Preventivno održavanje prema stanju putničkog vagona

Održavanje putničkog vagona, odnosno izvođenje redovnih opravki, sada se obavlja prema vremenskom resursu, i to bez provere stanja pojedinih elemenata (sklopova, podsklopova, delova) vagona. Analizom ovakvog načina održavanja utvrđeno je da je pre sprovođenja redovnih opravki potrebno utvrditi stanje elemenata, kako bi se doprinelo povećanju raspoloživosti i pouzdanosti, uz smanjenje obima radova i troškova.

Imajući to u vidu, u radu je, sa stanovišta preventivnog održavanja prema stanju, POPS, putničkog vagona, prikazana analiza postojećeg sistema održavanja, razvoj i primena matematičkog modela.

Uvod

Putnički vagon, projektovan za vreme rada od 32 do 36 godina, u toku korišćenja izložen je uticaju niza spoljašnjih i unutrašnjih faktora koji utiču na odstupanja karakteristika ispravnog funkcionisanja. Za održavanje, u toku eksploatacije vagona, primenjuju se postupci održavanja saglasno Pravilniku [5]. U ovom periodu održavanje ima presudnu ulogu sa stanovišta pouzdanog i bezbednog rada vagona po propisanim tehničkim i ekonomskim uslovima.

Na JŽ primenjuje se koncepcija preventivnog održavanja prema određenom vremenu (kalendarskom), koja onemogućava planiranje optimalnog trenutka za izvođenje aktivnosti održavanja, uz porast verovatnoće pojave otkaza, angažovanja velikog broja održavaoca i visoke troškove održavanja.

Redovne opravke, sa rasklapanjem sklopova, vrše se svakih godinu, odnosno godinu i po dana bez provere stanja pojedinih elemenata (sklopova, podsklopova, delova). Analizom ovakvog načina održavanja vagona utvrđeno je da je pre sprovođenja redovnih opravki potrebno utvrditi stanje elemenata, kako bi se doprinelo smanjenju obima radova, u odnosu na obim obaveznih radova u redovnim opravkama, uz smanjenje troškova održavanja.

Prema tome, preventivno održavanje prema stanju (POPS), koje se zasniva na »proveri stanja«, odnosno na kontinualnom ili diskretnom praćenju sastavnih elemenata sistema, u ovom slučaju vagona, i uočavanju ili prognoziranja graničnih vrednosti izlaznih parametara, omogućuje da se aktivnosti održavanja (zamene i dr.) vrše samo ako je to zaista potrebno (u slučaju dostizanja »graničnih« stanja u pogledu pohabanosti, zamora ili drugih vidova slabljenja materijala). Uspešnom primenom POPS vagona voznog parka JŽ smanjiće se troškovi održavanja, povećati nivo pouzdanosti i sigurnosti.

Za realizaciju primene POPS neophodno je obezbediti podatke i informacije o uslovima rada vagona (relacije saobraćanja), pouzdanosti pojedinih elemenata vagona, kao i o načinu i vremenu održavanja. Na ovaj način moguće je formirati bazu podataka za poboljšanje kvaliteta održavanja i efektivnosti primenom propisane tehnologije POPS-a.

U radu je prikazano POPS za obrtno postolje putničkog vagona. U suštini, sve što bude rečeno za obrtno postolje može se na odgovarajući način preneti i na druge konstruktivne celine vagona, pa i na vagon kao celinu.

POPS obrtnog postolja putničkog vagona

S obzirom na to da je putnički vagon složen tehnički sistem, u radu je prikazano istraživanje obrtnog postolja vagona kao složenog dinamičkog sistema, odnosno pažnja je posvećena habanju venaca točkova kao parametru za određivanje trenutka preventivnog održavanja prema stanju.

Stanje svakog sastavnog elementa vagona i svakog parametra sistema posebno, određuje radnu sposobnost ili pravilno funkcionisanje sistema i pri tome se formiraju odgovarajući vidovi stanja. Kako se stanje utvrđuje dijagnostikom, to znači da se ono može opisati određenim skupom parametara i karakteristika koje treba da zadovolje projektovanu funkciju kriterijuma/cilja pri određenim uslovima i u određenom vremenskom periodu.

