

Mr.sc. Dubravko Žigman, dipl.ing.  
Mr.sc. Krešimir Meštrović, dipl.ing.  
Željko Stojanović, dipl.ing.  
Tehničko veleučilište u Zagrebu

## REZULTATI PRORAČUNA RASPOLOŽIVOSTI VISOKONAPONSKIH RASKLOPNIH POSTROJENJA KORIŠTENJEM PROGRAMSKOG PAKETA RISK SPECTRUM

### SAŽETAK

U referatu je prikazan programski paket Risk Spectrum. Definirani su glavni elementi modela koji se koriste za proračun pouzdanosti, parametri pouzdanosti kao i način formiranja stabla kvara. Prikazane su mogućnosti različitih analiza, npr. analiza minimalnih presjeka, analiza nesigurnosti, analiza važnosti i osjetljivosti i vremenski uvjetovana analiza.

Pokazano je kako se ovaj programski paket može iskoristiti za proračun raspoloživosti visokonaponskog rasklopног postrojenja.

Prikazani su numerički i grafički rezultati proračuna raspoloživosti jednog tipičnog visokonaponskog rasklopног postrojenja.

**Ključne riječi:** Risk Spectrum, stablo kvara, pouzdanost, raspoloživost.

## HIGH VOLTAGE SWITCHYARDS AVAILABILITY RESULTS BY MEANS OF RISK SPECTRUM PROGRAMME PACKAGE

### SUMMARY

The paper shows Risk Spectrum programme package. It defines the main model elements which have been used for reliability calculation, reliability parameters as well as fault tree formation. Different possibilities of analysis are shown, i.e. minimum cross-section analysis, analysis of uncertainty, analysis of importance and sensitivity and time dependent analysis.

It has been also shown how this programme package can be used for making availability calculations for high-voltage switchyards.

The paper gives numerical and graphical results of the calculation for a typical high voltage switchyard.

**Key words:** Risk Spectrum, fault tree, realibility, availability

## 1. RISK SPECTRUM

Proračun pouzdanosti, odnosno raspoloživosti visokonaponskog rasklopnog postrojenja analizirat će se pomoću programskega paketa Risk Spectrum. Stoga će u daljem tekstu biti dan prikaz samog programskega paketa, odnosno njegovih modela i parametra.

## 2. DEFINICIJE MODELIA

### 2.1. Elementi modelia

Da bi se model što bolje shvatio potrebno je poznavati elemente modela. Stoga su u tablici I. navedene definicije i nomenklature glavnih elemenata modela korištenih u Risk Spectrumu.

Tablica I. - Definicije i nomenklature glavnih elemenata modela

Stablo kvara (Fault Tree)	Stablo koje počinje vršnim događajem i razčlanjuje se u sve moguće slučajeve.
Vršni događaj (Top Event)	Neželjeni događaj ili stanje za koji se izrađuje stablo kvara.
Osnovni događaj (Basic Event)	Bazni događaj u stablu kvara ispod kojeg se više ne razvija stablo kvara i za koji su poznati modeli i parametri pouzdanosti.
Vrata (Gate)	Logička veza između događaja u stablu kvara koja je modelirana Boolean logičkim operatorima. Vratima su pridodeljeni operatori: OR, AND, K/N, NOR ili NAND.
(House Event)	Specijalni tip osnovnog događaja koji može sadržavati samo dvije vrijednosti: logički TRUE ili FALSE.
Parametri (Parameter)	Numeričke vrijednosti upotrijebljavane u modelu pouzdanosti.
Stablo događaja (Event Tree)	Stablo koje na vrhu ima inicijalni događaj za koji se razčlanjuju svi mogući scenariji koji za krajnji rezultat postižu taj događaj.
Inicijalni događaj (Initiating Event)	Događaj ili stanje koji predstavlja početnu točku za daljnju razčljanbu scenarija stabla događaja. Ono je najčešće smetnja ili kvar.
Funkcijski događaj (Function Event)	Događaj koji mogu biti vrata u stablu kvara ili osnovni događaj.
Sekvenca, Slijed (Sequence)	Putanja, staza kroz stablo događaja, scenario.
Točka grananja (Branch point)	Točka u stablu događaja gdje se sekvenca grana u dvije ili više sekvenci.
Posljedica (Consequence)	Sekvenca u svakom stablu događaja završava s posljedicom niza sekvence, više sekvenci može imati istu posljedicu.

