

PRORAČUN POUZDANOSTI 35 kV POSTROJENJA VAJBULOVOM RASPODELOM VEROVATNOĆA

mr R. CVEJIĆ¹, PD TE-KO "Kostolac" Kostolac, Srbija

1. UVOD

Teorija pouzdanosti predstavlja samostalnu naučnu disciplinu koja je počela da se razvija pedesetih godina dvadesetog veka i koja je danas našla široku primenu. Različitim tehničkim sistemima za proračun pokazatelja pouzdanosti odgovaraju različite raspodele zakona verovatnoće. U proračunu pouzdanosti elektroenergetskih sistema najčešće se koriste: eksponencijalna raspodela i Vajbulova (Weibullova) raspodela, čime se predviđa ponašanje posmatranog elementa ili sistema u budućnosti korišćenjem podataka iz prošlosti.

U radu je prikazan Vajbulov (Weibullov) postupak proračuna pouzdanosti na bazi osnovnih pokazatelja pouzdanosti dobijenih analizom i statističkom obradom podataka iz eksploatacije 35 kV mreže. Postupak proračuna pouzdanosti i raspoloživosti primenjen je za razvodno postrojenje 35 kV Kostolac i TS 35/10 kV Kostolac. Analizirano je 35 kV postrojenja u TE „Kostolac A“ sa jednim sistemom sabirnica, koje se napajaju iz 110 kV mreže (glavno napajanje) i 6 kV postrojenja startne grupe TE „Kostolac“ (rezervno napajanje), sa koga se preko četiri dalekovodna izvoda napajaju industrijski potrošači: „Rudnik“, „Ćirikovac“ i „Minel“, kao i gradski konzum „Naselje Kostolac“. Pored toga urađena je i provera pouzdanosti napajanja 10 kV potrošača iz TS 35/10 kV „Kostolac 1“.

2. OSNOVNI POJMOVI I POKAZATELJI POUZDANOSTI

Svaki element jednog elektroenergetskog sistema, počev od njegove montaže i puštanja u rad, izložen je raznim degradacionim uticajima koji mogu biti interne ili eksterne prirode. Usled ovih uticaja elementi jednog elektroenergetskog sistema ranije ili kasnije mogu biti pogođeni kvarom, što direktno dovodi do otkaza njihovih funkcija u sistemu. Element sistema tada prelazi iz radnog u neradno stanje.

Da bi element sistema pogođen kvarom prešao iz neradnog u radno stanje na njemu se treba izvršiti popravka ili se element mora zameniti novim. Imajući u vidu da su pojave kvarova funkcije niza složenih uticaja koji se dešavaju u vremenu, te pojave imaju stohastički karakter. Prema tome, pojave kvarova imaju slučajni karakter i predstavljaju slučajnu veličinu.

Pokazatelji pouzdanosti takođe imaju stohastički karakter i tretiraju se kao slučajne veličine. Statističkom analizom i obradom podataka o događajima iz višegodišnje eksploatacije nekog tehničkog sistema mogu se ustanoviti zakonitosti kojima podležu odgovarajuće slučajne veličine.

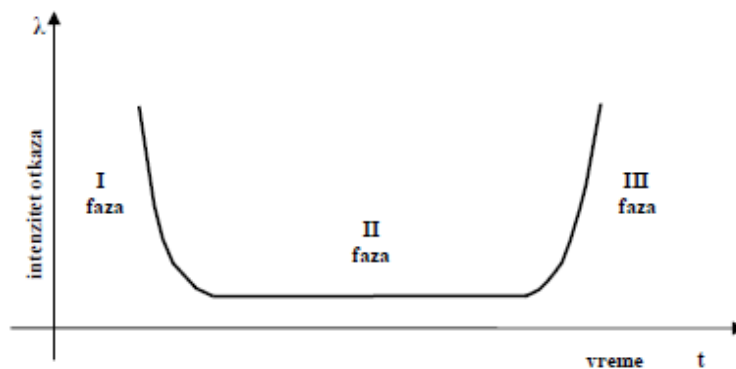
U okviru teorije pouzdanosti postoji niz modela i funkcija koje manje ili više odstupaju od ustanovljene funkcije slučajne veličine dobijene statističkom obradom podataka o događajima. Bez obzira o kojoj se metodi radi, mora se

¹ mr Rosica Cvejić, PD TE-KO Kostolac, 12208 Kostolac, tel: 012/53 89 53; mail: rosica.cvejic@te-ko.rs

raspolagati sa sređenim i čvrstim pokazateljima pouzdanosti pojedinih elemenata sistema. Pokazatelji pouzdanosti se, pored generalne podele na:

- **statičke** koji se definišu za neobnovljive elemente i sisteme, i
 - **dinamičke** koji se određuju za obnovljive elemente i objekte,
- mogu podeliti i na :
- **osnovne pokazatelje pouzdanosti** gde spadaju učestanost nastanka kvara, vreme obnavljanja, srednje vreme do otkaza, srednje vreme između otkaza i.t.d. i
 - **izvedene pokazatelje pouzdanosti**, raspoloživost, neraspoločivost, efikasnost i.t.d.

