

1 Efektivnost sistema

Efektivnost sistema je širi pojam od pojma pouzdanosti sistema, iako se pouzdanost može izučavati kao zasebna celina. Pod pojmom efektivnosti podrazumeva se sposobnost sistema da obavi funkciju za koju je namenjen uključujući tu frekvenciju sa kojom se dešavaju otkazi, teškoće koje se javljaju u toku popravki i održavanja, kao i podobnost sistema da obavi funkciju kada radi u skladu sa konstrukcijskim karakteristikama. (Vujanović, 1990)

Efektivnost sistema se može predstaviti izrazom (1) u obliku proizvoda tri verovatnoće:

$$P_{ES} = P_{OG} \cdot P_{PZ} \cdot P_{FP} \quad (1)$$

gde su:

- P_{ES} - verovatnoća efektivnosti sistema,
- P_{OG} - verovatnoća operativne gotovosti,
- P_{PZ} - verovatnoća pouzdanosti zadatka,
- P_{FP} - verovatnoća funkcionalne podobnosti.

Operativna gotovost je pokazatelj efektivnosti, na osnovu kojeg se razmatra spremnost sistema da izvrši zadatak u datom trenutku vremena. Ona zapravo predstavlja verovatnoću, da sistem pod određenim uslovima funkcioniše, u bilo kom trenutku, ili je spreman za upotrebu kada se to zahteva. Osnova za izračunavanje operativne gotovosti je ukupno vreme koje obuhvata vreme skladištenja, slobodno vreme, vreme u radu i vreme u otkazu. Prema tome može se relacijom (2) napisati da je operativna gotovost:

$$P_{OG} = \frac{T_r + T_{nk}}{T_r + T_{nk} + T_o} \quad (2)$$

gde su:

- T_r - vreme rada (ispravno stanje)
- T_{nk} - vreme kada se sistem ne koristi ali je spreman za upotrebu
- T_o - vreme otkaza (stanje otkaza)

Operativna podobnost sistema je verovatnoća da sistem uspešno izvrši svoj zadatak. Prilikom konstruisanja nekog sistema često se pretpostavlja funkcionisanje sistema u različitim režimima rada ali ne mora svaki od ovih režima biti uspešan. Kako bi efektivnost sistema bila realizovana potrebno je prilikom konstruisanja sistema eliminisati problem rada u režimima koji ne doprinose operativnoj podobnosti.

Pouzdanost zadatka predstavlja verovatnoću da će sistem funkcionisati u režimu rada za koji je konstruisan u toku trajanja zadatka tj određuje verovatnoću da system neće otkazati u toku trajanja zadatka.

Operativna raspoloživost (P_{OR}) je još jedan od parametara kojim se može definisati efektivnost. Predstavlja verovatnoću da će sistem uspešno funkcionisati u bilo kom trenutku vremena. Operativna raspoloživost se izračunava preko odnosa vremena ispravnog rada i vremena u otkazu, kao što je prikazano relacijom (3). Prilikom izračunavanja operativne raspoloživosti ne uzima se u obzir vreme kada se sistem ne koristi ali je spreman za upotrebu.

$$P_{OR} = \frac{T_r}{T_r + T_o} \quad (3)$$

gde je:

T_r - vreme rada
 T_o - vreme otkaza

Vreme rada sistema (T_r) predstavlja zbir pojedinačnih vremena sistema u radu (t_{ri}) i obuhvata vreme u radu i vreme čekanja na rad. Vreme otkaza sistema (T_o) predstavlja zbir pojedinačnih vremena sistema u otkazu (t_{oj}) i obuhvata administrativno vreme, logističko vreme, vreme čekanja na opravku i aktivno vreme održavanja. Operativna raspoloživost se može, prema tome, predstaviti relacijom (4).

$$P_{OR} = \frac{T_r}{T_r + T_o} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ri}}{\sum_{i=1}^n t_{ri} + \sum_{j=1}^m t_{oj}} \quad (4)$$

Posmatra se sistem koji se obnavlja održavanjem ili popravkama, kod popravljivih sistema. Vreme sistema u radu je srednje vreme između otkaza MTBF (eng. Mean Time Between Failure) i izračunava se na osnovu relacije (5).

$$\bar{t}_r = MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{ri} \quad (5)$$

gde je:

n - ukupan broj segmenata vremena ispravnih stanja u ukupnom vremenu
 t_{ri} - i -to vreme u radu

