GRAĐEVINSKI STROJEVI

IX PREDAVANJE

UČINKOVITOST I POUZDANOST TEHNIČKIH SUSTAVA

Sveučilite u Zagrebu, Građevinski fakultet; doc. dr. sc. Mladen Vukomanović

SADRŽAJ

1. UČINKOVITOST TEHNIČKIH SUSTAVA
2. POUZDANOST TEHNIČKIH SUSTAVA

ŠTO JE UČINKOVITOST ?

- Učinkovitost (efektivnost) tehničkog sustava U(t) je vjerojatnost (ili očekivanje) da će taj sustav uspješno stupiti u djelovanje (u "rad") i pouzdano izvršavati svoju zadaću.
- Dakle, učinkovito djelovati u području dozvoljenih odstupanja od očekivanog ili pretpostavljenog izvršenja u planiranom razdoblju (t = T) njegova djelovanja i u očekivanim (pretpostavljenim) uvjetima njegova okruženja.

KONCEPT UČINKOVITOSTI

Definicija učinkovitosti označava sljedeće:

- Da se učinkovitost mjeri preko vjerojatnosti
- Da je učinkovitost povezana sa učinkom sustava
- Da je učinkovitost funkcija vremena
- Da je učinkovitost funkcija okoline ili uvjeta u kojima se sustav koristi
- Da se učinkovitost može mijenjati ovisno o zadatku koji se izvršava

OD ČEGA SE SASTOJI POUZDANOST

KAKO IZRAŽAVAMO UČINKOVITOST?

$$U(t) = S(t) * P(t) * Fp(t)$$

gdje je:

U(t) = učinkovitost (efektivnost) sustava,

S(t) = spremnost (raspoloživost) sustava,

P(t) = pouzdanost sustava,

Fp(t) = funkcionalna prilagodljivosti sustava.

ŠTO JE SPREMNOST SUSTAVA ?

- **Spremnost tehničkog sustava S(t) je vjerojatnost** (ili očekivanje) **da će sustav uspješno stupiti u djelovanje** (u području dozvoljenih odstupanja od očekivanog izvršenja njegove zadaće)

- **Kada?** U bilo kojem trenutku **(t)** kada se to od njega očekuje ili „traži“ u planiranom razdoblju **(t = T)** njegova djelovanja i u očekivanim (pretpostavljenim) uvjetima njegova okruženja.

ŠTO JE POUZDANOST SUSTAVA ?