Jedan od najznačajnijih pokazatelja pouzdanosti je **učestanost otkaza**, koja se najčešće definiše kao očekivani broj otkaza u određenom vremenskom intervalu. Kod velikog broja tehničkih sistema, kriva raspodele učestanosti otkaza izgleda kao na slici 1.



Slika 1: Raspodela učestanosti otkaza u toku veka trajanja sistema

Na prikazanom dijagramu razlikuju se tri tri perioda u eksploataciji tehničkog sistema: Prvi period je početak rada elementa u kome se manifestuju skrivene konstruktivne greške, oštećenja tokom transporta, greške u montaži i dr. Po otklanjanju nedostataka, intenzitet otkaza se smanjuje i postaje konstantan tokom dugog vremenskog perioda, period II. Usled starenja uređaja ulazi se u period III, koji karakteriše neprekidni porast intenziteta otkaza. Tehnički vek uređaja ili komponente je završen onda kad nije više moguća njegova popravka ili kad troškovi održavanja i popravki narastu do vrednosti koje su približne ceni novog uređaja, što opravdava zamenu uređaja novim.

Za analizu različitih pokazatelja pouzdanosti sistema najpodesnije je da pokazatelji pouzdanosti koji su dobijeni posmatranjem mogu da se predstavljaju nekim matematičkim funkcijama. To omogućava izračunavanje pokazatelja pouzdanosti određenim matematičkim operacijama.

Različitim tehničkim sistemima za proračun pokazatelja pouzdanosti odgovaraju različite raspodele zakona verovatnoće. U proračunu pouzdanosti elektroenergetskih sistema najčešće se koriste: eksponencijalna raspodela i Vajbulova (Weibullova) raspodela.

2.1. Vajbulova (Weibull-ova) raspodela verovatnoća

Pouzdanost, odnosno verovatnoća da će elektroenergetsko postrojenje ili element sistema biti u random stanju tj. ispravnom stanju, uzimajući u obzir eksponencijalnu raspodelu verovatnoća i starenje tj. Weibull-ovu raspodelu verovatnoća, dobija se iz sledećeg izraza:

$$P(t) = e^{-\lambda_e t} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (1)$$

Intenzitet otkaza Weibull-ove raspodele verovatnoća je:

$$\lambda(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - v}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (2)$$

gde je : **v pozicioni parametar** -određuje položaj krive gustine raspodele prema ordinatnoj osi , **β parameter oblika** – u najvećoj meri određuje oblik krive Weibull-ove raspodele, **α parameter raspodele** - određuje razmeru krivih Vajbulove raspodele.

Ako usvojimo da je v-pozicioni parametar Weibull-ove raspodele nula i β - parametar oblika Weibull-ove raspodele $\beta=2$, verednost parametra razmere α određuje se iz izraza:

$$\alpha = \frac{1}{\lambda_e \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (3)$$

Gde je $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ - gama funkcija, Za $\beta=2$: $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)=0,8866269$

Stacionarna vrednost raspoloživosti i neraspoločivosti „i” elementa jednog elektroenergetskog postrojenja jednaka:

$$A_i = \frac{m_i}{m_i + r_i} ; \quad U_i = \frac{r_i}{m_i + r_i} = 1 - A_i \quad (4)$$

gde je : m_i – srednje vreme trajanja ispravnog rada elementa „ i ” , a r_i – srednje vreme trajanja obnavljanja. A ntenzitet kvarova λ_i , odnosno obnavljanja elementa μ_i su:

$$\lambda_i = \frac{1}{m_i} ; \quad \mu_i = \frac{1}{r_i} \quad (5)$$

Elektroenergetsko postrojenje ili mreža, sastoje se od n elemenata koji mogu biti vezani redno, paralelno ili mešovito. Posle ekvivalentiranja šeme izrazi za pokazatelje pouzdanosti imaju sledeći oblik:

a) redna veza elemenata

Raspoločivost A redne veze i stacionarna vrednost neraspoločivosti U sistema prilikom redne veze elemenata je:

$$A = \prod_{i=1}^{n_e} A_i ; \quad U = 1 - A = 1 - \prod_{i=1}^{n_e} A_i = 1 - \prod_{i=1}^{n_e} (1 - U_i) \quad (6)$$

