

OPTIMALNI MODEL KONCEPTA ODRŽAVANJA RADIO-RELEJNIH UREĐAJA

Vojkan M. Radonjić^a, Danko M. Jovanović^b, Milenko P. Ćirić^a

^a Tehnički remontni zavod Čačak

^b Vojska Srbije, Generalštab, Uprava za logistiku

DOI: 10.5937/vojtehg62-5031

OBLAST: održavanje tehničkih sistema, telekomunikacije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

U radu su realizovana istraživanja i prikazani rezultati primene optimalnog modela koncepta održavanja savremenih radio-relejnih uređaja. Model se zasniva na preventivnom održavanju prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti, pri čemu se koriste mnogobrojne pozitivne konstrukciono-tehnološke mogućnosti uređaja, radi sveobuhvatnog smanjenja troškova održavanja, uz postignuti nivo zadate vrednosti pouzdanosti uređaja.

Ključne reči: održavanje prema stanju, kontrola pouzdanosti.

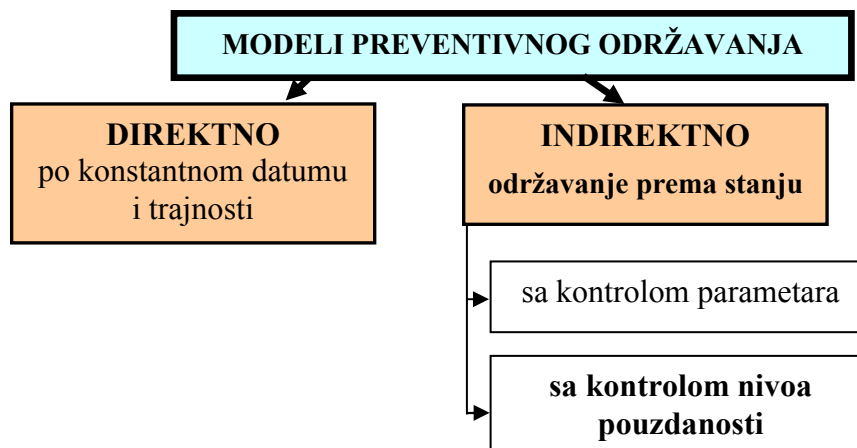
Uvod

Cilj rada jeste da se sagledaju modeli održavanja, zasnovani na *preventivnom održavanju*, kako bi se došlo do optimalnog modela održavanja savremenih radio-relejnih uređaja (RRU) i uspostavila odgovarajuća organizacija održavanja. Prilikom odabira modela održavanja i uspostavljanja organizacije održavanja težište je na aktivnostima preventivnog održavanja, kroz osnovno i tehničko održavanje, koje realizuju izvršiocima najnižeg nivoa održavanja. Na taj način sveobuhvatni troškovi, koje na ovaj način čini samo radna snaga, minimalni su, uz istovremeno obezbeđenje potrebne pouzdanosti RRU. Da bi se primenio neki od modela održavanja RRU, moraju se poznavati konstrukciono-tehnološke karakteristike i mogućnosti uređaja, koje obezbeđuju pouzdanost i pogodnost za održavanje uređaja. Takođe, mora se imati u vidu da su otkazi, kod ove vrste uređaja, iznenadni i slučajnog karaktera. Ovom činjenicom nameće se potreba da aktivnosti preventivnog održavanja treba da budu češće što je, pored ostalog, razlog zbog kojeg ih treba realizovati na najnižem nivou održavanja. U isto vreme, uređaj omogućuje, svojim softverskim testiranjem (dijagnostikom), brze i jednostavne aktivnosti preventivnog održavanja koje mogu da realizuju osposobljeni poslužiocima RRU (Radonjić, Ćirić, 2012).

Sveobuhvatni cilj istraživanja u radu jeste da se odabirom i uspostavljanjem optimalnog modela održavanja, omogući kontrolisano praćenje pouzdanosti uređaja i sastavnih modula, kako bi se resursi skupih i tehnološki složenih modula i uređaja iskoristili u potpunosti. Na taj način povećao bi se eksploatacioni resurs i vreme ispravnog rada uređaja, jer bi se sastavni moduli kontrolisano koristili i u granicama rezerve upotrebljivosti. Ne planiraju se planske zamene skupih modula, osim u izuzetnim slučajevima, već se koriste do otkaza, kada se akcijama korektivnog održavanja vrši njihova zamena i RRU dovodi u ispravno stanje. Na taj način uspostavljeni model održavanja je sam po sebi optimalan, jer omogućuje da troškovi održavanja, tokom životnog veka uređaja, budu minimalni.

Vrste preventivnog održavanja

Na slici 1 predstavljeni su modeli preventivnog održavanja.

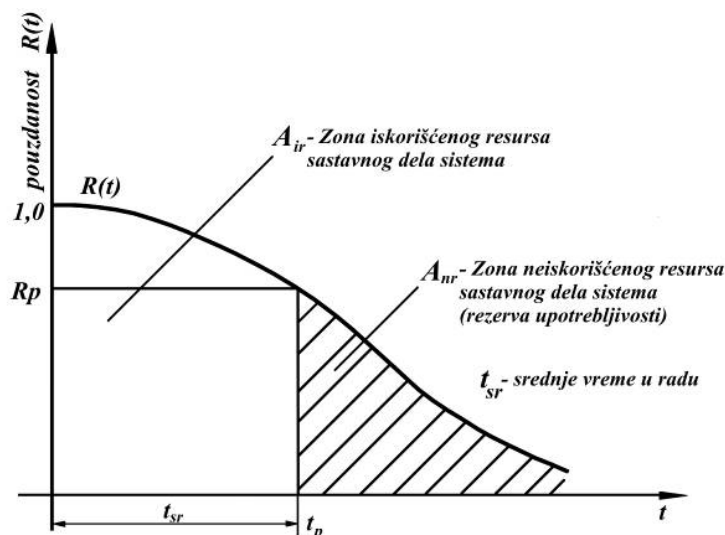


Slika 1 – Modeli preventivnog održavanja
Figure 1 – Models of preventive maintenance

O tradicionalnom preventivnom održavanju po „konstantnom datumu“ i „konstantnoj trajnosti“ postoji dosta objavljenih radova i knjiga koji su definisali njihove prednosti i nedostatke (Adamović, Radovanović, 2008).

Održavanje prema stanju jeste koncepcija preventivnog održavanja čija se strategija donošenja odluka o intervencijama održavanja zasniva na periodičnoj ili neprekidnoj kontroli uređaja u eksploataciji. Na osnovu rezultata kontrole donose se odluke o neophodnom roku i obimu planskih aktivnosti održavanja (Adamović, Stanković, Savić, 2011).

Razlika između tradicionalnog preventivnog održavanja i održavanja prema stanju je suštinska, iako oba predstavljaju preventivnu aktivnost. Dok se kod tradicionalnog preventivnog održavanja zamena ili opravka sastavnog dela vrši nakon utvrđenog vremena, kod održavanja prema stanju vrši se kontrola određenih tehnoloških parametara stanja i interveniše se samo ako je tehničko stanje izvan propisanih granica. To znači da se uređaj koristi do potpunog iskorišćenja resursa sastavnih modula uređaja, što i jeste cilj sprovedenih istraživanja. Iskorišćenje resursa, modelom održavanja prema stanju, slikovito je prikazano na slici 2. Prema slici 2 zona iskorišćenog resursa rezervisana je za oba modela održavanja, dok je novina da se modelom održavanja prema stanju uređaj koristi i u zoni neiskorišćenog resursa, što nije slučaj kod tradicionalnog preventivnog održavanja (Adamović, Bešić, 2008).