Izabrani parametri stanja treba što potpunije da definišu stanje sastavnih elemenata sistema, odnosno sistema u celini, što omogućuje predviđanje momenta odstupanja osnovnih karakteristika od nominalnih vrednosti. Pri izboru parametara treba voditi računa da njihov broj bude najmanje moguć, odnosno jedan, dva ili tri.

U radu je, zbog prostora, prikazan izbor jednog parametra stanja, odnosno habanja venaca točkova, i odgovarajuća primena modela sa proverom parametara, uz napomenu da je za primenu POPS-a obrtnog postolja »GOŠA-100« potrebno obuhvatiti »proveru stanja« optimalnog broja parametara.

Radi određivanja parametara stanja, čije je odstupanje od nominalnih vrednosti najviše uticalo na povećanje ukupnog vremena stanja »u otkazu« obrtnog postolja i kola u celini, izvršena je analiza gotovosti kola tipa »Z«, serije Bt koja su opremljena predmetnim obrtnim postoljem.

Analiza raspoloživosti

Analizom je obuhvaćeno deset Bt kola tipa »Z« koja su saobraćala na pruzi Beograd—Titovo Užice—Beograd u periodu od godinu i po dana. Jedan turnus vagon dnevno iznosi 6 časova. Planirani zastoji i gubici zbog reda vožnje iznosili su 18 časova. Planirano je da u posmatranom periodu jedan vagon obavi ukupno 530 turnusa, odnosno ukupno 188.680 km.

Na osnovu vremena stanja »u radu« i »u otkazu«, koja su prikupljena

Tabela 1

Kola	$P_i, \text{OKS, OOP}$ Σt_{uo}	RP Σt_{uo}	sum Σt_{uo}	OG
601-8	24	47	71	0.866
602-6	20	15	35	0.934
603-4	38	55	93	0.824
604-2	39	13	52	0.902
605-9	27	29	56	0.894
606-7	29	35	64	0.879
607-5	45	19	64	0.879
608-3	33	71	104	0.804
609-1	69	51	120	0.774
610-9	28	66	94	0.823
	$\Sigma = 352$	$\Sigma = 401$	$\Sigma = 753$	$\overline{\text{OG}} = 0.858$

u posmatranom periodu, tabela 1 [3], izračunata je gotovost vagona u obliku:

$$A(t) = \frac{T_{ur}}{T_{ur} + T_{uo}} \quad (1)$$

gde su:

T_{ur} — ukupno vreme stanja »u radu« (dan),

T_{uo} — ukupno vreme stanja »u otkazu« (dan).

Na osnovu podataka u tabeli 1, može se konstatovati da je broj dana »u otkazu« koji je uzrokovan dostizanjem graničnih mera venca točka približno jednak broju dana »u otkazu« koji je posledica svih ostalih uzroka, gde reprofiliisanje učestvuje sa 53%. Napominje se da se reprofiliisanje vrši na više međusobno udaljenih lokacija. To sigurno uslovljava potrebu planiranja postupka održavanja. Planiranje je moguće primenom modela preventivnog održavanja prema stanju sa proverom parametara. Zbog toga je u ovom radu posebna pažnja posvećena habanju točkova, odnosno habanju venaca točkova obrtnog postolja, kao jednom od najvažnijih parametara njegovog stanja.

Matematički model i rezultati POPS-a

Radi formiranja matematičkih modela procesa habanja venaca točkova obrtnog postolja u različitim uslovima eksploatacije, izvršeno je merenje ka-

rakterističnih mera na svim točkovima pojedinih vagona koji su saobraćali na prugama: Beograd—Bar (deonice do T. Užica, Prijepolja i cela pruga) i Beograd—Subotica, koje se karakterišu različitim koeficijentima zakrivljenosti.

Pokazatelji habanje venaca točkova obrtnog postolja, koji su mereni specijalnim Q-merilom, jesu:

- visina venca (V_v), slika 1a.
- debljina venca (D_v), slika 1b.
- oštrina venca (q_r), slika 1c.