Intenzitet kvarova redne veze jednak je zbiru intenziteta kvarova svih elemenata koji sačinjavaju rednu vezu, pošto kvar svakog elementa prevodi sistem u neradno stanje:

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n_e} \lambda_i \quad (7)$$

a) paralelna veza elemenata:

Raspoločivost – neraspoločivost paralelne veze elemenata je:

$$A = 1 - \prod_{i=1}^{n_e} U_i ; \quad U = \prod_{i=1}^{n_e} U_i \quad (9)$$

A intenzitet obnavljanja sistema μ jednak je:

$$\mu = \sum_{i=1}^{n_e} \mu_i \quad (10)$$

c) za mešovitu vezu n_e elemenata koriste se izrazi za pokazatelje pouzdanosti pod a) i b) u zavisnosti od konfiguracije mreže.

3. POSTUPAK PRORAČUNA POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI 35kV TE „KOSTOLAC A“.

Postupak proračuna pouzdanosti i raspoloživosti izvršen je na razvodnom postrojenju 35kV TE „Kostolac A“. Razvodno postrojenje 35 kV je izvedeno na otvorenom, locirano u krugu termoelektrane. Izrađeno sa jednim sistemom sabirnica koje se napajaju iz razvodnog postrojenja 110 kV:

- **radno napajanje:** preko transformatora 2T - 110/35/10,5 kV, snage 31,5/31,5/10,5 MVA ,

- **rezervno napajanje:** preko transformatora 1T - 110/10kV, snage 50MVA ; 10 kV postrojenja startne grupe TE „Kostolac“ i transformatora 4T – 35/10 kV, snage 31,5 MV

Sa razvodnog postrojenja 35 kV se preko četiri dalekovodna izvoda napajaju industrijski potrošači: „Rudnik“, „Čirikovac“ i „Minel“, kao i gradski konzum „Naselje Kostolac“. Proračun pouzdanosti i raspoloživosti bazira se na pokazateljima pouzdanosti dobijenim analizom i statističkom obradom podataka o događajima na postrojenjima 110 kV, 35 kV i 10 kV tokom eksploatacije. Srednje vrednosti pokazatelja pouzdanosti prikazane su u Tabeli br.1.

TABELA 1 - SREDNJE VREDNOSTI POKAZATELJE POUZDANOSTI

Naziv elementa	Intenzitet kvarova λ (1/god)	Vreme trajanja obnavljanja r (h)
Sabirnice 110 kV	0.001	10
Sabirnice 35 kV	0.001	10
Sabirnice 10 kV	0,008	15
Malouljni prekidač 110 kV	0.01	18
Malouljni prekidač 35 kV	0.01	14
Vakumski prekidač 10kV	0.01	10
Rastavljač 110 kV	0.006	9
Rastavljač 35 kV	0.006	9
Rastavljač 10 kV	0,0028	10,5
Energetski transformator 110/35 kV	0.02	850
Energetski transformator 110/10 kV	0.02	850
Energetski transformator 35/10 kV	0.006	245
Strujni merni transformator 110 kV	0.005	10
Strujni merni transformator 35 kV	0.005	10
Strujni merni transformator 10 kV	0.005	10
Naponski merni transformator 110 kV	0.005	10
Naponski merni transformator 10 kV	0.005	10
Odvodnik prenapona 110 kV	0.003	10
Odvodnik prenapona 35 kV	0,001	12
Odvodnik prenapona 10 kV	0,025	7
Odvodnik prenapona 7,5 kV	0,025	7