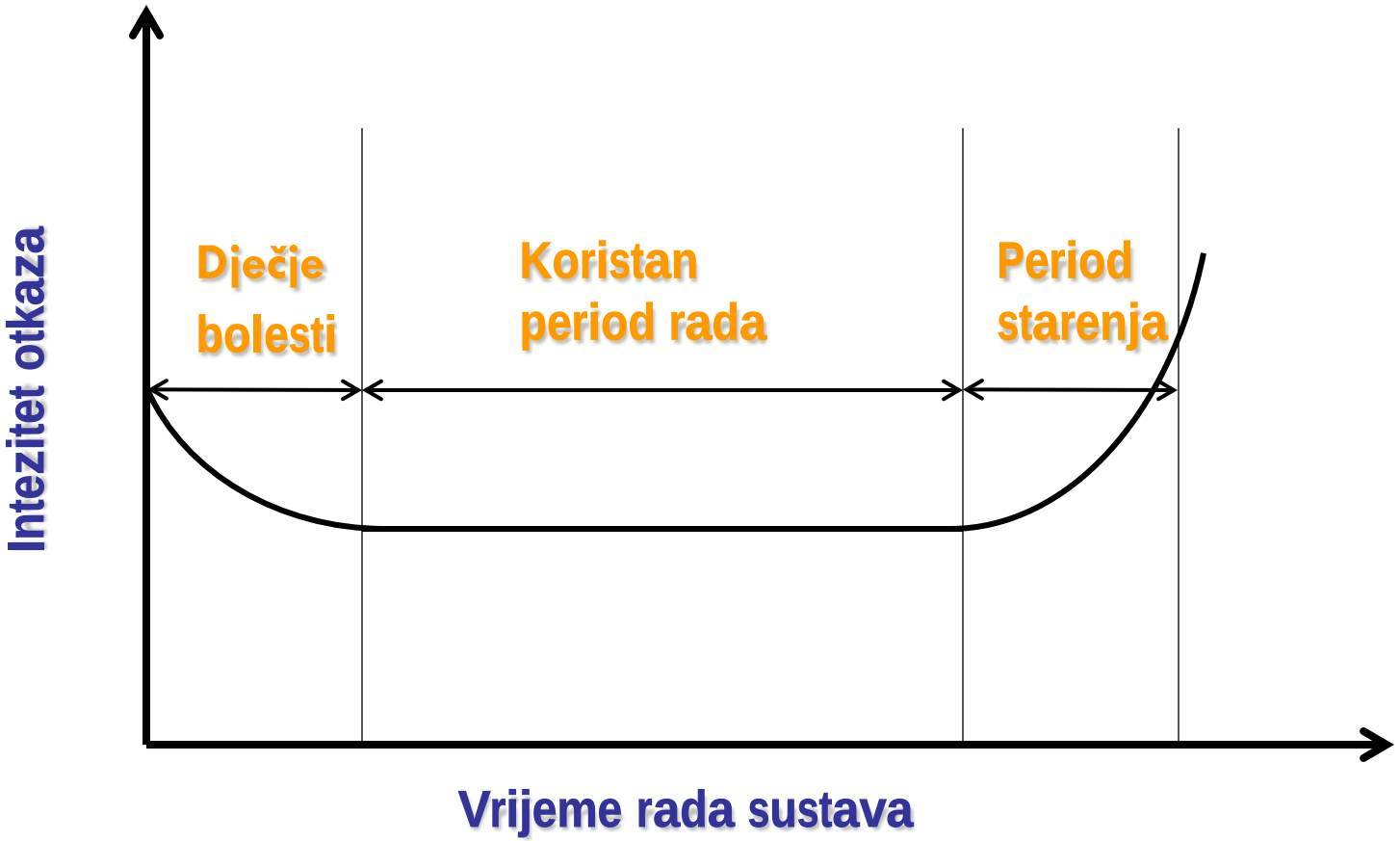
- Pouzdanost tehničkog sustava P(t) je vjerojatnost (ili očekivanje) da će sustav pouzdano izvršavati svoju zadaću

- Dakle, učinkovito djelovati u području dozvoljenih odstupanja od očekivanog ili pretpostavljenog izvršenja, koja im je namijenjena u planiranom razdoblju (t = T) i u očekivanim (pretpostavljenim) uvjetima njegova okruženja.

ŠTO JE POUZDANOST SUSTAVA ?

Pouzdanost je dakle **broj između 0 i 1** ili 0 i 100%. Može se definirati kao **odnos između broja uspješno obavljenih zadataka** sustava n1(t) i **broja neuspješno obavljenih zadataka** sustava n2(t)

INTEZITET OTKAZA



GENEZA POUZDANOSTI

- 1930. razvoj zrakoplovne industrije (prosječni broja otkaza ili prosječni intenzitet otkaza po avionu)
- 1940. njemačke rakete V1. Prvobitni koncept bio je izražen pravilom da je lanac jak kao i njegova najslabija karika. Međutim, projektil je imao 100% otkaza. Kao rezultat poboljšana je pouzdanost njegovih sastavnica, tako da je sada projektil V1 uspješno funkcionirao u 60% svih lansiranja.

GENEZA POUZDANOSTI

- 1940. SAD također osjeća posljedice nepouzdanosti. Oko 60% opreme koju su prevozili na Pacifičko bojište bilo je neispravno, 50% rezervnih dijelova na skladištu bilo je neispravno, a elektronika na bombarderima imala je prosječno vrijeme otkazivanja od svega 20 sati.
- 1950. SAD u korejskom ratu oko 70% mornaričke elektronike nije funkcioniralo. Za svaki dolar vrijednosti elektroničke opreme troši se 2 dolara na održavanje. Oko tri četvrtine opreme nalazi na popravku ili se ne može koristiti.

