

# Pouzdanost i raspoloživost računalnih sustava kojima se koristi u nadzoru, praćenju i organizaciji pomorskog prometa

## *Reliability and Availability of Computational Systems Which are used in Survey, Control and Organization of Seaborne Traffic*

Pančo Ristov

Pomorski fakultet  
Sveučilište u Splitu  
e-mail: panco@pfst.hr

Pavao Komadina

Pomorski fakultet  
Sveučilište u Rijeci  
e-mail: komadina@pfri.hr

Vinko Tomas

Pomorski fakultet  
Sveučilište u Rijeci  
e-mail: tomas@pfri.hr

UDK 004:656.61

Prethodno priopćenje / Preliminary communication  
Rukopis primljen / Paper accepted: 19. 10. 2012.

### Sažetak

U radu je dan prikaz kvantitativnih pokazatelja kvalitete računalnog sustava (pouzdanost, raspoloživost, sigurnost i sustav u otkazu) koji se primjenjuju u nadzoru, praćenju i organizaciji pomorskog prometa, a mogu se pojaviti kao element složenoga pomorskog sustava ili samostalnoga elektroničkog sustava, kao što je osobno računalo ili server. Unutar rada analiziraju se Markovljevi modeli pouzdanosti i raspoloživosti za računalni sustav i redundantni računalni sustav. Skup diferencijalnih jednadžba riješen je na dva načina: metodom Laplasovih transformacija i metodom matrice. Rezultati analize i proračuna kvantitativnih pokazatelja kvalitete računalnog sustava prikazani su u tablicama. U šestom poglavlju predložene su mjere kojima bi se poboljšala pouzdanost i raspoloživost računalnog sustava.

Kvalitetno funkcioniranje računalnog sustava omogućit će pouzdanije, učinkovitije i sigurnije odvijanje pomorskog procesa, učinkovitu podršku odlučivanju na svim razinama upravljanja u nadzoru, praćenju i organizaciji pomorskog prometa.

### Summary

The paper has shown the quantitative indicators of the quality of computation system (reliability, availability, safety and system out of order) which are used in the survey, control and organization of seaborne traffic. They could appear as an element of complex marine system or an independent electronic system such as personal computer or server. The paper has discussed Markov's model of reliability and availability for computational system and redundant computational system. The group of differential equations has been solved in two ways: by method of Laplas transformation and by method of matrix. The results of the analysis and calculation of quantitative indicators of the quality of the computational system have been shown in the tables. In the sixth chapter, the measures have been proposed which could improve reliability and availability of the computational system.

Qualitative functioning of the computational system will enable more reliable, efficient and safer marine process, efficient support in decision making at all levels of management: survey, control and organization of seaborne traffic.

### UVOD / Introduction

Informacijska tehnologija doživljava svoj ubrzani razvoj tako da je veličina i složenost računalnih sustava (RS-a) dramatično porasla i trend će se zasigurno nastaviti i u budućnosti. Sve je to omogućilo da se RS-ima koristi u svim porama društva, pa tako i u pomorskim sustavima na suvremenim brodovima, lukama i u nadzoru, praćenju, upravljanju i organizaciji pomorskoga prometa.

Teorija pouzdanosti RS-a u proteklim godinama doživljava snažan razvoj, posebno u projektiranju, proizvodnji, ispitivanju i eksploataciji distribuiranih onih koji su tolerantni na kvarove.

Proizvođači pomorskih informacijsko-komunikacijskih sustava kvalitetu svojih proizvoda najčešće izražavaju preko pouzdanosti, raspoloživosti i sigurnosti računalnih resursa. Pouzdanost i raspoloživost RS-a više se ne može računati na temelju pouzdanosti hardvera, već se mora uzeti u obzir i pouzdanost softvera (praktično nema sustava u kojemu nije implementirana programska podrška), ali i pouzdanost čovjekova, ovisno o prirodi i namjeni sustava, osobito pri izvršavanju zadataka sustava u kojima je čovjek njegov dio ili se aktivira otkaze li hardverski i softverski modul.

### KLJUČNE RIJEČI

pomorski sustav  
računalni sustav  
pouzdanost  
raspoloživost  
sigurnost

### KEY WORDS

Marine System  
Computation System  
Reliability  
Availability  
Safety

Ključni problem u pouzdanosti i raspoloživosti RS-a može se odrediti kao nadzor ponašanja hardvera i softvera, dakle funkcija koje izvršavaju. Pouzdanošću i raspoloživošću računalnog sustava bavi se svaki čovjek u svakodnevnoj uporabi, pa sve do složenih i vrlo složenih pomorskih informacijsko-komunikacijskih sustava. U teoriji pouzdanosti postoje metode i tehnike kojima se određuju i dostižu pouzdanost i raspoloživost, korisne i često primjenjive. Zahtjevi za pouzdanošću i raspoloživošću prisilili su sve zainteresirane subjekte da se pozabave time i odgovore na pitanje koje su to realne okolnosti pri uporabi RS-a. Predviđanje pouzdanosti i raspoloživosti je kontinuiran proces - on započinje od projektnog zadatka (strukturni model pouzdanosti), temeljen na podacima i informacijama o prethodnim otkazima, a završava se mjerama pouzdanosti i raspoloživosti temeljenima na podacima i informacijama što ih pružaju korisnici RS-a.