Na osnovu ovih podataka formirane su datoteke karakterističnih mera, u zavisnosti od broja pređenih kilometara po kolima, a u okviru njih i po pojedinim kućištima (točkovima), kako bi se omogućila analiza svakog kućišta posebno.

Određivanje jednačina promena karakterističnih mera, u zavisnosti od pređenog puta, izvršena je u sledećim etapama:

u *prvoj etapi* izvršena je regresiona analiza karakterističnih mera i broja pređenih kilometara primenom linearnog modela:

$$Y = a \pm b \cdot x \quad (2)$$

gde je:

Y — karakteristična mera,

a — nominalna vrednost karakteristične mere,

b — brzina promene karakteristične mere,

x — broj pređenih kilometara.

Slika 1

U ovoj etapi izvršena je i regresiona analiza primenom eksponencijalnog modela radi uporedne analize sa linearnim modelom i konstatovanja veličine eventualno načinjene greške pri korišćenju linearnog modela (kriterijum je veličina rezidualne disperzije, tako da boljoj aproksimaciji odgovara manja vrednost). Takođe, izvršena je regresiona analiza između karakterističnih mera radi određivanja njihove

međusobne veze da bi se, za dalji rad, izvršio izbor mere koja će prva dostići graničnu vrednost.

Rezultati I etape [3], ilustracije radi, za prugu Beograd—Bar dati su u: tabeli 2 (odnos visina venca — broj pređenih kilometara) i u tabeli 3 (odnos debljina venca — oštrina venca), i u obliku dijagrama (sl. 2 i 3) za interval poverenja od $P = 0,95$.

Tabela 2.

Regression Analysis — Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: D:AB625627.visina			Independent variable: D:AB625627.kilomet		
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level	
Intercept	28.7546	0.101284	283.901	0	
Slope	1.37878E-5	1.65112E-6	8.35059	4.08562E-14	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	18.528545	1	18.528545	69.732289	.00000
Error	39.85645	150	.26571		

Total (Corr.) 58.38500 151

Correlation Coefficient = 0.563339
Std. Error of Ist. = 0.51547

R-squared = 31.74 percent

Tabela 3

Regression Analysis — Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: D:AB625627.debljina			Independent variable: D:AB625627.meraqr			
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level		
Intercept	19.2418	1.68122	11.4451	5.77316E-15		
Slope	1.05003	0.19228	5.46095	1.92132E-7		
Analysis of Variance						
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob.	Level
Model	96.874658	1	96.874658	29.822022	.00000	
Error	487.26403	150	3.24843			

Total (Corr.) 584.13868 151

Correlation Coefficient = 0.407237R-squared = 16.58 percent
Std. Error of Est. = 1.80234

Regression of D:AB625627.visina on D:AB625627.kilometri

Sl. 2

Regression of D:AB625627.debljina on D:AB625627.meragr

Sl. 3

U drugoj etapi je, na osnovu jednačina regresije, formirana gustina raspodele stanja »u otkazu«, $f(x_g, t)$ kao karakteristika pouzdanosti (dostizanje granične vrednosti izabrane karakteristične mere pri različitom broju pređenih kilometara). Dobijene su gustine raspodele sa normalnim zakonom raspodele. Na osnovu gustina raspodele stanja obrtnog postolja »u otkazu« određena je brzina promene karakterističnih mera (koeficijent »b« u linearnoj regresiji, odnosno »a« u jednačini promene parametra). Vrednosti brzina promena pokoravaju se normalnom zakonu raspodele.

b — stepen,

x_n — nominalna vrednost karakteristične mere.

U III etapi određeno je vreme prve provere stanja obrtnog postolja t_1 u obliku:

$$t_1 = \sqrt{\frac{x_n - x_g - \sigma_x \cdot U_{pz}}{a}} \quad (4)$$

i dozvoljena vrednost parametra stanja x_d u obliku:

$$x_d = a \cdot t_1^b + x_n \quad (5)$$

Tabela 4.