GENEZA POUZDANOSTI

- 1950. ministarstvo obrane SAD-a osnovalo je odbor za pouzdanost koji je od 1952. poznat pod akronimom AGREE.
- Zadatak mu je da upravlja i stimulira interes za pouzdanost i da predlaže mjere koje će rezultirati u pouzdanijoj elektronskoj opremi.
- Kasnije su osnovani i drugi odbori fokusirani svaki na svoje specifičnije područje djelovanja.
- Nakon 1950-tih, teorija pouzdanosti se razvija i širi u druge discipline, npr. RELIABILITY ENGINEERING

ŠTO JE FUNKCIONALNA PRILAGODLJIVOST SUSTAVA ?

- **Funkcionalna prilagodljivost tehničkog sustava Fp(t) je vjerojatnost (ili očekivanje) da će se sustav u planiranom razdoblju (t = T) njegovog djelovanja uspješno prilagoditi mogućim promjenama uvjeta njegova okruženja koja bi mogla na bilo koji način djelovati na učinkovitost sustava.**

Učinkovitost U(t), kao funkcija vremena (t) ima (kao vjerojatnost ili očekivanje) vrijednost ;

$$0 \leq U(t) \leq 1$$

Vrijednosti ostalih funkcija stoga su također;

$$0 \leq S(t) \leq 1, \quad 0 \leq P(t) \leq 1 \quad \text{i } 0 \leq Fp(t) \leq 1.$$

KOJA SU STANJA TEHNIČKIH SUSTAVA?

Svaki tehnički sustav može se nalaziti u:

- radnom stanju
- u kvaru

KADA JE SUSTAV U RADNOM STANJU?

Sustav je u radnom stanju ako može djelovati u granicama dozvoljenih odstupanja od očekivanog izvršenja njegove zadaće.

ŠTO JE KVAR?

Kvar je posljedica podložnosti sustava prekidima u radu uslijed raznih vanjskih i unutarnjih predvidivih (mogućih, očekivanih) ili nepredvidivih uzroka koji su posljedica stanja u kojem se sustav nalazi odnosno djeluje.

Uvjeti okruženja također bitno utječu na ponašanje sustava, njegovo djelovanje i pojavu kvarova.

ŠTO JE ZADAĆA ORGANIZATORA GRAĐENJA ?

Zadaća organizatora građenja je da modeliraju (smišljaju odnosno projektiraju, proizvode, grade, ustrojavaju, upravljaju - reguliraju) i održavaju takve tehničke sustave pri građenju kao proizvodno-tehnološke (kao i pripadne strojno-tehnološke sustave) kod kojih je moguće kvarove u nekom vremenskom razdoblju izbjegavati ili svesti na najmanju moguću mjeru.

2. POUZDANOST TEHNIČKIH SUSTAVA

POUZDANOST STROJNO-TEHNOLOŠKIH SUSTAVA POLAZI OD SLIJEDEĆIH PRETPOSTAVKI:

- sustav može biti strukturiran od Ei ..... (i = 1,2...,n) sastavnica ili elemenata koje u bilo kojem trenutku vremena mogu biti u samo dva stanja - ili djeluju ili ne djeluju (u kvaru su ili su u otkazu), a stanje sustava ovisi od stanja njegovih sastavnica ili elemenata

POUZDANOST STROJNO-TEHNOLOŠKIH SUSTAVA POLAZI OD SLIJEDEĆIH PRETPOSTAVKI:

- vrijeme funkcioniranja ti do kvara ili otkaza svake sastavnice sustava Ei je kontinuirana slučajna varijabla, što znači da do kvara ili otkaza može doći u bilo kojem trenutku vremena t

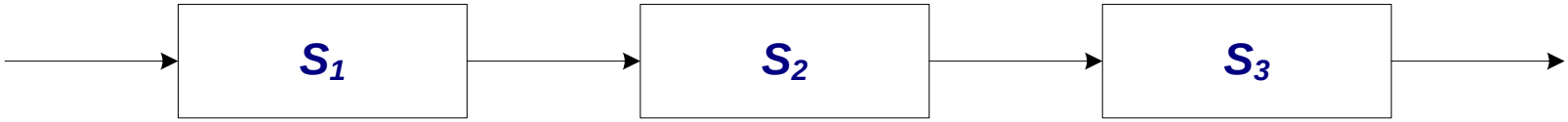
NA KOJI NAČIN SASTAVNICE SUSTAVA MOGU BITI MEĐUSOBNO POVEZANI?