Pouzdanost RS-a odnosi se na sposobnost sustava za operativni rad bez zastoja ili sprečavanje pada karakteristika tijekom određenoga vremenskog razdoblja a kao pokazatelj najčešće se daje srednje vrijeme između otkaza. Raspoloživost se RS-a odnosi na sposobnost sustava da pruža definirane usluge u bilo kojem trenutku vremena a kao pokazatelj često se daje srednje vrijeme do popravka.

Pouzdanost i raspoloživost računalnih sustava povezane su veličine. Praksa pokazuje da rezultati što ih korisnik postiže ne dostižu vrijednosti koje je deklarirao proizvođač u taktičko-tehničkim podacima. Do toga dolazi iz razloga što te veličine nisu precizno određene, ali i zbog toga što isporučitelj korisniku nije jasno naznačio uvjete za koje ih je odredio. Upravo ti problemi, kada je riječ o pomorskim informacijsko-komunikacijskim sustavima i osiguravanju visoke raspoloživosti usluga što ih pružaju računalni sustavi, u cijelosti su predmet ovoga rada.

Ukupna raspoloživost pomorskih informacijsko-komunikacijskih sustava sastavni je dio raspoloživosti svih podsustava. Što su računalni resursi kvalitetniji, to je kvalitetniji podsustav. Na temelju stručne literature, literature proizvođača i preporuke Međunarodne organizacije za svjetionike, vrijeme u otkazu računalne opreme za pomorske računalne sustave u cijelosti može rasti od 8,7 sati do tri dana godišnje, to jest raspoloživost je u rasponu od 99 do 99,9% [1]. Ako se pretpostavi da je vrijeme u otkazu 48 sati godišnje, dobiva se raspoloživost od 99,4%. Niska razina pouzdanosti i raspoloživosti dovodi do ugrožavanja sigurnosti poslovnog procesa, nezadovoljstva zapovjednika broda i ostalih sudionika u procesu, kako zbog toga što se ne isporučuju usluge, tako i zbog većih troškova održavanja itd. Raspoloživost od 99,4% nije dopustiva za pomorske sustave, već treba težiti za vrijednošću od 99,999% , to jest sustav u otkazu od 5 min. godišnje je vrijednost kojoj treba težiti u eksploataciji sustava.

Povećanjem pouzdanosti RS-a smanjuje se potreba za održavanjem i osiguravanjem visoke vrijednosti raspoloživosti usluga koje oni pružaju. Međutim, porast pouzdanosti RS-a ima svoju cijenu i ekonomsku opravdanost. Njihovo popravljavanje nakon pojave otkaza, mora biti što kraće, a sigurnost podsustava vrlo visoka. To znači da se od takvih sustava sa zahtjevima uz visoku pouzdanost podsustava istovremeno zahtijeva i visoka razina pogodnosti u održavanju hardvera i softvera. Zbog toga je potrebno primijeniti nove strategije održavanja ili kombinaciju novih strategija koje su podržane informacijskim sustavom za upravljanje održavanjem.

## METODE ZA ODREĐIVANJE POKAZATELJA KVALITETE RS-a / *Methods determining the indicators of RS quality*

Metode za određivanje pouzdanosti sustava mogu se grupirati u dvije skupine: *a priori* metode ili prediktivne metode gdje se pouzdanost sustava predviđa u fazi njegova razvoja i projektiranja i *a posteriori* metode gdje se pouzdanost sustava određuje na temelju podataka dobivenih eksploatacijom. Poznatije metode za određivanje pouzdanosti su: *blok dijagram pouzdanosti, metoda stablo kvarova, metoda analiza vrste kvarova i efekata, Markovljeva metoda* itd.

U radu koristit će se Markovljevom metodom a to je analitička metoda kojom se određuje pouzdanost sustava. Ona se sastoji u konstruiranju grafa stanja, određivanje koeficijenta prelaznih vjerojatnosti između stanja i postavljanje i rješavanje sustava diferencijalnih jednadžba.

Da bi se postigla ciljna pouzdanost RS-a, zahtijeva se poduzimanje određenih aktivnosti u svim fazama u životnom ciklusu pomorskog tehničkog sustava, dakle za vrijeme projektiranja, za vrijeme implementacije, tijekom eksploatacije i tijekom održavanja i unapređenja sustava. U literaturi se mogu naći podaci koji pokazuju da u uzrocima broja otkaza 50% su pogreške u projektiranju, 30% tijekom proizvodnje i 20% ih je u procesu eksploatacije. Tijekom projektiranja RS-a za povećanje pouzdanosti koristi se tehnikom *izbjegavanje kvarova*. Za vrijeme implementacije pouzdanost se može povećati uz pomoć tehnike *uklanjanje kvarova*, dok se za vrijeme eksploatacije sustava, pouzdanost može povećati primjenom tehnike *tolerancije kvarova* i *izmicanje kvarova*.

