

UPOTREBA RADNIH TABELA (SPREADSHEET) ZA PRORAČUN POUZDANOSTI TRANSFORMATORSKIH STANICA

D. Perić, JP EMS, Beograd, Srbija
M. Tanasković, PD EDB, Beograd, Srbija
N. Petrović, JP EMS, Beograd, Srbija

UVOD

Pouzdanost napajanja potrošača (t.j. učestanost i trajanje prekida napajanja) zavisi i od pouzdanosti transformatorskih stanica VN/SN, odnosno od jednopolne šeme i od pouzdanosti opreme u transformatorskoj stanici. Pouzdanost transformatorskih stanica je određena primenom metode selektivnog pretraživanja [1], koja predstavlja pojednostavljenu metodu minimalnih preseka koja je ranije korišćena za analize ove vrste [2], pri čemu su uzete u obzir koincidencije događaja do drugog reda koje dovode do prekida određenih funkcija. Pokazatelji pouzdanosti za opremu u transformatorskoj stanici su preuzeti iz [3].

Radna tabela (*spreadsheet*) [4], TABELA 1, izgleda kao papir izdvojen na redove označene brojevima i kolone označene slovima u čijem preseku se nalazi odgovarajuća ćelija. Adresa ćelije se sastoji od oznake kolone i reda ćelije (na primer, C3). U ćeliju može da se upiše tekst, broj ili formula. Kada je u ćeliju uneta formula, prvi znak sadržaja je znak jednakosti (=). Sadržaj formule sastoji se od brojeva, operatora i funkcija. Automatskim izračunavanjem sadržaja formule u ćeliji se vidi njena vrednost. Radna tabela se sastoji od više radnih listova koji su inicijalno označeni sa *Sheet1*, *Sheet2*... i mogu se preimenovati.

Opseg je pravougaoni skup ćelija čija adresa se sastoji od oznaka gornje leve i donje desne ćelije razdvojenih dvotačkom (na primer A1:E16). Ćelija je specijalni slučaj opsega koji se sastoji samo od jedne ćelije. i mogu se preimenovati. Opsezi se mogu imenovati, a njihovi nazivi se koriste kao varijable u formulama. Adresa opsega sastoji se od naziva lista levo od uzvičnika i od adrese opsega desno od uzvičnika. TABELA 2 daje pregled korišćenih imenovanih opsega.

TABELA 1 – List Elementi – Osnova i primenjene formule

Šifra elementa	Naziv	Oznaka	VN ili SN	AIS ili GIS	fk (1/god)	rk(h)	Napomena
NT-SN-AIS	Naponski transformator	NT	SN	AIS	0,000874	4	
NT-VN-AIS	Naponski transformator	NT	VN	AIS	0,000874	4	
OD-SN-AIS	Odvodnik pranažona	OD	SN	AIS	0,0003	4	
OD-VN-AIS	Odvodnik pranažona	OD	VN	AIS	0,0003	4	
PR-SN-AIS	Prekidač	PR	SN	AIS	0,0014	2,2	
PR-VN-AIS	Prekidač	PR	VN	AIS	0,0014	2,2	
RS-SN-AIS	Rastavljač	RS	SN	AIS	0,0029	4	
RS-VN-AIS	Rastavljač	RS	VN	AIS	0,0029	4	
SB-SN-AIS	Sabirnice SN sa 4 priključka	SB	SN	AIS	0,00005	35	
SB-VN-AIS_2	Sabirnice VN sa 2 priključka	SB	VN	AIS_2	0,000025	17,5	
SB-VN-AIS_4	Sabirnice VN sa 4 priključka	SB	VN	AIS_4	0,00005	35	
ST-SN-AIS	Strujni transformator	ST	SN	AIS	0,000874	4	
ST-VN-AIS	Strujni transformator	ST	VN	AIS	0,000874	4	
TR--	Energetski transformator	TR			0,0045	192	
AK--		AK			0,25	0,25	Aktivni kvarovi, fprim/f i vreme otklanjanja posledica