- redno (serijski)
- uporedno (paralelno)
- složeno od navedenih

KAKO SE PRIKAZUJU STRUKTURE SUSTAVA?

Strukture sustava se prikazuju pomoću **orijentiranih grafova** kao najprihvatljivijeg oblika **modeliranja** stanja strojno-tehnoloških dinamičkih sustava za potrebe njihova promišljanja sadržaja.

REDNA VEZA SASTAVNICA SUSTAVA

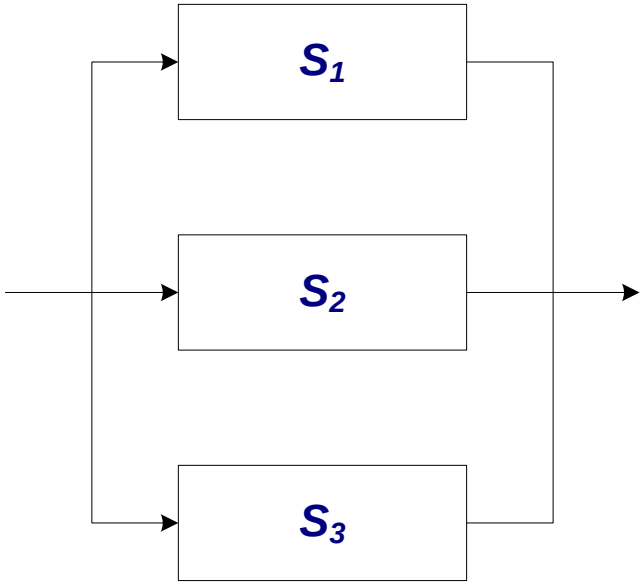


Međusobna serijska povezanost sastavnica sustava

PRIKAZIVANJE STRUKTURE SUSTAVA

Očito je da pri rednoj (serijskoj) vezi elemenata njihov pojedinačni otkaz ili kvar znači otkaz ili nemogućnost djelovanja cjelokupnog sustava.

UPOREDNA VEZA SASTAVNICA SUSTAVA

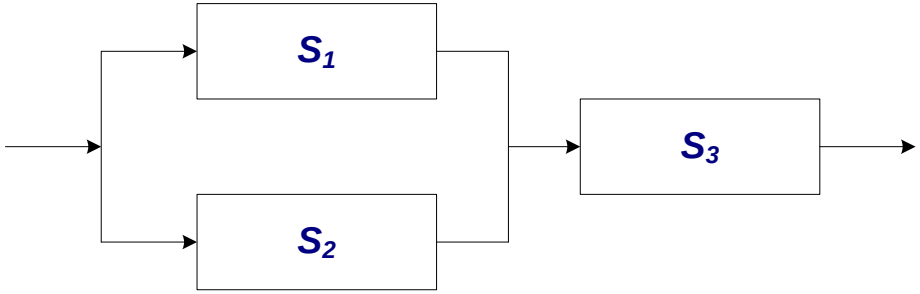


Međusobna paralelna povezanost sastavnica sustava

PRIKAZIVANJE STRUKTURE SUSTAVA

U slučaju kvara ili otkaza jednog elementa uporedne strukture elemenata sustav djeluje dalje ali sa smanjenom učinkovitošću.

