

Analiza efikasnosti APU operacije u 2020. i 2021. godini na prenosnim dalekovodima u BiH – Operativno područje Sarajevo

Predrag Šaraba

Sektor za upravljanje/ Služba za nadzor i upravljanje EES
Elektroprenos - Elektroprijenos BiH a.d. Banja Luka
Sarajevo; Bosna i Hercegovina
predrag.saraba@elprenos.ba

Božidar Popović

Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Istočno Sarajevo; Bosna i Hercegovina
bozidar.popovic@etf.ues.rs.ba

Sažetak—U ovom radu je opisan značaj primjene automatskog ponovnog uklopa (APU) kao dijela distantne zaštite u procesu zaštite visokonaponskih nadzemnih vodova. U radu su prikazani rezultati djelovanja APU-a u toku 2020. i 2021. godine . na dalekovodima prenosne mreže koji pripadaju Operativnom području Sarajevo (OP Sarajevo). Kroz analizu dobijenih rezultata shvata se značaj primjene APU-a kod pojave prolaznih kvarova. U rezultatima se vidi značaj primjene APU-a kod trafostanica koje su radijalno napajane u 110 kV mreži. Prikazani su rezultati djelovanja uspješnih i neuspješnih APU-a procentualno kao i grafički, dok je za karakteristične ispade opisan detaljan pogonski događaj i posljedica istog da li je neko područje ostalo bez napajanja ili je funkcija APU-a omogućila da ne dođe do beznaponskog stanja u trafostanici tj. na nekom većem području koje se napaja iz navedene trafostanice.

Ključne riječi- automatski ponovni uklop; distantna zaštita; dalekovod; radijalni dalekovod.

I. UVOD

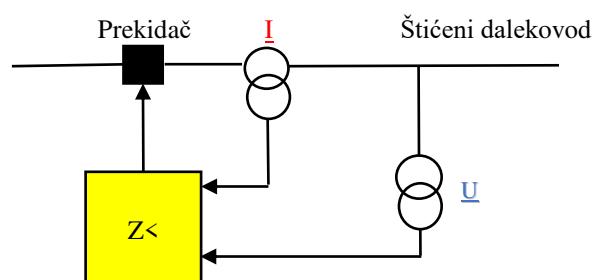
Osnovni zahtjevi relejne zaštite su selektivnost, brzina djelovanja, osjetljivost, sigurnost i pouzdanost što se postiže upotrebom distantne zaštite u šticeanju dalekovoda u EES-u. Korištenje distantne zaštite je pogodno i zbog toga što posjeduje automatski ponovni uklop (APU) čime se smanjuju vremena beznaponskih stanja u sistemu prouzrokovanih prolaznim kvarovima. Prema obrađenim rezultatima, činjenica je da statistički od 70 – 90 % kvarova na dalekovodima su prolaznog karaktera, a približno 85% od ovih kvarova su jednofazni kvarovi sa zemljom, najčešće uzrokovani pojavom povratnog preskoka napona na dalekovodnom stubu ili pojavom preskoka napona na rastinju duž trase dalekovoda.

II. DISTANTNA ZAŠTITA

Distantna zaštita su zaštitni releji kod kojih okidno vrijeme zavisi od udaljenosti kvara od distantnog releja. Kao mjera udaljenosti uzima se impedansa šticeanog dalekovoda. Ukoliko je kvar udaljeniji, izmjerena impedansa će biti veća pa će utoliko biti duže vrijeme okidanja releja. Struja kratkog spoja obično prolazi kroz više dalekovoda, usljed čega se pobuđuje više distantnih releja. Do isključenja prekidača na dalekovodu

će dovesti samo onaj distantni relej koji izmjeri najmanji otpor (najmanju udaljenost kvara). Distantna zaštita mora obavezno imati i usmjereni član koji će mu omogućiti djelovanje samo onda kada energija teče od sabirnica.

Distantna zaštita može otkriti sve vrste kvarova na šticeanom dalekovodu: jednopolne, dvopolne, dvopolne sa zemljom i trolpolne [1]. Ova zaštita je primjenjiva u mrežama sa uzemljenom neutralnom tačkom kao i u mrežama sa izolovanom neutralnom tačkom. U praksi je dosta brža i efikasnija od prekostrujne zaštite. Može se primjeniti kod radijalnih mreža ali njena funkcija naročito dolazi do izražaja u prstenastim mrežama. Na sl. 1 će biti prikazan način vezivanja tj. priključka distantne zaštite.



