



IDENTIFIKACIJA SCENARIJA OTKAZA I KONCEPIRANJE MATEMATIČKIH ALATKI U NUMERIČKOM PROCENJIVANJU RIZIKA

IDENTIFICATION OF FAILURE SCENARIO AND THE CONCEPTION OF MATHEMATICAL TOOLS IN NUMERIC RISK ASSESSMENT

Goran Jovanov

Kriminalističko policijska akademija-Beograd, Beograd, Srbija

Nemanja Jovanov

Poslovni i pravni fakultet "Union – Nikola Tesla" univerziteta u Beogradu,
Beograd, Srbija

Radovan Radovanović

Kriminalističko policijska akademija-Beograd, Beograd, Srbija

©MESTE

JEL Kategorija rada: **D81, G32**

Apstrakt

U procesnoj industriji menadžment rizika je tradicionalno fokusiran na razmatranje verovatnoće specifičnih događaja ili havarijskih situacija. U energetske postrojenjima koja predstavljaju najznačajnije polje primene, od 70-tih godina prošlog veka u SAD je uveden strukturani pristup za identifikaciju scenarija otkaza. Procena rizika predstavlja proces odlučivanja u odnosu na to da li se postojeći rizici nalaze u opsegu prihvatljivog rizika i da li su postojeći postupci za kontrolu rizika adekvatni. Glavni razlog zbog čega je potrebno napraviti procenu rizika je mogućnost za upravljanje rizikom, njegovo smanjenje ili eliminaciju. Procena rizika treba da bude što je moguće objektivnija i da ista zavisi od naučnih kriterijuma. Po dobijanju informacije u vezi sa rizikom, možemo početi sa primenom efektivnih metoda za njegovo smanjenje, čime ćemo ostvariti povećanje efikasnosti u smanjenju rizika. Metodološki tok procedure procene rizika predstavlja osnovu za pravilno procenjivanje

Adresa autora:

Goran Jovanov

[✉ goran.jovanov@kpa.edu.rs](mailto:goran.jovanov@kpa.edu.rs)

odnosno snimanje situacije poslovnog sistema. Rezultat stanja sistema u primeni određenih modela za procenu rizika, zavisi isključivo od pravilno donošanih rezultata u metodološkom toku



procene rizika. Na osnovu daljih rezultata vrši se rangiranje numeričko procenivanje rizika, odnosno Rizik (R) se rangira od prihvatljivog (zanemarljivo malog rizika) ranga R1 do ekstremno visokog rizika ranga R5, koji ne dozvoljava da aktivnost niti počne niti se nastavi, dok se nivo rizika ne smanji. Takođe se daje tabelarni prikaz opisa kriterijuma za procenu verovatnoće, kao i kriterijumi za učestalost otkaza i rangiranje rizika. Vrednovanje procene rizika se postiže prikazom modela matrice. Postoje matrice sa različitim brojem nivoa, ali najjednostavniji model matrice rizika je 3x3 sa tri nivoa rizika. Na osnovu matrice za ocenu rizika definiše se rang rizika za klasifikaciju i karakterizaciju procene rizika.

Ključne reči: Verovatnoća, rangiranje, procenivanje, kriterijum učestalosti, kriterijum otkaza

Abstract

In the process industry, risk management is traditionally focused on considering the probability of specific events or accidents. In energy plants which represent the most important field of application, in 1970's of the last century, in the USA the structural approach for identification of failure scenario was introduced. Risk assesment represent the decision process related to whether the existing risks are within the range of accepable risk and whether the exisiting procedures for risk control are adequate. The main reason why it is necessary to make risk assesment is the possibility for risk management, its decrease or elimination. Risk assesment should be as objective as possible, and to depend on scientific criteria. After having received the information on risk, it can be started with the application of effective methods for its decrease, by which the increased efficiency in risk assesment will be accomplished. Methodological course of risk assesment procedure represents the ground for proper estimation, i.e. for monitoring the situation of business system. The result of system's condition at the application of certain models for risk assesment, depends exclusively on properly made results within the methodological course of risk assesment. Based on further results, the ranking of numerical risk assesment is made, i.e. the risk (R) is ranked from acceptable (insignificantly low risk) of the rank R1 through extremely high risk of the rank R5, which does not allow for activity to either to start or to continue until the risk level is reduced. Also, the table containing the description of criteria for probabily estimate is provided, as well as of criteria for the frequency of failure and risk ranking. The evaluation of risk assesment is accomplished by showing the matrix model. There are matrices with different number of levels, but the simplest model of risk matrix is 3x3 with 3 risk levels. Based on the matrix of risk estimate the range of risks for calnsification and characterization of risk estimate is defined.