SLOŽENA VEZA SASTAVNICA SUSTAVA



Međusobna povezanost sastavnica sustava

Pouzdanost pojedinog stroja

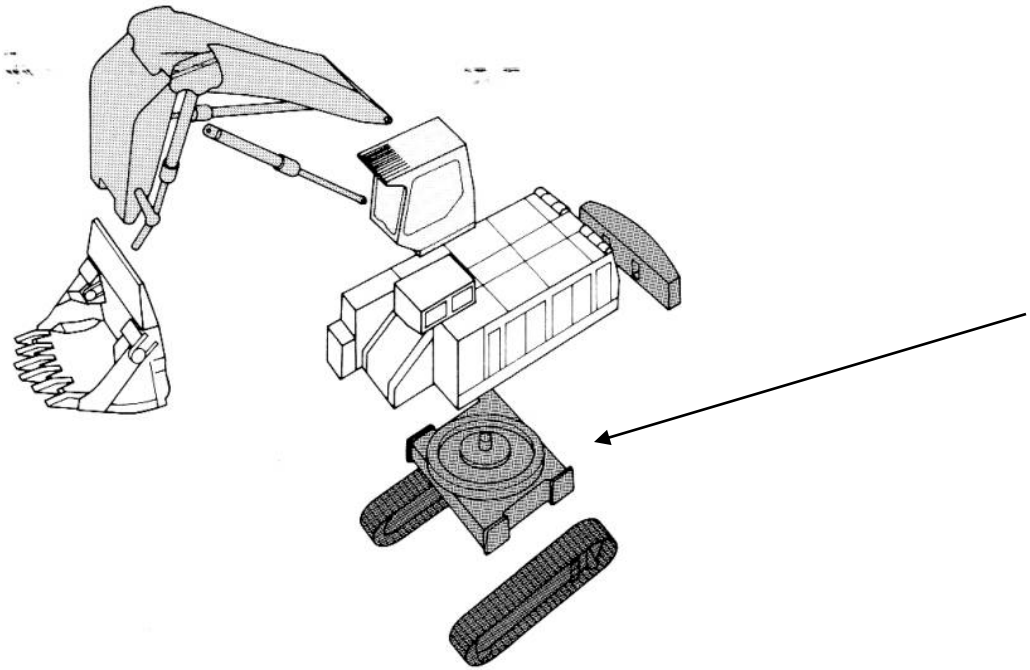
POUZDANOST ELEMENATA SUSTAVA

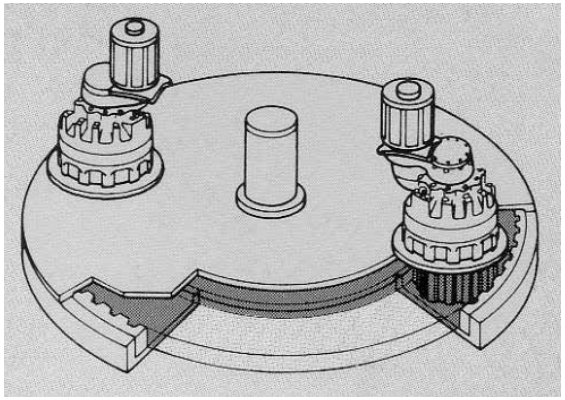
Pouzdanost elemenata sustava (pri čemu element sustava može biti podsustav za sebe) bila bi vjerojatnost da će element obavljati zadaću (dakle učinkovito djelovati u području dozvoljenih odstupanja pretpostavljene zadaće) koji je njemu namijenjen u planiranom vremenskom razdoblju i u pretpostavljenim (očekivanim) uvjetima okruženja sustava.

POUZDANOST POJEDINOG STROJA

Pojedinačni građevinski strojevi kao tehnički sustavi za sebe, pretežito imaju (teorijski gledano) većim dijelom rednu strukturu sklopova i ostalih dijelova pa kvar jednog od njih onemogućava rad čitavog stroja.

Međutim, neki dijelovi stroja (primjerice motori koji okreću bager ili zubi lopate), imaju obilježja uporedne strukture.





Prema tome građevinski stroj može biti samo u dva stanja u kvaru ili u radu (smanjene učinkovitosti)

ČIMBENICI ILI UTJECAJI KOJI DOVODE DO POJAVE KVAROVA STROJEVA MOGU BITI:

- **sustavni** (primjerice greške izrade, montaže i probnog rada strojeva odnosno tzv. «dječje bolesti stroja»)
- **slučajni** (pretežito iznenadni uzrokovani promjenjivošću ili neprimjerenošću uvjeta rada stroja ili neprimjerenim postupanje sa strojem)
- **postupni,** vremenski neprekidni i dugotrajni (primjerice trošenje dijelova stroja, nereguliranost dijelova stroja itd)

POJAM DA JE STROJ U ISPRAVNOM STANJU OBUHVAĆA SLIJEDEĆE SLUČAJEVE:

- kada je stroj ispravan, a ne radi iz bilo kojeg drugog razloga pretežito organizacijskih ili logističkih razloga
- kada stroj radi
- kada stroj radi sa smanjenim učinkom zbog djelomične tehničke neispravnosti koja bitno ne utječe na mogućnost njegovo djelovanje (primjerice neke vibracije, propuštanje vodova transmisije, nedostaci radnog alata itd.) uz napomenu da se ovaj slučaj može smatrati nekim oblikom tzv. djelomičnog otkaza stroja

KAKO SE UTVRĐUJE UČESTALOST KVAROVA?