Srednje vreme u otkazu MDT (eng. Mean Down Time) predstavlja zbir srednjeg vremena kada sistem ne radi. Izračunava se na osnovu izraza (6).

$$\bar{t}_o = MTD = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_{oj} \quad (6)$$

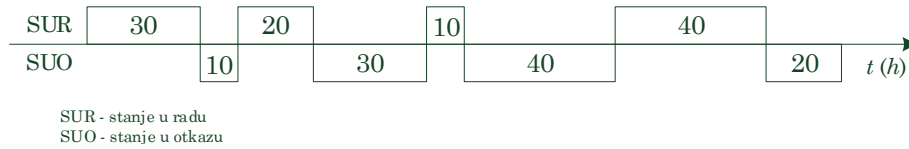
gde je:

m - ukupan broj segmenata vremena u otkazu u ukupnom vremenu
 t_{oj} - j -to vreme u otkazu

Raspoloživost se izračunava preko odnosa segmenata ispravnog stanja i stanja u otkazu te se izraz (4) može napisati i relacijom (7).

$$P_{OR} = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_o} = \frac{MTBF}{MTBF + MTD} \quad (7)$$

Zadatak 1. Na osnovu vremenske slike stanja sistema (slika 1) odrediti operativnu raspoloživost sistema.



Slika 1: Vremenska slika stanja sistema

Rešenje: Operativna raspoloživost sistema određuje se na osnovu formule (4):

$$P_{OR} = \frac{T_r}{T_r + T_o} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ri}}{\sum_{i=1}^n t_{ri} + \sum_{j=1}^m t_{oj}} = \frac{30 + 20 + 10 + 50}{(30 + 20 + 10 + 50) + (10 + 30 + 40 + 20)} = \frac{110}{210} = 0,52.$$

Zadatak 2. Iz prosečne vremenske slike stanja jednog sistema u toku nedelje dobijeni su sledeći podaci: sistem radi 14 časa dnevno; na vreme zastoja (zbog postupaka korektivnog održavanja) otpada 14 časova nedeljno. Odrediti operativnu gotovost i operativnu raspoloživost sistema.

Rešenje: Na osnovu uslova zadatka ukupno vreme ispravnog rada sistema je:

$$t_r = 14 \text{ h/dan}$$

$$T_r = 7 \cdot 14 = 98 \text{ h/ ned}$$

Vreme u otkazu je:

$$T_o = 14 \text{ h/ ned}$$

Vreme kada se sistem ne koristi ali je spreman za upotrebu T_{nk} (sistem je ispravan, ne obavljaju se popravke, niti se koristi - slobodno vreme) je:

$$T_{nk} = 168 - 98 - 14 = 56 \text{ h/ ned}$$

gde je $7 \cdot 24 = 168 \text{ h}$ ukupan broj sati u nedelji.

Znači, vreme koje ispravan sistem čeka na upotrebu se izračunava na sledeći način. Od ukupnog raspoloživog vremena sistema (168 h) oduzeto je ukupno vreme rada sistema (98h) i vreme sistema u otkazu (14h).

Operativna gotovost sistema određuje se na osnovu formule (2),

$$P_{OG} = \frac{T_r + T_{nk}}{T_r + T_{nk} + T_o} = \frac{98 + 56}{98 + 56 + 14} = \frac{154}{168} = 0,92$$

a operativna raspoloživost sistema određuje se na osnovu formule (4):

$$P_{OR} = \frac{T_r}{T_r + T_o} = \frac{98}{98 + 14} = \frac{98}{112} = 0,875.$$

Zadatak 3. Za sistem čije je vreme u radu i vreme u otkazu dato u tabeli 1, odrediti operativnu raspoloživost i konstruisati vremensku sliku stanja sistema.

