



ANALIZA POUZDANOSTI OBRTHNIH POSTOLJA ELEKTROLOKOMOTIVA SERIJE 461

Dragan MILČIĆ¹
Miroslav MIJAJLOVIĆ²

Rezime – Obrtna postolja šinskih vozila predstavljaju deo koji ostvaruje vezu između sanduka šinskog vozila i pruge i imaju najviši značaj za dinamičke karakteristike i mirnoću hoda šinskog vozila, pa prema tome i za opštu bezbednost i sigurnost njegovog kretanja. Obrtna postolja su najopterećeniji sklopovi vozila jer na sebe primaju masu sanduka vozila sa opremom, vučne i kočne sile, kao i sve vertikalne i horizontalne sile koje nastaju usled kretanja. Na osnovu praćenja otkaza, a pomoću softvera za analizu pouzdanosti koji se razvija na Mašinskom fakultetu u Nišu, u radu su dati rezultati istraživanja pouzdanosti obrtnih postolja na lokomotivama serije 461.

Ključne reči – Elektrolokomotiva, Obrtno postolje, Pouzdanost

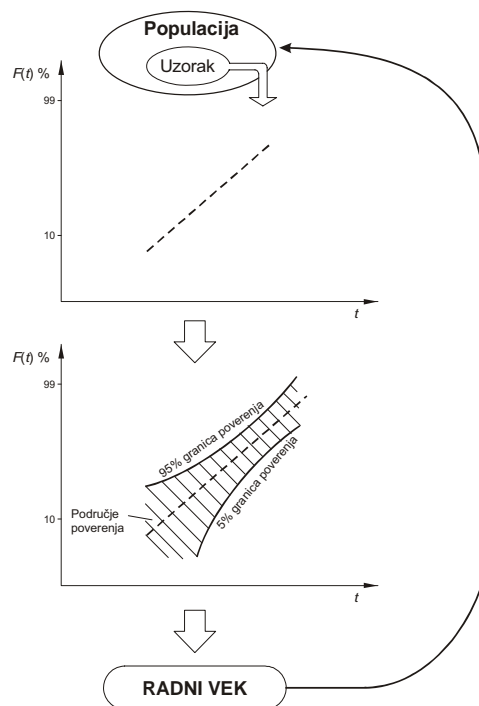
1. UVOD

Pri istraživanju pouzdanosti elemenata i sistema, kao jedan od krajnjih ciljeva javlja se utvrđivanje teorijskog zakona raspodele slučajne promenjive, vremena U RADU ili vremena otkaza. Preciznije rečeno, najviši cilj je da se ustanovi koji od poznatih teorijskih zakona raspodele najviše odgovara empirijskim podacima, tj. kojim zakonom raspodele se najbolje mogu interpretirati rezultati koje posedujemo. Parametri raspodele se određuju različitim grafičkim i analitičkim metodama. Osnovu za određivanje raspodele čine empirijski podaci o otkazima posmatranog elementa ili sistema. Empirijski podaci, kao podskup elemenata neke populacije na kome se određuju karakteristike pouzdanosti, moraju biti reprezentativni za ceo skup.

Obradom empirijskih podataka dobija se iskaz o otkazu uzorka. Ali od interesa je iskaz o raspodeli otkaza cele populacije. Ako je u pitanju uzorak malog broja ispitivanih delova, rezultati mogu jako da odstupaju od stvarnog ponašanja populacije. Zato se definiše 90%-tno područje poverenja (slika 1), koje je ograničeno 5%-tnom i 95%-tnom granicom poverenja, predstavljeno šrafiranom površinom. Područje poverenja se određuje pomoću rangova značajnosti.

Grafičke metode za određivanje parametara raspodele su veoma jednostavne i često se koriste u inženjerskoj praksi. Grafički način određivanja zakona raspodele, odnosno njihovih parametara, vrši se pomoću verovatnosnih papira. U verovatnioni papir se

unose tačke sa koordinatama $[t_i, F(t_i)]$.



