



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne inštalacije

Pomen meritev na visokonapetostnih napravah v RTP Kidričevo

Mentor: Matjaž Bobnar, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Bojana Selinšek, univ. dipl. slov.

Kandidat: Zoran Šokčević

Zagorje ob Savi, marec 2020

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Matjažu Bobnarju, univ. dipl. inž. el., za pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorici Bojani Selinšek, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Predvsem se pa zahvaljujem puncici Tanji za vso podporo tako pri študiju, kot v življenju.

IZJAVA

Študent Zoran Šokčević izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom Matjaža Bobnarja, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Za tovarno aluminija TALUM Kidričevo d.d. je nemoten prenos električne energije ključnega pomena, saj je proizvodni proces pogojen z nemoteno, stalno in zadostno dobavo električne energije. V sklopu vzdrževanja so meritve na visokonapetostnih napravah bistvenega pomena, saj lahko z njimi preventivno odkrijemo napake. Preventivno odkrivanje le-teh pa je najboljši način za zanesljivo in pravočasno ukrepanje. Diplomaska naloga opisuje visokonapetostne naprave v razdelilni transformatorski postaji Kidričevo, ki služi dobavi električne energije podjetja Talum. V nalogi so predstavljene različne meritve in diagnostika na visokonapetostnih napravah, ki so v sklopu vzdrževanja ključnega pomena pri preprečevanju okvar na napravah in posledično pri izpadih električne energije. Poleg meritev naloga predstavlja tudi vzdrževanje in varno delo na visokonapetostnih napravah.

KLJUČNE BESEDE

meritve, visokonapetostne naprave, preventivno ukrepanje, diagnostika, izpadi

ABSTRACT (ali: ZUSAMMENFASSUNG)

For aluminum factory TALUM Kidričevo d.d. the smooth transmission of electricity is crucial as the production process is conditioned by the smooth, continuous and sufficient supply of electricity. As part of maintenance, measurements on high-voltage devices are essential in detection of errors. Preventive errors detection, however, is the best way for on time action that can eliminate errors. The thesis describes high-voltage devices in Kidričevo substation, which serves the supply of electricity to Talum d.d., aluminium factory. Thesis presents various measurements and diagnostics on high-voltage devices, which have high importance in the maintenance as part of the prevention of device errors and consequently in power outages. In addition to measurements, thesis also includes maintenance and safety work instruction of devices.

KEYWORDS

measurements, high voltage devices, preventive action, diagnostics, outages

KAZALO

1. UVOD	1
1.1 Predstavitev problema.....	1
1.2 Cilji naloge	2
1.3 Predstavitev okolja	2
1.4 Predpostavke in omejitve	2
1.5 Metode dela	2
2. RTP 110/10 KV KIDRIČEVO	3
2.1 Opis 110 KV stikališča.....	3
2.1.1 Primarna oprema	3
2.1.2 Sekundarne naprave	3
2.1.3 Meritve.....	4
2.1.4 Ozemljitev.....	4
2.1.5 Naprave lastne rabe	5
2.2 Opis in tehnični podatki VN naprav v stikališču	6
2.2.1 Odklopnik	6
2.2.2 Ločilnik	8
2.2.3 Napetostni instrumentni transformator (NIT)	9
2.2.4 Tokovni instrumentni transformator (TIT)	10
2.2.5 Odvodnik prenapetosti.....	11
2.2.6 Energetski transformator	12
3. VZDRŽEVANJE VN NAPRAV	16
3.1 Navodila o vzdrževanju VN naprav.....	16
3.2 Dokumentacija o vzdrževanju.....	17
4. MERITVE NA VN NAPRAVAH	18
4.1 Termografija.....	18
4.2 NIT in TIT	19
4.2.1 Meritev izolacijske upornosti in indeksa polarizacije.....	20
4.2.2 Meritev faktorja dielektričnih izgub	20
4.2.3 Eksplozija instrumentnega transformatorja	22
4.3 SF6 odklopnik ALSTOM.....	24
4.3.1 Istočasnost vklopa-izklopa	24
4.3.2 Plin SF6.....	26
4.4 Diagnostika energetskega transformatorja	26
4.4.1 Fizikalno-kemijske diagnostične meritve	26
4.4.2 Plinska kromatografija transformatorja (PK).....	27

4.4.3	Tekočinska kromatografija transformatorja (TK)	27
4.4.4	Stopnja polimerizacije izolacijskega papirja (DP)	27
4.4.5	Infrardeča spektroskopija (IR)	28
4.4.6	Električne diagnostične meritve	28
4.4.7	Regulacijsko stikalo (RGS)	28
4.4.8	Navodila za vzdrževanje RGS	29
5.	VARNO DELO NA VN NAPRAVAH	31
5.1	Dokumenti za varno delo	31
5.2	Pet varnostnih pravil	33
6.	ZAKLJUČEK	34
7.	LITERATURA IN VIRI	36