### 2.2. Modeli pouzdanosti osnovnih događaja

Želi li se provesti kvantativna analiza stabla kvara, svakom osnovnom događaju u stablu kvara mora se pridružiti model pouzdanosti koji najviše odgovara tom događaju. Model pouzdanosti je skup matematičkih formula koje specificiraju način izvedbe proračuna pouzdanosti za osnovni događaj. Proračun pouzdanosti može se izvoditi za:

- Neraspoloživost (nemogućnost rada, nepouzdanost) u vremenu  $t$ ,  $Q(t)$
- Pouzdanost prosječne neraspoloživosti komponente,  $Q$
- Učestalost kvara u vremenu  $t$ ,  $W(t)$

Svaki model pouzdanosti sadrži određene parametre koji se pojavljuju u formulama. Formule upotrebljene u Risk Spectrumu prikazane su u sljedećem poglavljju, a parametri formula i analogni ulazni parametri za Risk Spectrum su prikazani u tablici II.

Tablica II. – Korišteni parametri u modelima Risk Spectruma

Parametar u formuli	Opis	Analogni ulazni parametri za Risk Spectrum
q	Vjerojatnost kvara	q
$\lambda$	Učestalost kvara	r
f	Frekvencija	f
$\mu$	Učestalost popravka	1 / TR
TR	Vrijeme popravka	TR
TI	Vrijeme testiranja	TI
TF	Vrijeme do prvog testiranja	TF
TM	Ciljano vrijeme	TM

Svi modeli sadrže jedan ili više obaveznih parametara, dok je nekoliko modela Risk Spectruma fleksibilnije i podržava određene izmjene u modeliranju situacija. Takovi modeli, uz obavezne parametre, sadrže jedan ili nekoliko opcionih, dodatnih parametara.

### 2.3. Promatrana, popravljiva komponenta (tip 1)

Riječ je o normalnoj popravljoj komponenti. Model prepostavlja eksponencijalne distribucije kako za proces kvara, tako i za proces popravka, tj. i učestalost kvara i učestalost popravka su konstantne.

Neraspoloživost  $Q(t)$  ovog tipa komponente moguće je prikazati kako slijedi:

$$Q(t) = q e^{-(\lambda + \mu)t} + \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) (1 - e^{-(\lambda + \mu)t}) \quad (1)$$

Obavezni parametri:  $\lambda, \mu$  (r, TR)

Opcioni parametri: q

Drugi član u gornjoj formuli je tradicionalni model koji se primjenjuje u većini programa analize stabla kvara, kao i u brojnim vrstama analize pouzdanosti. Tipično ponašanje je da neraspoloživost počinje od 0, a zatim se brzo povećava do asymptotičke vrijednosti.

Prvi član je opcionalan i u većini se slučajeva ne rabi. Ako opcionalni parametar q nije specificiran (ili je zadano = 0), prvi član nestaje. Međutim, ako je  $q > 0$ , ponašanje prvog člana je da neraspoloživost počinje od q, te se zatim spušta asymptotički prema 0 po učestalosti popravka  $\mu$ . To se može primjenjivati u modelima za komponente kojima je inicijalna vjerojatnost kvara (q), u vremenu t=0, a zatim konstantna učestalost kvara  $\lambda$ . Obje vrste kvara moguće je popraviti uz konstantnu učestalost popravka  $\mu$ .

Dugoročna neraspoloživost za model pouzdanosti tipa 1 je:

$$Q = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (2)$$

Usporedimo li to s formulom za  $Q(t)$ , vidjet ćemo da odgovara situaciji u kojoj su i prvi i drugi član dosegli svoje asymptotičke vrijednosti. To je dobra aproksimacija za neraspoloživost ovog tipa komponente u mnogim situacijama, budući da procesi koje se povezuje i s prvim i s drugim članom inače brzo dosežu svoje asymptotičke vrijednosti.

Bezuvjetni intenzitet kvara  $W(t)$  za komponentu tipa 1 jest:

$$W(t) = \lambda(1 - Q(t)) \quad (3)$$

Normalno ponašanje (uz  $q = 0$ ) intenziteta  $W(t)$  jest da počinje od  $\lambda$ , a onda se lagano spušta na asymptotičku vrijednost. Ako je neraspoloživost niska,  $W(t)$  je otprilike jednak učestalosti kvara.