Keywords: Possibility, ranking, estimate, frequency criteria, failure criteria

1 UVOD

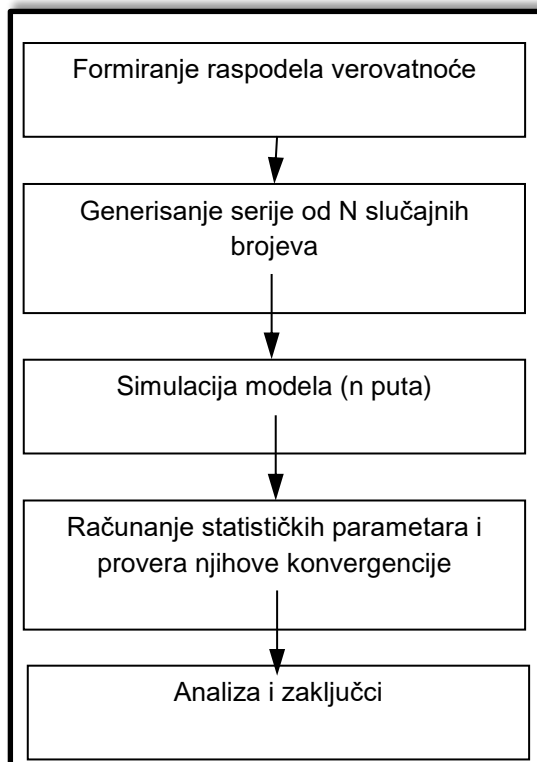
Ekonomске štete koje se javljaju u proizvodno poslovnim sistemima tokom njihovog životnog veka, motivisale su naučnike širom sveta da se posvete razvoju metoda i tehnika za minimizaciju štetnih, aksidentnih i havarijskih situacija. Poslovanje savremenih proizvodno poslovnih sistema se odvija, danas, u složenim, neizvesnim i dinamičnim uslovima koji zahtevaju stalne inovacije i promene. Uvođenje inovacija kroz inovativnost, inventivnost i kreativnost zaposlenih može znatno uticati na oblast menadžmenta rizicima u proizvodno poslovnim sistemima, a što svakako zahteva novo znanje i veštine kod zaposlenih. Rizik je oduvek privlačio pažnju

velikog broja istraživača i naučnika, ali uglavnom sa različitih aspekata, tako da ni do danas nemamo jedinstvenu definiciju rizika. Nije problem samo u razlici pristupa već i u pojavnj prirodi rizika, što je postalo fenomen, pa rizik nije ni moguće jednoznačno pojasniti. Pojam rizika je vrlo relativiziran, ali svim rizicima je zajedničko to da moraju biti budući i neizvesni događaji. Prisustvo rizika ne može se neutralisati, pa pojedinci i poslovni sistemi traže puteve njegovog rešavanja. Rizici fundamentalne prirode rešavaju se putem kolektivnih napora društva. Iako društvo može pomoći da se olakša teret rizika u mnogim oblastima, postoje neki rizici za koje su odgovorni pojedinci.

2 MERENJA I OCENA RIZIKA

Prirodno je da ljudi nastoje da izbegnu rizik, ili da ga svedu na najmanju moguću meru. Zbog toga se oni najčešće prilikom izbora između rizika i moguće koristi, odlučuju za njihovu optimalnu kombinaciju (alternativu), pri čemu se podrazumeva mogućnost merenja ili ocene rizika. Odluke se i danas donose sa određenom dozom rizika i to ponekad direktno na bazi iskustva, a ponekad koristeći istorijske podatke koji su se generacijski prenosili i to tako da se vremenom doza učešća rizika u tim odlukama i nepovoljan ishod smanjuje sa sticanjem iskustva. Smatra se da je osnovni zadatak menadžmenta posebno prevođenje neizvesnosti u rizik. Da bi se taj zadatak ispunio, potrebno je pravilno oceniti rizik, čime se, pored ostalog, bavi teorija verovatnoće. Vršni događaj se obično izražava u zavisnosti od minimalne sekvence otkaza. Ove sekvence se sastoje iz niza događaja, od kojih je svaki definisan pomoću parametara. Pretpostavimo da je osnovni događaj sa verovatnoćom pojave - p . Ova vrednost nije poznata egzaktno već je estimirana na osnovu podataka ili ekspertnog znanja. Neizvesnost p je kvantifikovana raspodelom verovatnoće: srednja vrednost je najbolja estimacija za p , disperzija raspodele je mera neodređenosti za p , tj. veća li manja neodređenost reflektuje respektivno veću ili manju neodređenost vrednosti verovatnoće p . Za sve osnovne događaje, slučajni uzorci verovatnoća se uzimaju na bazi neodređenosti raspodela. Ove vrednosti verovatnoća se tada koriste za proračun verovatnoće vršnog događaja. Ukoliko se ovi uzorci i vršni događaj proračunavaju više puta, raspodela neodređenosti vršnog događaja se može odrediti empirijski. Srednja vrednost raspodele indukuje verovatnoću vršnog događaja, a disperzija kvantifikuje neodređenost verovatnoće. Za opisivanje analize pomoću višestrukog ponavljanja slučajnog uzorkovanja koristi se Monte Carlo metoda (slika 1). Korišćenjem generatora slučajnih brojeva, realizuje se višestruko kvantifikovanje vršnog događaja. Za analizu neodređenosti potrebno je poznavanje raspodela verovatnoća (lognormalna, eksponencijalna, normalna, beta itd.) Kvantifikacija neodređenosti na nivou tehničkog sistema mora biti deo procesa finalnog donošenja

odluka. Poznavanje neodređenosti (neizvesnosti) u celokupnom riziku je veoma važno radi mogućnosti odlučivanja na osnovu više informacija (Adamović & Milošević, 2008).