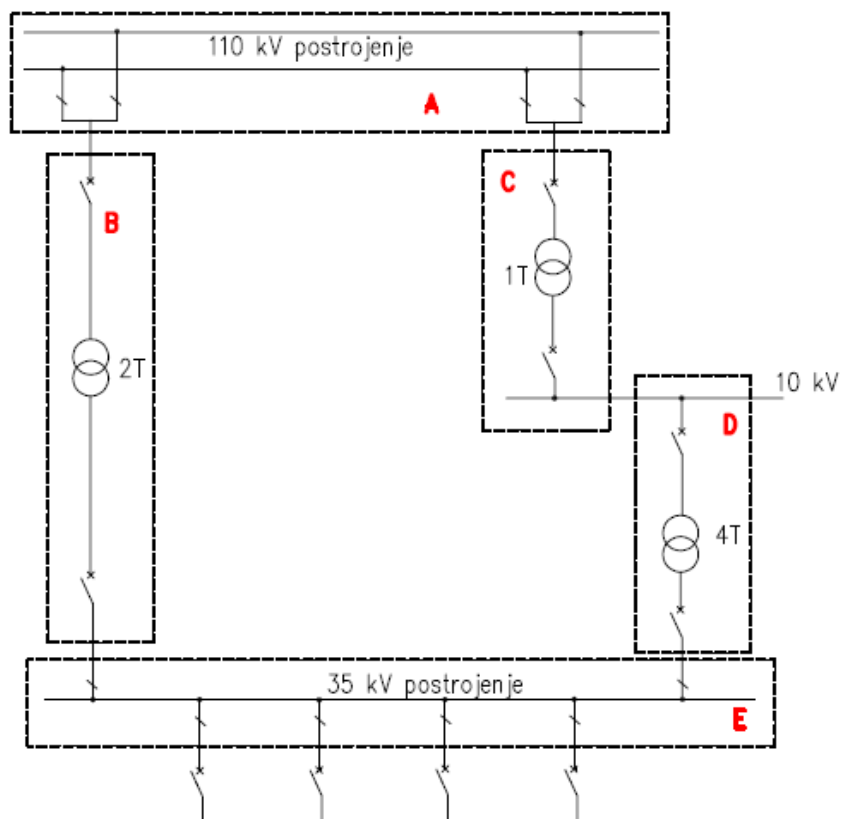
Prvi korak prilikom proračuna pouzdanosti i raspoloživosti predstavlja definisanje funkcionalnih blokova i nesigurnih kvarova, odnosno elemenata funkcionalnih blokova. Pod **funkcionalnim blokom** podrazumeva se skup elemenata postrojenja koji su funkcionalno povezani tako da isključenje iz pogona bilo kog elementa bloka isključuje iz pogona i ostale elemente bloka. Na principijelnoj šemi napajanja razvodnog postrojenja TE „Kostolac A“, prikazanoj na slici 2, velikim slovima označeni su definisani funkcionalni blokovi.

Stacionarne vrednosti nerasploživosti elemenata koji čine funkcionalne blokove računaju se na osnovu sledeće jednačine:

$$U = \lambda \cdot \frac{r}{8760} \quad (11)$$

Na osnovu podataka iz tabele br.1 izračunate su stacionarne vrednosti nerasploživosti funkcionalnih blokova prikazanih na slici 2:

$$\begin{aligned}
 U_A &= U_{S110} + 4U_{R110} = 25,798 \cdot 10^{-6}; \\
 U_B &= U_{P110} + 4U_{SMT110} + U_{NMT110} + U_{OP110} + U_{TR110/35} + 2U_{SMT35} + U_{P35} = 2020,55 \cdot 10^{-6}; \\
 U_C &= U_{P110} + 4U_{SMT110} + U_{NMT110} + U_{OP110} + U_{TR110/6} + 2U_{SMT6} + U_{NMT6} + U_{P6} = 2021,692 \cdot 10^{-6}; \\
 U_D &= U_{P6} + 2U_{SMT6} + U_{NMT6} + U_{TR35/6} + 2U_{SMT35} + U_{P35} = 1986,754 \cdot 10^{-6}; \\
 U_E &= U_{TR110/6} + 7U_{SMT35} = 54,564 \cdot 10^{-6}; \\
 U_{Rez} &= U_C + U_D = 4008,446 \cdot 10^{-6} \quad (12)
 \end{aligned}$$



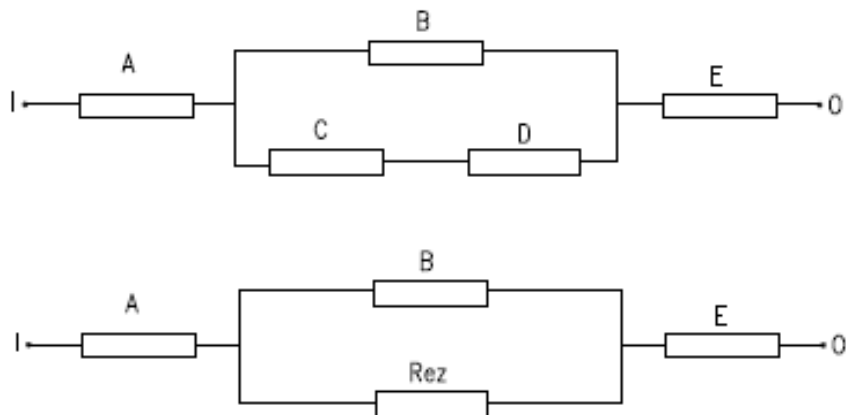
Slika 2 - Principijelna šema napajanja 35kV postrojenja