## 2.4. Periodički testirana komponenta (tip 2)

Ovo je najsloženiji model pouzdanosti u Risk Spectrumu. Njegov najjednostavniji oblik, uz navođenje samo učestalosti kvara i intervala testiranja, odgovara tradicionalnom modelu periodički testirane komponente. Uz njega ide sljedeći niz obveznih i opcionalnih parametara:

Obvezni parametri:  $\lambda, TI (r, TI)$

Opcionalni parametri:  $q, TR, TF$

Model prepostavlja eksponencijalnu distribuciju za proces kvara (konstantna učestalost kvara), konstantan fiksni interval testiranja, konstantno fiksno vrijeme popravka (ako se primjenjuje TR).

Da bi se pojednostavilo razumijevanje ovog modela, prvo će ga se predstaviti samo pomoću obveznih parametara, tj. učestalosti kvara i intervala testiranja. Neraspoloživost je u ovom slučaju zadana pomoću:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda(t-T_i)} \quad T_i = 0, TI, 2TI, \dots \quad (4)$$

Ako je zadan parametar TF (vrijeme do prvog testiranja), model je identičan, osim što su vremenske točke testova poravnane vrijednošću TF, tj. točke vremena testiranja su  $T_i = 0, TF, TF + TI, TF + 2TI, \dots$

Srednja neraspoloživost  $Q_{mean}$  dobiva se tako da se neraspoloživost  $Q(t)$  integrira u cijeli ciklus testiranja:

$$Q = \frac{1}{TI} \int_0^{TI} Q(t) dt = 1 - \frac{1}{\lambda TI} (1 - e^{-\lambda TI}) \quad (5)$$

Gore opisani model prepostavlja da je vrijeme popravka nevažno (strogo uvezvi  $TR = 0$ ). Ako to ne vrijedi, moguće je dodati opcionalni TR parametar, a u tom slučaju kalkulacije uključuju doprinos neraspoloživosti iz popravaka.

Polazi se od sljedećih prepostavki:

Prepostavka je da se popravak vrši neposredno nakon testiranja ako se prilikom testiranja pokazalo da na nekoj komponenti postoji kvar.

Prepostavi se da je za popravak potrebno fiksno vrijeme TR.

Model neraspoloživosti  $Q(t)$  komponente tipa 2, uključivši vrijeme popravka TR, moguće je prikazati sljedećim nizom formula:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad za \quad t < TF \quad (6)$$

$$Q(t) = Q(TI) = 1 - e^{-\lambda TI} \quad za \quad t = TF + nTI \quad (7)$$

$$Q(t) = Q(TI) + (1 - Q(TI))(1 - e^{\lambda(t-TI)}) \quad za \quad TI < t < TI + TR \quad (8)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda(t-TI)} \quad za \quad TI + TR < t < 2TI \quad (9)$$

Neraspoloživost neke komponente neposredno prije testiranja,  $Q(TI)$ , predstavlja, drugim riječima, vjerojatnost da će nakon testiranja biti potreban popravak.

Treću od gore navedenih formula, koja je primjenjiva za vremenski interval između TI i TI+TR, potrebno je pobliže objasniti. Ovdje prvi član predstavlja doprinos neraspoloživosti od popravka. On je jednak vjerojatnosti da je popravak potreban puta 1 (komponenta jest neraspoloživa tijekom popravka). Drugi član je doprinos neraspoloživosti ako testiranje uspije. On je jednak vjerojatnosti da nije potreban popravak (1 minus vjerojatnost popravka) puta neraspoloživost u ovom slučaju.