Slika 1 Procedura Monte Carlo metode

Onog trenutka kada se na bilo koji način želi utvrditi mera opasnosti od štetnog događaja u nekom sistemu, moraju se utvrditi granice tog sistema, a takođe se mora ograničiti i vreme u kome se mera opasnosti utvrđuje. Ako se konstatuje da je meru neke opasnosti najbolje utvrđivati preko verovatnoće nastanka štetnog događaja i veličine njegovih posledica, onda se pojam rizik može shvatiti kao kompleksna veličina koja obuhvata verovatnoću nastanka štetnog događaja i očekivanu veličinu posledice tog događaja u nekom zaokruženom sistemu i tokom nekog vremenskog intervala ili određenog procesa, što se može predstaviti slikom 2. Iskazano matematičkim jezikom rečeno možemo napisati na sledeći način:

$$R(T) = P(T) \times L(T)$$

gde su:

T - neželjeni rizicni ili štetni događaj,

R(T) - rizik od događaja T,

$P(T)$ - verovatnoća da će se događaj T i odigrati,
 $L(T)$ - veličina štete koju bi izazvao događaj T .

Ova matematička relacija rizika često izaziva sa teoretskog i matematičkog aspekta određena podozrenja i nerazumevanja. Glavni nesporazum leži u činjenici da se rizik izražava kao proizvod dve komponente: jedne koja je realna (posledice) i druge koja je imaginarna, odnosno koju je čovek definisao i nazvao verovatnoća (Adamović et.al., 2008, p.45).

Iako očigledno ne postoji jedinstvena definicija rizika, može se zaključiti da u svim definicijama postoje zajednički elementi, a to su neizvesnost i šteta. Neophodno je stalno istraživati mogućnosti za redukcije rizika. Rizik, koji se definiše kao proizvod verovatnoće i posledice, uvek se posmatra za pretpostavljene scenarije u konkretnim situacijama i okolnostima nastanka opasnosti i očekivanog štetnog događaja. Kada postoji rizik, ishodi se ne mogu predvideti sa sigurnošću. Stoga rizik izaziva neizvesnost. Međutim, za razliku od neizvesnosti koja je subjektivni koncept i koja se ne može direktno meriti, rizik je objektivni koncept, što znači da se on može meriti, samim tim identifikovati scenario otkaza na osnovu teorije pouzdanosti i same tehnologije održavanja nekog tehničkog sistema.

Ukoliko poznajemo sve navedene termine možemo izgraditi koncept matematičkih alatki kroz numerički sistem procenivanja rizika.

2.1 Analiza rizika

Analiza rizika je postupak kojem je cilj ustanoviti "ranjivosti" sistema, uočiti potencijalne rizike, te na odgovarajući način kvantifikovati moguće posledice da bi se mogao odabrati najdelotvorniji način zaštite, odnosno proceniti opravdanost uvođenja dodatnih "protivmera". Analizom rizika moraju se utvrditi sledeće činjenice:

- kritični resursi i njihova vrednost (relativna ili novčana),
- pregled mogućih opasnosti i verovatnoće njihove pojave,
- potencijalni gubici koje prouzrokuje ostvarenje opasnosti,
- preporučene protivmere (nadzor) i zaštita.

Na temelju dobijenih rezultata potrebno je odlučiti kakve protiv-mere treba preduzeti.

Postoje tri mogućnosti delovanja koje nisu međusobno isključive:

1. smanjenje rizika,
2. prenos rizika, i
3. prihvatanje rizika.

Tabela 1. Tipične verovatnoće rizika

Verovatnoća pojave		Kriterijum
Kvalitativne	Kvantitativne	
Vrlo retko	< 0.1	Procenjena verovatnoća pojave ne prelazi 10%, odnosno verovatnoća ponavljanja prevazilazi period od 10.000 godina
Retko	>0.1 ali <0.4	Procenjena verovatnoća pojave ne prelazi 40%, ali je veća od 10%, odnosno verovatnoća ponavljanja prevazilazi period od 1.000 godina
Verovatno	>0.4 ali <0.8	Procenjena verovatnoća pojave prelazi 40%, ali nije veća od 80%, odnosno verovatnoća ponavljanja se kreće u periodu od 10 do 1.000 godina
Vrlo verovatno	> 0.8	Procenjena verovatnoća pojave prelazi 80%, odnosno verovatnoća ponavljanja je manja od 10 godina

Jedini važan parametar pri odabiru načina delovanja je isplativost za organizaciju. Smanjenje rizika predstavlja proces u kojem se na temelju sprovedene analize rizika nastoje sprovesti odgovarajuće protivmere i uvede sigurnosni nadzor da bi se zaštitili resursi

organizacije. U tom postupku nastoji se smanjiti verovatnoća opasnosti i/ili njen uticaj na proces. Ukoliko se pokaže isplativijim, rizik je moguće preneti na treću stranu (npr. osiguravajuće društvo).

