

# PRILOG ANALIZI TROŠKOVA POUZDANOSTI

## CONTRIBUTION TO THE RELIABILITY COSTS ANALYSIS

*Branislav Bojanić, Veljko Kondić, Maja Gotal*

Pregledni članak

**Sažetak:** U članku se prikazuje analiza troškova pouzdanosti za industrijska postrojenja i to za sve faze životnog vijeka s naglaskom na fazu projektiranja i razvoja, proizvodnju te fazu eksploatacije. Autori su prepoznali i utvrdili sve vidljive i nevidljive troškove te dali prikladne izraze za njihov izračun. U drugom dijelu rada pojašnjava se način njihove optimizacije i smanjenja. Rad na prikladan i jednostavan način pojašnjava vrlo značajno pitanje za sva industrijska postrojenja i tehničke sustave u cjelini, odnosno troškove u njihovom životnom vijeku.

**Ključne riječi:** industrijsko postrojenje, pouzdanost, troškovi

Subject review

**Abstract:** The paper gives the cost analysis of reliability for industrial plants for all the stages of life cycle with an emphasis on the design and development stage, the production stage, and the exploitation stage. The authors identified all the visible and invisible costs and provided appropriate expressions for their calculation. The second part explains the method of their optimization and reduction. The paper appropriately explains a very important issue for all industrial plants and technical systems in general, and the costs in their life cycle.

**Keywords:** industrial plant, reliability, costs

### 1. UVOD

Može se ustvrditi da su mnogi tehnički sustavi planirani, projektirani, proizvedeni i rade bez uzimanja u obzir troškova životnog ciklusa. Obično se troškovi razmatraju u fazi razvoja samo fragmentarno. Ako se razmatraju ekonomski aspekti tehničkog sustava, mora se sagledati cjelokupni trošak u svim fazama životnog ciklusa.

Ukupne troškove tehničkih sustava treba promatrati s aspekta eksploatacije i rada. Ako se ne vrše spomenute analize, troškovi eksploatacije su obično veći od očekivanih. Prema navodima prof. Blancharda, loše upravljanje i planiranje može se usporediti s efektom „ledenog brijega“ koji pliva u moru i kod kojeg je vidljiv samo manji dio (slika 1).



Slika 1. Efekt „ledenog brijega“ [1]

Ako se analizira slika 1, može se konstatirati da su:

#### 1. Vidljivi dio:

- troškovi nabave, bez obzira kupuje li se ili razvija tehnički sustav (istraživanje, projekt, ispitivanje, proizvodnja)

#### 2. Nevidljivi dio:

- troškovi distribucije i rukovanja,
- pogonski troškovi (kapaciteti, energija, oprema i dr.),
- troškovi edukacije (edukacija servisera i operatera),
- troškovi održavanja i remonta (preventivno i korektivno servisiranje),
- troškovi tehničke dokumentacije (upute, priručnici, katalogi, prospekti i dr.),
- troškovi zaliha (rezervni dijelovi, potrošni i repromaterijal, ambalaža)
- troškovi rashodovanja (troškovi vezani za rashod, odnosno otuđenje tehničkog sustava).

### 2. TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA

Pod životnim ciklusom tehničkog sustava podrazumijeva se vremenski period od trenutka definiranja potreba korisnika (zadatak), do definiranja tehničkih, tehnoloških i funkcionalnih zahtjeva, planiranja, istraživanja, projektiranja, razvoja, proizvodnje, verifikacije, eksploatacije i rashodovanja [1].

Prirodno je da svaku od ovih faza prate i određeni troškovi. Tako definirane troškove nazivamo ukupnim troškovima životnog ciklusa tehničkog sustava.

Na slici 2 prikazane su osnovne faze razvoja i aktivnosti u životnom ciklusu tehničkog sustava.

Troškovi životnog ciklusa mogu se, načelno, izraziti formulom (1):

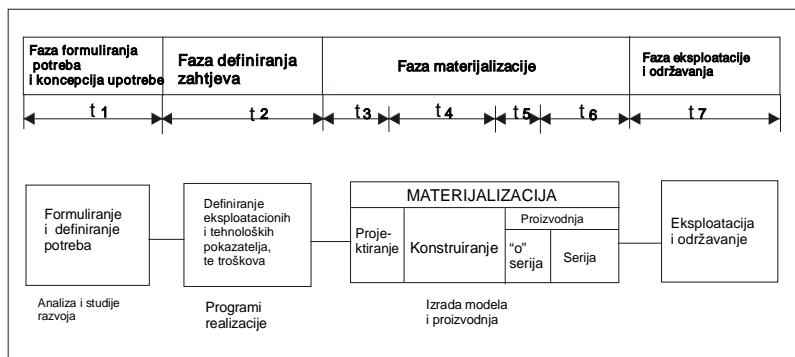
$$T = T_R + T_P + T_E \quad (1)$$

gdje su:

$T_R$  - troškovi istraživanja i razvoja

$T_P$  - troškovi proizvodnje

$T_E$  - troškovi eksploatacije i održavanja.