Srednja neraspoloživost, ako se uzme u obzir popravak, postaje:

$$Q = 1 - \frac{1}{\lambda TI} (1 - e^{-\lambda TI}) + (1 - e^{-\lambda TI}) \times \frac{TR}{TI} \quad (10)$$

Također je moguće dodati opcionalni doprinos konstantnoj neraspoloživosti q. To je, primjerice, vjerojatnost kvara na zahtjev, na koju testiranja nemaju učinka. U ovom slučaju, konstantna neraspoloživost q dodaje se svim formulama neraspoloživosti:

$$Q(t) = q + 1 - e^{-\lambda t} \quad za \quad t < TF \quad (11)$$

$$Q(t) = Q(TI) = q + 1 - e^{-\lambda TI} \quad za \quad t = TF + nTI \quad (12)$$

$$Q(t) = Q(TI) + (1 - Q(TI))(q + 1 - e^{\lambda(t-TI)}) \quad za \quad TI < t < TI + TR \quad (13)$$

$$Q(t) = q + 1 - e^{-\lambda(t-TI)} \quad za \quad TI + TR < t < 2TI \quad (14)$$

Srednja neraspoloživost, kada se doda parametar konstantne neraspoloživosti  $q$ , postaje:

$$Q = q + 1 - \frac{1}{\lambda TI} (1 - e^{-\lambda TI}) + (q + 1 - e^{-\lambda TI}) x \frac{T_r}{TI} \quad (15)$$

Bezuvjetni intenzitet kvara  $W(t)$  u svim slučajevima slijedi uobičajenu formulu:

$$W(t) = \lambda(1 - Q(t)) \quad (16)$$

## 2.5. Konstantna neraspoloživost (tip 3)

Ovo je jednostavan, ali često primjenjivani model, koji kao jedini parametar rabi konstantnu neraspoloživost  $q$ . Najčešće se primjenjuje u situacijama u kojima je potrebna vjerovatnost kvara na zahtjev. Jedna od tipičnih situacija njegove primjene jest pri oblikovanju komponenti/sustava koji se aktiviraju i mijenjaju stanje. Primjeri: ventili koji se ne otvaraju/zatvaraju, prekidači koji se ne otvaraju/zatvaraju, motori koji ne pale/gase.

Ponašanje ovog tipa modela nije ovisno o vremenu. Formule za neraspoloživost  $Q(t)$ , dugoročnu prosječnu neraspoloživost  $Q_{mean}$  i bezuvjetni intenzitet kvara  $W(t)$  su:

$$Q(t) = q \quad (17)$$

$$Q = q \quad (18)$$

$$W(t) = 0 \quad (19)$$

## 2.6. Komponenta s fiksnim vremenom trajanja (tip 4)

Ovaj se model ponaša isto kao model konstantne neraspoloživosti tipa 3. Međutim, u ovom modelu konstantna neraspoloživost nije zadana izravno kao ulaz, nego je se izračunava na temelju učestalosti kvara i fiksнog vremena trajanja. Može se dodati i opcionalna konstantna neraspoloživost  $q$ .

$$Q(t) = q + 1 - e^{-\lambda TM} \quad (= constant) \quad (20)$$

$$Q = q + 1 - e^{-\lambda TM} \quad (= constant) \quad (21)$$

$$W(t) = 0 \quad (22)$$

Obvezni parametri:  $\lambda$  (r), TM

Opcionalni parametri:  $q$

## 2.7. Konstantna frekvencija (tip 5)

Ovaj se model primjenjuje kada se neki događaj može najbolje opisati kao Poisson proces, tj. kada se događaji javljaju uz konstantu učestalost.

$$Q(t) = 0 \quad (23)$$

$$Q = 0 \quad (24)$$

$$W(t) = f \quad (25)$$

Ovaj model bi inače trebalo rabiti samo za inicijalne događaje. Takvi se inicijalni događaji inače primjenjuju u stablima događaja, ali mogu se primjenjivati i kao osnovni događaji u stablima kvara. Ako se primjenjuju u stablima kvara, potrebno je slijediti određena pravila. Što je kasnije u MCS analizi detaljnije objašnjeno.

## 2.8. Nepopravljiva komponenta (tip 6)

Ovo je tradicionalni model nepopravljive komponente s modelom eksponencijalnog kvara, tj. konstantnom učestalosti kvara. Baš kao i kod brojnih drugih modela komponenti u Risk Spectrumu, dodana je mogućnost uporabe opcionalne konstantne neraspoloživosti. To je primjenjivo u situacijama u kojima je vjerojatnost kvara prema zahtjevu po vremenu  $t = 0$ .