Slika 1. Princip vezivanja distantne zaštite

Uređaj koji sadrži funkciju distantne zaštite ugrađuje se na početku i kraju dalekovoda i priključuje na strujne i naponske mjerne transformatore (SMT i NMT) radi mjerenja, te na prekidač polja radi djelovanja zaštite na isklup prekidača. Za potrebe mjerenja impedanse na zaštiti, na relej se dovode tri fazne struje koje se uzimaju sa SMT-a iz dalekovodnog polja šticeanog dalekovoda i tri napona koja se uzimaju sa NMT-a u mjernom polju, a prema prekidaču se izvodi isklup svake faze prekidača posebno, te nalog uklopa. Na taj način osigurava se da kod nastanka jednofaznog kvara bude isključena samo jedna faza, čime se osigurava stabilniji rad elektroenergetskog sistema (EES) za vrijeme trajanja kvara.

III. PRIMJENA AUTOMATSKOG PONOVRNOG UKLOPA KOD DISTANTNIH ZAŠTITA

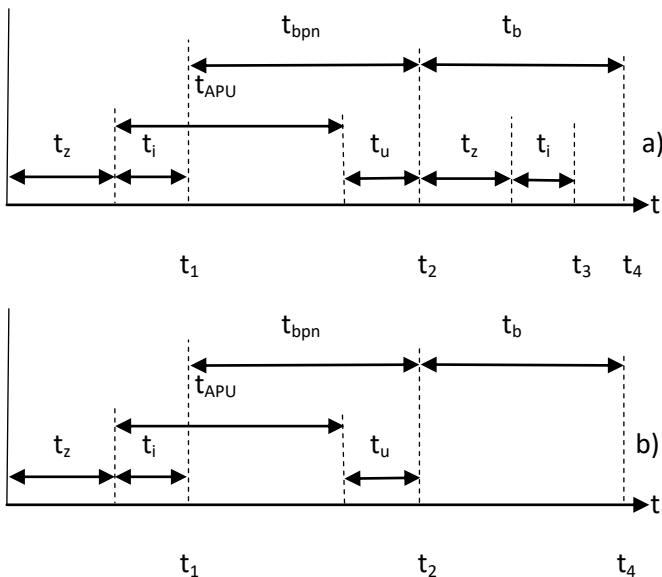
Princip rada APU-a se zasniva na uključenju dalekovoda nakon što ga zaštita isključi usljed prolaznog kvara na dalekovodu. APU je podešen tako da djeluje samo u prvom stepenu zone šticeđenja distantne zaštite (oko 85% dužine dalekovoda) [2]. Zbog prirode kvara, APU se ne koristi kod kvarova na kablovskim vodovima, transformatorima, sabirnicama i generatorima. Funkcija APU-a je blokirana na dalekovodima koji prolaze kroz naselja i na dalekovodima koji su direktno povezani na transformator (tzv. blok spoj).

U EES-u BiH, APU je integrisan u sklopu višefunkcijskih zaštitnih uređaja, numeričke izvedbe ili je samostalan kod releja starije generacije. Kod ispada dalekovoda, djelovanje APU-a je omogućeno samo jednom. Kod ponovnog uključenja na kvar, dolazi do definitivnog trolpnog isključenja dalekovoda bez vremenskog zatezanja. Ciklusi uspješnog i neuspješnog APU-a prikazani su na sl. 2. Kada je nastao kvar djeluje zaštita nakon vremena t_z . Zaštita djeluje istovremeno na prekidač i na uređaj APU. Prekidač isključuje kvar nakon vremena t_1 . APU nakon vremenske pauze t_{APU} daje nalog za uključenje prekidača. Prekidač uključuje nakon vremena t_u (trenutak t_2). Ukupna beznaponska pauza na dalekovodu je:

$$\tau_{bnp} = t_2 - t_1 \quad (1)$$

Ako je $t_i \neq t_u$ biće i $t_{APU} \neq t_{bnp}$, o čemu treba voditi računa. Značenje vremena prikazanih na slici su sljedeći:

t_z - reagovanja zaštite; t_i i t_u - isključenje i uključenje prekidača; t_{APU} - pauza APU-a; t_{bnp} - beznaponska pauza dalekovoda; t_b - blokade APU-a; t_1 - trenutak prvog isključenja kvara; t_2 - trenutak ponovnog uključenja dalekovoda; t_3 - trenutak drugog isključenja kvara; t_4 - trenutak deblokade APU-a. [3]



Slika 2. Ciklusi APU-a: a) nesuspješan; b) uspješan.