Slika 1. Postupak određivanja radnog veka nekog proizvoda

Broj tačaka jednak je broju posmatranih elemenata

¹Dr Dragan Milčić, vanr. prof., Mašinski fakultet u Nišu, A. Medvedeva 14, 18000 Niš, milcic@masfak.ni.ac.yu

²Miroslav Mijajlović, dipl. maš. inž., stipendista Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije, Mašinski fakultet u Nišu, A. Medvedeva 14, 18000 Niš, miroslav_mijajlovic@masfak.ni.ac.yu

n ili broju intervala z , ako su podaci intervalno dati. Ako se ucrtane tačke mogu dobro aproksimirati pravom linijom, pretpostavljeni model zakona raspodele je dobar. U protivnom se odbacuje hipoteza o zakonu raspodele. Korišćenjem grafičkih metoda može se oceniti valjanost pretpostavljenog modela zakona raspodele i proceniti parametri raspodele.

Druga mogućnost je da se konstruiše histogram ili empirijska funkcija kumulativne učestanosti otkaza, pa da se onda uporedi sa funkcijom gustine pojave otkaza pretpostavljene raspodele ili njenom kumulativnom funkcijom. Primena verovatnosnih papira je lakša za primenu i češće se koristi od crtanja histograma.

Analitičkim metodama mogu se nešto tačnije odrediti parametri raspodela nego grafičkim postupcima. Posebno u neuobičajnim situacijama su analitički postupci pogodni, npr. kada parametar oblika β , kod Weibulove raspodele, ima ekstremne vrednosti.

Najpoznatije analitičke metode kojima se određuju parametri raspodela su:

- metoda najmanjih kvadrata (Regression analyse),
- metoda momenta,
- metoda maksimalne verovatnoće (Maximum-Likelihood-Methode).

2. ANALIZA OTKAZA OBRJNIH POSTOLJA ŠINSKIH VOZILA

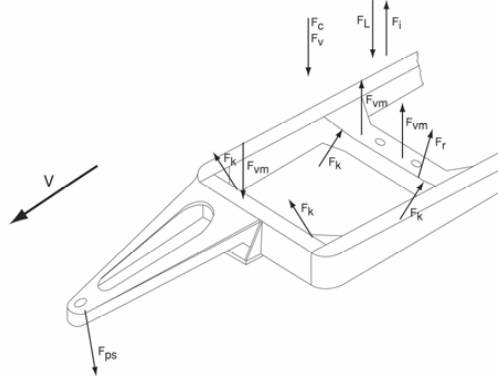
Obrtna postolja šinskih vozila predstavljaju deo koji ostvaruje vezu između sanduka šinskog vozila i pruge i imaju najviši značaj za dinamičke karakteristike i mirnoću hoda šinskog vozila, pa prema tome i za opštu bezbednost i sigurnost njegovog kretanja. Obrtna postolja su najopterećeniji sklopovi vozila jer na sebe primaju masu sanduka vozila sa opremom, vučne i kočne sile, kao i sve vertikalne i horizontalne sile koje nastaju usled kretanja. Po svojoj strukturi obrtna postolja šinskih vozila su kompleksna što problem određivanja njihove pouzdanosti i to pre svega verovatnoće pojave otkaza čini veoma složenim.

U toku eksploatacije obrtno postolje mora bez trajnih deformacija da na sebe primi složena opterećenja (slika 2) koja potiču od: mase sanduka lokomotive F_L , vučnih motora F_{vm} , osovinskog prenosnika snage F_r , kočnog polužja F_k , poprečne spojnice F_{ps} , inercijalne sile F_i , centrifugalne sile F_c i sile vetra F_v .

Ako se uzme u obzir stanje pruge po kojoj se lokomotive kreću u eksploataciji (mreža pruga ŽTP "Beograd" je u veoma lošem stanju) uticaj pomenutih opterećenja se usled dinamičkih udara dodatno uvećava.