Ovaj model zahtijeva vrijeme trajanja  $T$ , a to je točka koja je ponuđena u specifikaciji MCS analize.

$$Q(t) = q + 1 - e^{-\lambda t} \quad (26)$$

$$W(t) = \lambda(1 - Q(t)) \quad (27)$$

Obvezni parametri:  $\lambda$  (r)

Opcionalni parametri:  $q$

Za ovaj model nema smisla definirati dugoročnu prosječnu neraspoloživost  $Q$ , budući da se neraspoloživost asymptotički povećava prema 1.

## 3. PARAMETRI POUZDANOSTI

Parametar pouzdanosti u Risk Spectrumu je, u načelu, numerička vrijednost, koja opcionalno uključuje distribuciju neizvjesnosti. Ime parametra može se smatrati varijablom koja se rabi u matematičkim formulama za izračun pouzdanosti. Kada se treba izračunati formula, ime varijable zamjenjuje numerička vrijednost pohranjena u dosjeu parametra.

Vrijednost parametra određena je procijenjenom (srednjom) vrijednošću i, opcionalno, distribucijom neizvjesnosti.

### 3.1. Tipovi parametara

Postoji 8 različitih tipova parametara u modelima pouzdanosti Risk Spectruma. Popis tipova parametara nalazi se u tablici III., koja također prikazuje i numerička ograničenja svakog pojedinog parametra.

Tablica III. – Parametri u modelima pouzdanosti

Tip parametra	Oznaka	Ograničenja
Vjerojatnost kvara	q	$0 \leq q \leq 1$
Stopa kvara, učestalost	r, f	$0 \leq r \leq 1.0E+32$
Vrijeme popravka (MTTR)	TR	$0 < TR \leq 1.0E+32$
Interval testiranja	TI	$0 < TI \leq 1.0E+32$
Vrijeme do prvog testiranja	TF	$0 \leq TF \leq 1.0E+32$
Vrijeme trajanja	TM	$0 \leq TM \leq 1.0E+32$
CCF	*	$0 \leq * \leq 1$

#### **4. ANALIZA NESIGURNOSTI (NEIZVJESNOSTI)**

Analizom nesigurnosti izračunava se distribucija vjerojatnosti događaja koji se očekuje kao rezultat (nasuprot bodovnoj vrijednosti koja se izračunava analizom MCS). Analiza nesigurnosti temelji se na simulaciji Monte Carlo.

Prilikom analize nesigurnosti vršnog događaja provode se sljedeći koraci:

- Iz evidencije slučajeva analize (Analysis Case) očitava se specifikacija analize nesigurnosti.
- Iz datoteke binarnog rezultata (s ekstenzijom .RSR) očitavaju se modularni MCS-ovi.
- Iz baze podataka projekta očitavaju se podaci o osnovnim događajima i parametrima.
- Provodi se proces simulacije Monte Carlo izračunom broja vremena simulacija u specifikaciji (NSIM, number of simulations in specification) neraspoloživosti vršnog događaja, svaki put uz Monte Carlo simulirani set parametara pouzdanosti.

Distribucija nesigurnosti koja je rezultat toga printa se u datoteku rezultata

#### **5. ANALIZA VAŽNOSTI I OSJETLJIVOSTI**

Funkcijom analize važnosti može se izračunati važnost i poseban tip mjere osjetljivosti:

- pojedinih osnovnih događaja,
- skupina osnovnih događaja koji imaju iste atribute,
- skupina osnovnih događaja koji pripadaju istoj komponenti,
- skupina osnovnih događaja koji pripadaju istom sustavu,
- skupina osnovnih događaja definiranih u posebnim skupinama osnovnih događaja predviđenih Risk Spectrumom,
- CCF skupina,
- pojedinih parametara.

Za svaku od ovih kategorija izračuna važnosti izračunavaju se različite mjere važnosti:

- frakcijski doprinos,
- važnost Fussell-Vesely (samo za osnovne događaje i CCF događaje),
- faktor smanjenja rizika (također poznat i kao vrijednost redukcije rizika),
- faktor povećanja rizika (također poznat kao vrijednost postignuća rizika),

Kvantifikacija MCS se uvijek vrši pomoću procjene gornje granice minimalne staze.