Slika 2. Osnovne faze razvoja i aktivnosti u životnom ciklusu tehničkog sustava [1]

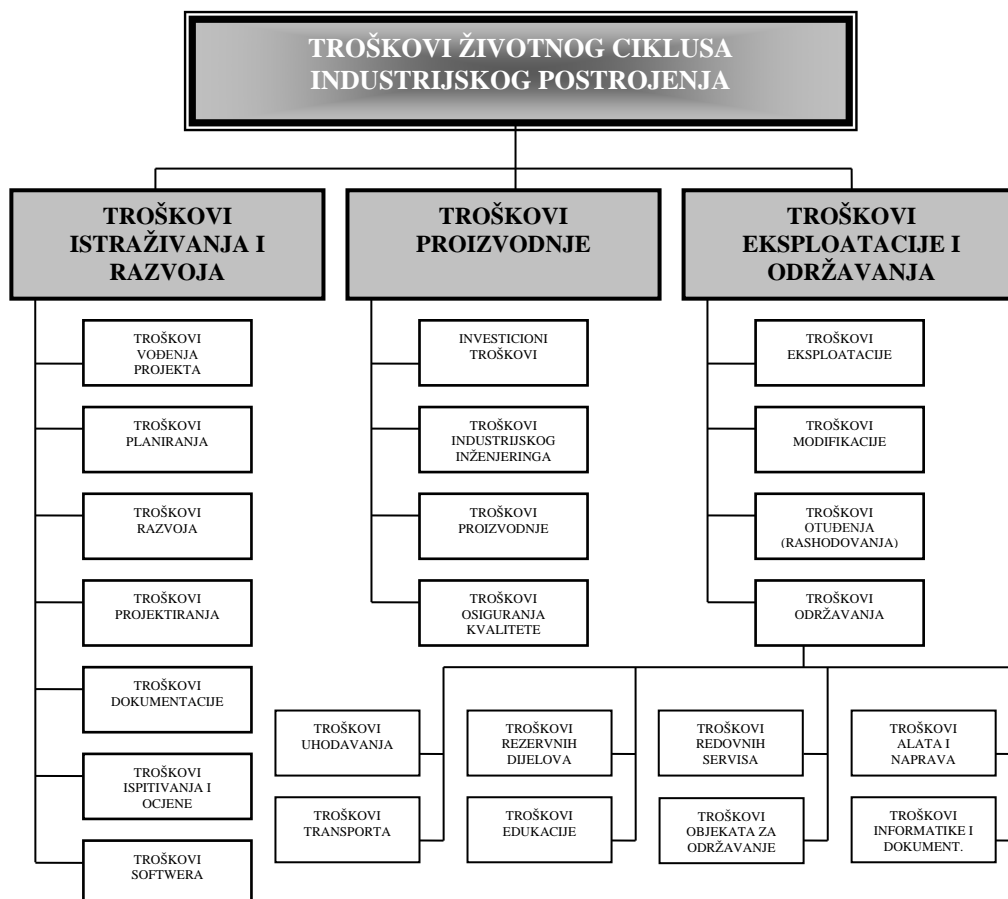
Praksa pokazuje da se tako jednostavan izraz može raščlaniti na više vrsta troškova koji postoje u životnom ciklusu tehničkog sustava (slika 3).

Povezivanje svih navedenih troškova tijekom životnog ciklusa tehničkog sustava pomaže nam:

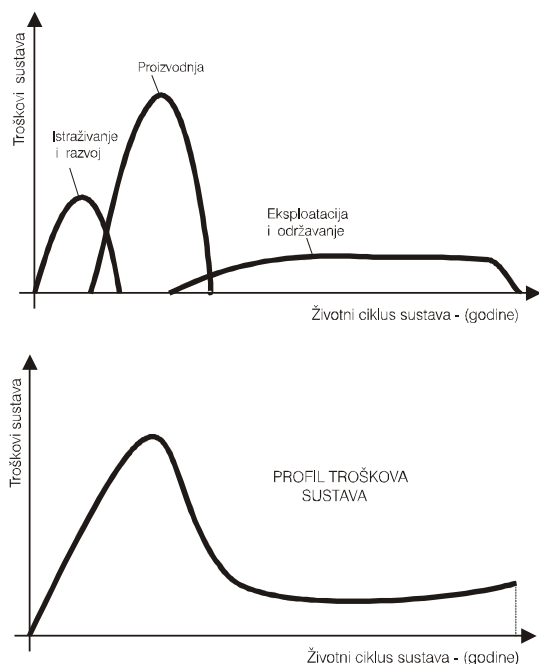
- da pravovremeno sagledamo, pored operativnih parametara i performansi, koliko će nas te performanse koštati,
- da efikasnost tehničkog sustava svedemo na troškovni princip (Life cycle cost efficiency),

- da se novčana sredstva racionalno i planski troše.

Osim općih napomena navedenih pod točkom 1, a u vezi s razmatranjem troškova prilikom razvoja, te gledanjem na ove troškove s aspekta proizvođača i s aspekta kupca, potrebno je izvršiti detaljnu analizu svih troškova u životnom ciklusu tehničkog sustava. Slike 3 i 4 prikazuju načelnu strukturu i odnos troškova koje treba analizirati.