Problem je sa pojavom naprslina na ramovima obrtnih postolja elektrolokomotiva serije 461. Činjenica da je na mreži pruga Železnica Srbije

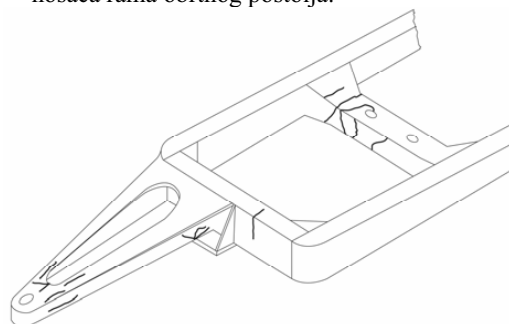
pojava naprslina na ramovima obrtnih postolja elektrolokomotiva serije 441 (rešenje pogona i smeštaja motora je slično kao kod elektrolokomotiva serije 461) relativno retka, ukazuje na korelaciju vezu između tehničkih karakteristika obrtnih postolja ovakvih vozila, opterećenja u eksploataciji, posebno pri kretanju po brdskim prugama, i pojave naprslina. Ta činjenica, takođe, ukazuje na bitan uticaj osovinskog razmaka krajnjih osovina u obrtnom postolju na pojavu naprslina rama obrtnog postolja.



Slika 2. Šema opterećenja rama obrtnog postolja

Ako se analiziraju sve karakteristične naprsline ramova obrtnih postolja lokomotive 461 može se videti (slika 3) da su po mestu nastanka naprslina visokoprocenatno (preko 97%) grupisane:

- na poprečnom nosaču u području otvora za elastično oslanjanje šapa trećih vučnih motora. (pri tome, značajno češće su naprsline na otvoru koji se nalazi na strani na kojoj se nalazi konzolni nosač za vezu sa drugim obrtnim postoljem što ukazuje da je taj deo rama preopterećen kada postolje prolazi kroz krivinu s konzolnim nosačem do spoljne šine);
- u korenu konzolnog nosača i to u području sa unutrašnje strane gledano u smeru prolaza postolja kroz krivinu, sa konzolnim nosačem do spoljne šine;
- na vrhu konzolnog nosača u području spoja poprečne spojnice obrtnih postolja i konzolnog nosača rama obrtnog postolja.



Slika 3. Karakteristične naprsline rama obrtnog postolja

Uzimajući u obzir uslove eksploatacije i konstrukciona rešenja rama obrtnog postolja lokomotive 461 (zavareni sklop podužnih i poprečnih nosača različitog profila) u težim uslovima rada logično je da su navedene tačke najnapretnije.

Kada je reč o pojavi naprslina, vredno je imati u vidu da nema podataka o tome da li su ramovi u proizvodnji nakon zavarivanja žareni, radi smirivanja napona. Ako nisu, to može imati značajan uticaj na brzinu pojave naprslina zbog superpozicije unutrašnjih napona i napona od spoljašnjeg opterećenja.

Na osnovu praćenja otkaza u radu su definisani parametri pouzdanosti obrtnih postolja šinskih vozila.

3. ANALIZA POUZDANOSTI RAMA OBRTNOG POSTOLJA LOKOMOTIVE SERIJE 461

Na Mašinskom fakultetu u Nišu se razvija softver za analizu pouzdanosti mašinskih delova i sistema. Kao platforma za razvoj softvera usvojen je Microsoft Excel, zbog mogućnosti koje pruža ovaj softver za tabelarne proračune. U postupku analize pouzdanosti se polazi od podataka dobijenih praćenjem otkaza mašinskih delova ili sistema u eksploataciji ili od podataka dobijenih eksperimentalnim ispitivanjem u laboratoriji, simulirajući eksploatacione uslove.