Slika 2 – Način iskorišćenja resursa
Figure 2 – Method of using resources

Sama činjenica potpunog iskorišćenja eksploatacionog resursa skupih sastavnih modula uređaja ukazuje na prednosti modela održavanja prema stanju i sa aspekta uštede novčanih sredstava za plansku zamenu modula, što model održavanja čini optimalnim.

Metode održavanja prema stanju

Održavanje prema stanju je kontinualni *dijagnostički proces*, jer se pomoću dijagnostičke kontrole parametara, u određenim intervalima ili neprekidno, vrši kontrola tehničkog stanja uređaja, a nakon toga, zavisno

od stanja, zamenjuju ili opravljaju sastavni delovi uređaja ili ostaju i dalje u eksploataciji.

Postoje dve vrste metoda održavanja prema stanju. To su:

- održavanje prema stanju sa kontrolom parametara,
- održavanje prema stanju sa kontrolom pouzdanosti.

Prilikom formiranja programa održavanja potrebno je odabrati odgovarajuću metodu i režim održavanja, koji treba da obezbede upravljanje tehničkim stanjem i pouzdanošću u zadatim uslovima procesa eksploatacije RRU (Tomić, Adamović, 1986).

Odabir odgovarajuće metode održavanja prema stanju vrši se pomoću algoritma na slici 3 i na osnovu sledećih ispunjenih uslova:

- ako otkaz sastavnog dela uređaja ne utiče na pouzdanost, onda se pri porastu intenziteta otkaza vrši upoređivanje srednjih troškova za korektivno i preventivno održavanje, a u slučaju da su ti troškovi isti, sastavni deo sistema održava se prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti,

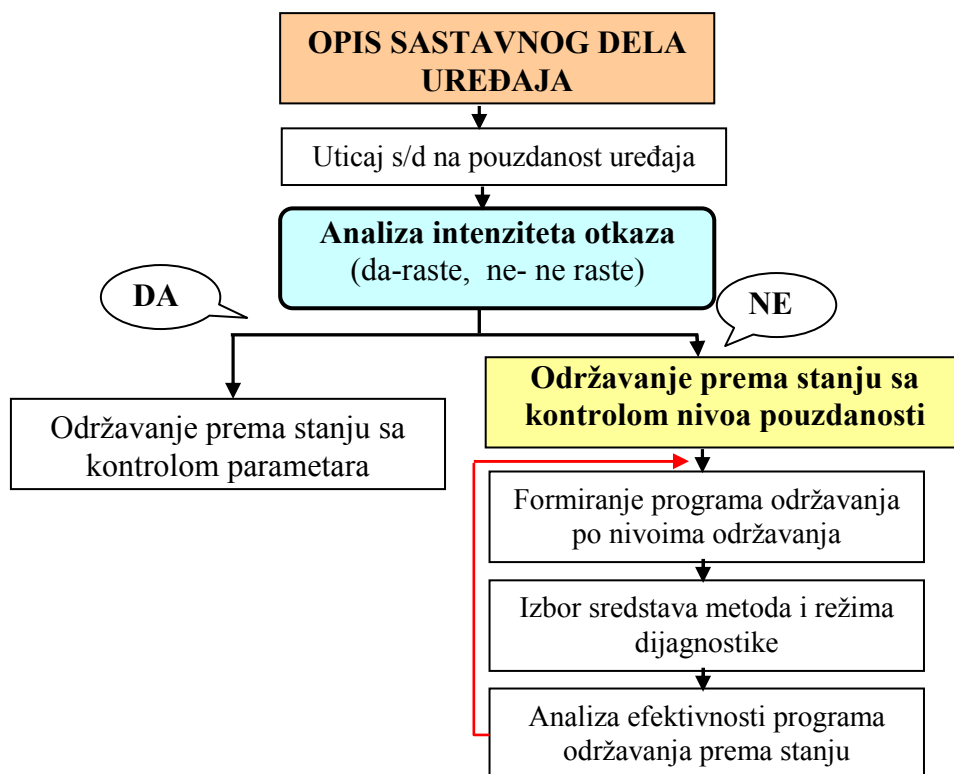
- ako su troškovi korektivnog održavanja veći od troškova preventivnog održavanja, onda se primenjuje održavanje prema stanju sa kontrolom parametara, a u slučaju da je *intenzitet otkaza konstantan*, onda se *primenjuje održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti*,

- u slučaju da otkaz sastavnog dela utiče na pouzdanost u radu, pri porastu intenziteta otkaza koristi se održavanje prema stanju sa kontrolom parametara, dok će se kod *nerastućeg intenziteta otkaza primenjivati održavanje prema stanju sa kontrolom pouzdanosti*.

S obzirom na to da se primena odgovarajućeg modela vrši na uređaju koji se koristi za vojne namene, od uređaja se očekuje maksimalna pouzdanost u radu, odnosno da intenzitet otkaza λ bude približno konstantan, jer bi se u slučaju niske pouzdanosti, zbog specifičnosti upotrebe, mogle izazvati negativne posledice. U izuzetnim slučajevima, postoji opcija da se minimalni troškovi održavanja zanemaruju na račun povećanja pouzdanosti uređaja.

Istraživanja iz ove oblasti pokazala su da je kod vojnih sistema, gde je intenzitet otkaza λ približno *konstantan*, najcelishodnije prihvatiti strategiju održavanja prema stanju sa kontrolom pouzdanosti.

Sagledavajući rezultate sprovedenih istraživanja iz ove oblasti u dostupnoj literaturi, navedene uslove koje treba ispuniti prilikom odabira modela održavanja prema stanju i algoritma za odabir modela, u daljim istraživanjima pretpostavljen je *model održavanja prema stanju sa kontrolom pouzdanosti uređaja i sastavnih modula uređaja*. Ova vrsta modela primeniće se tokom životnog veka uređaja. Organizacija primene modela prema njegovim svojstvima i definicijama učiniće da model bude optimalan u smislu obezbeđenja maksimalne pouzdanosti uređaja i izvršenja svoje misije, uz minimalne troškove održavanja. Prilikom odabira ove vrste modela održavanja ključni faktor predstavljala je činjenica da je intenzitet otkaza za ovu vrstu elektronskog uređaja približno *konstantan* (Radonjić, Jovanović, Milojević, 2013).



Slika 3 – Algoritam za izbor metode održavanja prema stanju
 Figure 3 – Algorithm for selecting a method of conditionbased maintenance

U nastavku će se primeniti model održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti u održavanju RRU i prikazati rezultati primene.