Slika 3. Troškovi u životnom ciklusu tehničkog sustava [1]



Slika 4. Odnos troškova u životnom ciklusu sustava [1]

### 3. ANALIZA TROŠKOVA POUZDANOSTI

Kod analize troškova treba prepoznati troškove loše kvalitete tehničkog sustava, odnosno troškove niskog nivoa pouzdanosti.

Ako želimo definirati troškove loše kvalitete, na vrlo jednostavan način možemo reći da je loša kvaliteta sve ono što ima svoju cijenu i nije dobro urađeno iz prvog pokušaja.

Troškovi loše kvalitete sadrže, prije svega, direktne troškove. Dakle, ono što se može procijeniti, odnosno ono što se može direktno izmjeriti. Sastoje se od troškova: škarta, popravaka, reklamacija, superrevizije i dr.

Navedenim direktnim troškovima, važno je dodati indirektno, a to su troškovi koji se ne mogu predvidjeti, kao što su troškovi vezani za gubitak imidža firme, nepredviđeno povećanje cijena, i sl.

Ako želimo imati uvid u ukupne troškove loše kvalitete, svakako treba zbrojiti direktne i indirektno troškove. U brošuri koju je objavila Industrija za astronautiku navodi se da ukupne troškove možemo dobiti tako da direktne troškove pomnožimo s koeficijentom 3. Istraživanja koja su provedena 1975. god. u 64 poduzeća u SAD-u, a u vezi s troškovima loše kvalitete, pokazala su da direktne troškove loše kvalitete treba pomnožiti koeficijentom 5 kako bi se dobili ukupni troškovi [1].

#### 3.1. Troškovi loše kvalitete

U razvijenim zemljama tendencija je da se troškovi loše kvalitete procjenjuju. Tako je J. C. Watrin, direktor službe za kvalitetu Alisthom Atlantique, prve procjene u velikim francuskim poduzećima izvršio 1982. godine. Njegove procjene pokazuju da su troškovi loše kvalitete činili od 15 do 20% ukupnog prometa. Druge procjene koje su vršene u francuskim poduzećima također ukazuju

da se troškovi loše kvalitete kreću od 15 do 25% ukupnog prometa. Nedavno je jedno francusko poduzeće električne industrije, koje se može uzeti kao model po svojoj organizaciji i poslovanju, procijenilo da njeni troškovi loše kvalitete iznose oko 30% ukupnog prometa [1].

S druge strane, prema neslužbenim informacijama, u japanskim poduzećima troškovi loše kvalitete čine 5% od ukupnog prometa. Iako je teško povjerovati u ovu tvrdnju, poznato uspješno poslovanje japanskih firmi to potkrepljuje.

Bez obzira koliko iznose navedeni troškovi, na njih se može djelovati i oni se mogu smanjiti. Prvi primjer koji to pokazuje navodi dr. Juran. Riječ je o američkom proizvođaču televizijskih uređaja kojeg su kupili Japanci.

Početna situacija, 1974. god. bila je sljedeća:

- broj kvarova na sto gotovih uređaja se kretao od 150 do 180,
- broj radnika koji je radio u kontroli i na doradi bio je 120,
- troškovi reklamacija u garantnom roku iznosili su 22 milijuna dolara.

Japanci su primijenili svoju tehniku poboljšanja kvalitete i tri godine poslije (1977.) situacija je izgledala znatno drugačije [2]:

- broj kvarova na sto gotovih uređaja bio je 3 do 4,
- broj radnika koji je radio u kontroli i na doradi bio je 8 do 16,
- troškovi intervencija u garantnom roku iznosili su 4 milijuna američkih dolara.

To nije bilo sve. U 1980. god. kada je i dr. Juran obavio posjet konkretnoj firmi, rezultati su bili daleko bolji od upravo navedenih, s tendencijom smanjenja troškova loše kvalitete. Suština iznijetog primjera je da se na troškove loše kvalitete može djelovati samo pod uvjetom da se troškovi prepoznaju te da postoji volja i politika posloводства firme usmjerena na njihovo smanjenje.

Drugi primjer je iz Francuske, a navodi ga stručnjak za kvalitetu Watrin. On je želio saznati mogu li se japanske metode primijeniti u Francuskoj, i to u tvornicama koje nemaju serijsku proizvodnju. Godine 1982. izvršio je ispitivanja u ljevaonici grupacije Alisthom Atlantique. Rezultati pokusa provedenih 6 mjeseci kasnije su pokazali da elementi koji su dobiveni lijevanjem imaju poboljšan stupanj kvalitete za 4, a ukupne uštede su iznosile 20%.

Oba primjera nam govore da se radilo o lošoj kvaliteti proizvoda, odnosno niskom nivou pouzdanosti. Kako bi se nivo pouzdanosti podigao, potrebno je ostvariti određena poboljšanja koja se ogledaju u sljedećem:

- reorganizaciji poslovanja
- novim metodama rada, odnosno tehnologiji,
- osiguranju kvalitete podignutom na viši stupanj,
- investicijskim ulaganjima i dr.