Ćelija	Formula	Svrha
A2	=C2&"-"&D2&"-"&E2	Formiranje šifre elementa

TABELA 2 – Imenovani opsezi

Naziv	Adresa	Naziv	Adresa
Elementi	Elementi!A1:E16	ParamB1	'Parametri blokova'!A1:D17
KMatricafB	'Korelaciona matrica'!E1:E235	SastavB1	'Sastav blokova'!A1:D147
KMatricafBrB	'Korelaciona matrica'!G1:G235	SastavB1fk	'Sastav blokova'!C1:C147
KMatricaŠemaFunkcija	'Korelaciona matrica'!C1:G235	SastavB1fkrk	'Sastav blokova'!D1:D147
ParamAK	'Aktivni kvarovi'!A1:F15	fprim_sa_f	'Elementi - Osnova'!F16
		t_manipulacija	'Elementi - Osnova'!G16

U ovom radu korišćen je besplatani *on-line* program za radne tabele [5], koji pored uobičajenih ima i sledeće mogućnosti:

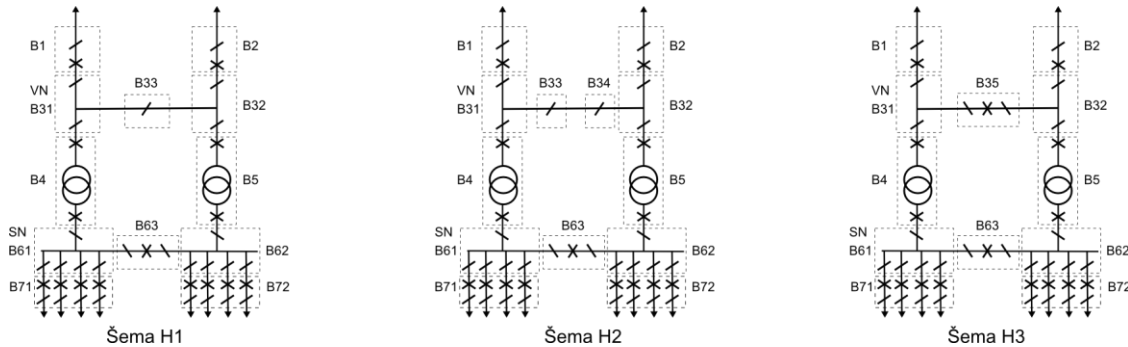
- čuvanje dokumenata (fajlova) na serverima isporučioaca programa ("u oblaku") i njihovo publikovanje i deljenje na internetu,
- mogućnost istovremenog rada više korisnika,
- čuvanje istorije svih promena i mogućnost povratka na bilo koju verziju dokumenta.

Veb aplikacija, fajl radne tabele, u daljem tekstu RT, dostupan je na adresi

https://docs.google.com/spreadsheet/ccc?key=0AmZvcAhFZVDUdEVRQm8teUxodIY0U05kY2xyREIBcIE&usp=drive_web#gid=18, odnosno <http://tinyurl.com/pouzdanost>, gde se može videti i preuzeti.

PRORAČUN POUZDANOSTI POMOĆU VEB APLIKACIJE (RT)

Radna tabela je organizovana u listove (TABELA 1). Na listu **Rad** dati su neki podaci o ovom radu i o programu. Na listu **Šema** date su šeme za koje je izvršen proračun (SLIKA 1).



SLIKA 1 – Analizirane šeme TS VN/SN

Na listu **Elementi – Osnova** data je (TABELA 1) tabela sa podacima pouzdanosti elemenata opreme TS [3] – učestanost f_k i trajanje r_k kvarova, gde su indeksom k obuhvaćeni različiti elementi opreme. U ćeliji A2 koristi se formula za formiranje šifre elementa, na osnovu njegovih ključnih karakteristika datih u ćelijama C2, D2 i E2. Formula glasi =C2&"-"&D2&"-"&E2, gde se simbol & koristi kao operator za spajanje tekstualnih sadržaja (stringova). Simbol ▼ (nije sastavni deo formule) ukazuje da je ćelija "kopirana na dole", u ovom slučaju u ćelije A4, A5, ..., A15. Kopiranjem na dole formula se donekle menja tako da se adrese ćelija odnose na redove u kojima se nalazi formula; tako će formula u A3 biti =C3&"-"&D3&"-"&E3, u A4 =C4&"-"&D4&"-"&E4, itd.