Ulaznim grafičkim interfejsom ovog softvera (slika 4) definiše se unos pojedinačnih podataka o otkazima mašinskih delova ili podataka o otkazima koji su već grupisani u intervale. Unosi se podatak o jedinici mere praćenja ispravnog rada odnosno trenutka otkaza delova odnosno sistema, koja je slučajna veličina (npr. m , km , $sati$ i sl.). Kako je zadatak analize pouzdanosti određivanje moguće teorijske raspodele kojom se mogu aproksimovati rezultati o otkazima koje posedujemo, to je neophodno u daljoj analizi izvršiti ocenjivanje polaznih hipoteza statističkim testovima (Kolmogorov-Smirnov, Pirsonov χ^2 -test), a za to je neophodno uneti podatak o nivou značajnosti α .

Slika 4. Grafički interfejs softvera za analizu pouzdanosti

Ako se raspolaže sa pojedinačnim podacima o otkazima mašinskih delova, onda se softverom određuje broj intervala, širina intervala i izvrši određivanje broja otkaza po intervalima.

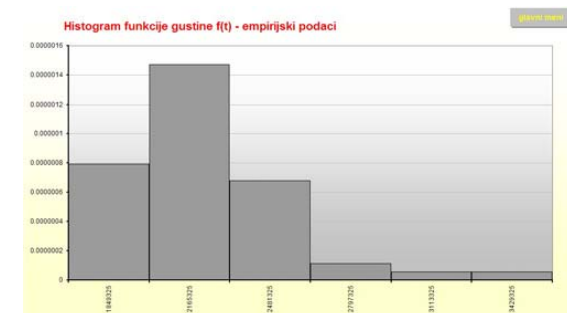
Softverom za analizu pouzdanosti mašinskih delova i sistema je urađena analiza pouzdanosti obrtnog postolja lokomotive serije 461. Praćenjem otkaza (pojava naprslina) rama obrtnih postolja 56 lokomotiva od 1991. godine dobijeni su podaci koji su grupisani u 6 intervala dati u tabeli 1.

Tabela 1.

Tabela intervala					
Interval:	Početna granica intervala	Krajnja granica intervala	Stvarna širina intervala Δt_i	Sredina intervala	Broj podataka po intervalu $N(\Delta t_i)$
1	1533325	1849325	316000	1691325	14
2	1849325	2165325	316000	2007325	26
3	2165325	2481325	316000	2323325	12
4	2481325	2797325	316000	2639325	2
5	2797325	3113325	316000	2955325	1
6	3113325	3429325	316000	3271325	1

Kao rezultat analize dobijaju se statistički pokazatelji: srednja vrednost, empirijska varijansa, empirijska standardna devijacija, empirijski koeficijent varijacije, mediana i mod.

Nakon što se izvrši formatiranje tabele, dobijaju se empirijske funkcije gustine $f(t)$, intenziteta otkaza $\lambda(t)$, pouzdanosti $R(t)$ i nepouzdanosti $F(t)$, histogram funkcije gustine (slika 5), histogram kumulativne učestanosti, histogram intenziteta otkaza i histogram učestanosti ispravnih delova.



Slika 5. Histogram funkcije gustine

Metodom najmanjih kvadrata (Regression analyse) se određuju parametri četiri teorijske raspodele: Vejbulove, eksponencijalne, normalne i log-normalne. Na slici 6 dati su rezultati aproksimacije za Vejbulovu i log-normalnu raspodelu i kao rezultat da se ove raspodele mogu prihvatiti prema testu Kolmogorov-Smirnov za nivo značajnosti $\alpha=0,1$.

Log-normalna raspodela:	
Rezultati aproksimacije krive u pravu oblika	$y = a x + b$ su:
	$a = 4.661711791$
	$b = -67.57641464$
Na osnovu čega su dobijeni sledeći rezultati:	
(srednja vrednost)	$m = 14.49605159$
(standardno odstupanje)	$\sigma = 0.214513476$
Na osnovu njih i nivoa poverenja od:	$\alpha = 0.1$
odnosno koeficijenta:	$d\alpha = 0.163029358$
i testu Kolmogorov-Smirnov	hipoteza može da se prihvati