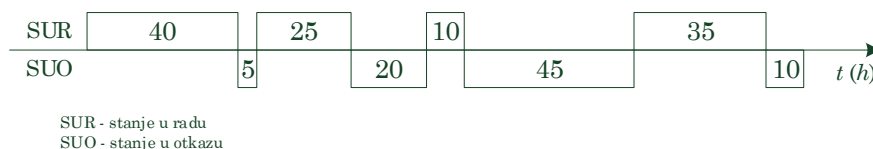
Tabela 1: Vremena u radu i vreme u otkazu

	Vreme (h)			
	U radu (h)	40	25	10
U otkazu (h)	5	20	45	10

Rešenje: Na osnovu polaznih podataka, koristeći formulu (4), određuje se operativna raspoloživost sistema, kao:

$$P_{OR} = \frac{T_r}{T_r + T_o} = \frac{40 + 25 + 10 + 35}{(40 + 25 + 10 + 35) + (5 + 20 + 45 + 10)} = \frac{110}{110 + 80} = 0,58.$$

Na osnovu polaznih podataka o vremenima u radu i vremenima u otkazu konstruiše se vremenska slika stanja sistema, koja je prikazana na slici 2.



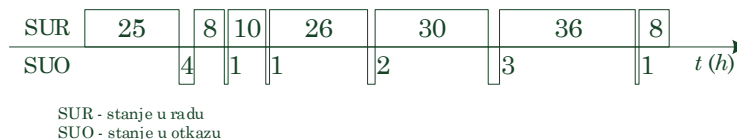
Slika 2: Vremenska slika stanja sistema

Zadatak 4. Nacrtati vremensku sliku stanja sistema za podatke date u tabeli 2, i izračunati srednje vreme sistema u radu (\bar{t}_r) i srednje vreme sistema u otkazu (\bar{t}_o). Odrediti kolika je raspoloživost sistema.

Tabela 2: Vremena u radu i otkazu

Vreme	U radu (h)							U otkazu (h)					
Element	25	8	10	26	30	36	8	4	1	1	2	3	1

Rešenje: Na osnovu polaznih podataka, vremenska slika stanja sistema je prikazana na slici 3.



Slika 3: Vremenska slika stanja sistema

Srednje vreme u radu sistema izračunava se po formuli (5), kao:

$$\bar{t}_r = MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{r_i} = \frac{25 + 8 + 10 + 26 + 30 + 36 + 8}{7} = 20,43 \text{ h},$$

a za izračunavanje srednjeg vremena u otkazu sistema koristi se formula (6):

$$\bar{t}_o = MTD = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_{o_j} = \frac{4 + 1 + 1 + 2 + 3 + 1}{6} = 2 \text{ h}.$$

Na osnovu izračunatih srednjih vremena sistema u radu i otkazu, moguće je izračunati operativnu raspoloživost sistema pomoću formule (7), kao:

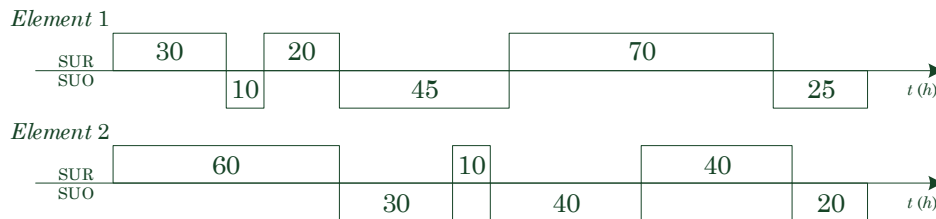
$$P_{OR} = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_o} = \frac{MTBF}{MTFB + MTD} = \frac{20,43}{20,43 + 2} = 0,91.$$

Zadatak 5. Dva redno vezana elementa (slika 4) čine sistem. Njihove vremenske slike stanja su date su na slici 5. Potrebno je:

- nacrtati vremensku sliku stanja sistema, i
- odrediti operativnu raspoloživost sistema.



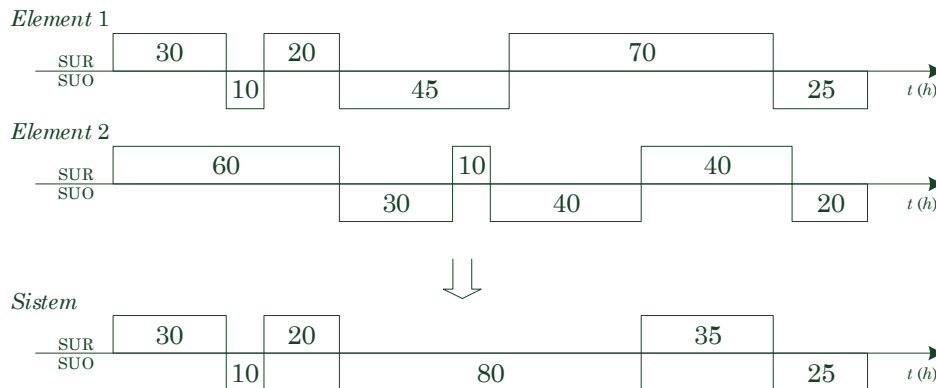
Slika 4: Blok dijagram dva redno vezana elementa u sistem