Funkcionalni blokovi (označeni isprekidanim linijama) obuhvataju sledeće celine postrojenja: **A** – Sistem sabirnica i rastavljača 110 kV ($S_{110} + 4 R_{110}$); **B** – Transformatorsko polje 2T ($P_{110} + 4 SMT_{110} + NMT_{110} + OP_{110} + TR_{110/35} + 2 SMT_{35} + P_{35}$); **C** – Transformatorsko polje 1T ($P_{110} + 4 SMT_{110} + NMT_{110} + OP_{110} + TR_{110/6} + 2 SMT_6 + NMT_6 + P_6$); **D** – Transformatorsko polje 4T ($P_{10} + 2SMT_{10} + NMT_{10} + TR_{35/10} + 2 SMT_{35} + P_{35}$); **E** – Sistem sabirnica 35 kV ($S_{35} + 7R_{35}$)

Gde je:

S_{110}	– Sistem sabirnica 110 kV	SMT_{35}	– Strujni merni transformator 35 kV
R_{110}	– Sabirnički rastavljač 110 kV	P_{35}	– Malouljni prekidač snage 35 kV
P_{110}	– Malouljni prekidač snage 110 kV	R_{35}	– Sabirnički rastavljač 35 kV
SMT_{110}	– Strujni merni transformator 110 kV	S_{35}	– Sistem sabirnica 35 kV
NMT_{110}	– Naponski merni transformator 110 kV	$TR_{35/10}$	– Energetski transformator 35/10 kV
OP_{110}	– Odvodnik prenapona 110 kV	P_{10}	– Vakumski prekidač snage 10 kV
$TR_{110/35}$	– Energetski transformator 110/ 35 kV	SMT_{10}	– Strujni merni transformator 10 kV
$TR_{110/10}$	– Energetski transformator 110/ 10 kV		

Na slici 3 predstavljen je ekvivalentni dijagram postrojenja koji prikazuje vezu funkcionalnih blokova, odakle se jasno uočava da svako prevođenje iz radnog u neradno stanje funkcionalnih blokova **A** i **E** prevodi ceo 35 kV sistem u neradno stanje. Funkcionalni blokovi koji čine radno napajanje (**B**) i rezervno napajanje (**C** i **D**) prevode sistem u neradno stanje samo ukoliko su oba funkcionalna bloka van pogona u isto vreme.



Slika 3. Ekvivalentni dijagram funkcionalnih blokova postrojenja

Izračunate vrednosti intenziteta kvarova funkcionalnih blokova su:

$$\begin{aligned}
 \lambda_A &= \lambda_{S110} + \lambda_{R110} = 0,007 \\
 \lambda_B &= \lambda_{P110} + \lambda_{SMT110} + \lambda_{NMT110} + \lambda_{TR110/35} + \lambda_{OP110} + \lambda_{SMT35} + \lambda_{P35} = 0,058 \\
 \lambda_D &= \lambda_{P6} + \lambda_{SMT6} + \lambda_{NMT6} + \lambda_{TR35/6} + \lambda_{SMT35} + \lambda_{P35} = 0,041 \\
 \lambda_C &= \lambda_{P110} + \lambda_{SMT110} + \lambda_{NMT110} + \lambda_{TR110/6} + \lambda_{OP110} + \lambda_{SMT6} + \lambda_{NMT6} + \lambda_{P6} = 0,063 \\
 \lambda_E &= \lambda_{S35} + \lambda_{R35} = 0,007 \\
 \lambda_{Rez} &= \lambda_C + \lambda_D = 0,104
 \end{aligned} \tag{13}$$

Na osnovu ekvivalentnog blok dijagrama, koji predstavlja redno-paralelnu vezu funkcionalnih blokova, možemo napisati i izračunati vrednosti za ekvivalentni intenzitet kvarova 35kV postrojenja:

$$\lambda_e = \lambda_A + \lambda_B U_{Rez} + \lambda_{Rez} U_B + \lambda_E = 0,01444 \tag{14}$$

Pouzdanost odnosno verovatnoća da će 35 kV elektroenergetsko postrojenje biti u random stanju tj. ispravnom stanju, uzimajući u obzir eksponencijalnu raspodelu verovatnoća i starenje tj. Weibull-ovu raspodelu verovatnoća za usvojeni parametar oblika Weibull-ove raspodele $\beta=2$ i vrednost parametra razmere:

$$\alpha = \frac{1}{\lambda_e \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} = 78,107 \tag{15}$$

Pouzdanost odnosno verovatnoća da će sabirnica 35 kV biti pod naponom u vremenskom intervalu od $t=1$ godina:

$$P_{(t)} = e^{-\lambda_e t} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} = e^{-0,01444 \cdot 1} \cdot e^{-\left(\frac{1}{78,107}\right)^2} = 0,9855 \tag{16}$$