Način rada APU-a može biti na više načina, i to:

- 1P APU, za jednofazne kvarove i trofazno definitivno isključenje za višefazne kvarove, vrijeme beznaponske pauze 1s,
- (1P+3P) APU, za jednofazne kvarove i trofazno za višefazne kvarove, vrijeme beznaponske pauze 1s i za 1P i 3P,
- 3P APU, za sve vrste kvarova, vrijeme beznaponske pauze 1s.

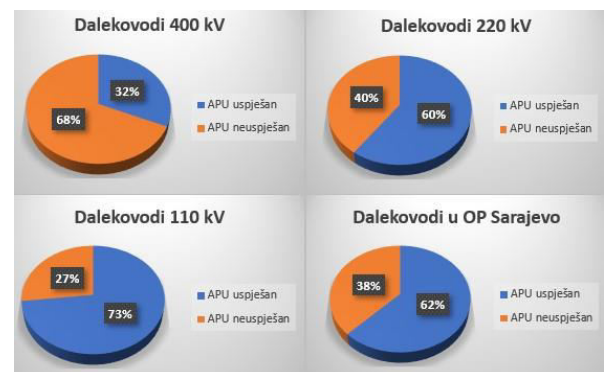
Ako APU uslijedi dovoljno brzo (za vrijeme kraće od 0,5 s), najveći broj potrošača neće osjetiti prekid u napajanju. Težnja za brzim APU je ograničena vremenom da se izvrši potrebna dejonizacija zračnog prostora na mjestu kvara. Ovo vrijeme je najmanje kod vodova srednjeg napona (0,1 do 0,2 sekunde) i sve je veće što je naponski nivo viši. U ovom slučaju vrijeme dejonizacije na dalekovodima 110 kV iznosi oko 0,14 sekundi, na dalekovodima 220 kV oko 0,3 sekunde, a na 400 kV dalekovodima oko 0,4 sekunde. Ukoliko ponovnim uključenjem opet dođe do pojave luka, na nekim naponskim nivoima koristi se tehnika još jednog (sporog) ponovnog uključenja koji će uslijediti poslije duže beznaponske pauze. Ako se i tada električni luk ponovo uspostavi, definitivno se isključuje dalekovod.

IV. STATISTIKA DJELOVANJA APU-A U PRENOSNOJ MREŽI OPERATIVNOG PODRUČJA SARAJEVO

U toku 2020. i 2021. godine, u dispečerskom centru Operativnog područja Sarajevo (DC OP Sarajevo) vođena je statistika djelovanja APU-a na dalekovodima u OP Sarajevo. U tabeli I je prikazano ukupno djelovanje APU-a na dalekovodima 400, 220 i 110 kV u OP Sarajevo u 2020. godini, dok je na sl. 3 grafički prikaz u procentima djelovanje uspješni/neuspješni po naponskim nivoima kao i ukupno na svim dalekovodima.

TABELA I. DJELOVANJE APU-a U 2020. GODINI NA DALEKOVODIMA U OP SARAJEVO

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	6	21	60
APU neuspješan	13	14	22
Ukupno	19	35	82



Slika 3. Procentualno djelovanje APU-a uspješan/neuspješan na dalekovodima u OP Sarajevo u toku 2020. godine

U narednim tabelama prikazani su rezultati djelovanja APU-a na mjesečnom nivou za 2020. godinu na dalekovodima 400, 220 i 110 kV gdje će se jasno vidjeti u kojim mjesecima je najviše dolazilo do ispada i djelovanja APU-a.