Slika 5: Vremenska slika stanja elemenata sistema

Rešenje:

- Sistem, koji sačinjavaju dva redno povezana elementa (slika 4), je U RADU samo ukoliko oba elementa budu U RADU. Vremenska slika stanja sistema je predstavljena na Slici 6.



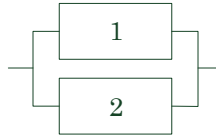
Slika 6: Vremenska slika stanja sistema dva redno povezana elementa

- Operativna raspoloživost sistema izračunava se po formuli (4):

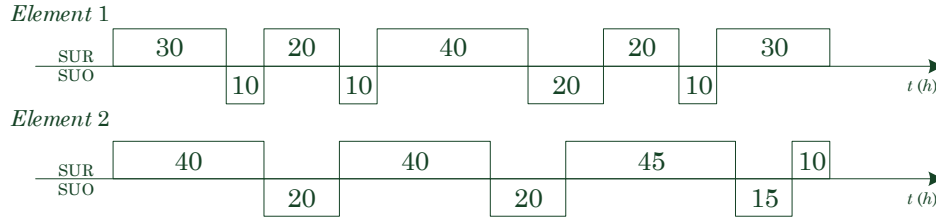
$$P_{OR} = \frac{T_r}{T_r + T_o} = \frac{30 + 20 + 35}{(30 + 20 + 35) + (10 + 80 + 25)} = \frac{85}{200} = 0,425$$

Zadatak 6. Za sistem koji se sastoji od dva paralelno vezana elementa (slika 7) prikazane su vremenske slike stanja na slici 8. Potrebno je:

- nacrtati vremensku sliku stanja sistema, i
- odrediti operativnu raspoloživost sistema.



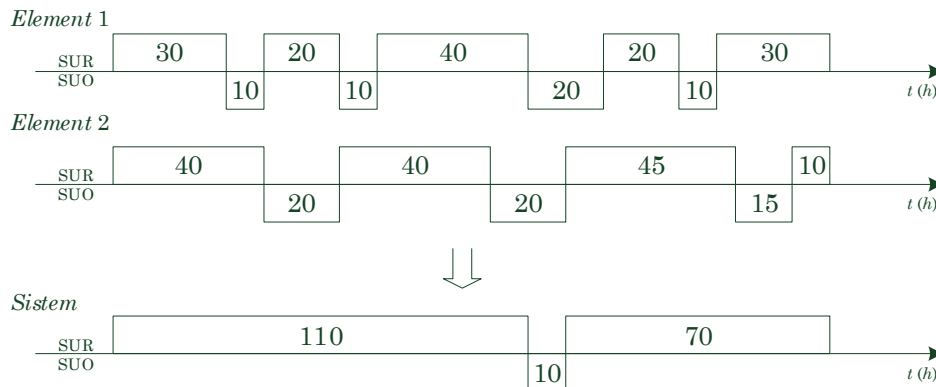
Slika 7: Blok dijagram dva paralelno vezana elementa u sistem



Slika 8: Vremenska slika stanja elemenata sistema

Rešenje:

- a) Kod sistema čiji se elementi nalaze u paralelnoj vezi sistem će biti U RADU ako je bilo koji od elemenata sistema U RADU. Vremenska slika stanja sistema dva paralelno vezana elementa prikazana je na slici 9.