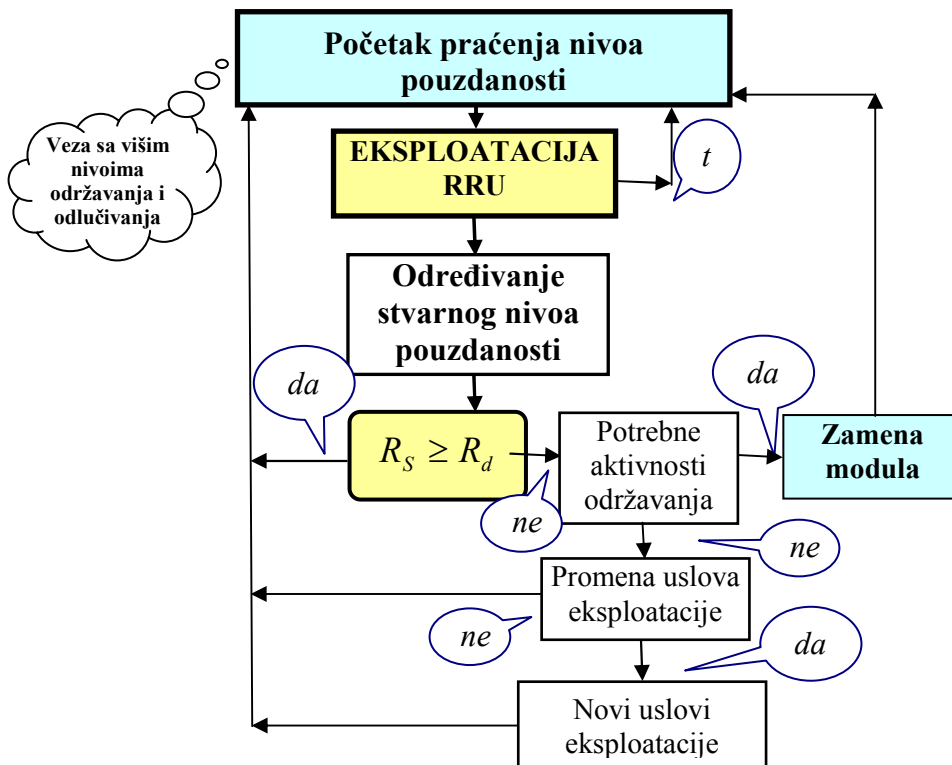
Održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti

Održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti omogućuje da se sastavni delovi (moduli) RRU koriste bez ograničenja međuremontnog resursa, uz izvršenje neophodnih aktivnosti održavanja pri otklanjanju nastalih otkaza, dok se stvarni nivo pouzdanosti nalazi u granicama utvrđenih (dozvoljenih) normi. Ako dođe do odstupanja od propisanih normi, obavlja se analiza uzroka odstupanja i preduzimaju se mere za povišenje nivoa pouzdanosti pojedinih sastavnih delova i/ili uređaja.

Kod ovog modela održavanja nivo pouzdanosti predstavlja kriterijum tehničkog stanja uređaja i ujedno se izražava pokazateljem pouzdanosti.

Pokazatelj pouzdanosti mora posedovati maksimum informacija o tehničkom stanju sistema, mora biti pogodan za obavljanje uporedne analize, kao i kritičan prema promenama procesa tehničke eksploatacije sistema u celini. Tim zahtevima najpotpunije odgovara parametar intenziteta otkaza λ .

Kod modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti naročito mesto zauzima izbor i namena dozvoljenog nivoa pouzdanosti, koji se utvrđuje za svaki sastavni modul uređaja (Radonjić, Jovanović, Milojević, 2013). Za početak primene modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti moguće je utvrđivanje dozvoljenog nivoa pouzdanosti R_d na osnovu iskustva u eksploataciji ili na osnovu izračunavanja intenziteta otkaza λ_d . Tako se može preporučiti primena periodičnosti kontrole u skladu sa načelima osnovnog i tehničkog održavanja: dnevne, nedeljne, mesečne, kvartalne i godišnje. Za objašnjenje primene modela održavanja prema stanju, u predmetnom istraživanju, koristiće se algoritam za kontrolu nivoa pouzdanosti sastavnih modula RRU, prema slici 4.



Slika 4 – Algoritam modela održavanja sa kontrolom nivoa pouzdanosti
Figure 4 – Algorithm of the maintenance model with the control of the level of reliability

Početak praćenja nivoa pouzdanosti zasniva se na poznatim vrednostima parametara: intenziteta otkaza uređaja i sastavnih modula λ , dozvoljenim vrednostima parametara pouzdanosti R_d , srednjeg vremena između otkaza *MTBF*, ukupnog vremena rada uređaja t (tokom eksploatacije i tokom aktivnosti održavanja). Podatak o ukupnom vremenu rada uređaja t stalno se menja tokom životnog veka uređaja. Na osnovu njegove trenutne vrednosti izračunava se stvarna vrednost parametara pouzdanosti uređaja i sastavnih modula R_s i upoređuje se sa dozvoljenim vrednostima parametara pouzdanosti, respektivno. Ukoliko je $R_s > R_d$ uređaj se normalno eksploatiše, a ukoliko je $R_s < R_d$, donosi se odluka da li se vrše neke od akcija održavanja ili se uređaj i dalje koristi uz praćenje i kontrolu njegovih karakteristika.

Na osnovu objašnjenja modela zaključuje se da je primena modela, održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti zasnovana na *obradi statističkih podataka u toku celog perioda eksploatacije i održavanja* RRU. Obrada se vrši preko sistemskog računara, sa kojim se ujedno vrši i upravljanje radom uređaja. Sistemski računar, na osnovu podataka o eksploataciji, određuje operativnu *ocenu pouzdanosti sastavnih modula* u eksploataciji (trenutni nivo pouzdanosti sastavnih modula i uređaja R_s), na osnovu čijeg stanja se vrši preciziranje režima planskih aktivnosti u eksploataciji uređaja. U istraživanju je posebna pažnja posvećena obradi statističkih podataka o eksploataciji i održavanju, jer ti podaci predstavljaju *postulat optimalnog modela održavanja prema stanju sa kontrolom pouzdanosti*.

Model održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti može se primeniti na sastavne module i/ili uređaje za koje:

- pouzdanost omogućuje izvršenje svih zahteva tehničke eksploatacije uređaja u celini,
- indikacija otkaza se obavlja tehnološkim instrumentima koji su ugrađeni u uređaj,
- konstrukcija uređaja poseduje visoku tehnologičnost,
- otkazi ne mogu izazvati havarijske i slične situacije,
- verovatnoća bezotkaznog rada ima eksponencijalnu raspodelu.

Primena održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti predviđa rešavanje niza organizacionih i tehničkih zadataka od kojih su najvažniji: organizacija stalnog operativnog sakupljanja i obrade podataka o pouzdanosti R_s , razrada metoda utvrđivanja gornjeg dozvoljenog nivoa pouzdanosti R_d , organizacija operativnog upoređivanja stvarnog nivoa pouzdanosti sa dozvoljenim, analiza posledica uz obavezno korišćenje podataka iz sistemskog računara, formiranje kriterijuma za dalju eksploataciju uređaja u slučaju pojave predotkaznog stanja.

Karakteristike RRU sa aspekta primene modela održavanja

Sprovedena istraživanja u radu, radi dobijanja optimalnog modela održavanja RRU, zasnivaju se na ranije sprovednim istraživanjima iz ove oblasti koja se odnose na uspostavljanje organizacije održavanja, čiji rezultati će se koristiti u ovom radu (Radonjić, Jovanović, Milojević, 2013).