Izračun neraspoloživosti osnovnih događaja radi se drukčije, zavisno o *tipu kalkulacije* odabranom u specifikaciji MCS analize:

Tablica IV. – Kalkulacije izračuna neraspoloživosti

Tip kalkulacije	Neraspoloživost izračunata za osnovni događaj
Srednja neraspoloživost	Q
Vremenski uvjetovana neraspoloživost	Q(T)
Frekvencija	Q

U svim tablicama važnosti i osjetljivosti, N najvažnijih stavki popisano je na printoutu. Vrijednost N je dana u specifikaciji analize važnosti za pojedine osnovne događaje, atribute i pojedine parametre. Kod skupina osnovnih događaja sve navedene skupine uključene su u printout. Treba, međutim, napomenuti da se sve vrijednosti važnosti svih vrsta uvijek izračunavaju, dok vrijednost N utječe samo na printano izdanje.

#### **6. VREMENSKI UVJETOVANA ANALIZA**

Vremenski uvjetovanom analizom izračunava se distribucija vjerojatnosti rezultata vršnog događaja. Pri vremenski uvjetovanoj analizi vršnog događaja poduzimaju se sljedeći koraci:

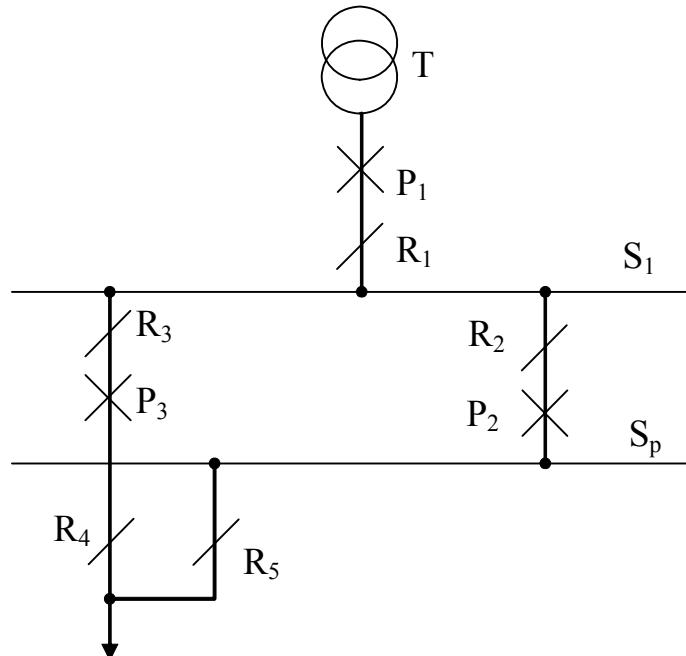
- Iz dokumentacije vršnog događaja iščitava se specifikacija vremenski uvjetovane analize.

- Iz datoteke s binarnim rezultatom (s ekstenzijom .RSR) očitavaju se modularni MCS-ovi.
- Iz banke podataka projekta iščitavaju se podaci o osnovnim događajima i parametrima.
- Kreira se red svih točaka u vremenu da bi se obavio izračun. Način na koji se to vrši varira zavisno o tome da li je pri specifikaciji analize odabrana opcija "Auto" ili "Manual" za točku u vremenu.
- Sve točke u vremenu su isprepletene te se izračun vrši za svaku pojedinu točku. Iza toga se kreira tablica rezultata, po jedan redak za svaku točku u vremenu.
- Izračunati neke vrijednosti koje se temelje na integraciji vrijednosti vremenskih točaka, npr. srednjih vrijednosti.
- Rezultati se upisuju u datoteku s rezultatom.

## 7. RASPOLOŽIVOST NAPAJANJA ODVODA U POSTROJENJU S JEDNOSTRUKIM SABIRNICAMA I POMOĆNIM SABIRNICAMA

Raspoloživost jednostrukih sabirnica povećava se ugradnjom pomoćnih sabirnica u rasklopno postrojenje s jednostrukim sabirnicama. Time se omogućava uklapanje rezervnog prekidača u odvodu, ukoliko dođe do kvara na prekidaču. Shema odvoda s jednostrukim i pomoćnim sabirnicama prikazana je na slici 1.