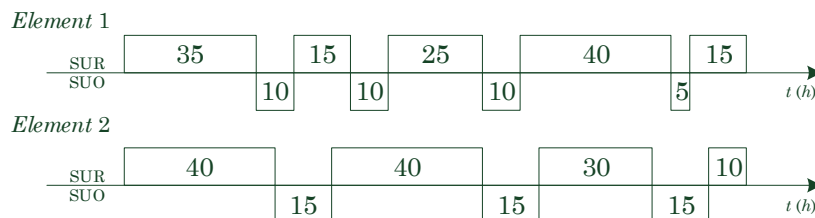


Slika 9: Vremenska slika stanja sistema dva paralelno povezana elementa

- b) Operativna raspoloživost sistema izračunava se na osnovu slike stanja sistema pomoću formule (4), kao:

$$P_{OR} = \frac{T_r}{T_r + T_o} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ri}}{\sum_{i=1}^n t_{ri} + \sum_{j=1}^m t_{oj}} = \frac{110 + 70}{(110 + 70) + 10} = \frac{180}{190} = 0,95$$

Zadatak 7. Sistem se sastoji od dva paralelno vezana elementa. Vremenske slike stanja elemenata sistema su prikazane na slici 10.



Slika 10: Vremenska slika stanja elemenata sistema

Potrebno je odrediti:

- Srednje vreme u radu elemenata
- Srednje vreme u otkazu elemenata
- Vremensku sliku stanja sistema
- Srednje vreme u radu sistema
- Srednje vreme u otkazu sistema
- Raspoloživost elemenata
- Raspoloživost sistema

Rešenje:

- Srednje vreme u radu elemenata

$$\bar{t}_{r1} = \frac{35 + 15 + 25 + 40 + 15}{5} = \frac{130}{5} = 26 \text{ h}$$

$$\bar{t}_{r2} = \frac{40 + 40 + 30 + 10}{4} = \frac{120}{4} = 30 \text{ h}$$

- Srednje vreme u otkazu elemenata

$$\bar{t}_{o1} = \frac{10 + 10 + 10 + 5}{4} = \frac{35}{4} = 8,75 \text{ h}$$

$$\bar{t}_{o2} = \frac{15 + 15 + 15}{3} = \frac{45}{3} = 15 \text{ h}$$

- Vremenska slika stanja sistema dva paralelno povezana elementa je prikazana na slici 11.



Slika 11: Vremenska slika stanja sistema dva paralelno povezana elementa

- Srednje vreme u radu sistema

$$\bar{t}_{rs} = \frac{40 + 50 + 40 + 15}{4} = \frac{145}{4} = 36,25 \text{ h}$$

- Srednje vreme otkaza sistema

$$\bar{t}_{os} = \frac{5 + 10 + 5}{3} = \frac{20}{3} = 6,67 \text{ h}$$

- Raspoloživost elemenata sistema

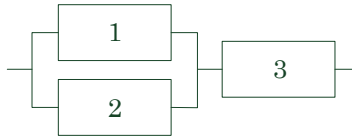
$$P_{OR1} = \frac{\bar{t}_{r1}}{\bar{t}_{r1} + \bar{t}_{o1}} = \frac{26}{26 + 8,75} = 0,75$$

$$P_{OR2} = \frac{\bar{t}_{r2}}{\bar{t}_{r2} + \bar{t}_{o2}} = \frac{30}{30 + 15} = 0,67$$

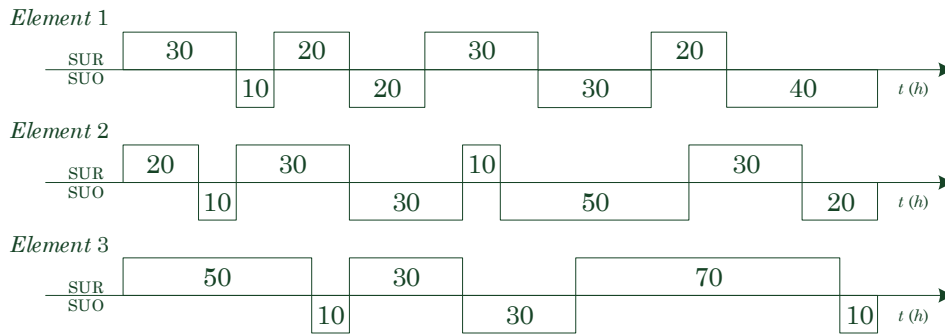
- Raspoloživost sistema

$$P_{ORs} = \frac{\bar{t}_{rs}}{\bar{t}_{rs} + \bar{t}_{os}} = \frac{36,25}{36,25 + 6,67} = 0,84$$

Zadatak 8. Složen sistem se sastoji od tri elementa. Njegov blok dijagram je prikazan na slici 12. Vremenske slike stanja elemenata sistema su prikazane na slici 13. Potrebno je nacrtati vremensku sliku stanja sistema i na osnovu nje odrediti operativnu raspoloživost sistema.