Isto tako moguće je da implementacija protivmera ili prenos rizika nisu isplativi. U tom slučaju preduzeće može odlučiti da prihvati rizik, odnosno troškove koji iz toga proizilaze. Jedini pristup koji u upravljanju rizikom nije prihvatljiv je ignorisanje ili zanemarivanje rizika. Treba znati da je upravljanje rizikom kontinualan proces, te da se odnos vrednosti resursa, ranjivosti i opasnosti sa vremenom menja. Postoje dva osnovna pristupa analizi rizika (tabela 1), a to su:

1. kvalitativna analiza, i
2. kvantitativna analiza.

2.1.1 Kvalitativni pristup analize rizika (matrica rizika)

Kvalitativna analiza rizika predstavlja subjektivniji pristup pri kojem se resursi, rizici i protivmere posmatraju relativno s obzirom na sistem. Za sprovođenje kvalitativne analize nije nužno egzaktno poznavanje materijalne vrednosti pojedinih resursa, već je za njihovo vrednovanje bitno poznavati važnost za pojedine poslovne procese. Rezultat kvalitativne analize iskazuje samo relativan odnos vrednosti šteta nastalih delovanjem neke opasnosti i uvođenja protivmera. Pritom trebamo imati na umu da je ta procena subjektivne prirode te je stoga podložna greškama. Kvalitativni kriterijumi koriste reči kao što su verovatno, moguće, često i retko, kako bi

se opisala verovatnoća pojave i reči kao što su neznatno, katastrofalno, itd., kako bi se opisale posledice događaja (Adamović et.al., 2007, p.158).

Kvalitativni pristup kao metoda započinje dodeljivanjem kvalitativnih vrednosti verovatnoćama događaja i posledica koje se kasnije koriste pri determinisanju kvalitativnog faktora rizika. Ključne karakteristike ovog metoda su da:

- omogućava nezavisno određivanje verovatnoća i posledica rizika,
- obezbeđuje kvalitativno definisanje rizika i njegove težine.

Metodologija se odvija u sledeća tri koraka:

1. Adresiranje svake rizične situacije na osnovu pojedinačnih formi za određivanje rizika.
2. Determinisanje kvalitativne verovatnoće pojave (P) za svaki rizik na podesan način i na osnovu realnog kriterijuma. Na slici 2. prikazani su tipični kriterijumi za ustanovljavanje kvalitativnih vrednosti verovatnoća.
3. Determinisanje kvalitativnih vrednosti posledica pojave (C) za svaki rizik na podesan način i na osnovu realnog kriterijuma. Na slici 2. prikazani su tipični kriterijumi za ustanovljavanje kvalitativnih vrednosti posledica.

Posledice pojave		Kriterijum				
Kvalitativne	Kvantitativne					
Beznačajne	< 0.1	Minimalne ili nebitne posledice				
Neznatne	od 0.1 do 0.4	Neznatno utiču na proces koji se analizira				
Znatne	od 0.4 do 0.8	U velikoj meri doprinose povećanju troškova				
Kritične	od 0.8 do 0.9	Ozbiljno ugrožavaju proces, osoblje				
Katastrofalne	> 0.9	Katastrofalne posledice po organizaciju, okolinu, ljude				
Vrlo verovatno	Nizak	Srednji	Visok	Visok	Visok	Verovatnoća pojave
Verovatno	Nizak	Srednji	Visok	Visok	Visok	
Retko	Nizak	Nizak	Srednji	Srednji	Visok	
Vrlo retko	Nizak	Nizak	Nizak	Nizak	Visok	
	Beznačajne	Neznatne	Znatne	Kritične	Katastrofalne	

Slika.2 Tipične posledice rizika sa Matricom rizika

Određivanje nivoa rizika na bazi preseka kvalitativnih vrednosti za verovatnoće i posledice (P i C) rizičnih situacija u matrici rizika 5x4 prikazan je na slici 2. U zavisnosti od aktivnosti i sposobnosti da se izdiferencira nivo rizika, mogu se konstruisati matrice različitih nivoa "osetljivosti". Na primeru na slici 2. izvršena je kategorizacija na tri nivoa rizika (nizak, srednji, visok).

2.1.2 Kvantitativni pristup analize rizika

Ovaj metod se zasniva na dodeljivanju kvantitativnih vrednosti verovatnoćama pojave i posledicama događaja, koje se koriste za determinisanje kvantitativnog faktora rizika. Kvantitativni kriterijumi koriste numeričke vrednosti kako bi opisali verovatnoću i posledice događaja. Ključne karakteristike metoda ogledaju se u sledećem:

- omogućava kvalitativno definisanje rizika, ali na osnovu kvantitativnih podataka o nivou rizika,
- pruža finiju izdiferenciranost unutar nivoa rizika.