KAZALO SLIK

Slika 1:	Stikališče 110 kV RTP Kidričevo	6
Slika 2:	Visoko napetostni odklopnik 110 kV	7
Slika 3:	Tehnični podatki odklopnika	8
Slika 4:	Ločilnik z ozemljitvenimi noži	9
Slika 5:	Napetostni instrumentni transformator 110 kV	10
Slika 6:	Tokovni instrumentni transformator 110 kV	11
Slika 7:	Odvodnik prenapetosti 110 kV	12
Slika 8:	Trifazni energetski transformator 110 kV/10 kV L.2017	14
Slika 9:	Napisna plošča s tehničnimi podatki trifaznega energetskega transformatorja 110 kV/10 kV L.2017	15
Slika 10:	Delitev vzdrževanja in vzdrževalnih del	17
Slika 11:	Korona na podpornem izolatorju	19
Slika 12:	Priključna omarica instrumentnega transformatorja	21
Slika 13:	Shema instrumentnega transformatorja	22
Slika 14:	Požar na NIT v RTP Kidričevo	23
Slika 15:	Stanje NIT po eksploziji	23
Slika 16:	Merilni instrument TM1600	24
Slika 17:	Rezultati meritev vklopnega in izklopnega časa odklopnika	25
Slika 18:	notranjost transformatorja in RGS	29
Slika 19:	Poročilo o kontroli RGS	30
Slika 20:	Pet varnostnih pravil	34

KRATICE IN AKRONIMI

RTP:	Razdelilna transformatorska postaja
VN:	Visoka napetost
kV:	Kilovolt (1000 V – enota za določanje napetosti omrežja ali naprave)
kW:	Kilovat (1000 W – enota za določanje moči naprave)
DV:	Daljnovid
TR:	Transformator
DEA:	Diesel električni agregat:
TALUM:	Tovarna aluminija
ELES:	Elektro Slovenija
AC:	Izmenična električna napetost
DC:	Enosmerna električna napetost
APV:	Avtomatski ponovni vklop
NIT:	Napetostni instrumentalni transformator
TIT:	Tokovni instrumentalni transformator

1. UVOD

Slovensko visokonapetostno prenosno omrežje sestavljajo objekti na treh napetostnih nivojih: 400 kV, 220 kV in 110 kV. Med prenosne objekte štejemo daljnovode, razdelilne transformatorske postaje in razdelilne postaje. Namenjeno je prenosu kakovostne električne energije velikih proizvajalcev električne energije kot so hidroelektrarne na Dravi, Savi in Soči, termoelektrarne v Šoštanju, Ljubljani in Brestanici ter jedrske elektrarne v Krškem. Prav tako je namenjeno prenosu električne energije do distribucijskih omrežij in neposrednih odjemalcev na visoko napetostnem nivoju: železarni Štore, Ravne in Jesenice, industrijskih objektov na lokaciji Ruše ter tovarne aluminija Kidričevo, ki se ji bomo posvetili v naši nalogi.

Družba ELES d.o.o. načrtuje razvoj prenosnega omrežja elektroenergetskega sistema Slovenije skladno s predvideno proizvodnjo in odjemom električne energije na prenosnem omrežju. Pri tem upošteva tehnične, ekonomske in okoljevarstvene kriterije načrtovanja. Prav tako upošteva napovedi o predvidenih proizvodnih zmogljivostih in potrebah odjemalcev ter pretoke moči po mednarodnih vodih. Tehnični kriteriji zajemajo izbiro elementov prenosnega omrežja in njihove tehnične omejitve. S pomočjo ekonomskih kriterijev pridemo do optimalne izbire med investicijskimi stroški in stroški kapitala, vzdrževanja in obratovanja. Okoljevarstveni kriteriji pa omogočajo, da so vplivi načrtovanega prenosnega omrežja na ljudi in okolje znižani na najnižjo možno raven.

Razdelilna transformatorska postaja (v nadaljevanju RTP) Kidričevo 110/10 kV, ki se napaja preko treh 110 kV daljnovodov Cirkovce I, II, III in preko 110 kV daljnovoda Breg, je namenjena oskrbi tovarne Talum z električno energijo na 110 kV napetostnem nivoju. Dovoljena odjemna moč znaša 203 MW in je prilagojena stanju omrežja na širšem področju RTP Kidričevo. 110 kV stikališče je bilo postavljeno in je začelo z obratovanjem leta 1954. Do danes se je stikališče razširilo skladno s potrebami in obsegom proizvodnje tovarne Talum.

1.1 Predstavitev problema

Osnovna dejavnost tovarne Talum je pridobivanje in predelava aluminija iz glinice v postopku elektrolize. Namen elektrolize je razgraditi molekule glinice na njene sestavne dele, to je aluminij in kisik. Elektroliza poteka v elektrolitskih pečeh, ki so sestavljene iz kovinskega korita, to pa je obzidano s katodnimi bloki in predstavlja katodo v katero se nasuje kriolit v prahu in glinica, ki prehaja pri 950 °C v talino. Pri izgorevanju anode se kisik glinice veže z ogljikom anode v ogljikov dioksid in monoksid, raztaljeni aluminij se pa zbira na dnu katode. Količina pridobljenega aluminija je odvisna od velikosti elektrolizne celice oziroma od jakosti električnega toka.