## RAČUNALNI SUSTAVI TOLERANTNI NA KVAROVE / *Breakdown tollerant computational systems*

RS koji tolerira kvarove (pogreške) mora biti tako dizajniran da u svakom trenutku radi ispravno, bez obzira na neispravnosti u hardveru ili softveru, to jest mora postojati modul koji će dinamički provjeravati točnost i ispravnost funkcioniranja. Iz prakse je poznato da modul za detekciju kvara ne detektira i ne otkrije 100% sve kvarove koji nastanu u aktivnom modulu, već on samo „pokriva“, detektira s faktorom pokrivanja  $C$  ( $0 < C < 1$ ) od svih mogućih kvarova (ovaj koncept definirali su Bouricius, Carter, and Schneider [1969.]). Problem ovog koncepta je u tome što modul za detekciju u nekim trenucima ne otkrije kvar u aktivnom modulu, pa sustav u cijelosti generira neispravne izlaze pokraj ispravnog pričuvnog modula, jer mehanizam za prebacivanje nema informaciju o kvaru u aktivnom modulu.

Tolerancija na kvarove je pojam koji je blisko povezan s kritičnim komponentama i pouzdanim sustavima od kojih se očekuje da zadovolje veoma stroge zahtjeve pri radu u *online* režimu rada. Pod pojmom kritične komponente podrazumijevamo one uz koje pogreška u radu sustava može rezultirati znatnim ekonomskim gubicima, fizičkim oštećenjima, prijetnjama ljudskom životu i slično. Takvi sustavi moraju imati visok stupanj pouzdanosti.

Tehnike koje omogućuju toleriranje kvarova su: *uvođenje raznih oblika redundancije, glasanje i tehnike za automatsko obnavljanje ili rekonfiguraciju* [2][3].

Kod RS-a postoje tri razine tolerancije kvarova, i to: *hardverska tolerancija kvarova, softverska tolerancija kvarova*

*i sustavna tolerancija kvarova.* Tolerantnost prema kvarovima temelji se na načinima postizanja pouzdanosti sustava, što je važan zahtjev u mnogim sustavima [2].

Toleriranje kvarova kod RS-a ostvaruje se sljedećim oblicima redundancije:

- hardverska redundancija – fizičko je umnožavanje hardvera, što se može primijeniti na svim razinama složenosti sustava od elemenata, komponenata, funkcijskih modula, podsustava ili cijelog sustava; pritom, tri su osnovna oblika hardverske redundancije: *pasivna, aktivna i hibridna*;
- softverska redundancija - fizičko je umnožavanje softvera i može se realizirati uz nekoliko dodatnih programskih linija koda koje služe da bi se provjerila amplituda signala u kontrolnoj točki, ili kao programski proces (funkcija) za periodičko testiranje memorije, upisujući i čitajući test riječi u određene memorijske lokacije; tri su glavne tehnike softverske redundancije: *provjera konzistencije, provjera sposobnosti i metoda repliciranja softvera*;
- informacijska redundancija – dodavanje je redundantne informacije podacima kako bi se omogućilo otkrivanje pogreške, maskiranje ili moguća tolerancija pogreške; najčešće su metode: *kontrola parnosti, provjera kontrolnog zbroja i ciklička provjera redundancije*;
- vremenska redundancija - sastoji se u ponavljanju nekih operacija pri izvođenju funkcija sustava tako da se može otkrivati pogreška, a često postići i tolerancija pogreške. Ponavlja se pritom izvođenje dijela programa na kojemu je otkrivena pogreška, ili se ponavlja operacija koja nije ispravno obavljena.

Rad RS-a može biti narušen otkazom ili hardverske ili softverske komponente, ili biti izazvan čovjekovom pogreškom. Hardverski su se otkazi intenzivno istraživali od samog početka uporabe RS-a iz razloga što su oni zapravo isti kao bilo koji drugi tehnički sustav, kao i različiti mehanizmi u rješavanju otkaza. Softverskim otkazima s odgovarajućom analizom pouzdanosti i raspoloživosti nije se pridavala veća pozornost u istraživanjima. Naglom primjenom RS-a i zahtjevima za sve sigurnijim radom, istraživanje je softverskih otkaza dobilo na značenju, pogotovo kada se ustanovilo da se RS-i kvare više zbog softverskih nego hardverskih otkaza. Na temelju stručne literature, dugo je vrijedilo mišljenje da se pouzdanost i učestalost otkaza ne mogu primijeniti na softverski element RS-a zbog toga što se oni ne mogu fizički degradirati tijekom vremena, ili zbog utjecaja okoline (temperatura, vlaga i dr.). Tako je određena pouzdanost s praktičnoga gledišta samo približan podatak o pouzdanosti RS-a, u kojemu se neizbježno pojavljuje i čovjek kao dio sustava.