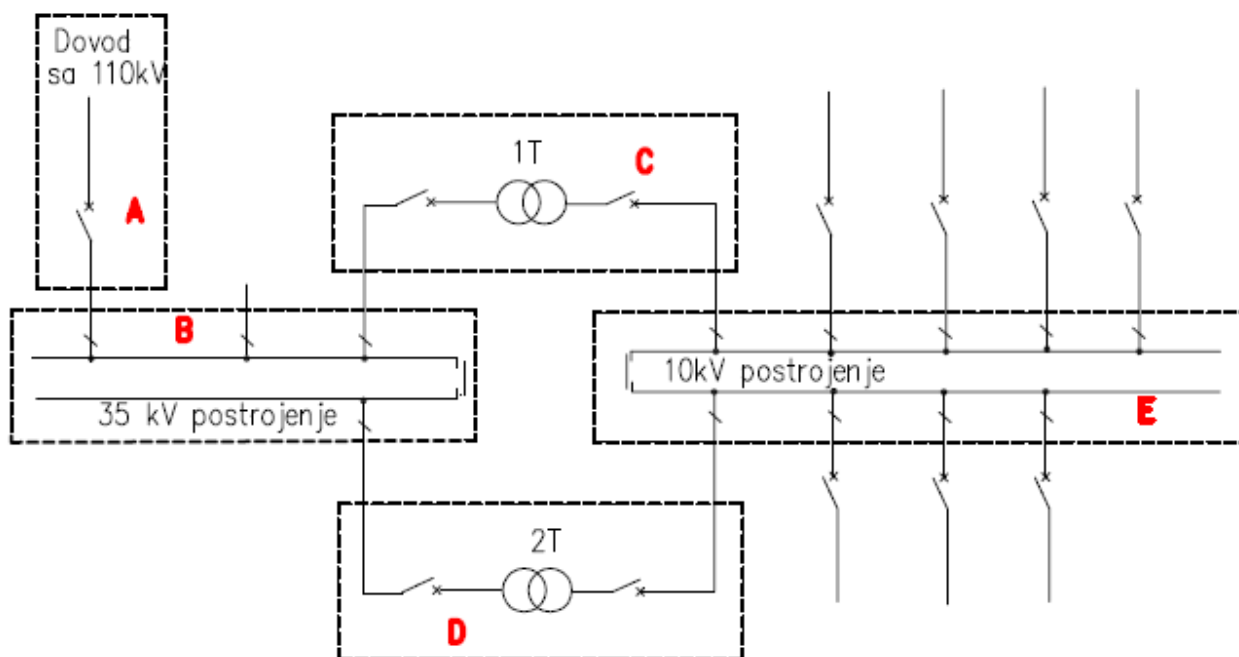
Dok je verovatnoća da će sabirnica 35 kV ostati bez napona u vremenskom intervalu od $t=1$ godina:

$$Q = 1 - P_{(t)} = 1 - 0,9855 = 0,0145 \tag{17}$$

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je razvodno postrojenju 35kV TE „Kostolac A“ veoma pouzdano i da je verovatnoća ostanka 35 kV sabirnica bez napona vrlo mala.

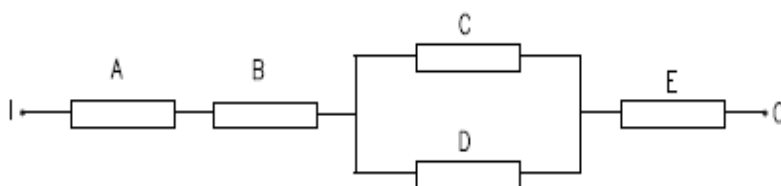
4. PRORAČUN POUZDANOSTI TRANSFORMATORSKE STANICE 35/10 kV „KOSTOLAC 1”

Transformatorska stanica TS 35/10 kV, koja se napaja iz prethodno analiziranog 35 kV razvodnog postrojenja, izvedena je sa jednostrukim sistemom sabirnica na strani 35 kV i 10 kV i dva energetska transformatora koji u normalnom pogonu rade paralelno. Transformatorska stanica TS 35/10 kV napaja pretežno gradski konzum. Principijelna šema sa definisanim funkcionalnim blokovima transformatorske stanice prikazana je na slici 4. Funkcionalni blokovi (označeni isprekidanim linijama) obuhvataju sledeće celine postrojenja: **A** – Dovod iz 35 kV razvodnog postrojenja ($OP_{35} + R_{35} + P_{35}$); **B** – Sistem sabirnica 35 kV ($S_{35} + 4 R_{35}$); **C** – Transformatorsko polje T_1 ($P_{35} + SMT_{35} + OP_{35} + TR_{35/10} + OP_{7,5} + OP_{10} + SMT_{10} + P_{10}$); **D** – Transformatorsko polje T_2 ($P_{35} + SMT_{35} + OP_{35} + TR_{35/10} + OP_{7,5} + OP_{10} + SMT_{10} + P_{10}$); **E** – Sistem sabirnica 10 kV ($S_{10} + 10 R_{10}$).