Karakteristika RRU i tehnološke pretpostavke koje se uzimaju u razmatranja prilikom odabira i primene modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti su sledeće (Radonjić, Jovanović, 2012):

- konstrukcija uređaja odlikuje se visokom tehnološkošću,
- uređaj je izrađen na serijskom modularnom principu,
- upravljanje modulima je softversko preko centralne procesorske jedinice,
 - uređaj poseduje tehnološki ugrađen instrument (displej) koji pokazuje bitne radne i merne parametre,
 - uređaj radi u okviru mobilnog radio-relejnog sistema, gde se preko centralnog računara softverski upravlja radom uređaja, prate i snimaju parametri uređaja,
 - postoji opcija nadogradnje upravljačkog softvera,
 - uređaj poseduje fabrički test za defektaciju ispravnosti uređaja. Test je realizovan u dva nivoa složenosti i omogućuje pouzdanu defektaciju i delom lokaciju neispravnosti modula,
 - uređaj poseduje „ALARM” u slučaju prekida radio-relejne veze, bilo zbog neispravnosti modula ili smetnji u prostiranju elektromagnetnih talasa,
 - izračunati su parametri: intenzitet otkaza, pouzdanost i srednje vreme između otkaza – MTBF, za sastavne module i uređaj,
 - moguća je primena savremenih metoda tehničke dijagnostike u određivanju radnih parametara uređaja neophodnih za uspešno održavanje uređaja,
 - istraživanja i iskustvo u održavanju radio-relejnih uređaja pokazala su da otkaz kod ove vrste uređaja nastaje trenutno,
 - istraživanja su pokazala da sastavni moduli imaju različite vrednosti intenziteta otkaza, što se u odnosu na njihove konstrukcijske karakteristike i očekivalo,
 - tokom sprovedenih istraživanja pretpostavljeno je da je vrednost intenziteta otkaza RRU približno konstantna i da je eksponencijalna raspodela verovatnoće bezotkaznog rada,
 - postoji oprema za sve nivoje održavanja,
 - izvršena je obuka i lica su stručno osposobljena za sve nivoje održavanja u skladu sa postojećom opremom,
 - postoji softverska kontrola definisanih parametara i ograničena je u jer samo pokazuje da li je uređaj ispravan ili ne. Softverska kontrola može se koristiti u održavanju sa kontrolom parametara, mada ne u pot-

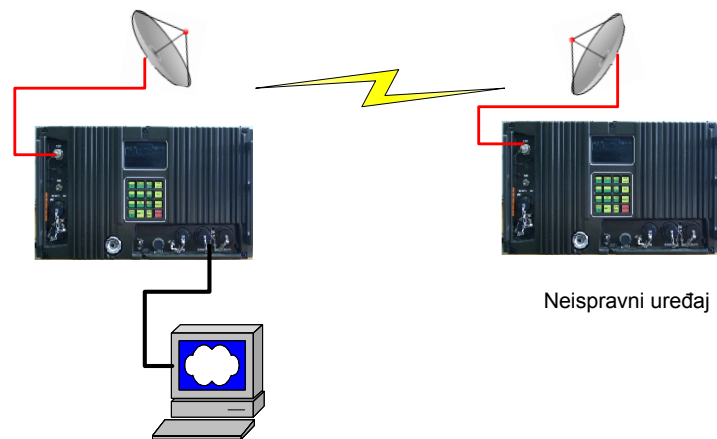
punosti, jer na osnovu nje se ne može pratiti degradacija parametara i ne može se odrediti rezerva upotrebljivosti modula, naročito sa aspekta trenutnog nastajanja otkaza uređaja,

– tehnološka procedura za osnovno i tehničko održavanje je propisana i u potpunosti obezbeđuje funkcionalnu i tehničku ispravnost uređaja.

Primena modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti i rezultati primene

S obzirom na karakteristike modela održavanja, karakteristike uređaja, i algoritam za izbor metode sa slike 3, jasno se uočava da je najsvrsishodnija primena modela ili koncepta održavanja RRU: *sa kontrolom nivoa pouzdanosti uređaja i sastavnih modula*. Rezultat primene modela obezbeđuje duži životni vek uređaja i duže vreme do otkaza. Proizvođač uređaja primenio je i konstrukcijski zadovoljio načelo u kojem je tokom životnog veka uređaja težište na jednostavnim i pouzdanim preventivnim pregledima. U isto vreme realizacija preventivnog održavanja iziskuje minimalne troškove u pogledu metoda ispitivanja stanja uređaja, angažovanja materijalnih resursa i stručnih lica. Preventivni pregledi realizuju se ugrađenim softverskim alatima koje iniciraju poslužioци ili stručna lica, zavisno od vida održavanja.

RRU GRC 408E ugrađuje se u mobilne radio-relejne sisteme (RRS), kao što je prikazano na primeru sa slike 5 (Radonjić, Ćirić, Jovanović, 2012):



Slika 5 – Model povezivanja RRU u okviru RRS
Figure 5 – Model of the RRE connecting within an RRS

Upravljanje radom uređaja u okviru RRS realizuje se pomoću centralnog računara. U centralnom računaru izrađen je i instaliran softverski alat za praćenje realizacije održavanja uređaja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti. Softver omogućava unos svih neophodnih poda-

taka za praćenje stanja uređaja i uvid u rezultate koji se dobijaju realizacijom predviđenih pregleda modelom održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti. U isto vreme, u svakom trenutku, poslužiocu ili stručnom licu iz jedinice za tehničko održavanje omogućen je podatak o trenutnoj vrednosti parametara intenziteta otkaza, pouzdanosti i srednjeg vremena između otkaza, na osnovu kojih se donose dalje odluke o načinu održavanja i planiranju potrebnih akcija održavanja

Tokom sprovedenih istraživanja, održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti primenjeno je u održavanju RRU pod sledećim pretpostavkama i na način:

- normalnu eksploataciju u okviru RRS realizovaće obučeni poslužiocu,
- izvršiocu održavanja radiće po propisanim tehnološkim procedurama za određene vidove održavanja koje obezbeđuju funkcionalnu i tehničku ispravnost uređaja (Jovanović, Radonjić, Milojević, 2013),
- osnovno održavanje realizovaće obučeni poslužiocu kroz: dnevne preglede, opsluživanje i sedmične preglede,
- tehničko održavanje realizovaće stručna lica iz jedinica za tehničko održavanje, kroz tehničke preglede i ispomoć u realizaciji periodičnih pregleda,
- podaci o realizaciji osnovnog održavanja, tehničkog održavanja i vremenu eksploatacije unosiće se u centralni računar, preko odgovarajuće softverske aplikacije,
- sa aspekta dostupnosti podataka iz centralnog računara, u odlučivanju realizacije pojedinih akcija preventivnog održavanja nakon isteka eksploatacionog resursa sastavnih modula, mogu se uključiti subjekti koji realizuju više nivoa održavanja.

Početne vrednosti parametara neophodnih za uspešno uspostavljanje modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti RRU, detaljno su prikazane u ranijim rezultatima istraživanja, a u tabeli 1 samo izvorno: parametri intenziteta otkaza – λ , srednje vreme između dva otkaza – MTBF, za sastavne module uređaja (A18-A25) i ceo uređaj – GRC 408E. (Radonjić, Jovanović, Milojević, 2013):

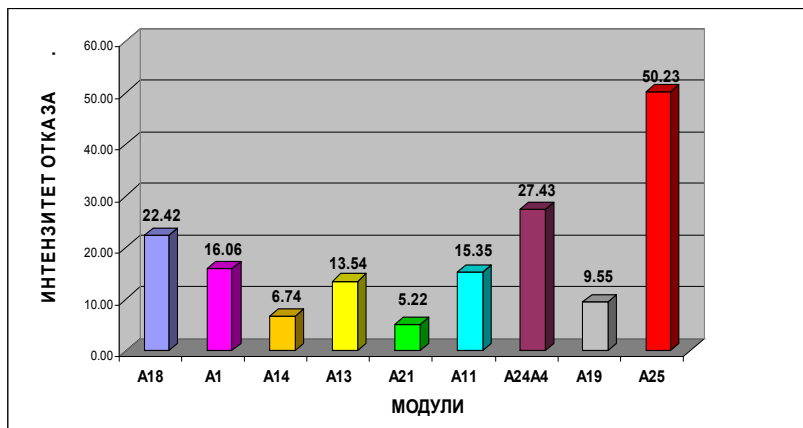
Tabela 1 – Parametri pouzdanosti
Table 1 – Reliability parameters

Parametri	A18	A1	A14	A13	A21	A11	A24A4	A19	A25	GRC
λ ($\times 10^{-6} h^{-1}$)	22.42	16.06	6.74	13.54	5.22	15.35	27.43	9.55	50.23	166.54
MTBF (h)	44612	62274	148358	73874	191433	65127	36451	104717	19908	6004
MTBF (год.)	5.09	7.11	16.94	8.43	21.85	7.43	4.16	11.95	2.27	0.68

Dozvoljena vrednost parametra pouzdanosti sastavnih modula i uređaja je $R_d \geq 0.368$, shodno vrednosti intenziteta otkaza λ sastavnih modula i celog uređaja.