## MODELIRANJE POKAZATELJA KVALITETE RS-a / RS quality indicators modelling

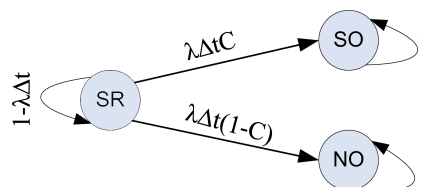
U ovom ćemo poglavlju razmotriti modeliranje pouzdanosti, sigurnosti i raspoloživosti RS-a i redundantnoga RS-a (dva identična RS-a) koji izvršavaju definirane funkcije. U hardverskim i softverskim modulima ugrađen je odgovarajući dijagnostički program (samodijagnostika) i on u trenutku detektiranja pogreške, generira odgovarajuće tehničko upozorenje. Otkaz RS-a može biti izazvan hardverom ili sustavnim ili aplikativnim softverom, ili pogreškom operatora; pri tome su učestalost otkaza  $\lambda$  ( $\lambda = \lambda_n + \lambda_s + \lambda_o$ ) i učestalost popravka  $\mu$  konstantni. Otkaz RS-a

može se dogoditi na dva različita načina, to jest može biti u dva stanja. Jedno je definirano kao „sigurno“, a drugo kao „nesigurno“ stanje. Sigurno stanje RS-a znači da operator ili tehničko osoblje, nakon prijema tehničkog upozorenja od dijagnostičkog programa, izvršavaju slijed postupaka za isključenje računala. Nesigurno stanje RS-a znači da dijagnostički program nije detektirao pogrešku i RS, jednostavno, „zamrzne“ svoj rad.

## Markovljev model pouzdanosti / Markov's reliability model

Grafički je Markovljev model pouzdanosti prikazan na slici 1. RS se može naći u jednome od tri moguća stanja: stanju SR (ispravni rad), stanju SO (sigurni otkaz) i NO (nesiguran otkaz).

Prijelaz iz stanja SR u stanje SO dogodit će se kada samodijagnostički program detektira pogrešku i generira odgovarajuće tehničko upozorenje o obveznom isključivanju RS-a, operator ili tehničko osoblje izvršava proceduru isključivanja računala, pa zatvara sve aktivne programe i otvorene datoteke i, na kraju, izvršava proceduru isključivanja računala u skladu s preporukama proizvođača. Vjerojatnost da će RS prijeći iz stanja SR u stanje SO tijekom vremenskog intervala  $\Delta t$ , jednaka je umnošku ukupne učestalosti otkaza ( $\lambda$ ) i faktora pokrivanja ( $C$ ), tj. iznosi  $\lambda C \Delta t$ . Prijelaz iz stanja SR u stanje NO dogodit će se kada samodijagnostički program nije detektirao pogrešku, pa operator nije dobio tehničko upozorenje. U takvim situacijama mogu nastati problemi na hardveru ili tekućim aplikacijama i podacima u otvorenim datotekama. Vjerojatnost da će RS prijeći iz stanja SR u stanje NO tijekom vremenskog intervala  $\Delta t$  jednaka je umnošku ukupne učestalosti otkaza ( $\lambda$ ) i faktorom pokrivanja ( $1 - C$ ), tj. iznosi  $\lambda(1 - C) \Delta t$ .



Slika 1. Grafički prikaz Markovljeva modela pouzdanosti RS-a  
Figure 1 Graphic sketch of Markov's reliability of RS model

Kompletne jednadžbe Chapman-Kolmogorova diskretnoga Markovljeva modela su:

$$P_{SR}(t + \Delta t) = (1 - \lambda \Delta t) P_{SR}(t) \quad (1)$$

$$P_{SO}(t + \Delta t) = \lambda \Delta t C P_R(t) + 1 P_{SO} \quad (2)$$

$$P_{NO}(t + \Delta t) = \lambda \Delta t (1 - C) P_R(t) + 1 P_{NO} \quad (3)$$

Odgovarajuće diferencijalne jednadžbe Kolmogorova su:

$$\frac{dP_{SR}(t)}{dt} = -\lambda P_R(t) \quad (4)$$

$$\frac{dP_{SO}(t)}{dt} = \lambda C P_R(t) \quad (5)$$

$$\frac{dP_{NO}(t)}{dt} = \lambda (1 - C) P_R(t) \quad (6)$$

Primjenom Laplasovih transformacija, to jest odgovarajućih diferencijalnih teorema, vodeći računa o početnim uvjetima  $P_R(0) = 1, P_{SO}(0) = 0$  i  $P_{NO}(0) = 0$  dolazi se do sljedećeg rješenja:

$$P_{SR}(s) = \frac{1}{s + \lambda} \quad (7)$$

$$P_{SO}(s) = \frac{\lambda C}{s(s + \lambda)} = \frac{C}{s} - \frac{C}{s + \lambda} \quad (8)$$

$$P_{NO}(s) = \frac{\lambda(1-C)}{s(s + \lambda)} = \frac{1-C}{s} - \frac{1-C}{s + \lambda} \quad (9)$$

Primjenom inverznih Laplasovih transformacija, dobivaju se krajnja rješenja:

$$P_{SR}(t) = e^{-\lambda t} \quad (10)$$

$$P_{SO}(t) = C(1 - e^{-\lambda t}) \quad (11)$$

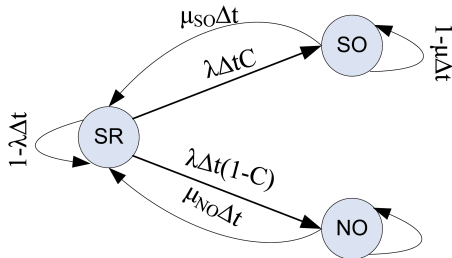
$$P_{NO}(t) = (1-C)(1 - e^{-\lambda t}) \quad (12)$$

Pouzdanost računala je  $R(t) = P_{SR}(t) = e^{-\lambda t}$  i vjerojatnost da je u jednome od dva otkazna stanja je  $P_{SO}(t) + P_{NO}(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - R(t)$ .