Proizvodni proces je posledično pogojen z nemoteno, konstantno in zadostno dobavo električne energije. Zaradi zahtev pridobivanja aluminija je lahko tovarna Talum brez napajanja največ dve uri. Če proizvodnja ostane brez napajanja z električno energijo dlje časa, se vsebina elektrolizni celic preveč ohladi in je tako potrebno vse celice v pečeh obnoviti, kar bi predstavljalo zelo visok strošek. Zato je v RTP Kidričevo izredno pomembno učinkovito in varno delovanje visokonapetostnih (v nadaljevanju VN) naprav v stikališču. Meritve na VN napravah v sklopu njihovega vzdrževanja so ključnega pomena pri preprečevanju okvar le-teh in posledično pri izpadih električne energije zato jih bomo podrobno predstavili v nalogi.

1.2 Cilji naloge

Cilj diplomske naloge je raziskati področje meritev na VN napravah v RTP Kidričevo in ovrednotiti njihov pomen pri preprečevanju tveganja izpadov električne energije. Pri tem bomo predstavili različne metode in instrumente za izvajanje meritev ter opisali postopke merenj.

1.3 Predstavitev okolja

Tovarna Talum d.d. Kidričevo je največji neposredni odjemalec električne energije v Sloveniji in je zaradi svoje vloge v energetske in gospodarske prostoru pojmovana kot objekt državnega pomena. Leta 1954 je družba ELES d.o.o. postavila 110 kV stikališče za potrebe dobavljanja električne energije tovarni na 110 kV nivoju.

1.4 Predpostavke in omejitve

V praksi se je izkazalo, da so meritve ključnega pomena pri zagotavljanju nemotenega in učinkovitega delovanja VN naprav. Pri nalogi bomo zajeli vse vrste VN naprav in vse meritve, ki se trenutno izvajajo v družbi ELES d.o.o. Naloga je s tem nekoliko omejena na praktične primere družbe ELES d.o.o. in bi za bolj objektivno sliko pomena izvajanja meritev na VN napravah potrebovala tudi druge vire oz. podobne primere s področja energetike.

1.5 Metode dela

Izdelava diplomske naloge obsega pregled obstoječe literature in pregled meritev. Pri pregledu bomo uporabili navodila proizvajalcev visokonapetostne opreme in upoštevali lastne izkušnje pri opravljanju tovrstnih meritev. Pri pripravi diplomske naloge bo uporabljena opisna metoda.

2. RTP 110/10 KV KIDRIČEVO

Tovarna Talum d.d. je največji neposredni odjemalec električne energije v Sloveniji. Posledično se razdelilna transformatorska postaja Kidričevo (v nadaljevanju RTP Kidričevo) uvršča med najpomembnejši objekt za prenos električne energije. Družba ELES d.o.o. tovarni dobavlja električno energijo na 110 kV napetostnem nivoju. Dovoljena odjemna moč znaša 203 MW in je prilagojena stanju omrežja na širšem področju RTP Kidričevo zaradi pomembne vloge tovarne Talum d.d. v slovenskem energetske in gospodarskem prostoru. 110 kV stikališče je bilo postavljeno leta 1954, istega leta je tudi začelo z obratovanjem.

2.1 Opis 110 KV stikališča

2.1.1 Primarna oprema

Obseg 110 kV stikališča, prikazanega na sliki 1, obsega:

- 4 daljnovodna polja 110 kV (v nadaljevanju DV),
- 10 transformatorskih polj 110kV (v nadaljevanju TR),
- zvezno polje 110 kV,
- 2 merilni in ozemljilni polji 110 kV,
- obhodno polje 110 kV,
- 5 rezervnih polj 110 kV,
- dvojne glavne 110 kV zbiralnice,
- pomožne 110 kV zbiralnice.

Na pomožne zbiralnice so priključena vsa 110 kV polja orientirana na jug (4 DV polja, obhodno polje in transformatorska polja TR VI - TR X.) Transformatorska polja TR 1 – TR V niso priključena na pomožne zbiralnice (Obratovalna navodila, ELES 2019).

2.1.2 Sekundarne naprave

Naprave za vodenje, zaščito in meritve so nameščene v relejnih hišicah in v komandnem prostoru. Postajna računalnika ter ostale skupne naprave so z optičnimi kablji povezane z napravami za vodenje, zaščito in meritve v posameznih poljih.

V omarah za vodenje, zaščito in meritve za stikalna polja, je vgrajena naslednja oprema:

- računalniki polj (vhodno / izhodne enote) REC 561 s komunikacijskimi moduli,
- krmilni paneli za ročno krmiljenje VN aparatov,
- numerični zaščitni terminali REL 511,
- numerične zaščite zbiralk REB 500,
- pod frekvenčni zaščiti RFN 30,
- nad tokovna in kratkostična zaščita SPAJ 140 C,

- zemljostični zaščiti SPAU 110 C,
- elektronski števcji delovne in jalove energije,
- ostala oprema (avtomati, vrstne sponke, ožičenje).