Na listu **Elementi - varijacije** (TABELA 3) data je mogućnost da se za parametre f_k i r_k unesu korekcionni faktori koji se koriste u analizi osetljivosti, kao što će biti kasnije opisano. Konačna vrednost pokazatelja f_k i r_k izračunava se na listu **Elementi** (TABELA 4) množenjem vrednosti pokazatelja iz lista **Elementi – osnova** sa odgovarajućim korekcionnim faktorom sa lista **Elementi - varijacije**, što se vidi iz formule. Pored toga na ovom listu se u koloni E izračunava i proizvod $f_k r_k$.

TABELA 3 – Liste Elementi - varijacije

	A	B	C	D
1	Šifra elementa	Naziv	k_fk	k_rk
2	NT-SN-AIS	Naponski transformator	1	1
3	NT-VN-AIS	Naponski transformator	1	1
16	AK-	Parametri aktivnih kvarova fprim/f i vreme otklanjanja posledica	1	1

TABELA 4 – List Elementi i primenjene formule

	A	B	C	D	E
1	Šifra elementa	Naziv	fk (1/god)	rk(h)	fk*rk
2	NT-SN-AIS	Naponski transformator	0,000874	4	0,003496
3	NT-VN-AIS	Naponski transformator	0,000874	4	0,003496
4	OD-SN-AIS	Odvodnik pranapona	0,0003	4	0,0012

Ćelija	Formula	Svrha
C2	▼='Elementi - Varijacije'!C2*'Elementi - Osnova'!F2	Izračunava varijaciju f_k elementa
D2	▼='Elementi - Varijacije'!D2*'Elementi - Osnova'!G2	Izračunava varijaciju r_k elementa
E2	▼=C2*D2	Izračunavanje proizvoda $f_k r_k$

Na listu **Sastav blokova** (TABELA 5) unose se parovi **Blok – Element**, čime se definiše od kojih elemenata se sastoji svaki blok. Takođe, unose se i elementi koji nisu prikazani na šemama (SLIKA 1), kao što su merni transformatori i odvodnici prenapona. Za svaki element pomoću formule izdvajaju se podaci o elementu sa lista **Elementi**, f_k i $f_k \cdot r_k$. U funkciju *vlookup*, parametri 3 i 5, označavaju 3. i 5. red opsega **Elementi**.

TABELA 5 – List Sastav blokova i primenjene formule

	A	B	C	D
1	Blok	Element	fk	fk*rk
2	B1	NT-VN-AIS	0,000874	0,003496
3	B1	OD-VN-AIS	0,0003	0,0012
4	B1	PR-VN-AIS	0,0014	0,00308

Ćelija	Formula	Svrha
C2	∇ =vlookup(B2;Elementi;3;0)	Izdvajanje f_k iz opsega Elementi za šifru elementa iz B2
D2	∇ =vlookup(B2;Elementi;5;0)	Izdvajanje $f_k \cdot r_k$ iz opsega Elementi za šifru elementa iz B2

Parametri blokova izračunavaju se pomoću izraza:

$$f_B = \sum_k f_k, \quad (1) \quad u_B = \sum_k f_k \cdot r_k, \quad (2) \quad r_B = \frac{\sum_k f_k \cdot r_k}{f} = \frac{u}{f}. \quad (3)$$

Tako se za blok B1, sabiranjem vrednosti učestanosti za prekidač, rastavljač, merne transformatore i odvodnik prenapona (TABELA 1), dobija:

$$f_B = \sum_k f_k = 0,0014 + 0,0029 + 0,000874 + 0,000874 + 0,0003 = 0,006348 \frac{1}{\text{god.}},$$

a za trajanje kvara:

$$r_B = \frac{\sum_k f_k \cdot r_k}{f} = \frac{0,0014 \cdot 2,2 + 0,0029 \cdot 4 + 0,000874 \cdot 4 + 0,000874 \cdot 4 + 0,0003 \cdot 4}{0,006348} = 3,6030 \text{ h.}$$

Navedeni proračun sprovodi se na listu **Parametri blokova** (TABELA 6), tako što se za izračunavanje navedenih suma korisiti funkcija *sumif*.