U skladu s prikazanim, mogu se postaviti pitanja: Kolika je cijena tih poboljšanja i koje su sve investicije potrebne?

Iskustva pokazuju da su investicije u kvalitetu vrlo rentabilne, ali ako se pravilno usmjere. Smatra se da niti jedna investicija u ljude nije previsoka. Ulagati u ljude, odnosno njihovu edukaciju, je investiranje koje prepoznaju uspješni menadžeri. O ljudima sve ovisi, oni su planeri, organizatori, izvođači, kontrolori itd. Bez njih je nemoguće zamisliti bilo koji poslovni ili tehnološki proces. U kombinaciji s drugim čimbenicima proizvodnje, ljudi su ti koji materijaliziraju sve procese proizvodnje.

Na drugoj strani su kupci koji zahtijevaju od proizvođača kvalitetne i pouzdane proizvode.

Često se ugovorom između kupca i proizvođača (dobavljača) reguliraju troškovi životnog ciklusa tehničkog sustava u kojem kupac može postaviti sljedeće zahtjeve:

- da se realiziraju minimalni troškovi u fazama razvoja i proizvodnje;
- da se realiziraju minimalni troškovi podrške vezane za servisiranje;
- da se realiziraju minimalni troškovi tijekom cjelokupnog životnog ciklusa.

Prvi zahtjev podrazumijeva relativno niske razine pouzdanosti i pogodnosti za servisiranje, što se nužno odražava na visoke troškove održavanja i tehničke podrške, uslijed velikog broja rezervnih dijelova i potrebnih intervencija koje su posljedica povećanog broja kvarova.

Drugi pristup uključuje niske troškove servisiranja. Međutim, ovaj pristup poskupljuje zbog povećanih troškova za vrijeme razvoja i proizvodnje, kako bi se postigle visoke razine pouzdanosti i pogodnosti za servisiranje.

Treći zahtjev daje minimalne troškove tijekom životnog ciklusa i tu se može naći optimalni nivo.

Vidi se da pri povećanju pouzdanosti troškovi eksploatacije opadaju, ali zato troškovi razvoja i proizvodnje rastu. Slično se događa i s analizom pogodnosti za servisiranje.

### 3.2. Troškovi pouzdanosti

Kako je već rečeno, pouzdanost je čimbenik kvalitete i njen porast ili pad ima direktan utjecaj na kvalitetu tehničkog sustava, što znači da pouzdanost ima svoju cijenu. Uz trošak pouzdanosti se vežu dva najčešća stajališta:

#### 1. „Trošak pouzdanosti je nemoguće odrediti“

Trošak pouzdanosti predstavlja mjerljiv iznos. Istina je da će proračun troškova od proizvođača tehničkih sustava zahtijevati uzimanje u obzir niz čimbenika i da je to proces koji uvijek treba provoditi.

Proizvođači tehničkih sustava koji prihvaćaju ovo stajalište obično pouzdanosti i kvaliteti pristupaju općenito „intuitivno“. Budući da ne raspolažu stvarnim podacima i elementima koji pokazuju pouzdanost, zaključci i odluke su često pogrešni.

Valja napomenuti da se velik broj stručnjaka iz područja kvalitete slaže da je trošak pouzdanosti, odnosno kvalitete, ipak moguće odrediti.

#### 2. „Pouzdanost je skupa“

Razumljivo, visok zahtjev za pouzdanost bilo kojeg uređaja ima i svoju cijenu. Međutim, zadatak menadžmenta je upravo u tome da umanjuje cijenu pouzdanosti. Ako uspiju to realizirati kroz svoje aktivnosti onda se uspješno mogu nositi s konkurencijom. Ne smije se zaboraviti da upravo konkurencija određuje cijenu kvalitete, nudeći uvijek nešto više i bolje. Kupac prihvaća ono što mu je povoljnije. Upravo ta bespoštedna borba s konkurencijom vodi razvoju sve pouzdanijih i boljih tehničkih sustava. Troškove i pouzdanost treba uskladiti u cilju optimizacije želja kupaca i proizvođača.

Troškovi pouzdanosti se najčešće prate uz ostale troškove kvalitete i poželjno ih je upravo tako i promatrati. Prema Američkoj asocijaciji za kvalitetu, troškovi kvalitete se dijele na [3]:

- troškove preventivne,
- troškove ocjene kvalitete,
- troškove unutarnjih gubitaka i
- troškove vanjskih gubitaka.

### 3.3. Kontinuirano praćenje troškova kvalitete

Kako bi se moglo intervenirati na troškove kvalitete, potrebno ih je kontinuirano pratiti. Za praćenje tih troškova preporuča se sljedeći pristup koji obuhvaća [1,4]:

- formiranje radnog tima za praćenje troškova pouzdanosti,
- snimanje i konstataciju trenutnog stanja,
- izbor parametara za praćenje troškova pouzdanosti,
- uspostavu programa praćenja troška pouzdanosti,
- analiziranje učinka sustava za praćenje troškova pouzdanosti na ukupnu kvalitetu i na ukupne troškove poslovanja.