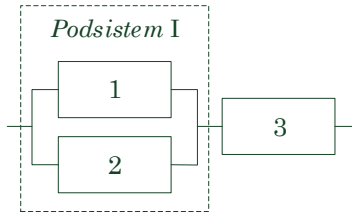
Slika 12: Blok dijagram složenog sistema



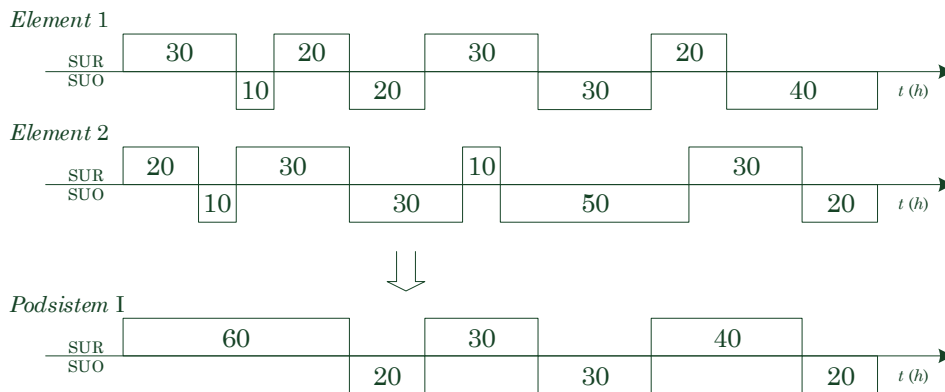
Slika 13: Vremenske slike stanja elemenata sistema

Rešenje:

Kako je sistem složene strukture, najpre se konstruiše podsistem I, koji je prikazan na slici 14. Njega čine elementi 1 i 2, koji su u paralelnoj vezi. Vremenska slika stanja podsistema I je prikazana na slici 15.



Slika 14: Prikaz podsistema I

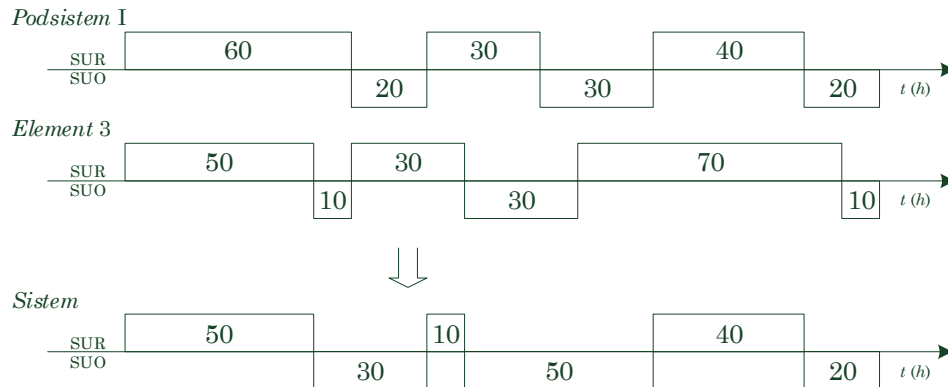


Slika 15: Vremenska slika stanja podsistema I

Složeni sistem je sada sastavljen od podsistema I i elementa 3, koji su međusobno redno povezani, kao što je prikazano na slici 16. Zato se vremenska slika stanja složenog sistema određuje za rednu vezu podsistema I i elementa 3, što je prikazano na slici 17.