TABELA 6 – List Parametri blokova i primenjene formule

	A	B	C	D
1	Blok	Sum(fkrk)	fB	rB
2	B1	0,0229	0,0063	3,6030
3	B2	0,0229	0,0063	3,6030
4	B3	0,0516	0,0125	4,1238

Ćelija	Formula	Svrha
B2	∇ =sumif(SastavB1;A2;SastavBlfkrk)	Za blok iz A2 nađen u opsegu SastavB1 sabira sve proizvode $f_k \cdot r_k$ iz opsega SastavBlfkrk
C2	∇ =sumif(SastavB1;A2;SastavBlfk)	Za blok iz A2 nađen u opsegu SastavB1 sabira sve f_k iz opsega SastavBlfk
D2	∇ =A2/B2	Izračunava r_B

Aktivni kvarovi su kvarovi na jednom bloku koji, po pravilu delovanjem relejne zaštite izazivaju isključenja drugih blokova, sve dok se za odgovarajuće vreme r_B ne izvrše potrebne promene uklopnog stanja i taj drugi blok ponovo ne stavi u pogon. Na listu **Aktivni kvarovi** (TABELA 7) izračunavaju se parametri aktivnih kvarova f_B na osnovu odnosa f_B / f – udela aktivnih kvarova u ukupnom broju kvarova.

Na listu **Korelaciona matrica** (TABELA 8) unose se parovi **Funkcija – Blok**, odnosno za svaku šemu se određuje koji kvarovi izazivaju prekid neke od funkcija (prekid cele snage, prekid polovine snage ili prekid tranzita). Takođe, izdvajaju se i podaci o učestanosti i trajanju navedenih kvarova.

TABELA 7 – List Aktivni kvarovi i primenjene formule

	A	B	C	D	E	F
1	Aktivni kvar	Blok	Atribut +	fprim/f	fB	rB
2	B1a	B1		0,25	0,00159	0,25
3	B2a	B2		0,25	0,00159	0,25
4	B4aVN	B4	VN	0,25	0,00241	0,25

Ćelija	Formula	Svrha
A2	▼=B2&"a"&C2	Formiranje šifre aktivnog kvara
D2	▼=fprim_sa_f	Odnos f /f sa lista Elementi
E2	▼=D2*vlookup(B2;ParamBl;3;0)	Izdvađa fB iz opsega ParamBl za blok iz B2 i množi ga sa f'B /f
F2	▼=t_manipulacija	Vreme za otklanjanje posledica aktivnog kvara sa lista Elementi

TABELA 8 – List Korelaciona matrica i primenjene formule

	A	B	C	D	E	F	G
1	Šema	Funkcija	ŠemaFunkcija	Blok	fB	rB	fBrB
6	H2	Prekid cele snage	H2Prekid cele snage	B1a	0,0016	0,2500	0,0004
12	H2	Prekid cele snage	H2Prekid cele snage	B2a	0,0016	0,2500	0,0004
21	H2	Prekid cele snage	H2Prekid cele snage	B31a	0,0017	0,2500	0,0004
30	H2	Prekid cele snage	H2Prekid cele snage	B32a	0,0017	0,2500	0,0004
36	H2	Prekid cele snage	H2Prekid cele snage	B33a	0,0007	0,2500	0,0002
39	H2	Prekid cele snage	H2Prekid cele snage	B34a	0,0007	0,2500	0,0002
50	H2	Prekid cele snage	H2Prekid cele snage	B4aVN	0,0024	0,2500	0,0006
62	H2	Prekid cele snage	H2Prekid cele snage	B5aVN	0,0024	0,2500	0,0006