#### 3.3.1 Formiranje radnog tima za praćenje troškova pouzdanosti

U ovaj tim treba uključiti operativne menadžere, konstruktore, inženjere za pouzdanost, kontrolore, djelatnike iz računovodstva te ostale djelatnike prema potrebi i konkretnim prilikama. Tim treba formirati i organizirati prema svim zahtjevima koji se postavljaju pred grupu zaduženu za obavljanje nekog važnijeg zadatka. Za uspješno izvršenje zadatka vrlo je važan timski rad. To znači da taj tim treba imati maksimalno određene zadatke, vođu, vrijeme rada i drugo.

#### 3.3.2 Snimanje i konstatacija trenutnog stanja

Ovo je faza kada tim počinje s radom. Metode rada su različite. Obično se počinje s intervjuima glavnih menadžera, a završava s prikupljenim podacima iz računovodstva i drugih pomoćnih službi. Anketa je često korištena metoda koja se primjenjuje za snimanje trenutnog stanja.

Podaci i informacije se prikupljaju:

- iz računovodstvenih lista,
- iz standarda i normativa,
- iz tehničkih tablica i preporuka vodećih proizvođača,

- iz ugovora i zahtjeva kupaca,
- iz knjige reklamacija prema dobavljačima,
- iz knjige reklamacije kupaca,
- iz prospekata i kataloga,
- intervjuima i anketama raznih djelatnika,
- intervjuima i anketama kupaca i dr.

U ovoj bi fazi tim morao raspolagati s ukupnim troškovima pouzdanosti, troškovima pouzdanosti komponenata, strategijom za povećanje pouzdanosti, brojem reklamacija kupaca, najčešćim kvarovima, rezultatima ispitivanja i verifikacije itd.

Taj posao je veoma opsežan i zahtijeva veliki fizički napor tima. Zbog toga njegove akcije moraju biti pravilno isplanirane, vođene i koordinirane. U ovoj fazi do izražaja dolazi sposobnost vođe tima.

Bez obzira kako i na koji način se vrši snimanje stanja, cilj je doći do objektivnih informacija i podataka koji se odnose na troškove pouzdanosti, odnosno kvalitete, kako bi se na temelju toga moglo konstatirati trenutno stanje.

Zašto je potrebno konstatirati trenutno stanje? Razloga ima više, a najvažniji su:

- utvrđivanje polazne baze za rad tima,
- utvrđivanje objektivne istine o troškovima,
- dobivanje mogućnosti usporedbe polaznog i konačnog rješenja.

### 3.3.3 Izbor parametara za praćenje troškova pouzdanosti

Radni tim bi morao u svakoj kategoriji i svakom odjelu ili području rada identificirati parametre koji utječu na trošak pouzdanosti. Parametri moraju imati značajni utjecaj na trošak pouzdanosti i biti lako prepoznatljivi.

Radni tim može utvrditi da je broj reklamacija od strane kupaca velik i da se skoro na svaku reklamaciju kupca intervenira odlaskom kod klijenta i određenim aktivnostima na samom sustavu. U tome je slučaju svakako parametar za praćenje spomenutih izdataka trošak. To uključuje, odlazak kod klijenta i trošak servisiranih ili zamijenjenih rezervnih dijelova ili jednostavno trošak reklamacije.

### 3.3.4 Uspostava programa praćenja troška pouzdanosti

Kad se jednom odaberu parametri (kriteriji i mjerila), treba pratiti osnovne vrijednosti troškova. U ovoj se fazi evidentiraju gotovo svi troškovi koji se pojave, od trenutka razvoja do rashodovanja tehničkog sustava.

Pri navedenoj aktivnosti treba angažirati službu financija i računovodstva te korištenjem adekvatnih programskih paketa evidentirati sve parametre vezane za pouzdanost.

Tehnika koju usvaja velik broj poduzeća je „Obračun troškova zasnovan na aktivnostima“ (Activity based Cost Accounting ili ABC) [4].

### 3.3.5 Analiziranje učinka sustava za praćenje troškova pouzdanosti na ukupnu kvalitetu i na ukupne troškove poslovanja

Ako su sve prethodno navedene faze korektno provedene, onda se u ovoj fazi mogu donositi korisni zaključci koje treba primijeniti u vezi s pouzdanošću komponenata i sustava u cjelini. Zaključke treba donositi na bazi činjenica i stvarnih pokazatelja, a ne na bazi pretpostavki i nagađanja.

U poduzeću svjetskog ugleda Motorola Corporation su izračunali da su poboljšanja pouzdanosti i kvalitete tijekom godine donijela uštedu od 950 milijuna dolara. To pokazuje da se kvalitetom više štedi nego troši [1].