TABELA II. DJELOVANJE APU-a U JANUARU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	0	0
APU neuspješan	0	0	2
Ukupno	0	0	2

TABELA III. DJELOVANJE APU-a U FEBRUARU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	0	4
APU neuspješan	0	2	5
Ukupno	0	2	9

TABELA IV. DJELOVANJE APU-a u MARTU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	2	1
APU neuspješan	0	0	0
Ukupno	0	2	1

TABELA V. DJELOVANJE APU-a u APRILU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	1	2
APU neuspješan	0	0	1
Ukupno	0	1	3

TABELA VI. DJELOVANJE APU-a U MAJU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	1	4
APU neuspješan	1	0	0
Ukupno	1	1	4

TABELA VII. DJELOVANJE APU-a U JUNU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	4	2	4
APU neuspješan	6	5	3
Ukupno	10	7	7

TABELA VIII. DJELOVANJE APU-a U JULU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	1	4	16
APU neuspješan	3	2	8
Ukupno	4	6	24

TABELA IX. DJELOVANJE APU-a U AVGUSTU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	8	21
APU neuspješan	3	3	1
Ukupno	3	11	22

TABELA X. DJELOVANJE APU-a U SEPTEMBRU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	1	2	5
APU neuspješan	0	1	0
Ukupno	1	3	5

TABELA XI. DJELOVANJE APU-a U OKTOBRU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	1	2
APU neuspješan	0	1	2
Ukupno	0	2	4

TABELA XII. DJELOVANJE APU-a U NOVEMBRU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	0	1
APU neuspješan	0	0	0
Ukupno	0	0	1

TABELA XIII. DJELOVANJE APU-a U DECEMBRU 2020. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	1	2	8
APU neuspješan	0	4	6
Ukupno	1	6	14

Na dalekovodima 110 kV, najviše djelovanja APU-a je bilo u mjesecu julu, ukupno 24, od čega 16 uspješnih i 8 neuspješnih, dok je u avgustu od ukupno 22 djelovanja, čak 21 je bilo uspješno djelovanje APU-a. Najviše uspješnih djelovanja APU-a u toku jula i avgusta je bilo na DV 110 kV TS Goražde 1 – TS Foča, ukupno 4, a razlog je bio nevrjeme i atmosferska pražnjenja. Ovdje je funkcija APU-a posebno došla do izražaja zbog toga što je TS Foča radijalno napojena preko navedenog dalekovoda tako da je spriječeno da konzum opštine Foča ostane bez napajanja. Isti broj djelovanja je bio i na DV 110 kV HE Jablanica – TS Sarajevo 1 a razlog je sami teren kojim dalekovod prolazi, područje sa izraženim grmljavinskim aktivnostima. Interesantan je podatak u decembru gdje je bilo ukupno 14 djelovanja APU-a od toga 8 uspješnih i 6 neuspješnih, a razlog ovome je sniježno nevrjeme koje je izazvalo velike probleme u prenosnoj mreži. Jedan od karakterističnijih slučajeva u analizi je i dalekovod DV 110 kV TS Sarajevo 10 – TS Kiseljak gdje je bilo 4 uspješna i 2 neuspješna djelovanja APU-a. Pošto je TS Kiseljak radijalno napojena po navedenom dalekovodu jasno je da je područje opštine Kiseljak dva puta ostajalo bez napajanja, a razlog ispada je bio prekid zemnog užeta.

Na dalekovodima 220 kV, najviše djelovanja APU-a je bilo u mjesecu avgustu, od čega 8 uspješnih i 3 neuspješna, a izdvaja se dalekovod DV 220 kV RP Kakanj – TS Tuzla 4

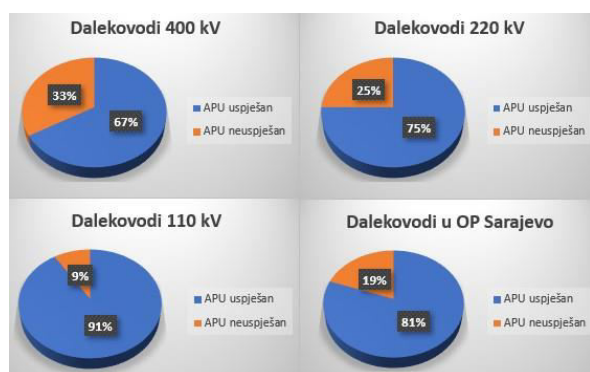
na kojem je APU djelovao 6 puta uspješno a razlog je bio nevrijeme.

Na dalekovodima 400 kV, najviše djelovanja APU-a je bilo u mjesecu junu, ukupno 10, od toga 4 uspješna i 6 neuspješnih. Najviše uspješnih djelovanja APU-a je bilo na DV 400 kV TS Sarajevo 10 – TS Mostar 4, ukupno 3, dok najviše neuspješnih djelovanja APU-a bilo na DV 400 kV TS Sarajevo 10 – TS Tuzla 4, a razlog ovome je kvar na području OP Tuzla.