Kao što se može videti u dosadašnjem delu rada i prikazanim podacima u tabeli 1, osnovni parametar pokazatelja pouzdanosti u optimalnom modelu održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti jeste intenzitet otkaza λ . Vrednosti intenziteta otkaza za uređaj i sastavne module je različit, a pored tabelarnog prikaza dat je grafički prikaz dijagrama intenziteta otkaza, po sastavnim modulima, na slici 6.

Početna vrednost parametra vremena rada uređaja je $t = 0$, jer, kao što smo ranije naveli, uređajima počinje životni ciklus i eksploatacija.



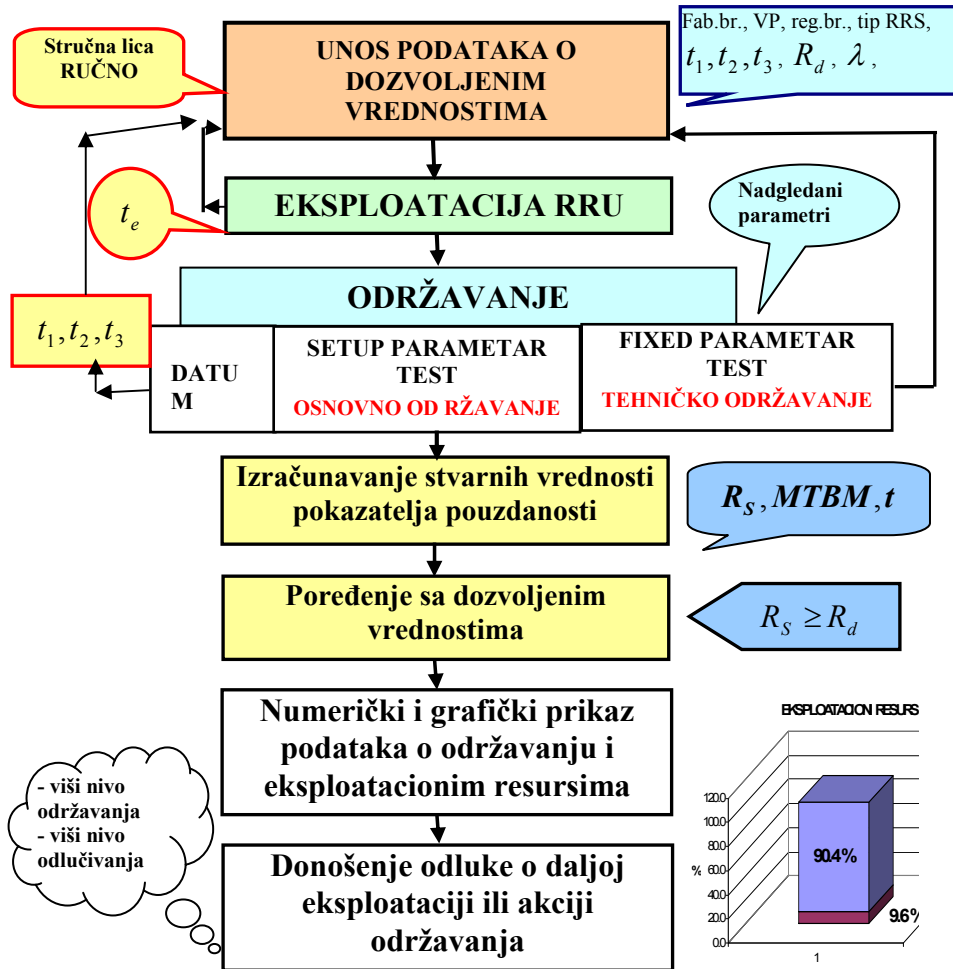
Slika 6 – Prikaz intenziteta otkaza po sastavnim modulima
Figure 6 – Display of the failure intensities for constituent modules

Prilikom pristupa izvršilaca održavanja realizaciji održavanja, oni se u centralnom računaru mogu upoznati sa svim bitnim radnim i eksploatacionim parametrima uređaja. Nakon realizacije eksploatacije ili nekog oblika održavanja, izvršioci unose podatke o vremenu eksploatacije uređaja, bilo da je ono nastalo normalnom eksploatacijom ili tokom nekog vida održavanja (eksploatacija tokom održavanja je razdvojena i posebno se prati), kao i podatke o sprovedenim merenjima. Podaci se čuvaju u centralnom računaru i služe za izračunavanje stvarne vrednosti parametra pouzdanosti R_s i vremena do isteka eksploatacionog resursa svakog od sastavnih modula i celog uređaja – *MTBM*. Podaci o pokazateljima pouzdanosti i eksploatacionom resursu su u svakom trenutku dostupni poslužiocima, višem nivou održavanja i nosiocu funkcije održavanja.

Algoritam po kojem se realizuje održavanje RRU prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti prikazan je na slici 7.

Pošto se radi o početku eksploatacije i praćenju životnog ciklusa uređaja, deo podataka o dozvoljenim vrednostima parametara održavanja stručna lica unose ručno, i to: fabrički broj uređaja, vojna pošta, registarski broj RRS, tip RRS, dozvoljene vrednosti parametra pouzdanosti

sastavnih modula i celog uređaja R_d , intenzitet otkaza sastavnih modula $\lambda_1 - \lambda_9$ i celog uređaja λ_{GRC} i podaci o srednjoj vrednosti vremena između dva otkaza za sastavne module i ceo uređaj – *MRBF*.



Slika 7 – Algoritam optimalnog modela koncepta održavanja RRU prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti

Figure 7 – Algorithm of the optimal model of the concept of condition based maintenance of RRE with the control of the level of reliability

Tokom procesa održavanja deo podataka se unosi ručno, a veći deo se generiše automatski komunikacijom računar – uređaj. Ručno se unose sledeći podaci: vreme eksploatacije svaki put nakon eksploatacije tokom izvršenja redovnih zadataka RRS – t_e , vreme rada uređaja tokom re-

alizacije osnovnog održavanja – t_1 , vreme rada uređaja tokom periodičnog pregleda – t_2 , vreme rada uređaja tokom tehničkog pregleda – t_3 .

U računar se automatski generišu podaci o: rezultatima testa „SETUP PARAMETER TEST” („1” za rezultat testa „OK” i „2” za rezultat testa „ERROR”), rezultat testa „FIXED PARAMETER TEST”, rezultat testa „FRONT PANEL TEST”, podaci o nadgledanim parametrima tokom realizacije sve tri vrste testa: nivo prijemnog signala, BER greška u prenosu podataka, nivo predajnog signala, odnos aktivne i reflektovane snage, naponi napajanja za rad modula, izvor napajanja uređaja i datum realizacije bilo kog vida održavanja.