Slika 16: Redna veza podsistema I i elementa 3

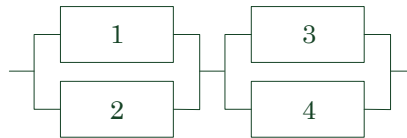


Slika 17: Vremenska slika stanja složenog sistema

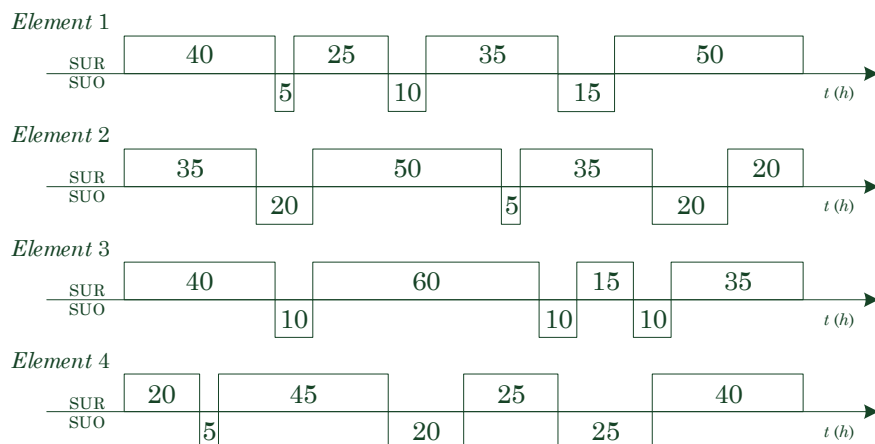
Na osnovu slike stanja izračunava se operativna raspoloživost složenog sistema:

$$P_{OR} = \frac{T_r}{T_r + T_o} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ri}}{\sum_{i=1}^n t_{ri} + \sum_{j=1}^m t_{oj}} = \frac{50 + 10 + 40}{(50 + 10 + 40) + (30 + 50 + 20)} = \frac{100}{200} = 0,5$$

Zadatak 9. Sistem se sastoji od četiri elementa, kao što je prikazano blok dijagramom na slici 18. Vremenske slike stanja elemenata sistema prikazane su na slici 19.



Slika 18: Blok dijagram složenog sistema



Slika 19: Vremenske slike stanja elemenata sistema

Potrebno je odrediti:

- Srednje vreme u radu elemenata
- Srednje vreme u otkazu elemenata

- c) Vremensku sliku stanja sistema
- d) Srednje vreme u radu sistema
- e) Srednje vreme u otkazu sistema
- f) Raspoloživost sistema

Rešenje:

- a) Srednje vreme u radu elemenata

$$\bar{t}_{r1} = \frac{40 + 25 + 35 + 50}{4} = \frac{150}{4} = 37,5 \text{ h}$$

$$\bar{t}_{r2} = \frac{35 + 50 + 35 + 20}{4} = \frac{140}{4} = 35 \text{ h}$$

$$\bar{t}_{r3} = \frac{40 + 60 + 15 + 35}{4} = \frac{150}{4} = 37,5 \text{ h}$$

$$\bar{t}_{r4} = \frac{20 + 45 + 25 + 40}{4} = \frac{130}{4} = 32,5 \text{ h}$$

- b) Srednje vreme u otkazu elemenata

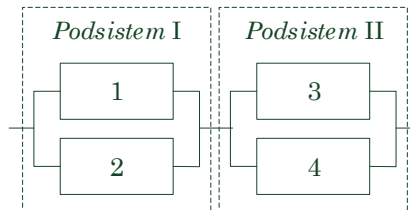
$$\bar{t}_{o1} = \frac{5 + 10 + 15}{3} = \frac{30}{3} = 10 \text{ h}$$

$$\bar{t}_{o2} = \frac{20 + 5 + 20}{3} = \frac{45}{3} = 15 \text{ h}$$

$$\bar{t}_{o3} = \frac{10 + 10 + 10}{3} = \frac{30}{3} = 10 \text{ h}$$

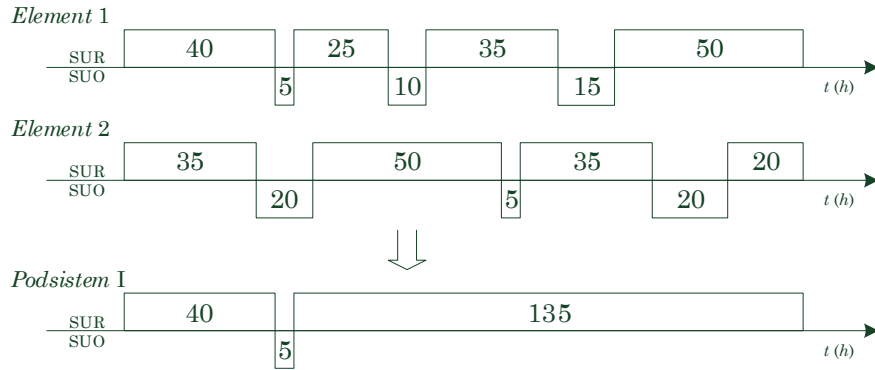
$$\bar{t}_{o4} = \frac{5 + 20 + 25}{3} = \frac{50}{3} = 16,67 \text{ h}$$