Ćelija	Formula	Svrha
C2	▼=A2&B2	Formiranje šifre ŠemaFunkcija
E2	▼=if(isna(vlookup(\$D2;ParamBl;3;0)); vlookup(\$D2;ParamAK;5;0); vlookup(\$D2;ParamBl;3;0))	Za blok iz D2 izdvaja f _B iz opsega ParamBl ili iz opsega ParamAK
F2	▼=if(isna(vlookup(\$D2;ParamBl;4;0)); vlookup(\$D2;ParamAK;6;0); vlookup(\$D2;ParamBl;4;0))	Za blok iz D2 izdvaja r _B iz opsega ParamBl ili iz opsega ParamAK
G2	▼=E2*F2	Izačunavanje proizvoda f _B *r _B

Na listu **Funcije** (TABELA 9) u koloni D izračunava se neraspoloživost primenom izraza (2), a u koloni se ova vrednost izražava u minutima godišnje. U kolonama F i G izračunavaju se učestanost i trajanje prekida funkcije primenom izraza (1) i (3), respektivno.

Na listu **Rezultati**, generisan je izveštaj (*pivot table*) o prekidima funkcija (TABELA 10), na osnovu podataka sa lista **Funcije**. Na listu **Grafikon**, grafički su prikazani ovi rezultati (SLIKA 2). Na osnovu prikazanih rezultata može se uočiti sledeće:

1. Najveću neraspoloživost ima funkcija prekida polovine snage, i praktično je ista za sve nevedene šeme, s obzirom da presudno zavisi od sekundarnog dela šeme, koji je u svim slučajevima isti.
2. Za red veličine je manja neraspoloživost tranzita, koja takođe praktično ne zavisi od šeme.
3. Funkcija prekida cele snage ima najmanju neraspoloživost i značajno zavisi od šeme postrojenja.
 - a. Najveću nerasploživost ima šema H1 (0,87 min/god.) tako da ovu šemu ne bi trebalo ni primenjivati.
 - b. Neraspoloživost šema H3 (0,12 min/god.) i H2 (0,19 min/god.) je značajno manja, a razlika između njih je 50%, što se bolje uočava iz tabele.
 - c. Prelazak sa šeme H1 na šemu H2 (rekonstrukcija), poželjan je u svim situacijama, dok je opravdanost prelaska na šemu H3 (dodavanje i prekidača u poprečnu granu) poželjno ispitiati za svaki slučaj posebno, a posebno kod novih postrojenja.

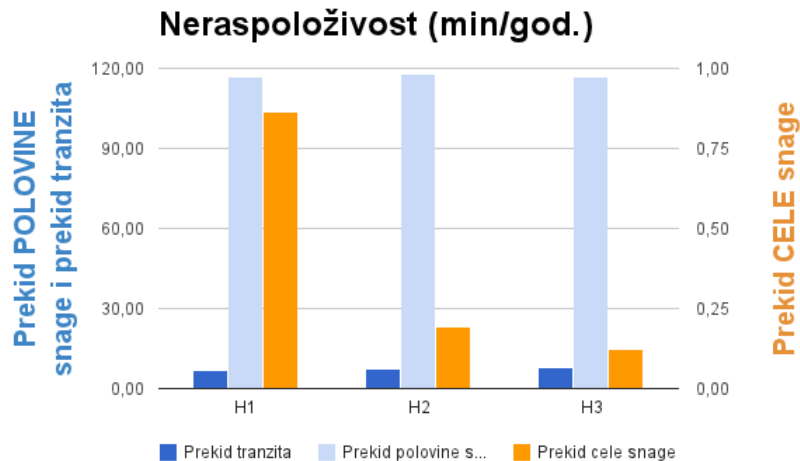
TABELA 9 – List Funkcije i primenjene formule

fx =sumif(KMatricaŠemaFunkcija;C2;KMatricafBrB)							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Sema	Funkcija	ŠemaFunkcija	u [h/god]	u [min/god]	f [kvar/god]	r [h]
2	H1	Prekid tranzita	H1Prekid tranzita	0,1128	6,77	0,0338	3,3360
3	H1	Prekid cele snage	H1Prekid cele snage	0,0144	0,87	0,0142	1,0133
4	H1	Prekid polovine snage	H1Prekid polovine snage	1,9437	116,62	0,0787	24,6926
5	H2	Prekid tranzita	H2Prekid tranzita	0,1244	7,47	0,0367	3,3884
6	H2	Prekid cele snage	H2Prekid cele snage	0,0032	0,19	0,0128	0,2500
7	H2	Prekid polovine snage	H2Prekid polovine snage	1,9669	118,01	0,0845	23,2725