Na osnovu prikupljenih podataka (ručno i automatski) računar izračunava i prikazuje trenutne vrednosti pratećih parametara:

- srednje vreme između zamene modula $MTBF$,
- preostalo srednje vreme do sledeće zamene modula $MTBM$ (do isteka resursa),
- t – ukupno vreme rada uređaja/modula,
- stvarne vrednosti parametara pouzdanosti za sastavne module i uređaj $R_{S1} - R_{S9}$ i R_{SGRC} , radi upoređivanja sa dozvoljenim vrednostima, prema formuli:

$$R_s = \exp(-\lambda_{1-9} \cdot t).$$

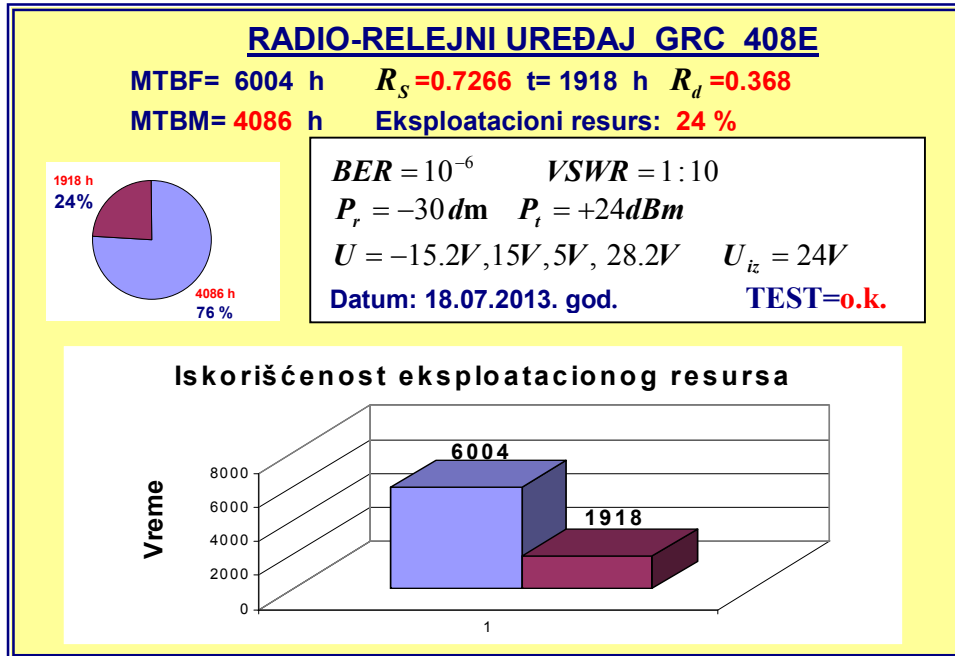
S obzirom na navedenu formulu i činjenicu da je $t = 0$, jer počinje životni ciklus uređaja, početna stvarna vrednost pouzdanosti iznosi $R_s = 1$ i tokom eksploatacije vrednost opada,

- ukupno vreme rada uređaja/modula – $t = t_e + t_1 + t_2 + t_3$,
- ukupno vreme rada uređaja/modula tokom osnovnog održavanja – t_1 ,
- ukupno vreme rada tokom tehničkog održavanja – $t_2 + t_3$,
- *grafički i numerički prikaz eksploatacionog resursa po modulima i celog uređaja*,
- ostale osnovne podatke o datumima pojedinih akcija održavanja, fabričkom broju uređaja, pripadnost RRS i sl.

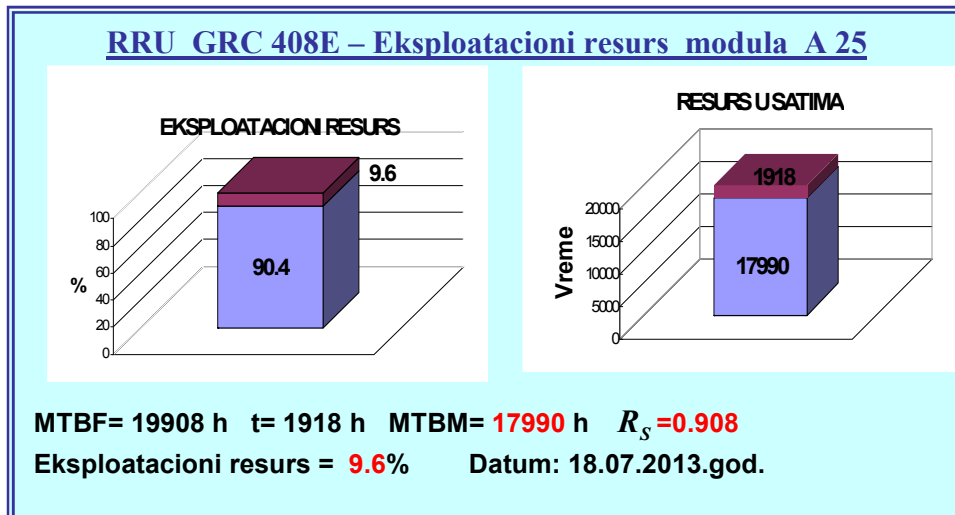
Centralni računar sve podatke o eksploataciji i održavanju može preneti nekim vidom komunikacije, dalje ka višim nivoima održavanja i nosiocu funkcije održavanja. Na osnovu dostupnih podataka može se pružiti pomoć nižim nivoima održavanja, a nosiocima održavanja omogućiti kontrolu realizacije održavanja i donošenje odluka iz njihove funkcionalne nadležnosti.

U nastavku su prikazani rezultati primene modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti. Pod pretpostavkom različitih vrsta vrednosti eksploatacionog resursa uređaja i sastavnih modula, prikazani su primeri softverskih vrednosti parametara koji se prate tokom primene modela održavanja.

Na slici 8 prikazan je primer primene modela, pri čemu je iskorišćeni eksploatacioni resurs u satima $t = 1918 h$ ili 24% ukupnog resursa uređaja.



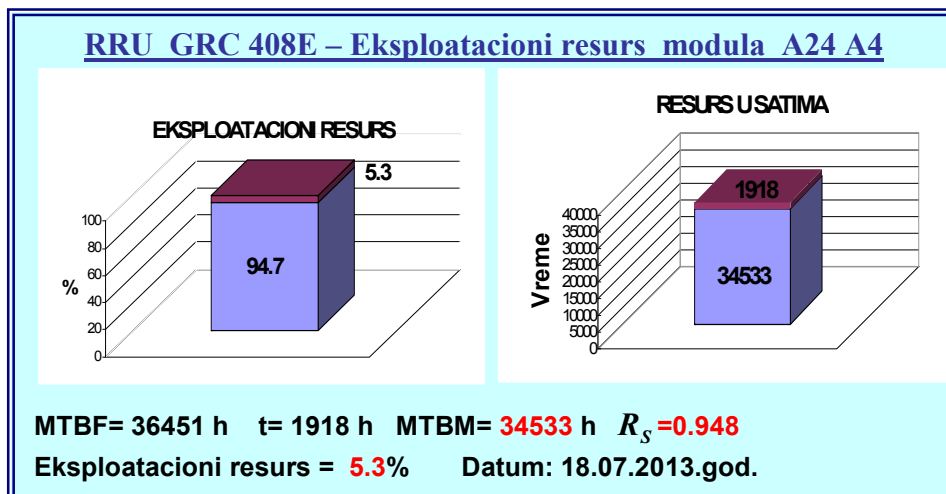
Slika 8 – Primer prikaza podataka o resursu RRU GRC 408E
 Figure 8 – An example of the data on the RRE resource E GRC 408E



Slika 9 – Primer prikaza podataka o resursu modula A25
 Figure 9 – An example of the data on the module A25 resource

Prikaz rezultata primene modela omogućuje uvid u pokazatelje pouzdanosti i sa slike 8 se vidi da je stvarna vrednost pouzdanosti $R_s = 0.7266$, pa je ispunjen uslov da je $R_s > R_d$, na osnovu čega se vrši dalja normalna eksploatacija RRU. Neiskorišćeni resurs je 76% ili $MTBM = 4086 h$. Dalje, softverski prikaz omogućuje uvid u vrednosti nadgledanih tehničkih parametara RRU i rezultate sprovedenog dijagnostičkog testa funkcionalne ispravnosti.