U tabeli XIV je prikazano ukupno djelovanje APU-a na dalekovodima 400, 220 i 110 kV u OP Sarajevo u 2021. godini, dok je na sl. 4 grafički prikaz u procentima djelovanje uspješni/neuspješni po naponskim nivoima kao i ukupno na svim dalekovodima, na osnovu čega se može vršiti poređenje i analiza ispada za 2020. i 2021. godinu.

TABELA XIV. DJELOVANJE APU-a u 2021. GODINI NA DALEKOVODIMA U OP SARAJEVO

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	8	30	50
APU neuspješan	4	10	5
Ukupno	12	40	55



Slika 4. Procentualno djelovanje APU-a uspješno/neuspješno na dalekovodima u OP Sarajevo u toku 2021. godine

U narednim tabelama biće prikazano po mjesecima za 2021. godinu broj djelovanja APU-a na dalekovodima 400, 220 i 110 kV gdje će se jasno vidjeti u kojim mjesecima je najviše dolazilo do ispada i djelovanja APU-a.

TABELA XV. DJELOVANJE APU-a U JANUARU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	0	1
APU neuspješan	0	1	4
Ukupno	0	0	5

TABELA XVI. DJELOVANJE APU-a U FEBRUARU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	0	1
APU neuspješan	0	0	0
Ukupno	0	0	1

TABELA XVII. DJELOVANJE APU-a U MARTU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	0	11
APU neuspješan	0	1	0
Ukupno	0	1	11

TABELA XVIII. DJELOVANJE APU-a U APRILU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	1	0
APU neuspješan	0	0	1
Ukupno	0	1	1

TABELA XIX. DJELOVANJE APU-a U MAJU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	1	4
APU neuspješan	1	0	0
Ukupno	1	1	4

TABELA XX. DJELOVANJE APU-a U JUNU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	5	21	9
APU neuspješan	3	3	0
Ukupno	8	24	9

TABELA XXI. DJELOVANJE APU-a U JULU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	1	4	16
APU neuspješan	3	2	8
Ukupno	4	6	24

TABELA XXII. DJELOVANJE APU-a U AVGUSTU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	2	1
APU neuspješan	0	1	0
Ukupno	0	3	1

TABELA XXIII. DJELOVANJE APU-a U SEPTEMBRU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	1	4	7
APU neuspješan	0	0	0
Ukupno	1	4	7

TABELA XXIV. DJELOVANJE APU-a U OKTOBRU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	0	1
APU neuspješan	0	0	0
Ukupno	0	0	1

TABELA XXV. DJELOVANJE APU-a U NOVEMBRU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	1	1	8
APU neuspješan	1	0	3
Ukupno	2	1	11

TABELA XXVI. DJELOVANJE APU-a U DECEMBRU 2021. GODINE

Dalekovodi	400 kV	220 kV	110 kV
APU uspješan	0	0	3
APU neuspješan	0	0	3
Ukupno	0	0	6

Na dalekovodima 110 kV najviše djelovanja APU-a je bilo u mjesecu julu, od toga 16 uspješnih i 8 neuspješnih. Taj podatak je identičan kao i za 2020. godinu. Od dalekovoda koji se izdvajao po broju ispada sa djelovanjem APU-a je DV 110 kV HE Jablanica – TS Sarajevo 1, gdje su bila dva neuspješna APU-a što je izazvalo zastoj od nekoliko sati zbog naslonjenog rastinja na fazni provodnik. U toku jednog dana u razmaku od sat vremena desilo se djelovanje na DV 110 kV TS Sarajevo 5 – TS Pale gdje je bio neuspješan APU i na DV 110 kV TS Sarajevo 4 – TS Sokolac na kojem je APU bio uspješan. Ovaj slučaj je interesantan zbog toga što se preko dva navedena dalekovoda napaja regija Istočne Bosne i Hercegovine gdje je potrošnja u tom periodu iznosi cca 20 MW, tako da se desilo da su oba dalekovoda ispala u istom trenutku opštine Foča, Goražde, Novo Goražde, Višegrad, Sokolac i Rogatica bi ostale bez napajanja. Veći broj djelovanja APU-a u toku 2021. godine desio se na DV 110 kV TS Sokolac – TS Rogatica, od toga 8 puta u mjesecu maju sa identičnim lokatorom kvara. Kasnijim obilaskom istog, uočeno je oštećenje izolatora i isti su zamijenjeni. U mjesecu januaru na DV 110 kV TS Pale – TS Goražde 1 u toku jedne večeri desila su se četiri ispada sa djelovanjem APU-a neuspješno. Uzrok toga bile su snježne padavine pa je obilaskom istog izvršeno otresanje snijega sa faznih provodnika.