Metod je koristan za definisanje prioriteta aktivnosti, posebno u slučaju kada postoji veliki broj identifikovanih rizičnih situacija. Metodologija se zasniva na jednačini za faktor rizika:

$$RF = (P \times C)$$

gde su:

- RF* - faktor rizika,
- P* - verovatnoća pojave,
- C* - posledice pojave.

Metodologija se odvija u sledećim koracima:

1. Adresiranje svake rizične situacije na osnovu pojedinačnih formi za određivanje rizika.
2. Determinisanje kvantitativne verovatnoće pojave (*P*) za svaki rizik na podesan način i na osnovu realnog kriterijuma. Verovatnoća se izražava kao decimalni broj od 0 do 1, pri čemu 0 označava nemoguć događaj, a 1 događaj koji će se realizovati sa verovatnoćom od 100%.
3. Determinisanje kvantitativnih vrednosti posledica pojave (*C*) za svaki rizik na podesan način i na osnovu realnog kriterijuma.
4. Korišćenjem formule $RF = P \times C$, determiniše se faktor rizika za svaki identifikovani rizik.

5. Na osnovu dobijenih vrednosti određuje se nivo rizika za svaki identifikovani rizik.

Da bi se uradila kvantitativna analiza rizika, mora biti ustanovljen model sistema. Model predstavlja pojednostavljenu reprezentaciju realnog sistema i sadrži opise relacija između posmatranih kvantiteta.

Postoje nekoliko različitih metoda za modelovanje sistema, a u cilju proračuna njegove pouzdanosti. Dva od tih metoda su:

1. funkcionalno, i
2. hardversko modelovanje.

Funkcionalni model sistema je model koji prvo opisuje, a zatim logički povezuje funkcije neophodne za operacioni rad sistema.

Hardversko modelovanje koristi opremu koja je potrebna za rad sistema kako bi prikazao logičke veze između individualnih komponenti i opisuje funkcije neophodne za funkcionisanje sistema. Često se ova dva metoda modelovanja kombinuju. U kvantitativnoj analizi rizika interesuje nas verovatnoća pojave neželjenog događaja. U tu svrhu razvijeni su razni modeli, npr. stablo otkaza sa verovatnoćama osnovnih događaja kao parametrima. Ove verovatnoće su subjektivne i izražavaju neizvesnost kvantiteta. Razvojem i korišćenjem probablističkih modela moguće je udruživanje neizvesnosti sa svakom slučajnom promenljivom u modelu (Drobnjak et.al., 2014;53).

2.2 Proces analize rizika

Primarni cilj bilo koje analize rizika je da se identifikuju opasnosti, kako bi bili u mogućnosti da redukujemo ili eliminišemo verovatnoću pojave neželjenog događaja i njegove konsekvence po čoveka, njegovu okolinu ili ekonomiju. Do ovoga dolazi kada je inicijalni događaj praćen greškom sistema.

Do sada identifikovani događaji koji su uzročnici osnovnih tipova otkaza:

- događaji koji su posledica ljudskog faktora, tj. greške u dizajnu i odžavanju,
- događaji koji su posledica hardvera, (npr. curenje ventila) i
- događaji koji su posledica uticaja okoline (zemljotresi, poplave).

Internacionalni standard IEC 60300-3-9:1995 definiše analizu rizika kao "Sistemske korišćenje raspoloživih informacija radi identifikacije opasnosti i procenivanje rizika pojedinca, populacije, imovine ili okoline" (Starčević et.al., 2010, p. 48). Analiza rizika može biti izvedena kvantitativno pri čemu epizodni događaji sa potencijalno vezanim posledicama su identifikovani i rangirani shodno šemi vrednovanja u zavisnosti od kriterijuma (imovinska šteta, ljudska povreda, proizvodni zastoj). Rangiranje rizika omogućava menadžerima da odrede prioritete preventivnih aktivnosti i resurse za rizični scenario. Ove metode se obično nazivaju indeksne metode, point scheme metode, itd., a razmatraju i frekvenciju i posledice.

Analiza rizika može biti podeljena u različite nivoe detalja, kao npr. u nuklearnoj industriji, gde se analiza rizika izvodi na tri nivoa:

- Nivo 1 - analiza sistema, analiza verovatnoće pojave kritičnih stanja;
- Nivo 2 - analiza sistema i analiza posledica pojave različitih kritičnih stanja sa odgovarajućim verovatnoćama; ili
- Nivo 3 - dalja analiza za moguće (negativne) efekte na ljude, uključujući procenu opasnosti za ljudski život i slučajevi u kojima može do toga da dođe.

Krajnji proizvod analize rizika tada zavisi od nivoa detalja koji se koriste i treba da bude određen već pri definisanju predmeta analize, odnosno pre izvođenja analize (George, 2005, p. 33).