2.1.3 Meritve

Merilne naprave delimo na:

- Obratovalne merilne naprave za merjenje in prikaz trenutnih vrednosti napetosti, tokov, frekvence, delovne in jalove moči za potrebe postajnega in daljinskega nadzora.
- Obračunske merilne naprave za registracijo pretokov električne energije.

Obračunske merilne naprave za tovarno Talum so na primarni strani transformatorjev. Kontrolne merilne naprave pa so na sekundarni strani transformatorjev 110/x kV, TR I do TR X in v daljnovidnih poljih.

Merilne naprave sestavljajo:

- instrumentni transformatorji,
- števcji delovne in jalove energije,
- računalniki polj REC 561,
- registrator števkčnih podatkov FAG,
- merilni pretvorniki.

2.1.4 Ozemljitev

Ozemljitev je najpomembnejši način zaščite pred prenapetostmi. Gre za galvansko povezovanje neke točke naprave z zemljo pri čemer je glavna naloga ozemljitve ta, da poskrbi za hiter odvod prenapetosti in kvarnih tokov v okolico (zemljo) ter s tem poskrbi za varno uporabo električnih naprav ter a njihovo nemoteno obratovanje.

Osnovno ozemljilno mrežo sestavljajo bakrene vrvi s presekom 150 mm². Mreža je v zemljo zakopana 0.8 m globoko. Raster ozemljilne mreže znaša 9.0 m - merjeno od ograje v smeri vzhod–zahod ter med 5.0 m in 15.0 m v smeri sever–jug, odvisno od razporeditve elektroenergetske opreme. Zanesljive galvanske spoje na križanjih v mreži zagotavljajo kompresijske sponke, ki spajajo vrvi. Na večini portalov so nameščene strelovodne konice. Strelovodne vrvi ščitijo 110 kV glavne zbiralnice, zvezno polje, obhodno polje in merilno ozemljilni polji pred atmosferskimi praznitvami. Pomožne 110 kV zbiralnice so pred atmosferskimi praznitvami zaščitene s prostostoječimi strelovodnimi konicami. Vse kovinske mase na stikališču so združene oz. priključene na osnovno mrežo. Pod kabelskimi cevnicami inštalacijami so položene ozemljilne Cu vrvi preseka 150 mm², ki imajo vlogo kompenzacijskega vodnika. Na zunanji strani ograje je zakopana bakrena vrv s presekom 150 mm². Vrv je zakopana 1.0 m stran od ograje in v globini 0.5 m ter je v 41 točkah priključena na osnovno

ozemljitev 110 kV stikališča ter na ozemljitev Talum-a, ki poteka vzdolž zgradbe 10 kV stikališča. Ozemljitev Taluma poteka na oddaljenosti 1.0 m od zgradbe. Ograja je povezana z osnovno ozemljilno mrežo, vsi kovinski elementi pa so med seboj galvansko povezani. Stavbe na stikališču (komandna zgradba in relejne hišice) imajo strelovodno instalacijo, priključeno na ozemljilne obroče okoli stavb, ki so povezani z osnovno ozemljilno mrežo. Ozemljilna mreža 110 kV stikališča, je povezana z ozemljitvenim sistemom Talum-a.

2.1.5 Naprave lastne rabe

Pod pojmom lastna raba razumemo porabo električne energije, ki jo določen elektroenergetski objekt porablja za potrebe nemotenega obratovanja lastnih električnih uporabnikov. Sistem lastne rabe je skupina naprav, ki glede na tehnološke zahteve elektroenergetskega objekta zagotavlja zanesljivo, stabilno in neprekinjeno oskrbo vseh porabnikov električne energije, ki so potrebni za nemoteno delovanje sistema. Naprave lastne rabe pa so naprave, ki tako električno energijo porabljajo. Te naprave so prizma omare, dizel električni agregat, akumulatorska baterija in druge. Glavna razdelilna plošča 400V AC v Prizma omarah (5 kom.) ima enojne zbiralnice z vzdolžno ločitvijo in se napaja preko dveh kablov 4x95 mm² iz Talum-a. Na glavni razdelilec je priključen tudi DEA. Iz glavnega razdelilca se napajajo vsi porabniki v komandni zgradbi in podrazdelilci 400V AC s porabniki v relejnih hišicah. Glavna razdelilna plošča enosmernega razvoda 220 V DC, s preklopnim poljem v Prisma omarah (3 kom.), napaja porabnike v komandni zgradbi in podrazdelilce 220V DC s porabniki v relejnih hišicah. Glavni razdelilec 400V AC in glavni razdelilec 220V DC, se nahajata v posebnem prostoru prizidka komandne zgradbe. Diesel električni agregat moči 150 KVA, 400/231V AC, z opremo in napravami, ki napaja nujne potrošnike na 110 kV stikališču se nahaja v posebnem prostoru prizidka komandne zgradbe. Sistem za neprekinjeno napajanje tip GE DE LanPro 5-11 proizvajalca General Electric z avtonomijo 10 minut ob nazivni moči 5 KVA in izhodno napetostjo 230 V 50 Hz, napaja elektronske naprave z funkcijo MMI in GW. Usmernika 220V DC, 50 A, sta namenjena polnjenju dveh ne deljenih svinčenih baterij in za pokrivanje porabe potrošnikov enosmerne lastne rabe. Nahajata se v usmerniškem prostoru komandne zgradbe. Akumulatorski bateriji sta proizvod TAB Mežica s kapaciteto po 200 Ah in se nahajata v AKU prostoru komandne zgradbe. Priključna omarica AKU baterij 220V DC in praznilnega upora je opremljena s priključnimi sponkami in varovalkami s signalizacijo prekinitve, za varovanje baterij ter varovalkami za praznilni upor.