Slika 4: Principijelna šema sa definisanim funkcionalnim blokovima transformatorske stanice

Pored normalnog rada transformatorske stanice, dva transformatora koji rade u paralelnom radu, analizirana je pouzdanost na strani sabirnica 10 kV i u slučaju rada sa jenim transformatorom i sa transformatorima koji rade razdvojeno (razdvajanje je izvršeno na 10 kV sabirnicama) i napajaju po jedan deo postrojenja.



Slika 5: Ekvivalentni dijagram funkcionalnih blokova transformatorske stanice

Izračunate vrednosti stacionarne vrednosti neraspodivnosti U_A , U_B , U_C , U_D i U_E funkcionalnih blokova **A**, **B**, **C**, **D** i **E** na osnovu podataka iz tabele br.1 su:

$$U_A = 1,1 \cdot 10^{-4}; U_B = 20,78 \cdot 10^{-6}; U_C = U_D = 2,525 \cdot 10^{-4}; U_E = 4,726 \cdot 10^{-5} \quad (18)$$

Izračunate vrednosti intenziteta kvarova funkcionalnih blokova su:

$$\begin{aligned}\lambda_A &= \lambda_{OP35} + \lambda_{R35} + \lambda_{P35} = 0,0695 \\ \lambda_B &= \lambda_{S35} + 4\lambda_{R35} = 0,014 \\ \lambda_C = \lambda_D &= \lambda_{P35} + \lambda_{SMT35} + \lambda_{OP35} + \lambda_{TR35/10} + \lambda_{OP7,5} + \lambda_{OP10} + \lambda_{SMT10} + \lambda_{P10} = 0,1934 \\ \lambda_E &= \lambda_{S10} + 10\lambda_{R10} = 0,036\end{aligned}\quad (19)$$

a) Paralelni režimu rada energetskih transformatora

Ekvivalentni dijagram transformatorske stanice prikazan je na slici 5, odakle se jasno uočava da svako prevođenje iz radnog u neradno stanje funkcionalnih blokova **A**, **B** i **E** prevodi ceo sistem u neradno stanje. Funkcionalni blokovi **C** i **D** prevode sistem u neradno stanje samo ukoliko su oba funkcionalna bloka van pogona u isto vreme. Izračunate stacionarne vrednosti nerasplošivosti funkcionalnih blokova C i D su jednake i iznose:

$$U_C = U_D = U_{P35} + U_{SMT35} + U_{OP35} + U_{TR35/10} + U_{OP7,5} + U_{OP10} + U_{SMT10} + U_{P10} = 2,525 \cdot 10^4 \quad (20)$$

Na osnovu ekvivalentnog blok dijagrama koji predstavlja redno-paralelnu vezu funkcionalnih blokova, izračunata je vrednosti za ekvivalentni intenzitet kvarova.

$$\lambda_e = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C \cdot U_D + \lambda_D \cdot U_C + \lambda_E = 0,1195 \quad (21)$$

b) Rada sa jenim transformatorom

Na pojedinim konzumnim područjima, gde ne postoji potreba za velikim instalisanim kapacitetima ili pak za povećanjem kapaciteta, koriste se transformatorske stanice 35/10 kV koje su izvedene sa jednim energetskim transformatorom. Takođe, na mestima gde se zbog izgradnje očekuje potreba za povećanjem snage, pojedine TS 35/10 kV u prvim godinama eksploatacije rade sa jednim instalisanim transformatorom. U industrijskim TS zbog smanjenih potreba ili pak sezonskog karaktera opterećenja, a u svrhu smanjenja gubitaka može doći do isključenja sa mreže jednog od dva instalisana transformatora. U ovom slučaju izostavljamo funkcionalni blok **D**, tako da ekvivalentni blok dijagram predstavlja rednu vezu funkcionalnih blokova A,B,C i E čiji je ekvivalentni intenzitet kvarova:

$$\lambda_{e1} = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_E = 0,3129 \quad (22)$$

c) Rad sa transformatorima koji rade razdvojeno

U slučaju da iz bilo kog razloga, energetski transformatori ne rade paralelno, tj. da je razdvajanje je izvršeno na 10 kV sabirnicama i da transformatori napajaju po jedan deo postrojenja, funkcionalni blok E deli se na dva bloka sistema sabirnica **E₁** i **E₂** koji sadrže isti broj izvoda. U tom slučaju ekvivalentni blok dijagram predstavlja rednu vezu funkcionalnih blokova **A**, **B**, **C** i **E₁** ili **A**, **B**, **D** i **E₂**. Prevođenje iz radnog u neradno stanje funkcionalnih blokova **A** i **B**, prevodi u neradno stanje celokupno postrojenje dok kvarovi na funkcionalnim blokovima **C** i **E₁** kao i **D** i **E₂** prevode u neradno stanje samo deo postrojenja. Ekvivalentni intenzitet kvarova na razdvojenim 10kV sabirnicama je:

$$\lambda_{eT1} = \lambda_{eT1} = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_{ET1} = 0,2871 \quad (23)$$

Postupak proračuna pokazatelja pouzdanosti identičan je kao u slučaju proračuna 35kV postrojenja. Rezultati proračuna pouzdanosti transformatorske stanice 35/10 kV „Kostolac 1” na strani 10 kV sabirnica prikazani su u Tabeli 2.