## 4. OPTIMIZACIJA TROŠKOVA POUZDANOSTI

Razine pouzdanosti industrijskih postrojenja uvijek su u korelaciji s troškovima. U tome smislu, za bilo koji uspješno projektirani sustav treba s visokom pouzdanošću predvidjeti ekonomsku isplativost. Ponekad će dva proizvoda niže pouzdanosti biti bolje rješenje od jednog pretjerano skupog proizvoda visoke pouzdanosti. Naravno, u praksi ima situacija kad je ekonomski aspekt svjesno zanemaren i kad se određeni tehnički sustav proizvodi bez obzira na njegovu ukupnu cijenu. Takvi i slični slučajevi najčešće su karakteristični za velike sustave, povezane uz nacionalne interese.

Kod analize i optimizacije troškova pouzdanosti najvažnije je naći optimalni nivo pouzdanosti pri kojem su nabavna cijena proizvoda, troškovi eksploatacije i troškovi održavanja minimalni. Na te troškove kupci i proizvođači gledaju različito. Ako su troškovi za određenu pouzdanost proizvoda minimalni, smatra se da je to optimalni nivo pouzdanosti za proizvođača. Isto tako, postoji i pouzdanost za koju su ukupni troškovi kupca ili korisnika minimalni. Spomenuta dva optimalna nivoa pouzdanosti nemaju jednake vrijednosti.

Prilikom razvoja tehničkog sustava teži se optimalnoj razini pouzdanosti koju treba realizirati uz minimalne troškove. Ova veza između pouzdanosti i troškova pouzdanosti može se predstaviti jednadžbom (2):

$$T_R = k_1 + k_2 \cdot \ln \bar{T}_{uk} \quad (2)$$

gdje su:

$T_R$  – troškovi pouzdanosti

$\bar{T}_{uk}$  - srednje vrijeme između kvarova

$k_1$  i  $k_2$  - konstante koje se određuju na osnovi podataka i informacija o troškovima razvoja nekog sličnog tehničkog sustava za određenu specificiranu vrijednost pouzdanosti.

Ako pretpostavimo da će tehnički sustav raditi u tzv. korisnom periodu rada (period s konstantnim intenzitetom kvara), onda  $\bar{T}_{uk}$  ima konstantnu vrijednost i pouzdanost  $R$  se može računati kao (3):

$$R = e^{-\frac{t}{\bar{T}_{uk}}} \quad (3)$$

Za visoke vrijednosti pouzdanosti ili za velike vrijednosti srednjeg vremena između kvarova, pouzdanost se može računati kao (4):

$$R = 1 - \frac{t}{T_{uk}} \quad (4)$$

gdje  $t$  predstavlja vrijeme za obavljanje konkretnog posla (zadatka).

Kvarovi su neizbježna pojava u eksploataciji industrijskih postrojenja. Ta pojava je nepoželjna, jer izaziva određene gubitke u poslovanju. Sve gubitke koje izazivaju kvarovi moguće je prikazati pomoću relacije (5):

$$T_G = T \cdot N \cdot (1 - R) \quad (5)$$

gdje je:

$T_G$  – trošak uslijed nastalih gubitaka

$N$  – broj zadataka

$T$  – trošak za izvršenje određenog zadatka.

Na temelju izraza (2) i (5) moguće je izračunati ukupni trošak (6):

$$T_u = T_R + T_G \quad (6)$$

Zamjenama preuzetima iz izraza (2) i (5) dolazi se do novog izraza (7):

$$T_u = k_1 \cdot \ln \bar{T}_{uk} + k_2 + T \cdot N \cdot (1 - R) \quad (7)$$

Za pronalaženje optimalnog srednjeg vremena između kvarova  $\bar{T}_{uk}$ , odnosno onog srednjeg vremena između kvarova koje odgovara minimalnom trošku, potrebno je diferencirati izraz (7) u odnosu na  $\bar{T}_{uk}$ , te ga izjednačiti s nulom i riješiti po  $\bar{T}_{uk}$  (8).

$$\frac{dT_u}{d\bar{T}_{uk}} = \frac{k_1}{\bar{T}_{uk}} - T \cdot N \cdot \frac{dR}{d\bar{T}_{uk}} = 0 \quad (8)$$

Za velike vrijednosti pouzdanosti ili za velike vrijednosti srednjeg vremena između kvarova izraz (3) se može razviti u red i na taj način dolazi se do izraza za  $R$  koji daje dovoljno točan rezultat za praktičnu upotrebu (9).

$$R = 1 - \frac{t}{\bar{T}_{uk}} \quad (9)$$

Daljnijim obradama dolazi se do (10):

$$\frac{dR}{d\bar{T}_{uk}} = \frac{t}{\bar{T}_{uk}^2} \quad (10)$$

Ako se izvrši zamjena ovog izraza u izrazu (5), dolazi se do (11):

$$\frac{k_1}{\bar{T}_{uk}} \cdot T \cdot N \cdot \frac{t}{\bar{T}_{uk}^2} = 0 \quad (11)$$

Optimalno srednje vrijeme između kvarova računa se kao (12):

$$\bar{T}_{uk} = \frac{T \cdot N \cdot t}{k_1} \quad (12)$$

gdje je:

$T$  – trošak za izvršenje određenog zadatka

$N$  – broj zadataka.