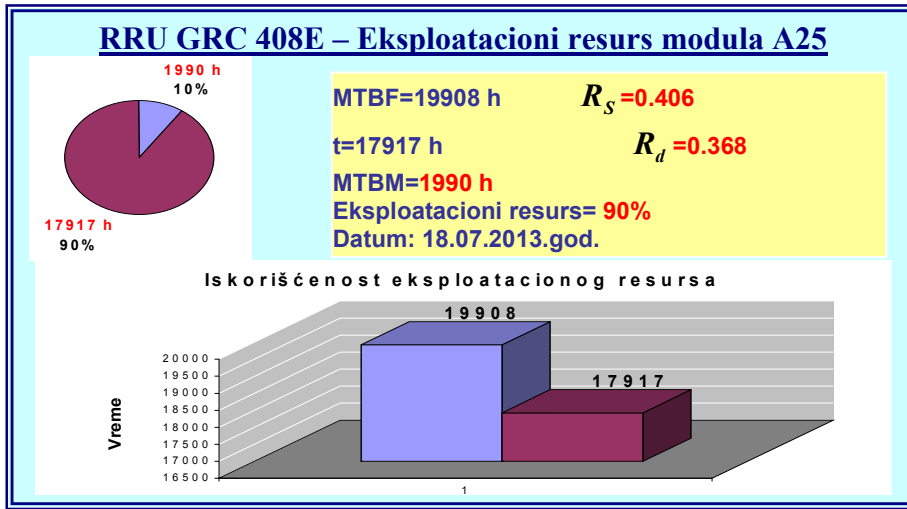
Pod istim vrednostima eksploatacionog resursa, kao na slici 8, prikazani su primeri vrednosti parametara pouzdanosti za modul A25 na slici 9 i modul A24A4 na slici 10.



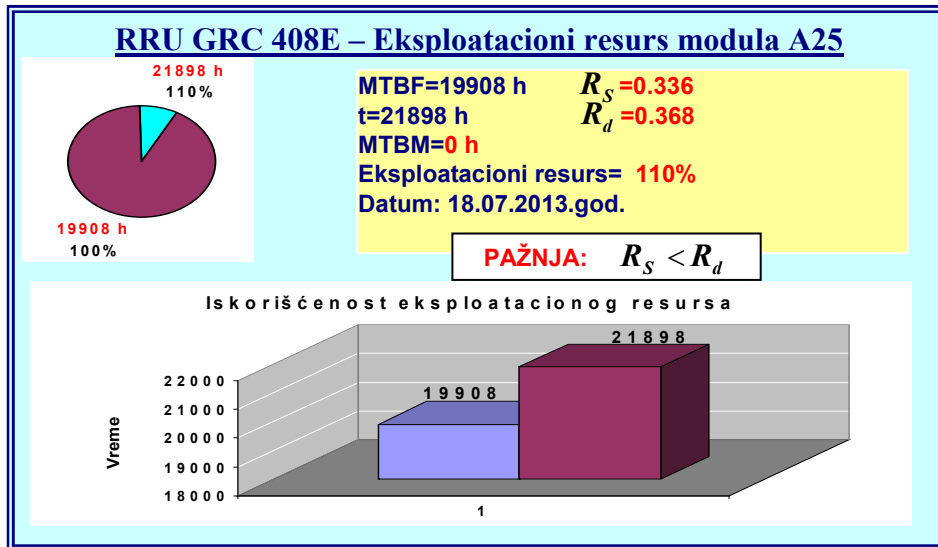
Slika 10 – Primer prikaza podataka o resursu sastavnog modula – A24 A4
 Figure 10 – An example of the data on the resource of a component module - A24 A4

Sagledavajući vrednosti vremena između dva otkaza $MTBF$ sastavnih modula prikazanih u tabeli 1, modul A25 ima najmanju vrednost koja iznosi $MTBF = 19908 h$. Pod pretpostavkom da je modul A25 tokom svog životnog veka radio ukupno $t = 17917 h$, iskorišćenost eksploatacionog resursa biće 90%. Na osnovu toga, stvarna vrednost parametra pouzdanosti je $R_s = 0.406$, što je neznatno više od dozvoljene vrednosti. RRU se nalazi na granici iskorišćenog resursa, te je na višim nivoima odlučivanja da donesu odluku, zavisno od angažovanja jedinice kojoj sredstvo pripada, da li će se izvršiti preventivna zamena modula A25 ili će se modul i dalje koristiti. Navedeni primer prikazan je na slici 11.

Pod pretpostavkom da se modul A25 i dalje koristi i da vreme eksploatacije iznosi $t = 21898h$, iskorišćenost eksploatacionog resursa je 110%, a ostale vrednosti pokazatelja pouzdanosti prikazane su na slici 12. Vrednost stvarne pouzdanosti je $R_s = 0.336$, što je manje od dozvoljene vrednosti $R_d = 0.368$.



Slika 11 – Primer prikaza eksploatacionog resursa modula A25
 Figure 11 – An example of the mining resource of module A25



Slika 12 – Primer prikaza isteklog resursa modula A25
 Figure 12 – An example of an expired resource of module A25

Na ovaj način, primenjeni model održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti omogućuje potpuno iskorišćenje resursa sastavnih modula i uređaja, uključujući i rezervu upotrebljivosti, praćenje i kontrolu ispravnosti RRU od strane poslužioca i stručnih lica i smanjenje nepotrebnih troškova planske zamene modula. Postojeća evidencija iskorišćenosti resursa omogućuje stalnu i kontrolisanu eksploataciju modula i uređaja, sve do otkaza.

Sagledavajući optimalnost modela održavanja sa aspekta troškova održavanja, uz činjenicu da postoji oprema za održavanje, dolazi se do zaključka da su najveći troškovi održavanja tokom životnog veka uređaja vezani sa zamenom sastavnih modula, odnosno sa rezervnim delovima za održavanje. Najmanji troškovi su opredeljeni na radnu snagu koja realizuje niže nivoe održavanja. Ovakav odnos troškova objašnjava se činjenicom da su u pitanju uređaji visoke tehnologičnosti i složenosti, za čije održavanje su neophodni rezervni delovi visokog kvaliteta (po MIL standardu). U isto vreme, visoka tehnologičnost RRU omogućila je da se prilikom nabavke RRU izdvoje veća novčana sredstva, ali su zato znatno smanjeni troškovi održavanja uređaja tokom resursa uređaja i sastavnih modula, tehnološke procedure za održavanje su uprošćene i oslonjene su na tehnološke instrumente i softvere ugrađene u sastavu uređaja.

U dostupnoj literaturi istraživanja su pokazala da se optimalni troškovi održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti postižu za pouzdanost od 0,79 do 0,90.