Slika 1: Stikališče 110 kV RTP Kidričevo
(vir: lasten)

2.2 Opis in tehnični podatki VN naprav v stikališču

2.2.1 Odklopnik

Visokonapetostni odklopniki nad 35 kV se uporabljajo za zaščito visokonapetostnih daljnovodov. Namenjeni so za vklopjanje in izklopjanje tokokrogov v normalnih in zahtevnejših obratovalnih pogojih v omrežju:

- v rednem obratovanju pri nazivnih vrednosti,
- pri izklopjanju kratkih stikov,
- pri izklopjanju ob okvarah (avtomatsko),
- pri vklopjanju na kratek stik pri ponovnih hitrih vklopih (APV).

V današnjem času se v VN stikališčih uporabljajo plinski odklopniki, ki so nadomestili stare oljne odklopnike.

V RTP Kidričevo so vgrajeni SF₆ odklopniki 110 kV nazivnega toka 3150 A in nazivne napetosti 123 kV proizvajalca ALSTOM (slika 2). Odklopnik je sestavljen iz polov odklopnika, šasije, pogonskih mehanizmov in podstavkov.

Pol odklopnika je sestavljen iz podpornega izolatorja za izolacijo do nazivne obratovalne napetosti in izolatorja komore v kateri je nameščen prekinjevalni element. Poli odklopnika skupaj z razvodom plina SF₆ tvorijo enotno plinsko posodo. Pomični kontakti prekinjevalnega elementa so s pogonskim mehanizmom povezani preko izolacijskih drogov, vzvodov pola in povezovalnih drogov v šasijah.

Prekinitev električnega toka, ki predstavlja prehod kontaktne sistema v izolacijski komori iz stanja prevajanja v stanje izolacije, se vrši v nekaj mili sekundah. Med operacijo izklopa se v komori vzpostavi električni oblok, ki ga tok plina ugasne in tako prekine električni tok.



*Slika 2: Visoko napetostni odklopnik 110 kV
(vir: lasten)*

Napisna ploščica (slika 3) s tehničnimi podatki odklopnika je nameščena na zunanji strani vrat omarice pogonskega mehanizma.

ALSTOM			
Tipska oznaka	GL 311 F1	Nazivni izklopni tok polnjenja voda	31.5 A
Serijska številka	3 008 782 / 1	Tlak SF ₆ plina za prekinitev obioka p _e	0.64 MPa
Nazivna napetost	123 kV	Nazivna napajalna napetost	
Nazivna zdržna atmosferska udarna napetost	550 kV	vklopne in izklopnih tuljav	220 VDC
Nazivna zdržna kratkotrajna napetost	- kV	Nazivna napetost napajanja pomožnih tokokrogov	220 VDC
Nazivna frekvenca	50 Hz	Nazivna napetost napajanja motorja	220 VDC
Nazivni tok	3150 A	Masa SF ₆ plina	12 kg
Nazivni čas trajanja kratkega stika	3 s	Masa	1182 kg
Nazivni izklopni tok kratkega stika	40 kA	Nazivno zaporedje delovanja	0-0.3s-CO-3min-CO
Faktor prekinitev na prvem polu	1.5	Leto proizvodnje	2002
Nazivni asinhronski izklopni tok	10 kA	Temperaturni razred	-30 ... +40 °C
Made in Germany			

Slika 3: Tehnični podatki odklopnika
(vir: lasten)

2.2.2 Ločilnik

Ločilnik je stikalna naprava, ki jo uporabljamo za vidno prekinitev tokokrogov, za preklop uporabnikov na različne sisteme zbiralk. Ločilnik ne more vklapljati in izklapljati moči (bremen). Ker nima gasilne in obločne komore bi kontakti zgoreli. Ločilniki lahko imajo dodatno nameščene ozemljitvene nože, ki služijo za ozemljitev sistema zbiralk in daljnovodov kadar je izhodni ločilnik izklopljen. Ločilniki so opremljeni z signalnimi stikali, ki so namenjeni za signalizacijo položaja. Pogoni ločilnikov so elektromotorni. Za vsak napetostni nivo potrebujemo drugačen ločilnik glede na nazivno napetost in varnostno razdaljo.