Rezultati i grafički prikazi analize minimalnih presjeka (MCS) dani su u tablici V. i na slici 2. Kao što se i prepostavljalo u ovakovom tipu postrojenja transformator ima najveći utjecaj na neraspoloživost postrojenja, a zatim prekidači, sabirnice te na kraju rastavljači. Analiza MCS bez utjecaja transformatora

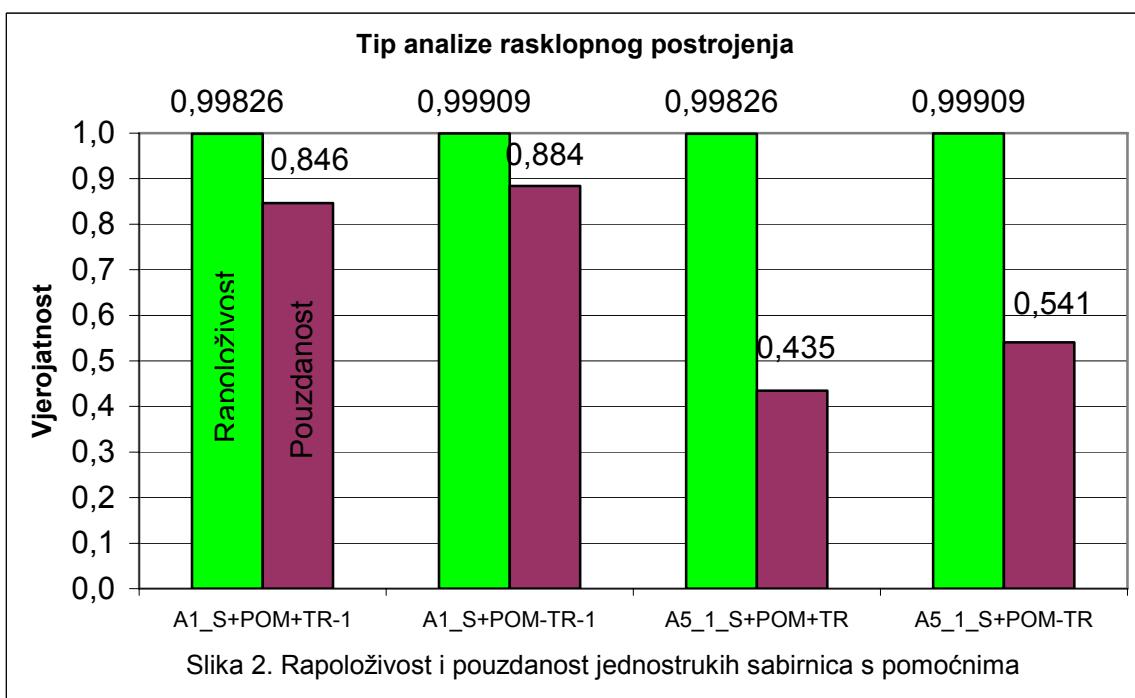
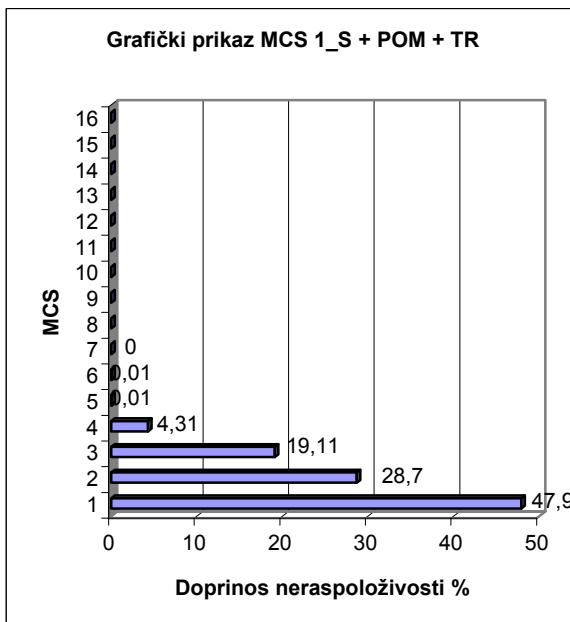


Slika 1: Shema odvoda s jednostrukim i pomoćnim sabirnicama

nije donijela značajne promjene u redoslijedu utjecaja komponenata na ukupnu raspoloživost nego samo drukčiju vrijednost utjecaja pojedinih komponenata.