Sigurnost RS-a može se opisati kao:  $S(t) = P_{SR}(t) + P_{SO}(t) = C + (1-C)e^{-\lambda t}$ . Ako je pokrivanje pogrešaka idealno, dakle  $C = 1$ , sustav ima savršenu sigurnost.

### Markovljev model raspoloživosti / Markov's Availability Model

Grafički su Markovljevi modeli raspoloživosti prikazani na slici 2. Stanje SO i stanje NO nisu više konačni jer je omogućen popravak, i time vraćanje sustava u stanje SR. Vjerojatnost da će RS prijeći iz stanja SR u stanje SO tijekom vremenskog intervala  $\Delta t$  je  $\lambda C \Delta t$ , dok vjerojatnost prijelaza RS-a iz stanja SO u stanje SR i prijelaza iz stanja NO u stanje SR tijekom vremenskog intervala  $\Delta t$ , bit će  $\mu \Delta t$ .



Slika 2. Grafički prikaz Markovljeva modela raspoloživosti RS-a  
Figure 2 Graphic sketch of Markov's availability RS model

Jednadžbe za Markovljev model (slika 2.) mogu se pisati kao:

$$P_{SR}(t + \Delta t) = (1 - \lambda \Delta t)P_{SR}(t) + \mu \Delta t P_{SO}(t) + \mu \Delta t P_{NO}(t) \quad (13)$$

$$P_{SO}(t + \Delta t) = \lambda C \Delta t P_{SR}(t) + (1 - \mu \Delta t)P_{SO}(t) \quad (14)$$

$$P_{NO}(t + \Delta t) = \lambda(1-C) \Delta t P_{SR}(t) + (1 - \mu \Delta t)P_{NO}(t) \quad (15)$$

Grafična vrijednost za  $\Delta t \rightarrow 0$  dovodi do sljedećih diferencijalnih jednadžba:

$$\frac{dP_{SR}(t)}{dt} + \lambda P_{SR}(t) - \mu P_{SO}(t) - \mu P_{NO}(t) = 0 \quad (16)$$

$$\frac{dP_{SO}(t)}{dt} - \lambda C P_{SR}(t) + \mu P_{SO}(t) = 0 \quad (17)$$

$$\frac{dP_{NO}(t)}{dt} - \lambda(1-C)P_{SR}(t) + \mu P_{NO}(t) = 0 \quad (18)$$

Primjenom Laplasovih transformacija i odgovarajućih diferencijalnih teorema, vodeći računa o početnim uvjetima  $P_{SR}(0) = 1, P_{SO}(0) = 0$  i  $P_{NO}(0) = 0$ , dobiva se sustav jednadžba:

$$(s + \lambda)P_{SR}(s) - \mu P_{SO}(s) - \mu P_{NO}(s) = 1 \quad (19)$$

$$-\lambda C P_{SR}(s) + (s + \mu)P_{SO}(s) = 0 \quad (20)$$

$$-\lambda(1-C)P_{SR}(s) + (s + \mu)P_{NO}(s) = 0 \quad (21)$$

Rješavanjem sustava jednadžba (19), (20) i (21) dobivaju se sljedeći izrazi:

$$P_{SR}(s) = \frac{s + \mu}{s(s + \lambda + \mu)} \quad (22)$$

$$P_{SO}(s) = \frac{\lambda C}{s(s + \lambda + \mu)} \quad (23)$$

$$P_{NO}(s) = \frac{\lambda(1-C)}{s(s + \lambda + \mu)} \quad (24)$$

Povratkom u vremensku domenu (inverzna Laplasova transformacija), rješenja se mogu napisati kao:

$$P_{SR}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (25)$$

$$P_{SO}(t) = C(1 - e^{-(\lambda + \mu)t}) \quad (26)$$

$$P_{NO}(t) = (1-C)(1 - e^{-(\lambda + \mu)t}) \quad (27)$$

Sigurnost RS-a može se opisati kao:

$$S(t) = P_{SR}(t) + P_{SO}(t) = \frac{\mu(1+C) + C\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda(1-C) - C\mu}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (28)$$

Raspoloživost računala je:

$$A(t) = P_{SR}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (29)$$

$$A(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (30)$$

Poslije dovoljno dugo vremena raspoloživost RS-a teži prema sljedećoj vrijednosti:

Vrijeme u zakazivanju RS-a se može napisati kao  $t_{RASO} = \frac{t_{RSR}(100 - A(t))}{100}$ , gdje je  $t_{RASO}$  - ukupno vrijeme kada je RS u otkazu, a  $t_{RSR}$  - ukupno vrijeme kada je RS u operativnom radu.