Srednja vredn.	$\bar{x}_n = 32.28$	$\bar{S}_m = 156328$	$\bar{a} = 6.895$	$\bar{D}_v = 21.50$
Stand. devijac.	$\sigma_{xn} = 0.958$	$\sigma_{sm} = 34647$	$\sigma_a = 1.644$	$\sigma_{Dv} = 2.103$
KS statistika	$dn = 0.197$	$dn = 0.2283$	$dn = 0.0955$	$dn = 0.176$

Jednačina (3) potpuno opisuje model promene karakterističnih mera, sa intervalom poverenja $1,96\sigma_x$ ($P=0,95$, vrednost ukupne verovatnoće realizacije slučajno promenljive).

Rezultati II etape (3), dati za prugu Beograd—Bar, dati su u tabeli 4, na osnovu koje je formiran odgovarajući histogram, sl. 4. Jednačina promene glasi:

$$D_v(s) = 32,28 \text{ mm} - 6,9 \cdot 10^{-5} \text{ mm/km} \pm \pm 4,122 \text{ mm}$$

Izračunato je standardno odstupanje karakteristične mere na osnovu izračunatih vrednosti odstupanja pri srednjem broju pređenih kilometara. Na ovaj način formirana je jednačina:

$$x(t) = x_n \pm a \cdot t^b \pm 1,96 \cdot \sigma_x \quad (3)$$

gde je:

$x(t)$ — vrednost karakteristične mere,

a — brzina promene karakteristične mere,

gde je:

x_g — granična vrednost parametra stanja;

U_{pz} — kvantil normalne raspodele, za zadano R.

Sl. 4

Rezultati ove etape (3) dati su u tabeli 5, gde su za svaku prugu prikazane vrednosti t_1 i D_v^{doz} . Izračunavanje

t_1 izvršeno za zadani nivo pouzdanosti od $R=0,95$, odnosno $U_{pz}=1,645$.

Tabela 5.

Pruga	$t_1(\text{km})$	$\overset{\text{doz}}{D_v} \text{ (mm)}$
Beograd—Užice	75.000	25.28
Beograd—Bar	99.000	25.45
Beograd—Prijepolje	98.000	25.79
Beograd—Subotica	390.500	24.63

Na osnovu dobijenih rezultata, tabela 5, može se zaključiti da je za različito vreme održavanja primenom POPS-a, što nije slučaj u postojećem načinu održavanja, gde se održavanje

vrši na svakih godinu, odnosno godinu i po dana. Pri tome posebno treba imati u vidu smanjenje troškova održavanja i povećanje efektivnosti (pouzdanosti i raspoloživosti) putničkog vagona.

Zaključak

Za primenu POPS-a potrebno je izvršiti analizu postojećeg stanja korišćenja i održavanja putničkog vagona, odnosno njegovih elemenata. Zatim, pažljivom analizom treba odabrati parametre za određivanje trenutka preventivnog održavanja prema stanju za razne elemente putničkog vagona, primenom što tačnijih matematičkih modela. Sve to ima za cilj povećanje efektivnosti putničkog vagona i smanjenje troškova održavanja.

Literatura:

- [1] Baldin, A., Furlanetto, L.: ODRŽAVANJE PO STANJU, OMO, Beograd, 1980.
- [2] Knežević J.: PRILOG FORMIRANJU MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA MAŠINSKIH SISTEMA PREMA TEHNIČKOM STANJU, OMO, br. 5/83.
- [3] Lučanin V.: RAZVOJ SISTEMA ZA PLANIRANJE I UPRAVLJANJE FUNKCIJOM ODRŽAVANJA OBRTNOG POSTOLJA »GOSA-100« NA JŽ, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1989.
- [4] Vranić V.: VJEROJATNOST I STATISTIKA, Tehnička knjiga, Zagreb, 1971.
- [5] Zajednica JŽ, PRAVILNIK O ODRŽAVANJU ŽELEZNIČKIH VOZILA, Zavod za NIP delatnost JŽ, Beograd, 1983.