Ločilke (slika 4) so tipa DR nazivne napetosti 123 kV in nazivnega toka 2000 A proizvajalca MERLIN GERIN. V primeru kratkega stika so posebno vzdržljive zaradi samo tesnilnih kontaktov. Ločilke so enopolne enote, tripolno ločilko pa dobimo s spajanjem treh polov.



Slika 4: Ločilnik z ozemljitvenimi noži
(vir: lasten)

2.2.3 Napetostni instrumentni transformator (NIT)

Naloga napetostnih instrumentnih transformatorjev je transformiranje visoke napetosti v vrednosti, ki jih lahko vodimo na merilne instrumente in zaščitne releje. Imeti morajo čim manjši pogrešek kota. Napetostni merilni transformatorji so lahko suhi ali izolirani z oljem, izdelani pa so lahko za različnih razredov točnosti in različnih moči. V močnostne tokokroge jih vežemo vzporedno.

Napetostni instrumentni transformatorji tipa EOF PFIFFNER (slika 5), ki so induktivne izvedbe, izolirani s papirjem in transformatorskim oljem in imajo štiri sekundarna navitja:

1. navitje ($0.11-0.1/\sqrt{3}$ V, 10 VA, 0.2) – števnice meritve energije in merilni pretvorniki,
2. navitje ($0.1/\sqrt{3}$ V, 15 VA, 0.2) – obratovalne meritve REC 561,
3. navitje ($0.1/\sqrt{3}$ V, 30 VA, 3 P) – distančna zaščita REL 511, pod frekvenčna zaščita RFN 30,
4. navitje ($0.1/\sqrt{3}$ V, 30 VA, 3 P) – odprti trikot (zemljiščna zaščita SPAU 110 C).



Slika 5: Napetostni instrumentni transformator 110 kV
(vir: lasten)

2.2.4 Tokovni instrumentni transformator (TIT)

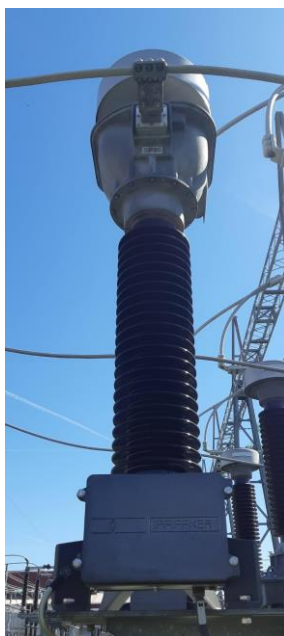
Naloga tokovno instrumentnih transformatorjev je, da pretvarjajo visoke vrednosti tokov v takšne vrednosti, da jih lahko vodimo na merilne instrumente in zaščitne naprave, saj lahko ločijo visokonapetostni nivo od nizkonapetostnega. Pri tem nastaja pogrešek, ki se izraža v procentu nazivnega toka, kar predstavlja razred točnosti merilnega transformatorja za meritve. Razredi točnosti imajo standardne vrednosti, ki znašajo 0.1, 0.2 in 0.5. Slednjega uporabljamo za obratovalne meritve. Vežemo jih zaporedno v močnostne tokokroge.

Tokovni instrumentni transformatorji so sestavljeni iz primarnega in sekundarnega navitja ter železnega jedra. Delimo jih na suhe in oljne. Glede na izvedbo pa jih delimo še na lončaste (jedro z navitji se nahaja v loncu z oljem), paličaste (so izdelani v obliki prevodnih izolatorjev, primarno navitje je v obliki palice brez ovojev) in podpornega tipa (navitje je zalito v epoksidni smoli).

Tokovni instrumentni transformatorji so lahko eno jederni ali več jederni, pri katerih je eno jedro namenjeno zaščiti druga pa meritvam. Lahko so različnih razredov točnosti (0, 1-5) in raznih primarnih napetosti s sekundarnim tokom 5A ali 1A.

Tokovni instrumentni transformatorji tipa EOF PFIFFNER (slika 6), ki so induktivne izvedbe, izolirani s papirjem in transformatorskim oljem in imajo štiri jedra:

1. jedro (400 – 200/1A oz. 1200-600/1A, 5 VA, 0.2 S) – števnice meritve in merilni pretvorniki,
2. jedro (400-200/1A oz. 2000-1000/1A, 10 VA, 0.2 S) – obratovalne meritve REC 561,
3. jedro (400-200/1A oz. 2000-1000/1A, 30 VA, 5 P 20) – distančna zaščita REL 511, nad tokovna in kratkostična zaščita SPAJ 140 C,
4. jedro (400-200/1A oz. 2000-1000/1A, 30 VA, 5 P 20) – zaščita zbiralk REB 500.