Učestalost kvarova ili neispravnog stanja stroja glavni je i općenito najrašireniji pokazatelj pouzdanosti rada građevinskih strojeva, a utvrđuje se kao očekivani broj kvarova stroja u određenom razdoblju.

POUZDANOST P_E SE IZRAŽAVA (ZA DOVOLJNO VELIKO T ODNOSNO KADA T ® ¥)

$$P_e = \mu / (\lambda + \mu) = k_{ds}$$

gdje je:

$\lambda = 1 / \bar{t}f$ - intenzitet otkaza

$\mu = 1 / \bar{t}r$ - intenzitet popravka

$\bar{t}f$ - očekivano vrijeme do otkaza dijela odnosno stroja (statistički podatak)

$\bar{t}r$ - očekivano vrijeme potrebno za popravak dijela odnosno (statistički podatak) .

POUZDANOST P_E NEKIH (RAZMJERNO SREDNJE KVALITETNIH) GRAĐEVINSKIH STROJEVA OVISNO O GODINAMA NJIHOVA KORIŠTENJA

Pouzdanost P_e							
Vrsta građevnog stroja	godina korištenja stroja						
	1	2	3	4	5	6	7
bager	0,82	0,79	0,70	0,68	0,61	0,60	0,55
dozer	0,88	0,72	0,64	0,55	0,53	0,48	0,45
utovarivač	0,91	0,87	0,85	0,76	0,65	0,61	0,55
damper	0,86	0,80	0,70	0,63	0,56	0,51	0,45

Pouzdanosti P_e pri korištenju suvremenih građevinskih strojeva uzima se (po ovdje usvojenoj metodologiji proračuna planskog učinka U_p) kao koeficijent dotrajalost k_{ds} prema slijedećoj tablici:

koeficijent dotrajalosti stroja k_{ds}		
stanje stroja	sati rada stroja	k_{ds}
novi stroj	do 2.000	1,00
očuvani stroj	od 2.000 do 4.000	0,90
dotrajali stroj	preko 4.000	0,80

Pouzdanost grupe građevinskih strojeva

POUZDANOST GRUPE GRAĐEVINSKIH STROJEVA

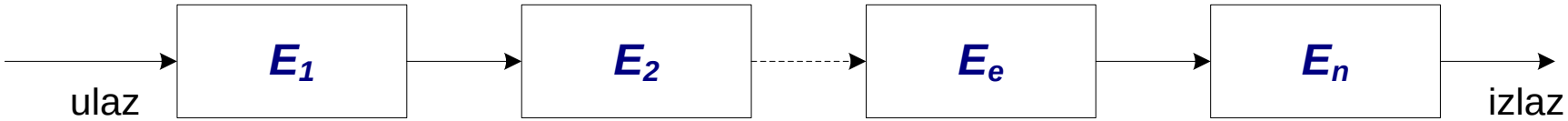
Kako bi se odredila Ps(t) pouzdanost strojno-tehnološkog sustava ili grupe građevinskih strojeva, mora se strukturirati na podsustave srodnih ili na neki način povezanih sastavnica ili elemenata podsustava.

POUZDANOST GRUPE GRAĐEVINSKIH STROJEVA

Elementi podsustava vezani su, kao što je prethodno navedeno, ili redno ili uporedno ili složeno od navedenih.

Redna veza sastavnica

Pouzdanost sustava s rednom vezom elemenata sustava $^{rv}P_s(t)$ bila bi (primjenom teorije vjerojatnosti, a uz pretpostavku da su otkazi elemenata odnosno kvarovi pojedinih strojeva međusobno nezavisni) slijedeća:



$$^{rv}P_s(t) = P_1(t) * P_2(t) \ldots P_e(t) \ldots P_n(t) = \prod P_e(t)$$

gdje je $P_e(t)$ pouzdanost sastavnice odnosno elementa sustava E_e

POUZDANOST SUSTAVA S REDNOM VEZOM

- Ako elementi ne utječu jedan na drugog, onda su njihovi otkazi nezavisni događaji, pa se jednadžba pouzdanosti može zapisati u jednostavnijem obliku:

$$R = P(x1) \times P(x2) \times P(x3) \times \ldots \times P(xi) \times \ldots \times P(xn) = \Pi\, P(xi)$$