Analizirajmo pokazatelje kvalitete računala u sustavu praćenja. Srednje vrijeme do otkaza, odnosno učestalost otkaza računala je  $222 \times 10^6 \text{ h}^{-1}$  i faktor pokrivanja pogrešaka je 0,98. Srednje vrijeme popravka ( $\mu_{SO}$ ), to jest prijelaz RS-a iz stanja SO u stanje SR, kreće se od 5 do 10 min. Za ovu je analizu uzeto najduže vrijeme od 10 min. U analizi za srednje vrijeme popravka ( $\mu_{NO}$ ), tj. prijelaz RS-a iz stanja NO u stanje SR, uzete su različite učestalosti popravka. Održavanje je RS kombinirano, to jest preventivno, i određene jednostavne popravke obavlja sam korisnik, a korektivno, adaptivno i perfekтивно održavanje obavlja proizvođač ili serviser s certifikatima za obavljanje servisa specficirane opreme proizvođača. Vrijednosti raspoloživosti, pouzdanosti, sigurnosti, vrijeme u radu i vrijeme u otkazu RS-a za pet godina prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Raspoloživost i sigurnost osobnog računala nakon pet godina  
 Table 1 Availability and safety of personal computer after five year's period

	$\lambda = 222 \cdot 10^{-6}$		$C = 0,98$		
POKAZATELJ	$\mu = 2$	$\mu = 1$	$\mu = 0,2$	$\mu = 0,08$	$\mu = 0,042$
Raspoloživost	0,999956	0,999945	0,999856	0,999689	0,999438
Sigurnost	1	0,9999783	0,9998893	0,999723	0,9994723
Vrijeme u otkazu (h)	1,945951	2,432397	6,323152	13,614423	24,599631
Vrijeme u radu (h)	43828,05405	43827,5676	43823,67685	43816,38558	43805,40037

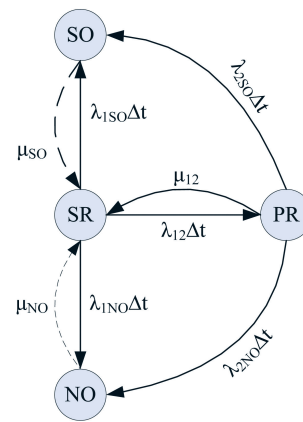
Promatrajući tablicu 1. može se zapaziti da, što je kraće srednje vrijeme do popravka kvara, raspoloživost i sigurnost osobnog računala raste, dakle se vrijeme u otkazu smanjuje, dok je pouzdanost jednaka. Uz to, najbolja je raspoloživost i sigurnost računala kada je učestalost popravka 2, odnosno MTTR (*Mean Time to Failure*), iznosi 30 min. Takvo se srednje vrijeme do popravka može postići jedino ako korisnik ima informatičko predznanje pa može provesti operacije korektivnoga i perfektivnog održavanja, posebno pri zamjeni modula hardvera (diska, pisača i sl.), instaliranja sustavnoga i aplikativnog softvera uz telefonsku ili internetsku podršku (upute i savjeti za instalacije i konfiguracije). Ako korisnik nije u mogućnosti otkloniti kvar, angažira se certificirana servisna služba. U takvim situacijama vrijeme do popravka može biti od 1 do 5 sati, pa je raspoloživost sustava od 99,9945 do 99,9856%. Serviser će i zatražiti pomoć kvalificiranih stručnjaka proizvođača, za što mora imati pisano odobrenje i suglasnost proizvođača opreme. Ako serviser nije u stanju otkloniti kvar uz pomoć stručnjaka proizvođača opreme, onda se angažiraju stručnjaci proizvođača. U takvim je situacijama vrijeme popravka kritičnih komponenata 12 sati (raspoloživost je 99,9689%), a za nekritične komponente 24 sata (raspoloživost je 99,9438%). Učestalost popravaka RS-a na brodu koji nema osposobljenu osobu za održavanje, ovisi o mogućnostima posade da dijagnosticira problem ili o blizini odgovarajućega ovlaštenog servisa ako su korisnici prisiljeni čekati serviseru iz brodske kompanije ili ovlašten servis (dolazak u određenu luku). Vrijeme popravka može se produžiti na više od 24 sata, pa čak i više od jednog tjedna. Da bi se nadvladali ti problemi, mnoge brodske kompanije nastoje osigurati *online* popravak ili osigurati rezervne dijelove. To je skup način koji se može izbjeći razvojem sustava s manjom učestalošću kvarova, ili onoga koji ima ugrađenu dijagnostiku i redundanciju, tako da sustav prevlada kvarove do zamjene neispravne komponente. Osim toga, za pojedine aktivnosti preventivnoga ili korektivnog održavanja mogu poslužiti usluge softverskih agenata.

### MARKOVLJEV MODEL REDUNDANTNOGA RS-a / Markov's redundant RS model

Grafički prikaz Markovljeva modela raspoloživosti redundantnog RS-a s vrućom pričuvom prikazan je na slici 3. Model sadržava četiri stanja koja predstavljaju sve konfiguracije sustava. Novo stanje je stanje PR, koje prikazuje kako je primarno računalo u otkazu, a da pričuvno računalo preuzima funkciju primarnog računala i nastavlja operativni rad.