TABELA 2 - REZULTATI PRORAČUNA POKAZATELJA POUZDANOSTI TRANSFORMATORSKE STANICE 35/10 KV „KOSTOLAC 1”

Režim rada transformatorske stanice	Ekvivalentni intenzitet kvarova λ_e	Parametra razmere α	Pouzdanost
Paralelan rad transformatora	0,1195	9,438	0,8776
Rad sa jednim transformatorom	0,3129	3,605	0,6726
Kad svaki transformator napaja svoju sekciju (otvorena spojka)	0,2871	3,929	0,5818

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je najveća pouzdanost napajanja potrošača na 10 kV strani kada transformatori rade paralelno, zatim kada se napajaju sa jednim transformatorom a najmanja kada svaki transformator napaja svoju sekciju (otvorena spojka).

5. ZAKLJUČAK

Sve veća zavisnost od električne energije i sve veća osetljivost potrošača na prekide sa jedne, a sa druge strane sve strožiji ekonomski uslovi, nameću potrebu da se osavremeni pristup uvažavanja pouzdanosti u planiranju. Za proračun pouzdanosti veoma je važno adekvatno vođenje dispečerskih dnevnika, odnosno prikupljanje odgovarajućih podataka o događajima iz višegodišnje eksploatacije nekog tehničkog sistema. Statističkom analizom i obradom tih podataka mogu se ustanoviti zakonitosti kojima podležu odgovarajuće slučajno promenljive veličine odnosno utvrditi učestanost otkaza elementa sistema. Na osnovu toga može se predvideti ponašanje posmatranog elementa ili sistema u budućnosti korišćenjem podataka iz prošlosti.

U radu je prikazan Vajbulov (Weibullo) postupak proračuna pouzdanosti na bazi osnovnih pokazatelja pouzdanosti dobijenih analizom i statističkom obradom podataka iz eksploatacije 35 kV mreže. Postupak proračuna pouzdanosti i raspoloživosti primenjen je za razvodno postrojenje 35 kV Kostolac i TS 35/10 kV Kostolac. Analizirano je 35 kV postrojenja u TE „Kostolac“ sa jednim sistemom sabirnica, koje se napajaju iz 110 kV mreže (glavno napajanje) i 6 kV postrojenja startne grupe TE „Kostolac“ (rezervno napajanje) i pokazano da odabrana šema napajanja 35 kV sabirnica ima veliku pouzdanost. Samo u slučaju istovremenog otkaza nekog od elemenata napojnih blokova može doći do prestanka njegovog napajanja, što se veoma retko dešava.

Pored toga, urađena je i provera pouzdanosti napajanja 10 kV potrošača iz TS 35/10 kV „Kostolac 1“ koja se napaja sa prethodno analiziranog 35 kV razvodnog postrojenja. Provera pouzdanost na strani sabirnica 10 kV izvršena je pri radu transformatorske stanice sa dva transformatora koji rade u paralelnom radu, u slučaju rada sa jednim transformatorom i sa transformatorima koji rade razdvojeno. Na osnovu dobijenih rezultata, može se zaključiti da je najveća pouzdanost pri paralelnom radu transformatora što je i normalan rad transformatorske stanice. U uslovima korišćenja jednog transformatora, odnosno podele opterećenja (rad sa otvorenom spojkom) pouzdanost se smanjuje. Mora se naglasiti da je za izradu proračuna pouzdanosti postrojenja veoma bitno prikupljanje eksploatacionih podataka za pojedine elemente sistema, odnosno adekvatno vođenje dispečerskih dnevnika.

LITERATURA

1. J. Nahman: Metode analize pouzdanosti elektroenergetskih sistema, Naučna knjiga, Beograd, 1992.god.
2. Billinton R., "Distribution system reliability performance and evaluation", Electrical Power & Energy Systems, Vol.10, No 3, 1988, pp.190-200.
3. Rifat M. Ramović, "Pouzdanost sistema", Beograd 2005. god.
4. J. Perić, M. Jevtić, V. Stojanović, "Analiza pouzdanosti", Savremena administracija, Beograd, 1979. god.