Tablica V. - MCS postrojenja s 1\_S + POM + TR

```
=====
Spectrum Analysis Tools - MCS, Version 1.20.00
=====
Project      : RP1
Version      : 4
Top event    : A1_S+POM+TR-1
=====
Mean unavailability = 1.742E-003
=====
No.   Unavail.      MCS
=====
1    8.343E-004  PK_TR1
2    4.998E-004  PK_PR1
3    3.329E-004  PK_SB1
4    7.499E-005  PK_RS1
5    2.498E-007  PK_PR2  PK_PR3
6    1.664E-007  PK_PR3  PK_SB2
7    3.748E-008  PK_PR2  PK_RS3
8    3.748E-008  PK_PR3  PK_RS5
9    3.748E-008  PK_PR2  PK_RS4
10   3.748E-008  PK_PR3  PK_RS2
11   2.496E-008  PK_RS3  PK_SB2
12   2.496E-008  PK_RS4  PK_SB2
13   5.624E-009  PK_RS2  PK_RS4
14   5.624E-009  PK_RS3  PK_RS5
15   5.624E-009  PK_RS4  PK_RS5
16   5.624E-009  PK_RS2  PK_RS3
```



## 8. ZAKLJUČAK

Za analizu raspoloživosti metodom stabla kvara korišten je programski paket 'Risk Spectrum', švedske kompanije RELCON AB, jedne od vodećih konzultantskih kompanija na području analiza rizika, raspoloživosti i pouzdanosti u svijetu.

U referatu se pristupilo analizi raspoloživosti odvoda u postrojenju s jednostrukim i pomoćnim sabirnicama. Rezultati jednostavnijih izvedbi postrojenja, kao što su odvodi s jednostrukim i dvostrukim sabirnicama, pokazali su veliki utjecaj serijski vezanih komponenti (transformator, prekidač, rastavljač). Kod komplikiranijih izvedbi postrojenja (s pomoćnim sabirnicama, više odvoda, spojnim poljima, trostrukim sabirnicama) pojavio se problem samog modeliranja sustava zbog velike redundancije u sustavu. Tako, za analize i malo većih sustava biti će potrebni timovi inženjera za postavljanje modela.

Rezultati usporednih analiza različitih izvedbi postrojenja vrlo su bitni u planiranju izgradnje postrojenja, a isto tako i u povećanju sigurnosti i raspoloživosti već postojećih postrojenja.

Provedene analize minimalnih presjeka (MCS) ukazuju na kritične točke u postrojenju i na komponente na koje bi trebalo obratiti veću pažnju prilikom analize sustava. Analiza važnosti i osjetljivosti ukazuju na komponente koje najviše doprinose ukupnoj neraspoloživosti postrojenja, te mijenjanjem pouzdanosti kojih komponenata najviše ili najmanje se utječe na smanjenje ili povećanje raspoloživosti cijelog postrojenja. Vremenski uvjetovana analiza pokazuje vremensku ovisnost raspoloživosti, a što je još važnije pouzdanosti te intenzitet kvarova.

Sve te analize poslužiti će inženjeru kao vodič u odabiru najboljeg i najoptimalnijeg rješenja izvedbe rasklopнog postrojenja. Naravno uz uzimanje u obzir i broja komponenata, te ekonomski aspekti svakog postrojenja.

## LITERATURA

- [1] R. Billinton, G Lian: Station Reliability Evaluation of Engineering Systems, Plenum Publishing, New York, 1992.
- [2] Risk Spectrum Professional: User Manual, Relcon AB, Sweden.
- [3] Risk Spectrum Professional: Theory Manual, Relcon AB, 1998, Sweden.
- [4] Risk Spectrum Analysys Tools: User's Manual, Relcon AB, 1998., Sweden.
- [5] W. J. Van Slyke and D.E.Griffing: ALLCUTS, A Fast, Comprehensive Fault Tree Analysis Code; Atlantic Richfield Hanford Company, richland, Washington, ARH-ST-112, July 1975.
- [6] Hrvoje Požar: Visokonaponska rasklopna postrojenja; Tehnička knjiga, Zagreb, 1990.
- [7] Dubravko Žigman: Proračun raspoloživosti rasklopnih postrojenja metodom stabla kvara, Magistarski rad, FER Zagreb, 2002.