*Slika 6: Tokovni instrumentni transformator 110 kV
(vir: lasten)*

2.2.5 Odvodnik prenapetosti

Odvodnik prenapetosti se uporablja za zaščito pred prenapetosti, ki se pojavijo zaradi atmosferskih vplivov in obratovalnih motenj, katerim sledijo prehodni pojavi. Atmosferske prenapetosti so posledica atmosferskih razelektritev, to je posrednega in neposrednega udara strele. Obratovalne prenapetosti pa so posledice obratovalnih motenj, to so zemeljski stiki v omrežju, napačne obratovalne manipulacije, prekompensacije, prehodni pojavi. Da preprečimo okvare, ki bi nastale zaradi prenapetosti, uporabimo zaščitne ukrepe, s katerimi po najkrajši možni poti peljemo prenapetosti do ozemljenih delov v zemljo.

V RTP Kidričevo so vgrajeni prenapetostni odvodniki 110 kV proizvajalca HUBEL nazivnega toka 10 kA in nazivne napetosti 120 kV (slika 7).



*Slika 7: Odvodnik prenapetosti 110 kV
(vir: lasten)*

2.2.6 Energetski transformator

Transformator je električni stroj, ki pretvarja električno energijo iz enega napetostnega nivoja v drugi napetostni nivo. Transformator dela na principu statične elektromagnetne indukcije. Zgrajeni so v enofazni ali trifazni izvedbi.

Sestavljen je iz:

- železnega jedra (zgrajeno je iz posebne lamelirane transformatorske pločevine, ki je med seboj izolirana s tankimi plastmi izolacije in tvori stebre, ki nosijo navitja, jarmi pa povezujejo stebre)
- navitja (sestavljajo tuljave iz bakrenih vodnikov, ki so oviti z izolacijskim trakom in med seboj izoliranimi z izolacijskim papirjem)
- transformatorskega olja (izolacijsko in hladilno sredstvo)
- kotel
- konservator
- priključne sponke s skožniki
- hladilna rebra in ostale naprave za hlajenje (ventilatorji)
- črpalke
- zaščita (Buchholzov rele, diferenčna zaščita)
- silikagel
- napisna plošča.

Glede na smer pretoka energije ločimo primarno in sekundarno navitje, ki sta dimenzionirana na nazivno moč, ter terciarno navitje, ki je dimenzionirano na tretjino moči transformatorja. Vhodna moč transformatorja je enaka izhodni moči, spreminjata se samo napetost in tok, frekvenca pa ostaja ista. Ker je v RTP-ju v obratovanju več transformatorjev, morajo le-ti delovati paralelno. Za paralelno delovanje morajo transformatorji zagotavljati enaka prestavna razmerja, nazivne napetosti, vezalno skupino, približno enaka pa mora biti napetost kratkega stika in nazivne moči. Transformator ščitimo pred preobremenitvami (pregrevanju), kratkimi stiki (ovojni stik ali med navitij posameznih faz) in zemeljskimi stiki.

Pri transformatorjih se najpogosteje pojavljajo naslednje okvare:

- preobremenitev – povišanje temperature,
- kratki stik med ovoji iste faze ali ovojni stik,
- kratki stik med navitji posameznih faz,
- zemeljski stik ali preboj delov pod napetostjo na ozemljene dele transformatorja.