- c) Kako je sistem složene strukture, najpre se konstruišu podsistemi I i II, koji su prikazani na slici 20. Podsystem I sačinjavaju elementi 1 i 2, koji su u paralelnoj vezi. Podsystem II sačinjavaju elementi 3 i 4, koji su takođe u paralelnoj vezi. Nakon redukcije, podsistemi I i II su povezani u rednoj vezi. Dakle, vremenska slika stanja sistema se određuje tako što se sistem posmatra kao dva redno vezana podsistema I i II, od kojih se svaki sastoji od paralelnih veza dva elementa (slika 20).



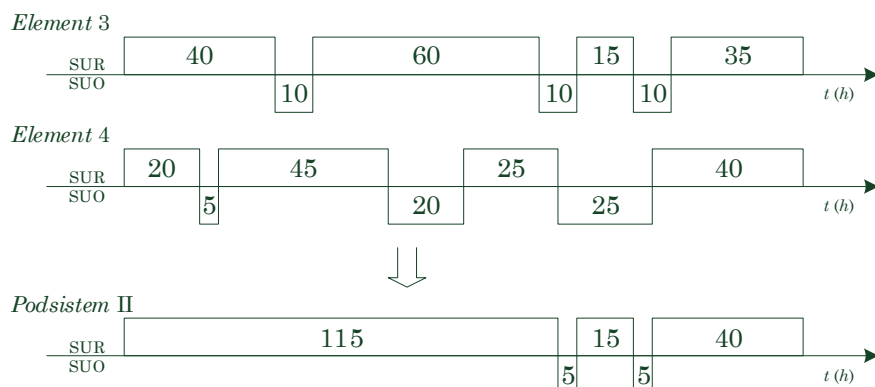
Slika 18: Prikaz podsistema I i II

Vremenska slika stanja podsistema I prikazana je na slici 21.



Slika 19: Vremenska slika stanja podsistema I

Vremenska slika stanja podsistema II prikazana je na slici 22.

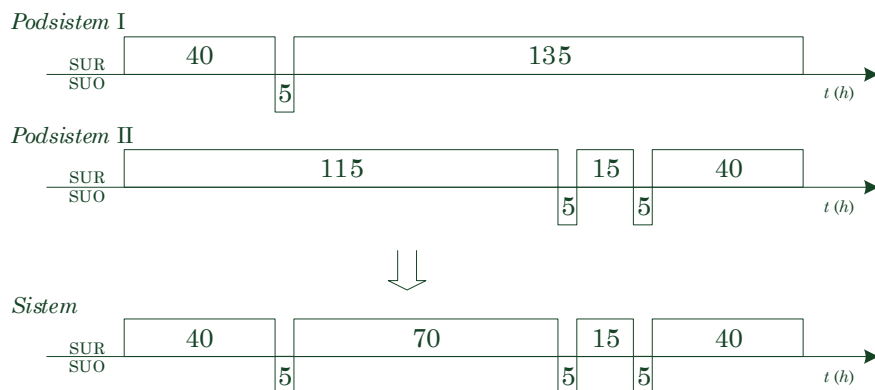


Slika 20: Vremenska slika stanja podsistema I

Složeni sistem je sada sastavljen od podsistema I i II, koji su međusobno redno povezani (slika 23). Vremenska slika stanja sistema je prikazana na slici 24.



Slika 23: Redna veza podsistema I i II



Slika 24: Vremenska slika stanja složenog sistema

d) Srednje vreme u radu sistema

$$\bar{t}_{rs} = \frac{40 + 70 + 15 + 40}{4} = \frac{165}{4} = 41,25 \text{ h}$$

e) Srednje vreme u otkazu sistema

$$\bar{t}_{os} = \frac{5+5+5}{3} = \frac{15}{3} = 5 \text{ h}$$

f) Operativna raspoloživost sistema

$$P_{OR} = \frac{\bar{t}_{rs}}{\bar{t}_{rs} + \bar{t}_{os}} = \frac{41,25}{41,25 + 5} = 0,892 = 89,2 \%$$