Primjerice pouzdanost nekog sustava od 10 elemenata u serijskoj vezi sa pouzdanosti od 0,99. Primjenom gore navedene jednadžbe dobivamo:

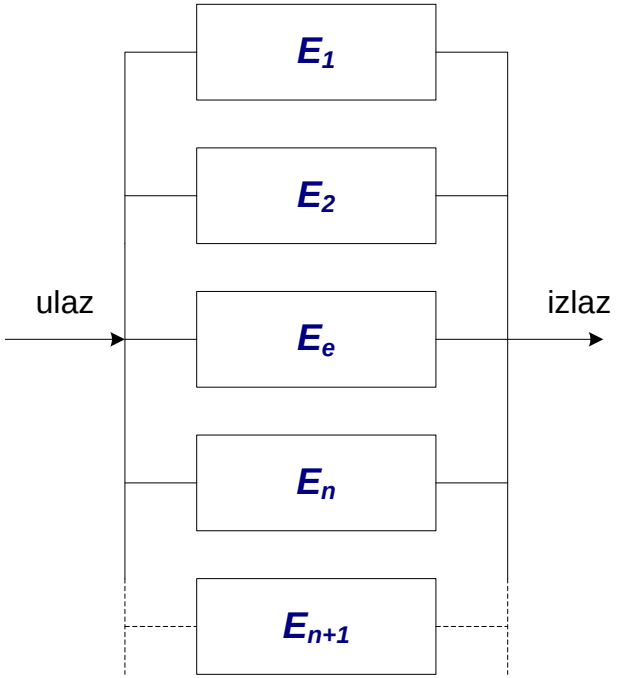
$$R = 0{,}99^{10} = 0{,}9044$$

Pouzdanost grupe strojeva

Iz izraza je vidljivo da je pouzdanost sustava s rednom vezom elemenata ${}^{rv}P_s(t)$ manja od pouzdanosti bilo kojeg elementa $P_e(t)$, te strukture uporedne veze elemenata.

Uporedna veza sastavnica

Pouzdanost sustava s (aktivnom) uporednom vezom elemenata sustava $^{uv}P_s(t)$ bila bi (također primjenom teorije vjerojatnosti, a također uz pretpostavku da su otkazi elemenata odnosno kvarovi pojedinih strojeva međusobno nezavisni) slijedeća :



$$^{uv}P_s(t) = 1 - \Pi\,[1 - P_e(t)]$$

POUZDANOST SUSTAVA S UPOREDNOM VEZOM

Ako su elementi otkaza međusobno nezavisni, onda je jednadžba za dobivanje pouzdanosti paralelnog spoja dodatno pojednostavljena i glasi:

$$R = 1 - P(\dot{x}1) \times P(\dot{x}\ 2) \times P(\dot{x}\ 3) \times \ldots \times P(\dot{x}\ i) \times \ldots \times P(\dot{x}\ n) = 1 - \Pi\ P(\dot{x}\ i)$$

- $\dot{x}i$ vjerojatnost otkaza elementa sustava

Na primjeru iz prošlog poglavlja možemo ovaj puta izračunati pouzdanost kada su ti elementi spojeni u paralelni spoj. Pouzdanost će im tada biti:

$R = 1 - (1 - 0{,}99)^{10} = 1 - 1^{-20} \approx 1$ (vs. 0,9044 od redne veze).

POUZDANOST GRUPE STROJEVA

Pouzdanost sustava s uporednom vezom elemenata ${}^{uv}P_s(t)$ veća je od pouzdanosti bilo kojeg elementa $P_e(t)$. Uporednim vezivanjem povećava se pouzdanost strojno-tehnoloških sustava.