3 MODEL KONCEPIRANJA MATEMATIČKIH ALATA U NUMERIČKOM PROCENJIVANJU RIZIKA

Procena rizika se izvodi za svaku aksidentnu situaciju, determinisanjem odgovarajućeg rizika za dati scenario, tehnički sistem ili tehnički proces, kao funkciju težine moguće štete i verovatnoće njene pojave. Metode koje se koriste u proceni rizika su često kvantitativne, mada stepen zahtevanog ulaska u detalje za pripremu procene zavisi od specifične aplikacije.

U ovom koraku treba uraditi sledeće analize:

- analizu frekventnosti,

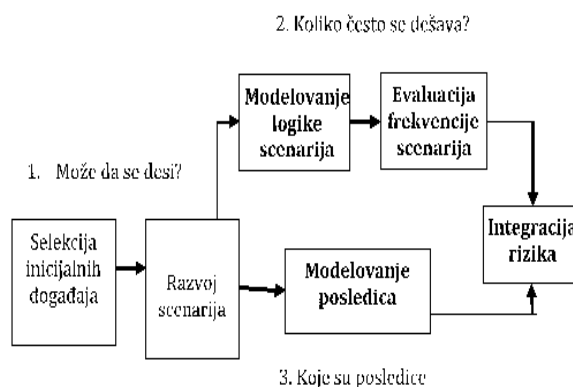
- analizu posledica, i
- kalkulaciju rizika.

Analiza frekventnosti se koristi za procenu verovatnoće svakog identifikovanog neželjenog događaja. Postoje tri opšta pristupa koja se upotrebljavaju za određivanje frekventnosti događaja:

1. korišćenje relevantnih istorijskih podataka,
2. izvođenje pomoću analitičkih ili simulacionih tehnika,
3. korišćenje ekspertne procene.

Sve ove tehnike mogu se koristiti individualno ili zajednički. Kada se koriste istorijski podaci, tada podaci moraju biti relevantni, odnosno moraju da odgovaraju tipu sistema ili aktivnostima koje se razmatraju.

Određivanje ukupnog rizika na osnovu skupa scenarija, omogućava polaznu osnovu za identifikaciju i rangiranje udela rizika. Na slici 3. prikazana je pomenuta metodologija.



Slika 3. Metodologija identifikacije i rangiranja udela rizika

Metod Markova se koristi u izvođenju analize raspoloživosti inženjerskih sistema. Osnovne postavke ove metode su:

- verovatnoća prelaza sistema iz jednog stanja u drugo u konačnom vremenskom intervalu Δt , data je sa $\alpha\Delta t$, pri čemu je α koeficijent prelaza iz jednog stanja sistema u drugo,
- verovatnoća pojave više od jednog prelaza iz jednog stanja sistema u drugo u konačnom vremenskom intervalu Δt je neznatna, tj. $(\alpha\Delta t) \rightarrow 0$,
- svi događaji su nezavisni jedan od drugog.

U određenom trenutku vremena sistem se nalazi u jednom od konačnog broja stanja.

Primer:

Pretpostavimo da sistem može da iz normalnog radnog stanja pređe u stanje otkaza na bezbedan i nebezbedan način. Na slici 4. su predstavljena stanja sistema.

Uz pomoć modela Markova mogu se napisati jednačine stanja prikazanog sistema:

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t)(1 - \lambda_{nb}\Delta t)(1 - \lambda_b\Delta t)$$

$$P_1(t + \Delta t) = P_0(t)\lambda_{nb}\Delta t + P_1(t)$$

$$P_2(t + \Delta t) = P_0(t)\lambda_b\Delta t + P_2(t)$$

gde su:

$P_i(t+\Delta t)$, $i=0,1,2$ - verovatnoće i -tog stanja sistema u trenutku $(t+\Delta t)$,

$P_i(t)$, $i=0,1,2$ - verovatnoće i -tog stanja sistema u trenutku t ,

$\lambda_{nb}\Delta t$ - verovatnoća bezbednog otkaza sistema u konačnom vremenskom intervalu t ,

$\lambda_b\Delta t$ - verovatnoća nebezbednog otkaza sistema u konačnom vremenskom intervalu t .

Rangiranje scenarija rizika na osnovu njihovih frekvencija pojavljivanja omogućava nam ograničen uvid u celokupnu raspodelu rizika, s obzirom na važnost udela individualnih događaja u ukupnom riziku. Rangiranje scenarija pruža nam uvid u važnost grupe greške/otkaza, ali ne i greške/otkaza pojedinih komponenti jednog poslovnog sistema. Neželjeni događaj (npr. greška/otkaz komponente X) koji se desio u strukturi scenarija male verovatnoće pojave, može biti zanemaren u definisanju dominantnog scenarija rizika. Ukoliko je udeo scenarija male verovatnoće pojave u ukupnom riziku uporedljiv sa manje dominantnim scenarijem rizika, tada rangiranje scenarija neće obuhvatiti važnost rizika komponente X.