Praksa nam pokazuje da je za određenu komponentu koja ima velik intenzitet kvara često nemoguće daljnje povećanje nivoa pouzdanosti, a istovremeno se ne mogu ublažiti uvjeti eksploatacije. U ovakvim slučajevima se najčešće koristi multipliciranje, tj. umjesto jedne ugrađuju se dvije ili više komponenata, tako da zajedno imaju veću razinu pouzdanosti, a time i manji intenzitet kvarova.

Multipliciranje komponenata u nekom sklopu svakako je pozitivna stvar, ali ima svoju cijenu. Povećanjem ovih troškova postavlja se logičko pitanje: Koliko su ti troškovi opravdani? Stoga se mora analizirati gubitak novčanih sredstava zbog svakog kvara, paralelno s troškovima vezanim uz multipliciranje komponenata.

Iz navedenih razloga optimalnost broja komponenata je jako bitna, a za njen izračun koristi se izraz (13) [1]:

$$n = \frac{\ln \left[ \frac{\frac{-K}{T \cdot N}}{\ln \left( 1 - e^{-\frac{t}{\bar{T}_{uk}}} \right)} \right]}{\ln \left( 1 - e^{-\frac{t}{\bar{T}_{uk}}} \right)} \quad (13)$$

gdje je:

$n$  – optimalni broj komponenata

$N$  – broj zadataka ili operacija koje treba izvršiti

$C$  – troškovi izvršenja jedne operacije ili zadatka

$T$  – vrijeme za realizaciju

$\bar{T}_{uk}$  – srednje vrijeme između kvarova

$K$  – trošak za izradu jedne komponente.

U sljedećim primjerima pokazuje se način izračuna pouzdanosti i optimalni broj elemenata na sustavu kad su poznati podaci o troškovima pouzdanosti i njegovim aktivnostima.

Ukupni su troškovi pouzdanosti  $T_R=2\,500\,000$  eura za industrijsko postrojenje koje treba obaviti neki zadatak  $N=100$  puta. Iz podataka o sličnim proizvodima utvrđeno je  $k_1=10\,000$  eura i da je vrijeme potrebno za izvršenje zadatka  $t=2$  sata. Potrebno je izračunati pouzdanost za opisano projektirano postrojenje.

Prvo je potrebno izračunati trošak izvođenja jednog zadatka  $T$  (14):

$$T = \frac{2.500.000}{100} = 25.000 \text{ eura} \quad (14)$$

Ako se iskoristi izraz (12), može se izračunati srednje vrijeme između kvarova (15):

$$\bar{T}_{uk} = \frac{25.000 \cdot 100 \cdot 2}{10.000} = 500 \text{ sati} \quad (15)$$

Na temelju izraza (3) izračunava se optimalna pouzdanost za ovo postrojenje (16):

$$R = e^{-\frac{2}{500}} = 0,996 \quad (16)$$

U drugom slučaju treba se odlučiti za optimalan broj elemenata ako je poznato: vrijeme za izvršenje funkcije  $t=2$  sata, troškovi za izvršenje jedne funkcije (zadatka)  $C=25\ 000$  eura, broj zadataka koje treba izvršiti  $N=10$ , pritom je trošak izrade jednog elementa, uz srednje vrijeme između kvarova  $\bar{T}_{uk}=50$  sati,  $K=10\ 000$  eura. Za rješavanje problema (17) upotrijebljen je izraz (13):

$$n = \frac{\ln \left[ \frac{-10000}{25000 \cdot 10} \cdot \frac{1}{\ln \left( 1 - e^{-\frac{2}{50}} \right)} \right]}{\ln \left( 1 - e^{-\frac{2}{50}} \right)} = 1,36 \approx 1 \quad (17)$$

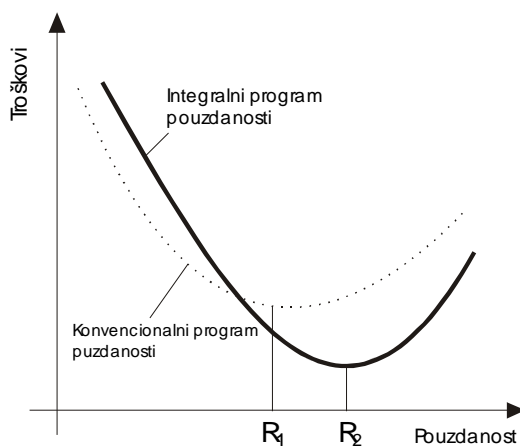
Analizom rezultata može se zaključiti da multipliciranje elemenata ne bi bilo ekonomski opravdano.

## 5. SMANJENJE TROŠKOVA

Vjerojatno ne postoji proizvođač tehničkih sustava koji nema za cilj smanjenje sveukupnih troškova. Ovaj cilj moguće je postići primjenom tzv. integralnog programa pouzdanosti koji se zasniva na osnovnim principima pouzdanosti. To je program koji koordinira napore za podizanje pouzdanosti u svim fazama životnog ciklusa jednog tehničkog sustava.