Na dalekovodima 220 kV najviše djelovanja APU-a je bilo u mjesecu junu ukupno 24, od toga 21 uspješan i 3 neuspješna, što je znatno veći broj u odnosu na prethodnu godinu. U tom mjesecu po broju djelovanja APU-a izdvajaju se DV 220 kV RP Kakanj – TS Tuzla 4 i DV 220 kV TE Kakanj V – TS Zenica 2 sa pet uspješnih djelovanja. Na DV 220 kV TE Kakanj V – TS Zenica 2 svi ispadi uključujući i jedno neuspješno djelovanje APU-a desilo se u istom danu a razlog je bio preskok na fazama zbog blizine distributivnog 10 kV dalekovoda koji nije ispunjavao sigurnosne razmake.

Na dalekovodima 400 kV u poređenju sa prethodnom godinom desio se manji broj ispada i djelovanja APU-a, ukupno 12 od toga 8 uspješnih i 4 neuspješna. Izdvaja se DV 400 kV TS Sarajevo 10 – TS Mostar 4 gdje je u junu bilo 4 uspješna i jedno neuspješno djelovanje APU-a. Razlog ovim ispadima je požar u trasi dalekovoda.

V. ZAKLJUČAK

Samom analizom rezultata djelovanja APU-a može se zaključiti da se najveći broj ispada i djelovanja APU-a desio u ljetnim mjesecima juni, juli i avgust zbog povećanog broja atmosferskih pražnjenja. Poređenjem 2020. i 2021. godine

može se vidjeti da je na 110 kV mreži više ispada bilo u toku 2020. godine ali analizom pojedinačnih ispada vidi se da se nisu ponavljali ispadi na istim dalekovodima osim DV 110 kV HE Jablanica – TS Sarajevo 1 kod kojeg je problematika izražena zbog teškog terena u trasi. Na 220 kV mreži poredeći broj ispada za navedene godine, vidi se da je statistički skoro isti broj ispada i djelovanja APU-a. Na 400 kV mreži neznatno veći broj ispada i djelovanja APU-a desio se u toku 2020. godine. gdje se izdvaja DV 400 kV TS Sarajevo 10 - TS Mostar 4 čija trasa prolazi po izrazito teškom terenu. Pokazalo se da je funkcija APU-a bitna kod radijalno napajanih TS, jer je kod prolaznih kvarova APU djelovao uspješno te tako spriječio prekid napajanja većeg konzuma. Primjenom APU-a kod zaštite na dalekovodima povećava se nivo stabilnosti i sigurnosti sistema kao i neprekidnog snabdjevanja potrošača usljed pojave prolaznih kvarova.

LITERATURA

- [1] Krunoslav Benović, "Distantna zaštita 400 kV dalekovoda" Sveučilište Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, 2016. Godina
- [2] Nezavisni operator sistema u Bosni i Hercegovini, "Plan odbrane EES BiH od velikih poremećaja" Sarajevo, februar, 2015. Godina
- [3] Dr Milenko Đurić "Relejna zaštita" Beopres Beograd, 2008. godina.

ABSTRACT

This paper describes the importance of the application of automatic reclosures (APU) as part of remote protection in the process of protection of high voltage overhead lines. The paper presents the results of the APU in 2020 and 2021. on transmission line to the Sarajevo Operational Area (Sarajevo OP). Through the analysis of the obtained results, the importance of the application of APU in the occurrence of transient failures is understood. The results show the importance of the application of APU in substations that are radially supplied in the 110 kV network. The results of successful and unsuccessful APUs are shown as a percentage as well as graphically, while for detailed outages a detailed operating event and its consequences are described whether an area was left without power or the APU function enabled to avoid voltage-free state in the substation ie in a larger area supplied from the said substation.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF APU OPERATIONS IN 2020 AND 2021 ON TRANSMISSION LINES IN BIH – OPERATIONAL AREA SARAJEVO

Predrag Šaraba, Božidar Popović