Vejbulova raspodela	
Rezultati aproksimacije krive u pravu oblika	$y = a x + b$ su:
	$a = 4.186763176$
	$b = -61.14386732$
Na osnovu čega su dobijeni sledeći rezultati:	
(parametar razmere)	$\eta = 2200269.168$
(parametar oblika)	$\beta = 4.186763176$
(parametar položaja)	$\gamma = 0$
Na osnovu njih i nivoa poverenja od:	$\alpha = 0.1$
odnosno koeficijenta:	$d\alpha = 0.163029358$
i testu Kolmogorov-Smirnov	hipoteza može da se prihvati

Slika 6. Rezultati analitičkog postupka određivanja parametara raspodele

Funkcija pouzdanosti za Vejbulov zakon raspodele može se napisati u obliku:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{2200269.168}\right)^{4.1867}}, \quad (1)$$

a za log-normalni zakon raspodele u obliku:

$$R(t) = 1 - F\left(\frac{\ln t - 14.496}{0.2145}\right). \quad (2)$$

4. ZAKLJUČAK

U analizi pouzdanosti mašinskih delova i sistema, kao jedan od ciljeva je utvrđivanje teorijskog zakona raspodele slučajne promenjive, vremena otkaza elemenata ili sistema. Preciznije rečeno, treba ustanoviti koji od poznatih teorijskih zakona raspodele najviše odgovara eksperimentalnim podacima, tj. kojim zakonom raspodele se najbolje mogu interpretirati rezultati koje posedujemo.

Na Mašinskom fakultetu u Nišu se razvija softver za analizu pouzdanosti. Ovim softverom je omogućena brza analiza pouzdanosti sa mogućnošću dobijanja parametara teorijskih raspodela (Vejbulova, eksponencijalna, normalna i log-normalna) analitičkom metodom najmanjih kvadrata. Ocenjivanje polaznih hipoteza se u ovom trenutku vrši statističkim testom Kolmogorov-Smirnov ili d_{α} -testom.

Vrlo česta pojava naprslina na ramovima obrtnih postolja elektrolokomotiva serije 461 uslovala je da se izvrši analiza pouzdanosti obrtnih postolja lokomotiva serije 461. Na osnovu podataka o pojavi naprslina ramova obrtnih postolja, primenom softvera za analizu pouzdanosti, kao rezultat dobijeno je da dve raspodele: log-normalna i Vejbulova, dobro opisuju zakon raspodele otkaza obrtnih postolja lokomotiva

serije 461, a na osnovu testa Kolmogorov-Smirnov se ove raspodele mogu prihvatiti.

LITERATURA

- [1] Bertsche B., Lechner G.: "Zuverlässigkeit im Maschinenbau – Ermittlung von Bauteil- und System-Zuverlässigkeiten", Springer-Verlag, 1990.
- [2] Milčić, D.: "Pouzdanost mašinskih sistema", Mašinski fakultet Niš, Niš, 2005.
- [3] Milčić, D., Veljanović, D.: "Softver za analizu pouzdanosti mašinskih delova i sistema", Naučno-stručni skup IRMES' 06, Banjaluka, 2006.
- [4] Stojičić, S.: "Istraživanje pouzdanosti obrtnih postolja šinskih vozila prema FMEA metodi", Magistarski rad, Mašinski fakultet Niš, 2004.

RELIABILITY ANALYSES OF ELECTROLOCOMOTIVE 461 SERIES RAILWAY CAR BOGIES

Dragan MILČIĆ
Miroslav MIJALLOVIĆ

Abstract – Railway car bogies are parts of railway vehicle that connect car body and railroad tracks and they are the most important for dynamic characteristics and running behaviour stability, thus they determent general safety and reliability of car running. Bogies are mostly loaded part of railcars because they receive load from full body mass with equipment, braking and locomotion force and from all other vertical and horizontal forces that are caused by motion. Bogies structure is complex so it is to determent their reliability and before all, to determent probability of failure. This paper gives some of the results of reliability analysis developed at Faculty of Mechanical Engineering in Niš.

Key words – Electrolocomotive, Bogies, Reliability