Ćelija	Formula	Svrha
C2	▼=A2&B2	Formira šifru ŠemaFunkcija
D2	▼=sumif(KMatricaŠemaFunkcija; B2;KMatricafBrB)	Za šifru ŠemaFunkcija iz C2 nađen u opsegu MatricaŠemaFunkcija sabira sve proizvode $f_B * r_B$ iz opsega KMatricafB
E2	▼=D2*60	Neraspooživost iz h/god. pretvara u min/god.
F2	▼=sumif(KMatricaŠemaFunkcija; C 2;KMatricafB)	Za šifru ŠemaFunkcija iz C2 nađen u opsegu MatricaŠemaFunkcija sabira sve f_B iz opsega KMatricafB
G2	▼=D2/F2	Izračunava r

TABELA 10 – List Rezultati

Neraspoloživost (min/god.)			
	Prekid tranzita	Prekid polovine snage	Prekid cele snage
H1	6,77	116,62	0,87
H2	7,47	118,01	0,19
H3	7,65	116,69	0,12



SLIKA 2 – Grafički prikaz rezultata

Analizirani rezultati dobijeni su na osnovu ulaznih podataka o pouzdanosti elemenata opreme (TABELA 1). Kako su i sami ovi podaci nepouzdanosti potrebno je utvrditi njihov uticaj na rezultate proračuna pouzdanosti. Na listu **Elementi – varijacije** moguće je uneti različite koeficijente kojima se množe parametri pojedinih elemenata opreme (TABELA 3). Na takav način se mogu utvrditi rezultati u slučajevima kada je, na primer, pouzdanost prekidača 3 puta veća ili manja u odnosu na osnovne podatke, kada je udeo aktivnih kvarova 0,5, itd. Moguće je odjednom uvesti i varijacije više parametara. Rezultati ovakvih analiza osetljivosti prikazani su u [3] i svi pokazuju da odnosi pokazatelja pouzdanosti ovde razmatranih šema ostaju isti.

Opisana aplikacija može se primeniti i na neko određeno uklopno stanje šeme, na primer remont dela postrojenja.

ZAKLJUČAK

U radu je opisana aplikacija sačinjena u *on-line* višekorisničkom programu za radne tabele (*spreadsheet*), koja se može videti i preuzeti sa date veb-adrese. Aplikacija služi za izračunavanje pouzdanosti za različite šeme i uklopna stanja visokonaponskih postrojenja primenom metode selektivnog pretraživanja. Program sadrži delove koji se odnose na: unos podataka o elementima TS i mogućnost njihove promene za potrebe analize osetljivosti, definisanje sastava i izračunavanje parametara blokova, definisanje uticaja kvarova blokova na funkcije postrojenja, kao i deo za tabelarni i grafički prikaz rezultata proračuna. Detaljno je opisana organizacija radne tabele na listove, sa dokumentovanjem svih primenjenih formula.

Kao primer izračunati su pokazatelji pouzdanosti tri varijante H šeme, koje se razlikuju po sastavu poprečne grane – jedan rastavljač, dva rastavljača ili dva rastavljača sa prekidačem. Pokazano je da šema sa jednim rastavljačem nije preporučljiva zbog velike verovatnoće prekida transformacije cele snage.

LITERATURA

- [1] Jovan M. Nahman, Dependability of Engineering Systems, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2002.
- [2] J. Nahman, N. Mijušković, Reliability analysis of EHV substations, CIGRE Conference, Paris, paper 23-05, 1980.
- [3] D. Perić, M. Tanasković, N. Petrović, Pouzdanost šema TS VN/SN za vazduhom izolovana postrojenja, 31. Savetovanje Cigre Srbija, Zlatibor, 2013.
- [4] Spreadsheet, dostupno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Spreadsheet>, posećeno: januar, 2014.
- [5] Google disk, dostupno na: <http://www.google.com/drive/about.html>, posećeno: januar, 2014.