Iz tog razloga na raspolaganju nam stoji nekoliko kvantitativnih merenja značaja individualnih događaja. Suština ovih merenja je da

se definišu promene u kvantitativnoj matrici rizika prouzrokovane promenom u verovatnoći pojave događaja u modelu rizika. Na osnovu izračunatih mera značaja, događaji jednog modela rizika se rangiraju na osnovu njihovih relativnih vrednosti mera značaja. Informacije koje se generišu na osnovu ovog procesa se često koriste u donošenju odluka na osnovu rizika i služe kao polazna tačka aktivnostima i naporima na redukovanju rizika, kao što su to redizajn hardverskih komponenti, dodatna redudancija, i sl. U realizaciji „Singapurskog” modela (3x3), rizik se predstavlja kao proizvod verovatnoće nastanka neželjenog događaja (V) i posledica težine neželjenog događaja (T), tj.:

$$R = V \cdot T$$

Vrednovanje procene rizika se postiže prikazom modela matrice. Postoje matrice sa različitim brojem nivoa, ali najjednostavniji model matrice rizika je 3x3 sa tri nivoa rizika. U tabeli 2. su predstavljeni nivoi verovatnoće i dat je njihov opis, u tabeli 3. date su posledice težine neželjenog događaja i njihov opis, a u tabeli 4 je prikazana matrica za određivanje nivoa rizika. Na osnovu matrice za ocenu rizika definiše se rang rizika za klasifikaciju i karakterizaciju procene rizika kao što je to prikazano u tabeli 5.

Tabela 2. Nivoi verovatnoće i njihov opis

Verovatnoća nastanka neželjenog događaja (V)		Opis
Mala verovatnoća	1	neželjeni događaj verovatno se neće dogoditi
Srednja verovatnoća	2	moguće je nastajanje neželjenog događaja (poznato je da se događa)
Velika verovatnoća	3	neželjeni događaj se događa često ili se ponavlja

Tabela 3. Posledice težine neželjenog događaja sa opisom događaja

Posledica težine neželjenog događaja (T)		Opis
Male posledice	1	Na primer, ako je povreda na radu, zahteva se samo mera prve pomoći (manje posekotine, iritacija kože, itd.).
Srednje posledice	2	Na primer ako je povreda na radu, zahteva se medicinska pomoć, oboljenje izaziva privremenu nesposobnost ili invalidnost (opekotine, uganuća, prelomi malih kostiju, naglupost, i dr.).
Velike posledice	3	Na primer ako je povreda na radu, imamo smrtni ishod, teške povrede, profesionalne bolesti praćene teškim posledicama (amputacije, prelomi velikih kostiju, rak, teška trovanja, bolesti opasne po život, i dr.).

Tabela 4. Kriterijumi za klasifikaciju i karakterizaciju procene rizika

Posledica težine neželjenog događaja (T)		Verovatnoća nastanka neželjenog događaja (V)		
		Mala	Srednja	Velika
		1	2	3
Velika	3	Mali rizik 3	Veliki rizik 6	Vrlo veliki rizik 9
Srednja	2	Vrlo mali rizik 2	Umeren rizik 4	Veliki rizik 6
Mala	1	Zanemarljivo mali rizik 1	Vrlo mali rizik 2	Mali rizik 3

Tabela 5 Matrični model procene rizika kod "singapurske" metode

Procena ranga rizika	Klasifikacija nivoa rizika	Karakterizacija rizika
R1	Zanemarljivo mali rizik	Prihvatljiv rizik
R2	Vrlo mali rizik	
R3	Mali rizik	Povećani rizik
R4	Umeren rizik	
R6	Veliki rizik	Neprihvatljiv rizik
R9	Vrlo veliki rizik	

4 ZAKLJUČCI

Razvoj automatike doveo je do sve kompleksnijih bezbednosnih funkcija na tehničkim sistemima, što je uslovalo i daleko složenije postupke održavanja istih. Uticaj funkcije održavanja na bezbednost rada tehničkog sistema postao je presudan. Radnici službe održavanja su zaduženi za preventivno otklanjanje nebezbednih uslova rada u proizvodnom pogonu. Pravilno upravljanje funkcijom održavanja dobija ključnu ulogu u kontroli i identifikaciji opasnosti po pitanju rada tehničkog sistema.

Upravljanje funkcijom održavanja na bazi rizika, nalazi veoma bitnu oblast primene "rezonovanja" sa stanovišta rizika, upravo u stvaranju bezbednog radnog okruženja, tj. u slučaju održavanja – osiguranju bezbednog izvođenja aktivnosti održavanja. Identifikacija i analiza rizika i donošenje racionalnih odluka na bazi procesa procene rizika (RAP) (RAP – Risk Assessment Process) je najbolje preventivno sredstvo u rukama održavaoca za uspešno i sigurno izvođenje aktivnosti održavanja. Poznavanje rizika omogućava privrednom sistemu da maksimizuje efikasnost bezbedonosnog programa i minimizuje broj pojava stanja "u otkazu" kod tehničkih sistema.

