВПО МГАУ), Москва.
- [5] Iowa FACE Program. 2002. *Tanker Truck Driver Killed by Unshielded PTO Shaft*, Case No. 21A24, The University of Iowa.
- [6] Cecchini, M., Monarca, D., Biondi, P., Colantoni, A., Menghini, G., Brenciaglia, G. 2011. Safety of Tractor PTO Drive Shafts: Survey on Maintenance on a Sample of Farms in Central Italy. *Efficient and safe production processes in sustainable agriculture and forestry, XXXIV CIOSTA CIGR V Conference*.
- [7] Ašonja, A., Adamović, Ž., Gligorić, R., Mikić, D. 2012. Razvoj modela laboratorijskog stola za ispitivanje pouzdanosti poljoprivrednih kardanskih vratila. *Tehnička dijagnostika*, 11 (3), pp.27-32.
- [8] Pić, B., Adamović, Ž., Jevtić, N. 2012. Automatizovana dijagnostička ispitivanja u procesnoj industriji. *Tehnička dijagnostika*, 11 (3), pp.11-18.

- [9] Ilić, B., Adamović, Ž., Jevtić, N. 2012. Primena metoda veštačke inteligencije prilikom donošenja dijagnostičkih zaključaka o stanjima mašina u procesnoj industriji. *Tehnička dijagnostika*, 11 (3), pp.33-40.
- [10] Ašonja, A., Adamović, Ž., Jevtić, N. 2013. Analysis of Reliability of Cardan Shafts Based on Condition Diagnostics of Bearing Assembly in Cardan Joints. *Journal Metalurgia International*, 18 (4), pp.216-221.

## THE INFLUENCE OF DIAGNOSTIC STATE OF RELIABILITY OF AGRICULTURE DOUBLE CARDAN SHAFT

Aleksandar N. Ašonja<sup>1</sup>, Aleksandr Genadievič Pastuhov<sup>2</sup>

*The Serbian Academic Center, Novi Sad*

<sup>2</sup>*Belgorod State Agricultural Academy named after V. Gorin, Belgorod, Russia*

**Abstract:** This paper presents a reliability model of double agricultural cardan shafts based on diagnostic of the state of box-set on the cardan shaft joints. The reliability model of cardan shaft was based on an examination of diagnostic sizes of box-set on the cardan shaft joints. The main aim of the proposed and conducted research in the presented paper was diagnostic of box-set at cardan shafts joints in order to define the reliability of cardan shafts. For the needs of examination it have been designed and manufactured laboratory-examination stand, a model, "ANA", type: model: 23-26-26-04, which is primarily intended for testing the reliability of agricultural cardan shafts.

**Key words:** *reliability, double cardan shaft, bearing assembly*

Prijavljen: 12.8.2013.  
Submitted:  
Ispravljen:  
Revised:  
Prihvaćen: 07.10.2013.  
Accepted: