

STANJE PROLAZNIH IZOLATORA 110 kV NA TRANSFORMATORIMA

CONDITION OF TRANSFORMER BUSHINGS 110 kV

Siniša SPREMIĆ, Elektrodistribucija Srbije, TC Novi Sad - Sektor za održavanje EEO i MM, Srbija
Aleksandar ANTONIĆ, Elektrodistribucija Srbije, TC Novi Sad - Sektor za održavanje EEO i MM, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U referatu se daju podaci o osnovnim konstrukcionim osobinama 110 kV prolaznih izolatora kondenzatorskog tipa energetskih transformatora 110/x kV. Opisano je osnovno i preventivno održavanje. Dati su podaci o kvarovima i oštećenjima 110 kV prolaznih izolatora. Prikazani su osnovni podaci o 110 kV prolaznim izolatorima na transformatorima u pogonu i na rezervnim transformatorima (tipovi, dužina dela uronjenog u ulje, godište i brojno stanje). Prikazuju se uzroci promene vrednosti kapacitivnosti prema navedenoj literaturi i daje se analiza podataka o obavljenim merenjima kapacitivnosti i tangens delta 110 kV prolaznih izolatora. U zaključku se daje mišljenje u kom pravcu treba delovati u narednom periodu.

Ključne reči: prolazni izolator, održavanje, merenje

ABSTRACT

The paper provides information on the basic construction properties of 110 kV bushings of capacitor type for 110/x transformers. Basic and preventive maintenance are described. Data of faults and damage of 110 kV bushings are given. Basic information of 110 kV bushings of transformers in operation and spare transformers (types, length of part immersed in oil, age and number of bushings) is presented. Causes of changes in the value of capacitance according to the mentioned literature are given and also analysis of data of performed measurements of capacitance and tangent delta of 110 kV bushings. The conclusion gives an opinion on what should be done in the coming period.

Key words: bushing, maintenance, measurement

Siniša Spremić, Elektrodistribucija Srbije, TC Novi Sad – Sektor za održavanje EEO i MM , Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (sinisa.spremic@ods.rs)
Aleksandar Antonić, Elektrodistribucija Srbije, TC Novi Sad – Sektor za održavanje EEO i MM , Bulevar oslobođenja 100, 21000 Novi Sad (aleksandar.antonice@ods.rs)

UVOD

Prolazni izolatori se koriste za prolaz električne energije određenog naponskog nivoa iz jedne u drugu sredinu (istog ili različitog tipa kao što su vazduh-vazduh, ulje-ulje, vazduh-ulje, SF6-ulje i dr.) kroz prepreke kao što su građevinski zidovi (cigla, beton i sl.), metalni sudovi i oklopi različitih električnih uređaja (energetski transformatori, kondenzatorske baterije i dr.).

Ovde se razmatraju 110 kV prolazni izolatori koji se koriste na transformatorima prenosnog odnosa 110/x kV. Ovi 110 kV prolazni izolatori su kondenzatorskog tipa. Prolazni izolatori 110 kV su u pogonskim uslovima u najvećem trajanju izloženi normalnim naponskim napreznjima, ali u kratkim vremenskim periodima povišenim naponskim napreznjima, prilikom sklopnih prenapona ili u slučaju atmosferskih pražnjenja. Ranije su se prolazni izolatori kondenzatorskog tipa proizvodili za naponski nivo 52 kV i više, a sada se kod nekih proizvođača prave za naponski nivo od 24 kV naviše.

Visokonaponski prolazni izolatori prema različitim analizama učestvuju u ukupnom broju kvarova transformatora u dosta velikom postotku. U [1] se navodi da je učešće prolaznih izolatora kondenzatorskog tipa u ukupnom broju kvarova na transformatorima napona većeg od 100 kV jednak 17%, dok se u [2] navodi da je učešće visokonaponskih prolaznih izolatora u ukupnom broju kvarova transformatora jednako 20%.

Od 2003. godine se krenulo u sistematsko ispitivanje 110 kV prolaznih izolatora transformatora 110/x kV. Ispitivanja su se do 2005. godine obavljala naručivanjem usluge od trećeg lica i obuhvaćeni su većim delom najstariji transformatori (14 komada). Nabavkom savremenog uređaja za merenja ugla gubitaka i kapacitivnosti je krajem 2005. godine započeto merenje od strane zaposlenih. U 11 slučajeva nije bilo moguće merenje jer su prolazni izolatori izvedeni bez priključka za merenje (merenje je moguće samo uz vađenje prolaznih izolatora). Samo kod 110 kV prolaznih izolatora na jednom starijem transformatoru i nekoliko kod kojih nije bilo moguće skinuti poklopac priključka za merenje nisu obavljena merenja kapacitivnosti i ugla gubitaka.

OSNOVNE KONSTRUKCIONE OSOBINE 110 kV PROLAZNIH IZOLATORA

Prolazni izolatori za 110 kV naponski nivo ugrađeni na transformatore 110/x kV su kondenzatorskog tipa, sa vezom od namotaja do unutrašnjeg priključka izvedenom bakarnim užetom, nazivnog napona 123 (110) kV, imaju standardizovanu metalnu prirubnicu sa 8 rupa sa razmakom dva nasuprotna središta rupa od 250 mm, izuzev četiri transformatora (16 komada prolaznih izolatora) gde su ugrađeni prolazni izolatori nazivnog napona 145 kV i gde je prirubnica sa 12 rupa sa razmakom dva nasuprotna središta rupa od 290 mm.

Osnovna izolacija kod kondenzatorskog tipa prolaznih izolatora je sa stepenastom izolacijom od papira sa umetnutim provodnim ili poluprovodnim slojevima i razlikuju se tri tipa:

- uljem impregnisani papir (Oil Impregnated Paper - u daljem tekstu: OIP),
- smolom vezan papir (Resin Bonded Paper - u daljem tekstu: RBP),
- smolom impregnisani papir (Resin Impregnated Paper - u daljem tekstu: RIP).

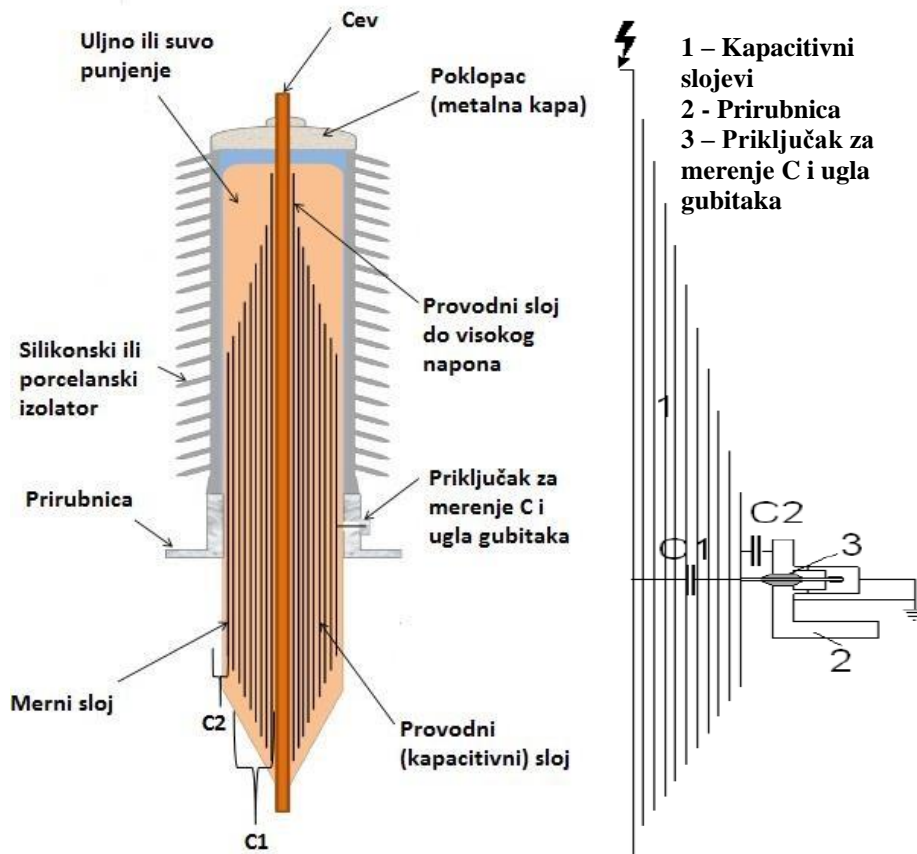
Bitne konstrukcione izvedbe prolaznih izolatora za jednostavnu zamenjivost su:

- dužina od dna prirubnice do unutrašnjeg priključka (bakarnog užeta na priključak unutar prolaznog izolatora) koja je kod različitih proizvođača, a i kod istog proizvođača različitih tipova, drugačija za isti naponski nivo,
- razlika u izvedbi unutrašnjeg priključka prolaznog izolatora koji su tvrdo zalemljeni na bakarno uže,
- razlika u dužini dela uronjenog u transformatorsko ulje gde je poželjno da prolazni izolator koji menja postojeći ima istu dužinu dela uronjenog u ulje,
- postojanje ili nepostojanje deflektora (dodatni deo na dnu dela uronjenog u ulje za oblikovanje polja),
- dozvoljeni razmaci delova prolaznog izolatora uronjenih u ulje od uzemljenih delova (sud i magnetno kolo) gde je moguće ugraditi prolazni izolator koji prema proizvođačkoj dokumentaciji ima jednake ili niže vrednosti dozvoljene udaljenosti.

Ovi konstrukcioni elementi su bitni za jednostavnu zamenjivost, a mora se reći da 110 kV prolazni izolatori različitih proizvođača, ali i istog proizvođača različitih tipova (ranije proizvedeni tipovi u odnosu na novije tipove i različiti tipovi najnovije izvedbe - RIP u odnosu na OIP) imaju jedan ili više prethodno navedenih elemenata različitih. Nažalost, 110 kV prolazni izolatori nisu standardizovani po ovom pitanju.

Postoje i druge razlike u izvedbi 110 kV prolaznih izolatora različitih proizvođača i istog proizvođača različitih tipova, ali iste nisu bitne u pogledu zamenjivosti.

Na slici 1 je dat uopšten prikaz kondenzatorskog prolaznog izolatora sa prikazom rasporeda kapacitivnih slojeva.



SLIKA 1 – UOPŠTEN PRIKAZ KONDENZATORSKOG PROLAZNOG IZOLATORA (LEVO) I PRIKAZ KAPACITIVNIH SLOJEVA (DESNO)

OSNOVNO I PREVENTIVNO ODRŽAVANJE 110 kV PROLAZNIH IZOLATORA

Osnovno održavanje 110 kV prolaznih izolatora se sastoji od njihovog čišćenja jednom godišnje, prilikom redovnih remonata ili u slučaju zagađene atmosfere više puta godišnje sa premazivanjem specijalnim premazom. Vizuelnim pregledom se utvrđuje stanje porcelanskog ili silikonskog izolatora, spojeva, curenja i nivoa i stanja ulja na 110 kV prolaznim izolatorima gde je to moguće. Termovizijskim snimanjem se utvrđuje postojanje pregrevanja.

Prilikom merenja tangens delta se proverava i stanje priključaka za merenje kapacitivnosti i ugla gubitaka (tangens delta).

Preventivno održavanje se sastoji u merenju kapacitivnosti i ugla gubitaka. Planirano je da se merenja ponavljaju u razmaku od 5-6 godina, ali se zbog zauzetosti drugim poslovima to nije moglo provesti. Rezultati merenja se upoređuju sa fabričkim rezultatima. Rezultati merenja tangens delta 110 kV prolaznih izolatora se moraju, ukoliko se imaju krive zavisnosti tangens delta od temeprature, svesti na referentnu temperaturu, a ako ih nema proceniti promenu. Merenje kapacitivnosti i tangens delta može da ukaže na loše stanje 110 kV prolaznog izolatora, a ukoliko postoji rezerva za zamenu, ona se može obaviti relativno jednostavno na licu mesta.

KVAROVI I OŠTEĆENJA 110 kV PROLAZNIH IZOLATORA

U prethodnom periodu od oko 20 godina bilo je kvarova 110 kV prolaznih izolatora uzrokovanih električnim ili mehaničkim kvarom u i na samom 110 kV prolaznom izolatoru, ali i usled vanjskih uzroka kao što su eksplozija susedne opreme, pojave električnog luka u vazduhu između 110 kV prolaznih izolatora. Ovi kvarovi i oštećenja su za posledicu imali potrebu zamene prolaznih izolatora u kvaru ili oštećenih i prikazani su u Tabeli 1.

TABELA 1 – PRIKAZ KVAROVA I OŠTEĆENJA 110 kV PROLAZNIH IZOLATORA

Datum kvara/ oštećenja	Tip 110 kV prolaznog izolatora	Uzrok i vrsta kvara
10.08.2004.	PNO.123.550.800	Proboj sa dela uronjenog u ulje na sud transformatora usled bliskog i jakog udara groma.
2005.	KVP 123/630/r	Usled eksplozije strujnog transformatora oštećenje na vezi metalne kape i pocelana.
29.10.2005.	UTkf 123-550/400 spez	Usled proleta ptice pojava električnog luka koji je ošteti metalne kape u fazama A i B uz curenje sopstvenog ulja.
30.11.2005.	PNO.123.550.800	Proboj na prirubnicu. Bez sklopnih i atmosferskih prenapona.
21.06.2006.	PNO.123.550.800	Središnja cev pukla na donjem delu na mestu mehaničkog osigurača koji učvršćuje delove prolaznog izolatora usled čega je prolazni izolator razlabavljen i isticurelo sopstveno ulje.
09.10.2006.	UTkf 123-550/400 spez	Električni luk probio metalnu kapu na vrhu.
25.10.2007.	PNO.123.550.800	Žuto ulje u “čaši” na vrhu prolaznog izolatora. Središnja cev pukla na donjem delu na mestu mehaničkog osigurača koji učvršćuje delove prolaznog izolatora – razlabavljen.
13.05.2009.	PNO.123.550.800	Središnja cev pukla na donjem delu na mestu mehaničkog osigurača koji učvršćuje delove prolaznog izolatora usled čega je prolazni izolator razlabavljen
07.2009.	KVP 123/630/r	Usled starenja zaptivač između metalne kape i porcelana postao porozan uz značajno curenje sopstvenog ulja. Zamena dva komada.
10.2014.	KVP 123/630/CH1	Otvoreno kolo prilikom merenja kapacitivnosti i tangens delta.
10.09.2015.	PNO.123.550.800	Proboj na prirubnicu. Bez sklopnih i atmosferskih prenapona.
22.11.2016.	KVP 123/630/r	Usled starenja zaptivač između metalne kape i porcelana postao porozan uz značajno curenje sopstvenog ulja. Zamena dva komada.
26.12.2018.	KVP 123/630/e	Eksplozija prolaznog izolatora usled proboja kapacitivnih slojeva prolaznog izolatora u gornjem delu. Oštećena još dva prolazna izolatora.

Pored oštećenja koja su bila ozbiljnija sa potrebom zamene 110 kV prolaznog izolatora, bilo je i manjih oštećenja porcelana uzrokovanih eksplozijom okolne opreme.

Prilikom merenja kapacitivnosti i tangens delta 110 kV prolaznih izolatora u nekoliko slučajeva je uočena neispravnost priključka za merenje kapacitivnosti i tangens delta bez potrebe zamene 110 kV prolaznog izolatora već samo potrebe zamene poklopca priključka ili kompletnog priključka za merenje kapacitivnosti i tangens delta.

PODACI O 110 kV PROLAZNIM IZOLATORIMA

U tabeli 2 su dati osnovni podaci o tipovima 110 kV prolaznih izolatora ugrađenih na transformatore 110/x kV na području koje održava JP EPS TC Novi Sad. Brojno stanje se menjalo usled rashodovanja transformatora, usled zamena 110 kV prolaznih izolatora prilikom remonata ili popravki, usled zamena na licu mesta zbog kvarova i na novim transformatorima uvođenjem novih tipova.

TABELA 2 – OSNOVNI PODACI O 110 kV PROLAZNYM IZOLATORIMA

Tip	Dužina dela uronjenog u ulje (mm)	Godište	Brojno stanje 2007	Brojno stanje 2019
110/300	nepoznato	1958-1959	9	5
123/400	490	1961-1964	8	8
145/630	nepoznato	1967-1968	8	8
123 550/400	verovatno 875	1973	12	12
123 550/400	470	1974	6	6
CTf 123 550/400	570	1974	2	2
CTf 123 550/400	verovatno 470	1974-1975	16	16
CTkf 123 550/400	310	1975	20	20
CTkf 123 550/400	verovatno 310	1977-1980	44	44
UTxf 123 550/400	verovatno 400+?	1978	3	3
UTkf 123 550/400 spec.	310	1982-1984	64	64
RTxf 123 550/32/0 K	verovatno 310	1985-1986	16	16
RTkf 123 550/32/0 K	verovatno 310	1986-1987	12	12
RTKF 123 550/800	370	2010-2016	0	28
RTKF 123 550/800T	370	2008-2014	0	32
OTxf 550/32/0	nepoznato	1986	4	4
KVP 123/630	verovatno 475	1985	8	8
KVP 123/630/CH1	475	1992-1995	32	24
KVP 123/630/e	475	1969	20	8
KVP 123/630/g	585	1969	8	8
KVP 123/630/r	375	1974-1976	44	32
GOB 550 LF 123 061-A	verovatno 495	1982?	4	4
GOB 550 LF 123 061-K	verovatno 495	1989	4	4
PNO 123.550.800	375	1998-2007	44	48
PSO 123.550.800	310	2005	4	4
PNR 123.550.800	370	2015	0	8
KTRF 145/630	verovatno 390	≤1968	8	8
STARIP 123-800 E=0	verovatno 350	2012	0	4
UKUPNO			400	440

Podaci su prikupljeni iz dokumentacije transformatora, snimanja tablica i dimenzija demontiranih prolaznih izolatora. Osnovne podatke sa natpisnih tablica 110 kV prolaznih izolatora imamo za svih 110 transformatora. Pored podataka o prolaznim izolatorima snimaju se podaci i o tome da li se prolazni izolatori nalaze na gornjoj ravnoj ploči transformatora bez cilindrično izvedenog postolja (u daljem tekstu: kupola) ili su sa kupolom na ravnoj ploči ili se nalaze na kupoli kod transformatora sa polukružno izvedenim gornjim delom transformatora. Snime se i dimenzije kupole (prečnik, visina - kod polukružno izvedenih gornjih delova transformatora i sa gornje i sa donje strane). Podaci o mestu i dimenzijama smeštaja prolaznog izolatora su neophodni zbog postojanja podtipova osnovnog tipa transformatora što se ogleda i u razlikama u visini kupola, ali i zbog radova na transformatoru prilikom kojih je zbog ugradnje prolaznih izolatora drugih dimenzija doručivana kupola (imamo dva slučaja).

U Tabeli 2 u koloni "Dužina dela uronjenog u ulje" nalaze se podaci o dužini dela uronjenog u ulje snimljenih prolaznih izolatora prilikom njihovog vađenja, a sa "verovatno" su označeni oni za koje posedujemo dokumentaciju ili smo dobili informaciju od proizvođača 110 kV prolaznih izolatora ili od proizvođača transformatora.

U Tabeli 2 je prikazan samo deo sakupljenih podataka zbog ograničenja prostora.

Prolazni izolatori 110 kV u pogonu tipovi CTf, CTkf, UTxf i UTkf su RBP, tip KTRF je RBP, tipovi KVP su verovatno RBP zbog promene kapacitivnosti kao kod drugih tipova koji su RBP, tipovi PNO i PSO su OIP, tip Otxf su OIP, tip GOB je OIP, tipovi RTkf, RTxf, STARIP i PNR su RIP, a za ostale, s obzirom na vreme proizvodnje, može se pretpostaviti da su tipa RBP.

ANALIZA PODATAKA O MERENJIMA 110 kV PROLAZNIH IZOLATORA

Prema do sada prikupljenim podacima od 440 komada 110 kV prolaznih izolatora na transformatorima u pogonu i u rezervi, na 396 komada postoji priključak za merenje tangens delta, a na 44 ne postoji.

U [3, 4 i 5] se navodi da su prolazni izolatori tipa RBP sa višim nivoom parcijalnih pražnjenja i vrednosti tangens delta u odnosu na OIP i RIP. Uzrok može biti nekontrolisan (ili slabije kontrolisan) postupak prevlačenja smolom i namotavanja čime se ostavlja zarobljen vazduh u šuplinama što kasnije proizvodi pojavu parcijalnih pražnjenja uzrokujući eroziju materijala, a teško ih je proizvesti sa niskim vrednostima tangens delta. U [5] se navodi da je starenje kod RBP uzrokovano naprslinama smolom vezanog papira i nehomogene impregnacije izolacionim uljem, tako da životni vek ima veliko rasipanje i ne bi trebalo da prelazi 30 godina. U [4] se navodi da se prolazni izolatori sa RBP izolacijom moraju menjati ako kapacitivnost poraste za više od 20% od početne (referentne) vrednosti i ukoliko vrednost tangens delta pređe $2 \times \text{tg}\delta_{\text{referentno}}$ gde je bitna karakteristika trend rasta. U drugoj dokumentaciji se navodi da je kritično stanje ukoliko se kapacitivnost promeni za više od 10%, a vrednost tangens delta poraste za više od trostruke referentne vrednosti, bez obzira na tip izolacije. Neki proizvođači su ranije, a neki kasnije odustali od RBP tipa prolaznih izolatora (izuzev za niže naponske nivoe). Za tipove OIP i RIP se navodi ili izvodi zaključak da su postojani što se tiče kapacitivnosti i vrednosti tangens delta. Zavisno od stanja uljne impregnacije i uticaja vlage i prljavštine na porcelanskom delu prolaznog izolatora mogu se dobiti različite vrednosti tangens delta [4], a takođe i zbog različitih temperatura prilikom merenja (za korekciju tangens delta u zavisnosti od temperature uglavnom nemamo korekcione krive).

U "normalnim" uslovima vrednost tangens delta se menja u granicama od $\pm 15\%$ [4]. Povećanje kapacitivnosti je uzrokovano parcijalnim probojem između slojeva kod OIP izolacije [4].

U Tabeli 3 se nalaze grupisani podaci o obavljenim merenjima kapacitivnosti po tipovima.

TABELA 3 – REZULTATI MERENJA KAPACITIVNOSTI 110 kV PROLAZNIH IZOLATORA

Tip	God. proizvod	Broj isp. komada	Opseg C_{ref} (pF)	Opseg C_{mer} (pF)	Broj kom. $5 < \Delta C < 10$ (%)	Broj kom. $10 < \Delta C < 20$ (%)	Broj kom. $20 < \Delta C$ (%)
110/300	1958-1959	0 od 5	nepoznato	120,0-122,0	-	-	-
123/400	1961-1964	0 od 8	nepoznato	nepoznato	-	-	-
145/630	1967-1968	7 od 8	nepoznato	140,2-148,3	2*	0*	0*
123 550/400	1973	0 od 8	170,0-176,0	nepoznato	-	-	-
123 550/400	1973	4 od 4	181,0-194,0	206,1-216,1	1	3	0
123 550/400	1974	6 od 6	nepoznato	124,1-136,1	6*	0*	0*
CTf 123 550/400	1974	2 od 2	nepoznato	150,7-154,2	0*	0*	0*
CTf 123 550/400	1975	0 od 16	nepoznato	nepoznato	-	-	-
CTkf 123 550/400	1975	20 od 20	102,0-111,0	114,9-122,0	11	9	0
CTkf 123 550/400	1977-1980	44 od 44	95,0-102,0	104,0-112,0	13	29	1
UTxf 123 550/400	1978	0 od 3	nepoznato	nepoznato	-	-	-
UTkf 123 550/400 spec.	1982-1984	64 od 64	98,0-104,0	104,7-118,8	31	9	0
RTxf 123 550/32/0 K	1985-1986	16 od 16	275,0-285,0	273,8-282,4	0	0	0
RTkf 123 550/32/0 K	1986-1987	12 od 12	283,0-288,0	278,9-285,7	0	0	0
RTKF 123 550/800	2010-2016	28 od 28	254,0-284,0	254,7-283,3	0	0	0
RTKF 123 550/800T	2008-2014	32 od 32	272,0-284,0	271,9-281,1	0	0	0
OTxf 550/32/0	1986	4 od 4	nepoznato	236,6-237,9	0	0	0
KVP 123/630	1985	0 od 8	102	nepoznato	-	-	-
KVP 123/630/CH1	1992-1995	24 od 24	123,4-141,0	134,4-144,2	5	0	0
KVP 123/630/e	1969	8 od 8	nepoznato	147,4-156,9	3*	0*	0*
KVP 123/630/g	1969	8 od 8	nepoznato	157,1-170,4	3*	0*	0*
KVP 123/630/r	1974-1976	31 od 32	111-113,0**	108,5-123,7	9**	0**	0**
GOB 550 LF 123 061-A	1982	4 od 4	150,2-152,3	149,8-153,1	0	0	0
GOB 550 LF 123 061-K	1989	4 od 4	153,0-154,0	151,4-152,4	0	0	0
PNO 123.550.800	1998-2007	44 od 48	179,1-272,2	177,8-272,3	0	0	0
PSO 123.550.800	2005	4 od 4	275,6-277,2	272,6-274,4	0	0	0
PNR 123.550.800	2015	8 od 8	269,3-271,0	268,0-269,9	0	0	0
KTRF 145/630	≤1968	8 od 8	124,0-131,0	142,5-154,8	0	8	0
STARIP 123-800 E=0	2012	4 od 4	246,0-264,0	244,9-262,2	0	0	0
UKUPNO	-	386	-	-	84	50	1

* - za meru odstupanja uzeta najniža izmerena vrednost kapacitivnosti

** - podatak proizvođača prolaznog izolatora za seriju, uzeto kao referentna vrednost

Osenčeni redovi tabele obuhvataju 110 kV prolazne izolatore koji nemaju priključak za merenje tangens delta i kapacitivnosti. Isti tip je negde stavljen u više redova zbog mogućih razlika kapacitivnosti usled usavršavanja tehnologije proizvodnje ili upotrebljenih materijala, a takođe i zbog mogućih konstrukcionih razlika. Isto nije urađeno kod prolaznih izolatora tipa PNO gde se vrednost kapacitivnosti istog tipa razlikuje zavisno od serije. Za tip PNO su rezultati kasnijih merenja kapacitivnosti u odnosu na početne (referentne) fabričke vrednosti (proizvođač prolaznih izolatora ili proizvođač transformatora), bliski. Zbog nedostatka referentne vrednosti kapacitivnosti za neke tipove za referentnu vrednost je uzeta najniža izmerena vrednost, a u drugom slučaju za jedan tip je uzeta vrednost koju je dao proizvođač za seriju prolaznih izolatora. Svi prolazni izolatori kojima kapacitivnost odstupa između 10% i 20% su bliži vrednostima od 10%. Stariji tipovi KVP imaju odstupanje kapacitivnosti između 5% i 10% u 27,8% slučajeva (20 od 72 komada). Prolazni izolatori tipova 123-550/400, 145/630, CTf, CTkf, UTkf sa RBP izolacijom (stariji tipovi, pre 1984. godine) imaju odstupanje kapacitivnosti između 5% i 10% u 43,24% slučajeva (64 od 148 komada), a između 10% i 20% u 33,78% slučajeva (50 od 148 komada). Prolazni izolatori tipa KTrf 145/630 imaju odstupanje kapacitivnosti između 10% i 20% u 100% slučajeva (8 od 8 komada). Prolazni izolatori sa OIP i RIP izolacijom (noviji, od 1986-2016. godine) imaju odstupanja kapacitivnosti od referentne vrednosti manju od 5%. Izuzmemo li 6 prolaznih izolatora koji nemaju referentnu vrednost kapacitivnosti za poređenje ili imaju mali uzorak izmerenih prolaznih izolatora bez referentne vrednosti na osnovu kojeg se ne može doneti odgovarajući zaključak o meri odstupanja kapacitivnosti, vidi se da je, od merenog uzorka od 386 komada prolaznih izolatora, na 84 komada (21,8%) odstupanje u granicama između 5% i 10%, a na 51 komada (13,2%) odstupanje u granicama između 10% i 20%. Očigledno je da su odstupanja najveća kod prolaznih izolatora sa RBP izolacijom bez obzira na tip, a ti prolazni izolatori su i najstariji.

Kod merenja tangens delta je kod ispitanih 110 kV prolaznih izolatora samo na tri komada dobijena vrednost koja je u granicama $2 \times \text{tg}\delta_{\text{referentno}} < \text{tg}\delta_{\text{mereno}} < 3 \times \text{tg}\delta_{\text{referentno}}$ (tip CTkf 123/550-400 - približno $2 \times \text{tg}\delta_{\text{referentno}}$). Za ta tri 110 kV prolazna izolatora je odstupanje kapacitivnosti od referentne vrednosti 8,9%, 15% i 21%.

ZAKLJUČAK

Pregledom rezultata ispitivanja kapacitivnosti 110 kV prolaznih izolatora vidi se da se stanje s vremenom pogoršava, posebno kod RBP tipova. Uočava se blagi porast kapacitivnosti kod 110 kV prolaznih izolatora gde postoji više merenja u poslednjih 15 godina. Ranije su lošiji bili prolazni izolatori tipova KVP kojih je deo zamenjen novim 110 kV prolaznim izolatorima, a deo boljih starog tipa KVP koji su skinuti, zamenili su loše istog tipa KVP. Trenutno su 110 kV prolazni izolatori tipa CTkf 123/550-400 u najlošijem stanju prema rezultatima kapacitivnosti, a i prema rezultatima merenja tangens delta.

U narednom periodu treba postepeno vršiti zamenu kompleta 110 kV prolaznih izolatora na transformatorima gde ima i boljih i lošijih. Skinute 110 kV prolazne izolatore boljih karakteristika iskoristiti za zamenu nekog od lošijih, a nekoliko komada ostaviti u rezervi.

Takođe treba nastaviti sa merenjima najmanje u obimu od oko 20 transformatora godišnje kako bi se ispitivanje transformatora i 110 kV prolaznih izolatora vršilo svakih 5 godina ili češće.

LITERATURA

1. CIGRE WG A2.37, 2012, "Transformer Reliability Survey: Interim Report", ELECTRA No. 261 - April 2012
2. Christina AJ, M.A. Salam, Q.M. Rahman, Fushuan Wen, S.P. Ang, William Voon, 2018, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Part 1, February 2018, Pages 1442-1456
3. Keith P. Ellis, 2004, Trench Limited, "Bushings for Power Transformers", Doble Engineering Company
4. Tobias Stirl, Raimund Skrzypek, Stefan Tenbohlen, Rummiya Vilaithong, 2006, "On-line Condition Monitoring and Diagnosis for Power Transformers their Bushings, Tap Changer and Insulation System", CMD
5. Joachim Schneider, Claus Neumann, Jurgen Hografer, Wolfram Wellssow, Michael Swan, Armin Schnettler, 2005, "Asset Management Techniques", 15th PSCC - Session 41, Liege, 22-26 August 2005.