Model koncipiranja matematičkih alata u numeričkom procenivanju rizika nam daje široku lepezu primene modela za određivanje pravilne tehnologije održavanja tehničke dijagnostike.

Takođe nas upućuje na primenu tehničke dijagnostike stanja i primene modela održavanja tehničkih sistema na bazi rizika.

Rezultat stanja sistema u primeni određenih modela za procenu rizika, zavisi isključivo od pravilno donošenih rezultata u metodološkom toku procene rizika. Na osnovu daljih rezultata izvršeno je rangiranje numeričko procenjivanje rizika, odnosno, rizik (R) se rangira od prihvatljivog (zanemarljivo malog rizika) ranga R1 do ekstremno visokog rizika ranga R5, koji ne

dozvoljava da aktivnost niti počne niti se nastavi, dok se nivo rizika ne smanji. Takođe su dati tabelarni prikazi opisa kriterijuma za procenu verovatnoće, kao i kriterijumi za učestalost otkaza i rangiranje rizika. Vrednovanje procene rizika se postiglo prikazom modela matrice. Postoje matrice sa različitim brojem nivoa, ali u ovom radu je primenjen model matrice rizika je 3x3 sa tri nivoa rizika. Na osnovu matrice za ocenu rizika definisan je rang rizika za klasifikaciju i karakterizaciju procene rizika.

CITIRANA DELA

- Adamović, Ž., Jovanov, G., & Meza, S. (2008). *Upravljanje rizikom*. Univerzitet u Novom Sadu. Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin.
- Adamović, Ž., Voskresenski, V., & Tul, R. (2007). *Održavanje na bazi rizika*. TEHDIS, Beograd
- Adamović, Ž., Milošević, Ž., i dr. (2008). *Modeli održavanja na bazi rizika*. Društvo za energetske efikasnost Bosne i Hercegovine, Banja Luka.
- Drobnjak, R., Drobnjak, P., & Vasović, V. (2014). *Procena rizika jednog radnog mesta polukvantitativnom metodom – Guardmaster*. Zbornik radova Prve regionalne međunarodne konferencije: Primenjena zaštita i njeni trendovi, Međunarodni institut za upravljanje znanjem Novi Sad, ISBN 978-86-80048-00-0, Zlatibor, 17-19. septembar
- George, E. Rejda. (2005). *Principles of Risk Management and Insurance*. Ninth Edition. Addison Wesley, Boston.
- Starčević, J., Ilić, M., & Paunović-Pfaf, J.(2010). *Priručnik za procenu rizika*. Globe Design, Beograd.
- Vujović, R., Jovanović, S., & Todorović, J. (2003). Unapređenje metoda upravljanja rizikom u industrijskim postrojenjima. *Tokovi osiguranja*, (1-2).

Datum prve prijave: 20.09.2018.
Datum prijema korigovanog članka: 11.03.2019.
Datum prihvatanja članka: 27.03.2019.

Kako citirati ovaj rad? / How to cite this article?

Style – APA Sixth Edition:

Jovanov, G., Jovanov, N., & Radovanović, R. (2019, 04 15). Identifikacija scenarija otkaza i koncipiranje matematičkih alatki u numeričkom procenivanju rizika. (Z. Čekerevac, Ur.) *FBIM Transactions*, 7(1), 74-84. doi:10.12709/fbim.07.07.01.09

Style – Chicago Sixteenth Edition:

Jovanov, Goran, Nemanja Jovanov, i Radovan Radovanović. 2019. „Identifikacija scenarija otkaza i koncipiranje matematičkih alatki u numeričkom procenivanju rizika.“ Urednik Zoran Čekerevac. *FBIM Transactions* (MESTE) 7 (1): 74-84. doi:10.12709/fbim.07.07.01.09.

Style – GOST Name Sort:

Jovanov Goran, Jovanov Nemanja i Radovanović Radovan Identifikacija scenarija otkaza i koncipiranje matematičkih alatki u numeričkom procenjivanju rizika [Časopis] // FBIM Transactions / ur. Čekerevac Zoran. - Beograd : MESTE, 15 04 2019. - 1 : T. 7. - str. 74-84.

Style – Harvard Anglia:

Jovanov, G., Jovanov, N. & Radovanović, R., 2019. Identifikacija scenarija otkaza i koncipiranje matematičkih alatki u numeričkom procenjivanju rizika. *FBIM Transactions*, 15 04, 7(1), pp. 74-84.

Style – ISO 690 Numerical Reference:

Identifikacija scenarija otkaza i koncipiranje matematičkih alatki u numeričkom procenjivanju rizika.
Jovanov, Goran, Jovanov, Nemanja i Radovanović, Radovan. [ur.] Zoran Čekerevac. 1, Beograd : MESTE, 15 04 2019, FBIM Transactions, T. 7, str. 74-84.