Prijelazi iz stanja u stanje prikazani su na slici 3. Prijelaz iz stanja SR u stanje PR će se dogoditi kada primarno računalo otkáže, a dijagnostički program detektira kvar. Ako je dijagnostički program detektirao kvar na pričuvnom računalu, a oporavak primarnog računala nije završen, može se dogoditi prijelaz iz stanja PR u stanje SO, ili prijelaz iz stanja PR u stanje NO. Prijelaz iz PR u SO je sigurni prijelaz, a to znači da dijagnostički program generira tehničko

upozorenje o obveznom isključivanju pričuvnog računala pa operator izvršava isključivanje računala. Prijelaz iz stanja PR u stanje NO dogoditi će se kada dijagnostički program nije detektirao kvar na pričuvnom računalu, tj. kada pričuvno računalo „zamrzne“ rad. U takvim okolnostima mogu nastati neispravnosti na hardveru ili tekućim aplikacijama i podacima u otvorenim datotekama. Ostali su prijelazi jednaki onima u prethodnoj analizi, pa ih nema potrebe ponavljati.



Slika 3. Markovljev model redundantnog RS-a koji ima četiri stanja

Figure 3 Markov's redundant RS model having four states

Jednadžbe za Markovljev model mogu biti napisane u matricnom obliku

$$P_{RSTP}(t + \Delta t) = T_{RSTP} P_{RSTP}(t),$$

gdje je svaki element od  $P_{RSTP}(t)$  vjerojatnost da je redundantni RS s toplom pričuvom u određenom stanju u trenutku  $t$ . Svaki element od  $P_{RSTP}(t + \Delta t)$  predstavlja vjerojatnost da je RS u odgovarajućem stanju u trenutku  $t + \Delta t$ , i  $T_{RSTP}$  je matrica prijelaza iz stanja.

$$P_{RSTP}(t + \Delta t) = \begin{bmatrix} P_{SR}(t + \Delta t) \\ P_{PR}(t + \Delta t) \\ P_{SO}(t + \Delta t) \\ P_{NO}(t + \Delta t) \end{bmatrix}, \quad P_{RSTP}(t) = \begin{bmatrix} P_{SR}(t) \\ P_{PR}(t) \\ P_{SO}(t) \\ P_{NO}(t) \end{bmatrix},$$

$$T_{RSTP} = \begin{bmatrix} -(\lambda_{12} + \lambda_{1,SO} + \lambda_{1,NO}) & \mu_{21} & 0 & 0 \\ \mu_{21} & -(\lambda_{2,SO} + \lambda_{2,NO} + \mu_{21}) & 0 & 0 \\ \lambda_{1,SO} & \lambda_{2,SO} & 1 & 0 \\ \lambda_{1,NO} & \lambda_{2,NO} & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Opće rješenje jednadžbe Markovljeva modela dano je kao:

$$P(n \cdot \Delta t) = T^n P(0).$$

U skladu s Markovljevim modelom pouzdanosti redundantnoga RS-a, vjerojatnost da se RS nalazi u stanju SR i PR, koji su jedina stanja kada redundantni RS ispravno radi, to jest pouzdanost redundantnog sustava s toplom pričuvom može se napisati kao:

$$R_{RSTP}(t) = P_{SR}(t) + P_{PR}(t).$$

Tablica 2. Raspoloživost i pouzdanost redundantnoga računalnog sustava  
*Table 2 Availability and reliability of redundant computational system*

	$\lambda = 222 \cdot 10^{-6} \quad \lambda_m = 5 \cdot 10^{-4}$			C = 0,98	
POKAZATELJ	$\mu = 2$	$\mu = 1$	$\mu = 0,2$	$\mu = 0,08$	$\mu = 0,042$
Raspoloživost	1	1	1	0,999999	0,999998
Sigurnost	1	1	1	1	1
Pouzdanost	0,98343	0,981356	0,977224	0,9352	0,892568
Vrijeme u otkazu(h)	0,0029	0,00345	0,004684	0,027685	0,072648
Vrijeme u radu(h)	43829,9971	43829,99655	43829,99532	43829,97232	43829,92735

Također, u skladu s Markovljevim modelom raspoloživosti (ispredani lukovi na slici 3.) vjerojatnost je da će redundantni RS biti u stanju SR i PR i izvršavati svoje funkcije u danom vremenu. Zbog toga, raspoloživost redundantnog RS-a s toplom pričuvom može se napisati kao:

$$A_{RSTP}(t) = P_{SR}(t) + P_{PR}(t).$$

S obzirom na Markovljev model redundantnoga RS-a s toplom pričuvom prikazanoga na slici 3., koji je siguran sve dok je u jednome od tri stanja - stanju SR, stanju PR i stanju SO. Sigurnost redundantnoga RS-a s toplom pričuvom može se izraziti kao:

$$S_{RSTP}(t) = P_{SR}(t) + P_{PR}(t) + P_{SO}(t).$$

Analiza je izvršena s učestalošću otkaza računala  $222 \times 10^{-6}$ , faktorom pokrivanja pogrešaka od 0,98 i učestalošću popravka  $\mu_{SO}=6$  (MTTR je 10 min). U analizi pokazatelja kvalitete redundantnoga sustava uzete su različite vrijednosti učestalosti popravaka. Vrijednosti raspoloživosti, pouzdanosti, sigurnosti, vrijeme u radu i vrijeme u otkazu redundantnog RS-a za pet godina - dani su u tablici 2.