Zaključak

Sprovedena istraživanja pokazuju da pretpostavljeni model održavanja RRU omogućuje kvalitetno i ekonomično održavanje RRU najnovije generacije, uz korišćenje postojećih resursa uređaja i RRS u okviru kojih se ugrađuju. Takođe, istraživanja pokazuju da pretpostavljeni model održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti omogućuje:

- potpuno iskorišćenje konstrukcionih i tehničko-tehnoloških karakteristika uređaja u funkciji kvalitetnog i ekonomičnog održavanja uređaja,
- bolje planiranje preventivnog održavanja,
- učešće poslužioca i stručnih lica iz najnižeg nivoa u održavanju i stručno podizanje nivoa osnovnog održavanja,
- dostupnost podatka o resursima uređaja i održavanju, višim nivoima održavanja i odlučivanja,
- jedinstveno i organizovano prikupljanje podataka iz eksploatacije i života uređaja i RRS,
- svođenje troškova održavanja na minimum,
- sastavljanje modula, koji imaju najveće troškove održavanja, menjaju po otkazu, a ne po isteku resursa, pod uslovom da modul izvršava svoju funkcionalnu namenu i da ne narušava pouzdanost uređaja,
- opciju primene modela održavanja na ostale uređaje u RRS.

Literatura

- Adamović, Ž., Radovanović, L., & Radojević, M. 2008. Modeli održavanja na bazi tehničke dijagnostike. *Tehnička dijagnostika*, 3.
- Adamović, Ž., Stanković, N., & Savić, B. 2011. *Pouzdanost mašina i strojenja*. Novi Sad: Stylos.
- Adamović, Ž., & Bešić, C. 2008. *Održavanje tehničkih sistema*. Beograd: Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije.
- Jovanović, D., Radonjić, V., & Milojević, I. 2013. Određivanje parametara pogodnosti za održavanje radio-relejnih uređaja primenom grafičke metode. U: 16. Međunarodna konferencija „Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću“, ICDQM-2013, Beograd. , str. 435-440
- Radonjić, V., & Ćirić, M. 2012. Primena savremene metode tehničke dijagnostike u funkciji unapređenja održavanja radio-relejnih uređaja. *Vojno-tehnički glasnik/Military Technical Courier*, 60(4), str. 117-132.
- Radonjić, V., Jovanović, D., & Milojević, I. 2013. Proračun parametara pouzdanosti kod uspostavljanja organizacije održavanja radio-relejnih uređaja. U: 16. Međunarodna konferencija „Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću“, ICDQM. str. 471-476
- Radonjić, V., Jovanović, D., & Milojević, I. 2013. Tehnološka procedura srednjeg nivoa održavanja savremenih radio-relejnih uređaja. U: 16. Međunarodna konferencija „Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću“, ICDQM. , str. 465-470
- Radonjić, V., & Jovanović, D. 2012. Održavanje radio-relejnih uređaja primenom savremene metode tehničke dijagnostike. U: 15. DQM Međunarodna konferencija Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću ICDQM, Beograd. , str. 383-388
- Radonjić, V., Ćirić, M., & Jovanović, D. 2012. One model of assistance on the lower levels in the maintenance of modern radio-radios GRC systems. U: 5th International scientific conference on defensive technologies OTEH 2012, Belgrade.
- Tomić, M., & Adamović, Ž. 1986. *Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema*. Beograd: Tehnička knjiga.

OPTIMAL MODEL OF THE CONCEPT OF RADIO-RELAY EQUIPMENT MAINTENANCE

FIELD: Maintenance of technical systems, Telecommunications
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

This paper presents the results of applying the optimal model of the concept of maintenance of modern radio-relay equipment (RRE). The model, is based on condition based preventive maintenancewith the control of the level of reliability, and uses a number of positive structural and technological capabilities of the machine in order to decrease overall maintenance costswhile mantaning the achieved level of the required device reliability.

Introduction

The aim of this paper is to review the maintenance models, with an emphasis on preventive maintenance, in order to identify the best RRE model maintenance and set up a proper maintenance organization. For the application of a model of maintenance, one must be familiar with construction-technological features and capabilities of the device which provide its reliability and maintainability. The ultimate goal of this research is to choose and establish an optimal maintenance model which will enable controlled monitoring of device reliability in order to fully utilize resources.

Types of Preventive Maintenance

Two types of preventive maintenance have been presented including: traditional planned maintenance and condition based maintenance. Condition based maintenance is a type of preventive maintenance based on a periodic or continuous control of devices in use. Based on the results of the control, decisions are made on the necessary time and extent of planned activities.

Condition based maintenance, due to constant control during operation, allows full utilization of device module components, which makes it optimal compared to traditional preventive maintenance.

Methods of condition based maintenance.

There are two types of condition based maintenance: one with the parameter control and the other with the reliability control. The choice of an appropriate method is done based on the algorithm in Figure 3. Considering the requirements that must be met when choosing the model of condition based maintenance and the algorithm for model selection, a model of condition based maintenance is chosen with the control of the device reliability and component modules. The fact that the intensity of the failure of devices and modules is constant over the life of the device is a critical factor in choosing a model of condition based maintenance which will be used in further research. The model will enable the optimal maintenance of devices with maximum reliability and minimum maintenance costs.

Condition based maintenance with the control of the level of reliability

In models of condition based maintenance with the control of the level of reliability, a reliability level is a criterion of technical condition and expressed by reliability. The indication of the reliability is the parameter – failure intensity. In applying the model, there is another parameter used- allowed reliability level. The permitted level of reliability is calculated for each component separately and for the entire device. In this maintenance model, during the lifetime of the device, the actual level of reliability is constantly compared with the allowed value of the reliability of the device or module, as shown in the algorithm in Figure 4.

The application of this maintenance model requires constant collection of operational data about the reliability of devices and modules during their lifetime.

RRE characteristics from the aspect of the maintenance model

In the selection phase of the maintenance model, it is stated that RRE must meet certain requirements such as: unit design is characterized by a high degree of technologicality and is based on the serial modular principle; the device operates within the mobile system in which the operation of the device is controlled by a computer system, and the device is pre-tested for the defectation of device correctness. From the technological point of view, it was assumed that there is equipment for all levels of maintenance, trained personnel, and required technological procedures for all levels of maintenance.

The application of the condition based maintenance with the control of the level of reliability and the results of the application

In accordance with the defined assumptions, the maintenance model was applied. The RRE operation is controlled within the mobile system, using a computer with appropriate software. The communication of the computer with RRE gives all the relevant information about the unit. A part of the maintenance data is entered manually into the appropriate application software. Based on the collected data, the computer calculates all relevant parameters for the implementation of the model maintenance, numerically and graphically. Figure 7 shows the algorithm of the optimal model of condition based maintenance of RRE with the control of the reliability level. The results of applying the optimal maintenance model are also shown.

Based on the activities during the research and on the application of the maintenance model, it can be seen that the highest maintenance costs are directed to the replacement of component modules. The optimality of the condition based maintenance model allows the use of modules after the expiry of resources, or up to failure, without disrupting the functions of the device.

Conclusion

The conducted research shows that the assumed RRE maintenance model provides quality and cost-effective RRE maintenance of the latest generation with the use of existing resources and RRS units in which they are incorporated. The research also shows that the assumed model of condition based maintenance with the control of the level of reliability enables:

- full use of structural and technological characteristics of the device as a function of efficient and cost-effective equipment maintenance,*
- better planning of preventive maintenance,*
- involvement of personnel and experts from the lowest level of maintenance and professional raising of the basic maintenance level,*
- availability of information on resources, equipment and maintenance, to higher levels of maintenance and decision-making structures,*

- *uniform and organized data collection from service and device life and RRS,*
- *reduction of maintenance costs to a minimum,*
- *changing the constituent modules with the highest maintenance costs, upon failure and not upon the expiry of resources, provided that the module performs its functional purpose and does not violate the reliability of the device,*
- *an option of applying the maintenance model to other devices in RRS.*

Key words: condition based maintenance, control of reliability.

Datum prijema članka/Paper received on: 01. 12. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 22. 12. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 24. 12. 2013.