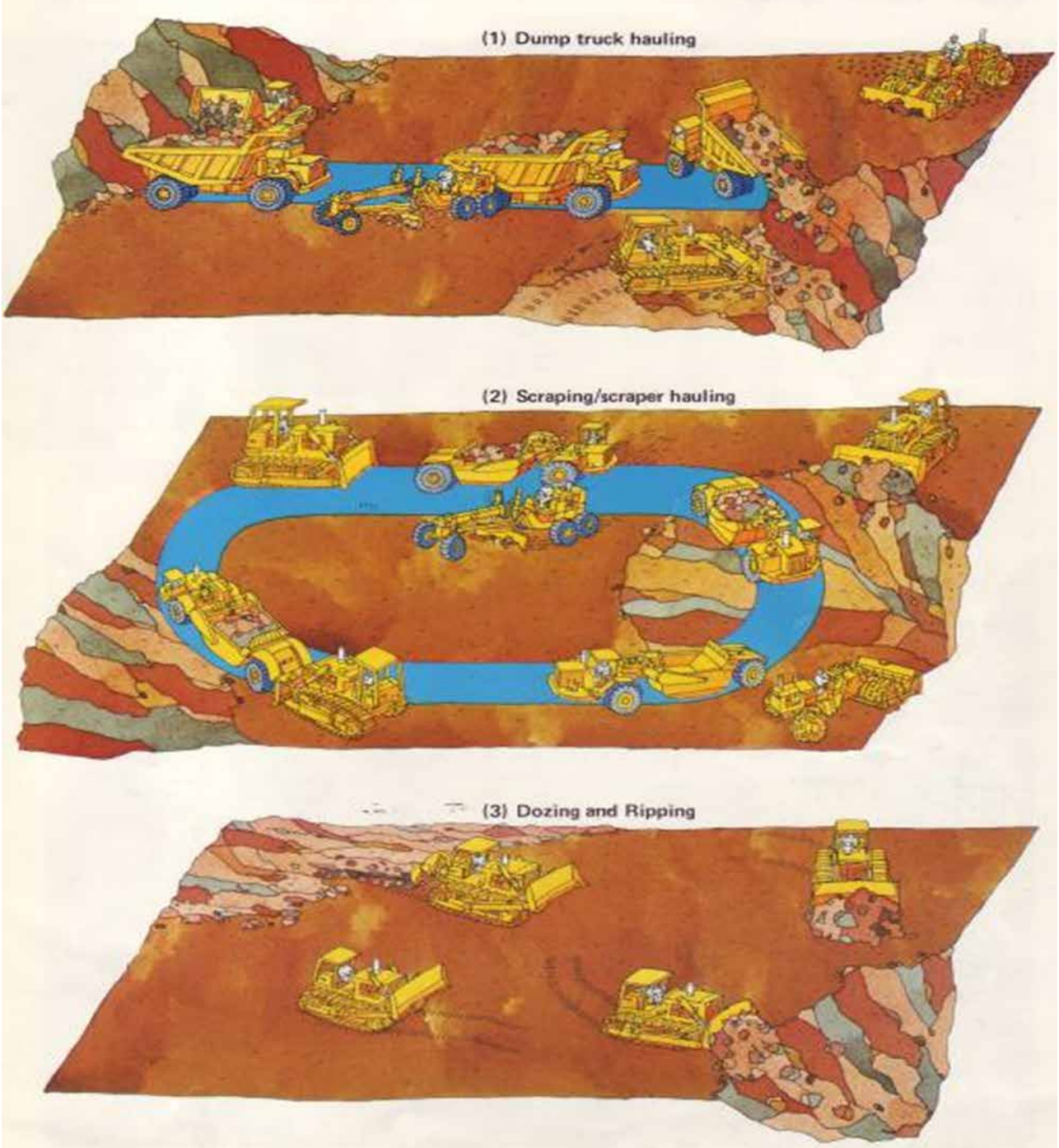
POUZDANOST GRUPE STROJEVA

Elementi odnosno pojedini strojevi čiji otkaz ne izaziva prekid rada čitavog strojno-tehnološkog sustava nazivaju se rerundantni elementi, a uporedna veza uporedna rerudansa.

POUZDANOST GRUPE STROJEVA

Dodatna pasivna uporedna veza predstavlja uporedno uključenje nekog dodatnog elementa E_{n+1} odnosno stroja za slučajeve očekivanja kvara nekog od ostalih elemenata odnosno strojeva.

Koje veze prepoznajete?



Koja je opcija najpouzdanija?