Promatrajući tablicu 2. može se uočiti da raspoloživost redundantnog sustava teži prema idealnom i visokoraspoloživom sustavu, a to znači da je sustav 100%-tno vremenski raspoloživ i siguran za operativni rad. Ta se raspoloživost postiže uz dobru organizaciju održavanja i educiranjem korisnika. Bitna razlika u usporedbi s prethodnom analizom: redundantni je RS puno pouzdaniji, sigurniji i raspoloživiji.

## MJERE ZA POBOLJŠANJE POKAZATELJA KVALITETE RS-a / Measures for improving the indicators of RS quality

Pouzdanost i raspoloživost u procesu eksploatacije računalnog sustava dadu se povećati sljedećim mjerama:

- organizacija eksploatacije i održavanja na znanstvenim temeljima,
- osiguranje stručnoga tehničkog osoblja u svakom sustavu,
- kvalitetni sustav napajanja (redundantni sustav napajanja),
- kvalitetnom pripremom i kontinuiranim povećanjem razine osposobljenosti korisnika, tako da učestalost popravka bude dva reda veličine od učestalosti otkaza kritičnih komponenata,
- redundantna klimatizacija s konstantnom temperaturom,
- snimanje i pravilno čuvanje sigurnosnih kopija podataka,
- kontinuirano ažuriranje podataka u informacijskom sustavu za upravljanje održavanjem,
- kontinuirano praćenje log-datoteka,
- nadogradnja računala modulima koji povećavaju brzinu rada i stabilnost RS-a (uporaba visokopouzdanih RS-a - učestalost je otkaza reda  $10^{-7}h^{-1}$ ,

- pronalaženje uzroka kvara RS-a, zamjena neispravnih modula i njihovo testiranje,
  - instaliranje antivirusnih i zaštitnih softvera,
  - detaljna razrada procedura za popravak glavnih komponenata podsustava,
  - osiguravanje minimalne količine kritičnih modula sustava,
  - ažurna tehnička dokumentacija,
  - kontinuirano prognoziranje kvarova modula, uređaja...
- Ove mjere jamče visoku razinu pouzdanosti, raspoloživosti i sigurnosti kritičnih komponenata u podsustavu.

## ZAKLJUČAK / Conclusion

Kvaliteta i razina pružanja računalne podrške u pomorskim procesima uvelike ovise o kvaliteti hardvera, programskoj podršci, mreži, osoblju i organizaciji korištenja računalnim resursima.

Bitna obilježja RS-a proizlaze iz kvalitete hardverskih i softverskih modula te dijagnostičkih programa u svakome modulu. Gotovo svi hardverski i softverski moduli imaju sposobnost toleriranja kvarova. Primjenjuju se različite tehnike, među kojima su najčešće hardverska, softverska, vremenska i informacijska redundancija. Kombinacijom tih tehnika može se postići ciljana pouzdanost i raspoloživost računalnog sustava kao glavna komponenta u pomorskom sustavu. Na raspoloživost RS-a veliki utjecaj ima i strategija održavanja, odnosno kvaliteta informacijskog sustava za upravljanje održavanjem.

Promatrajući tablice pokazatelja kvalitete RS-a može se zapaziti sljedeće: raspoloživost, sigurnost i sustav u otkazu se povećavaju, a sustav u radu smanjuje se s porastom srednjeg vremena do popravka, ili smanjenjem učestalosti popravaka.

Za redundantni sustav s toplom pričuvom, pokazatelji kvalitete sustava pokazuju da je takav sustav visokopouzdan i raspoloživ u pomorskim sustavima.

Ovi rezultati mogu se postići i održavati jedino ako RS održava stručno tehničko osoblje koje će u svakom trenutku reagirati na svaki hardverski i/ili softverski problem u radu.

## LITERATURA / References

- [1] IALA Recommendation V-128 Edition 3.0, June 2007: "Operational and Technical Performance Requirements for VTS Equipment".
- [2] V. Tomas: "Model distribuiranog dijagnostičkog sistema brodskih elektroenergetskih postrojenja", doctoral dissertation, Faculty of Maritime Studies, University of Rijeka, Croatia, 2003.
- [3] M. L. Shooman: Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design, J. Wiley & Sons, 2002.
- [4] P. Ristov: "Doprinos pouzdanosti i raspoloživosti sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom na Jadranu", doctoral dissertation, Faculty of Maritime Studies, University of Rijeka, Croatia, 2012.
- [5] T. Budny: "Two various approaches to VTS Zatoka radar system reliability analysis", RTA #3-4, 2007, Faculty of navigation, Gdynia, Poland.