Promatrana ideja integralnog programa pouzdanosti prikazana je na slici 5, gdje krivulja nacrtana punom crtom pokazuje da takav program može podići optimalni nivo pouzdanosti, a da se u isto vrijeme ukupni troškovi kupca mogu smanjiti.

Ovim se programom mora osigurati da svi zahtjevi pouzdanosti tijekom istraživanja, razvoja, ispitivanja i verifikacije, proizvodnje, kontrole, pakiranja, transporta i isporuke budu zadovoljeni, a ako je moguće i premašeni. Kako bi se postigao taj cilj, koncept pouzdanosti s pripadajućim osnovnim principima mora se primijeniti od samog početka.



Slika 5. Integralni program pouzdanosti [1]

Program mora rezultirati:

- smanjenjem potrebnog broja sastavnih elemenata,
- boljim rasporedom sastavnih elemenata u tehničkom sustavu,
- izborom kvalitetnijeg materijala,
- prikladnijim odabirom odnosa između radnog i kritičnog opterećenja pri konstruiranju novih elemenata,
- korištenjem metoda statistike i teorije vjerojatnosti kako bi se odabrale optimalne razdiobe radnog i kritičnog naprezanja,
- izradom kontrolnih lista kojima se otkrivaju moguće greške u konstrukciji i kojima se signaliziraju eventualna poboljšanja u konstrukciji, što doprinosi optimalnoj pouzdanosti.

Nivo pouzdanosti predviđen konstrukcijom veoma je dragocjen za donošenje odluka. Primjerice, ako se iz eksploatacije uređaja za hlađenje napitaka dobiju izvješća o pojavi kvara, odmah se izračunava intenzitet kvara elemenata koji su otkazali i uspoređuju s nivoom pouzdanosti (intenzitetom kvara) predviđenim konstrukcijom. Ako je izračunani intenzitet kvara mnogo manji od onog predviđenog konstrukcijom, svi kvarovi spadaju u statistički očekivane i nema razloga za zabrinutost. S druge strane, u slučaju da je izračunani intenzitet kvara mnogo veći, to je signal za korektivnu akciju koju treba što prije poduzeti.

## 6. ZAKLJUČAK

Ukupni troškovi pouzdanosti, promatrani odvojeno, ne moraju izazvati nikakvu pozornost. Ta suma može biti velika, ali takva je i lista ukupnih troškova poslovanja, ukupnih troškova kupljenog materijala itd. Kada se nekom menadžeru pokaže takav pregled, najčešće njegovo pitanje glasi: Je li to loše ili dobro? Bez obzira koji je odgovor u konkretnom slučaju, uvijek treba dati objašnjenje u smislu zašto je nešto dobro ili loše. Ako je odgovor negativan onda treba dati prijedlog što treba poboljšati.

Troškove pouzdanosti najjednostavnije je tumačiti metodom usporedbe s poznatim podacima preuzetim od konkurencije. Međutim, do takvih podataka je vrlo teško doći iz više razloga: konkurencija ne želi svoje podatke dati u javnost; razlike u poslovanju i veličini poduzeća; razlike u sustavu vođenja računovodstva; razlike u organizaciji poslovanja itd. Do sada su ovakve prepreke u znatnoj mjeri utjecale na stvaranje otpora za vođenje stvarno korisnih analiza.

Drugi značajniji pristup u tumačenju troškova pouzdanosti je izračun onoga što se smatra troškovima „koji se mogu izbjeći“.

Treći pristup tumačenju je procjena koliko troškovi pouzdanosti mogu biti ekonomski umanjeni. Prema mišljenju J.M. Jurana, troškovi pouzdanosti se u većini slučajeva mogu prepoloviti.

Za čitatelje koji se budu profesionalno bavili ovom problematikom predlaže se korištenje stručne literature iz teorije troškova i njihova veza za ostvarenje optimalnog nivoa pouzdanosti. Treba naglasiti da će praksa uvijek

biti kompromis između teorije troškova i učinka koji se želi postići.

## 7. LITERATURA

- [1] Kondić, Ž., Maglić, L., Samardžić, I., Čikić, A.: Pouzdanost industrijskih postrojenja, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2011.
- [2] Ishikawa, K.: Kako celovito obvladovati kakovost, Japonska pot, Tehnička založba Slovenije, Ljubljana, 1989.
- [3] Skoko, H.: Ekonomija kvalitete u izradbi obzirom na konformnost proizvoda, Strojstvo 36/94, Zagreb, 1994.
- [4] Gašparović, V.: Uvod u ekonomiku i organizaciju proizvodnje, Informator, Zagreb, 1984.

Kontakt autora:

**Mr.sc. Branislav Bojanić**

Pula parking d.o.o.

Prilaz kralja Salomona 4

52100 Pula

branislav.bojanic@pulaparking.hr

**Veljko Kondić, mag.ing.mech.**

Sveučilište Sjever

Sveučilišni centar Varaždin

104. brigade 3

42000 Varaždin

veljko.kondic@unin.hr

**Maja Gotal, MBA**

Sveučilište Sjever

Sveučilišni centar Varaždin

104. brigade 3

42000 Varaždin

maja.gotal@unin.hr