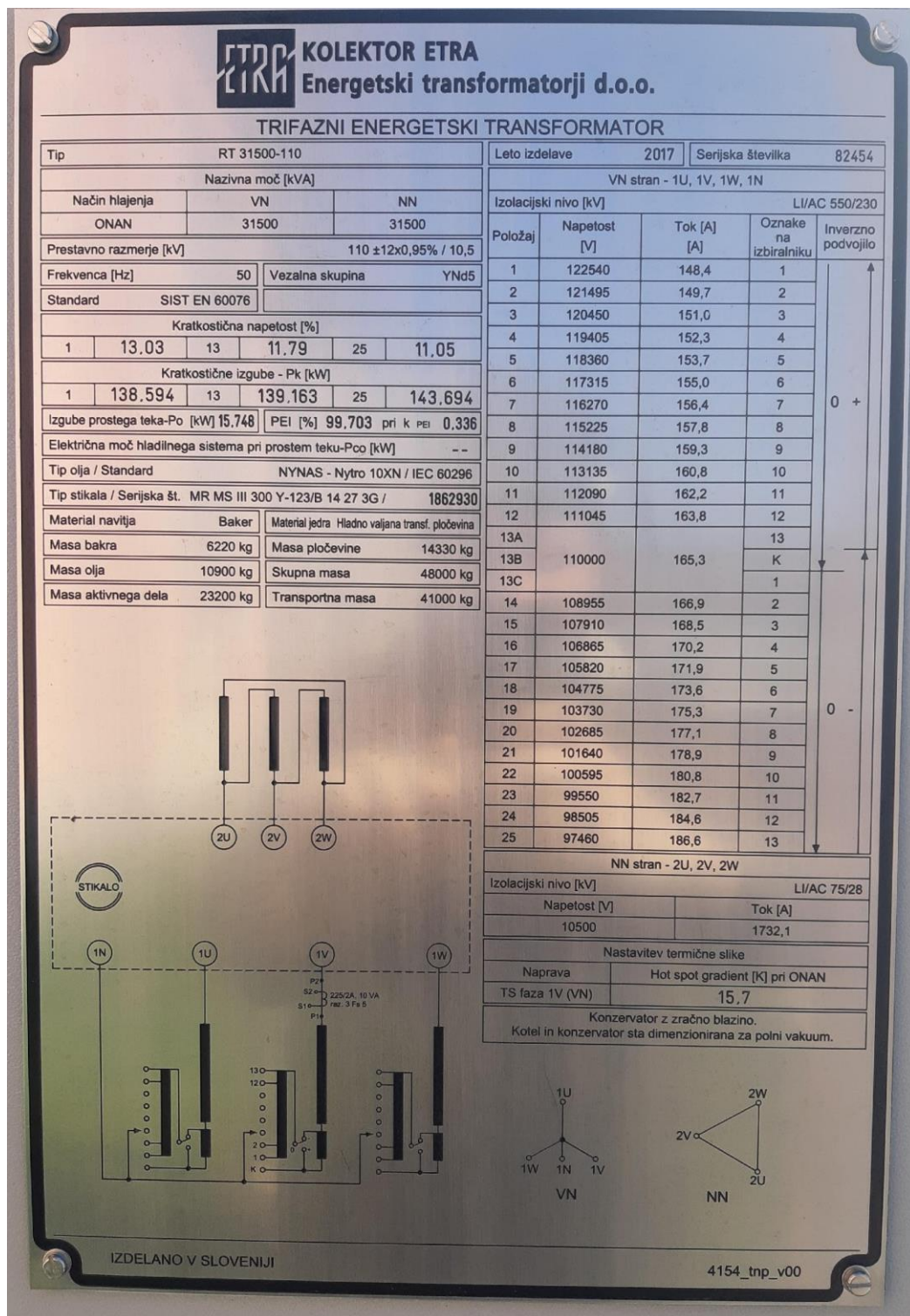
Transformatorje obvarujemo pred pregrevanjem oziroma preobremenitvami z naslednjimi zaščitami:

- pretokovna zaščita (ščiti pred kratkimi stiki in preobremenitvami),
- termična slika,
- kontaktni termometer,
- Buchholz rele,
- diferenčna zaščita,
- zemljostična zaščita transformatorja.

Za transformacijo iz 110 kV nivoja na 10 kV nivo so v RTP Kidričevo vgrajeni trije trifazni energetske transformatorji proizvajalca ETRA d.o.o. letnik 2000, 2007 in 2017 (slika 8) nazivne moči 31,5 MVA.



*Slika 8: Trifazni energetske transformator 110 kV/10 kV L.2017
(vir: lasten)*



Slika 9: Napisna plošča s tehničnimi podatki trifaznega energetskega transformatorja 110 kV/10 kV L.2017 (vir: lasten)

3. VZDRŽEVANJE VN NAPRAV

Vzdrževanje je kombinacija tehničnih, administrativnih in vodstvenih del v življenjski dobi VN naprav s ciljem obdržati jo v stanju ali jo vrniti v stanje v katerem lahko opravlja svojo funkcijo. Za ohranjanje življenjske dobe VN naprav so pregled, revizija in remont ključnega pomena. Sem sodijo tudi meritve, diagnostika in preizkusi naprav. **Pregled** je skupek opravil, ki se opravljajo pri vklopljeni napravi pred nastankom okvare z namenom ugotavljanja njenega stanja.

Revizija je skupek opravil, ki jih izvajamo pred nastankom okvare ter ob izklopljeni napravi in to pri celovitem pregledu z namenom ugotavljanja stanja naprave ter odprava ob tem ali kako drugače ugotovljenih pomanjkljivosti (prejšnji pregledi, meritve, preskusi, diagnostika).

Remont je skupek obsežnejših opravil na napravah in vodih, ki se izvajajo pred nastankom okvare z namenom ohranjanja njihovega brezhibnega stanja in ohranjanja njihove življenjske dobe. Izvaja se v skladu z navodili proizvajalca v predpisanih časovnih intervalih ali glede na tehnično stanje naprave ali voda. Pri opravljanju remonta so vzdrževane naprave oz. vodi v brez napetostnem stanju.

3.1 Navodila o vzdrževanju VN naprav

V slovenski elektroenergetiki se na splošno uveljavlja koncept v zanesljivost usmerjenega vzdrževanja (RCM – Reliability Centered Maintenance). Zato je treba vzpostaviti mehanizme spremljanja naprav, stroškov izvajanja vzdrževalnih del, statistiko dogodkov, vlogo posameznih naprav v sistemu in ustrezne metode vzdrževanja naprav. Vzdrževanje delimo v skladu s prikazom na sliki 10, kjer je upoštevana delitev vzdrževanja po standardu SIST EN 13306: 2010: Vzdrževanje – Terminologija s področja vzdrževanja.

Navodilo o vzdrževanju VN naprav je notranji dokument družbe ELES o vzdrževanju elektroenergetskega prenosnega sistema. Navodilo je usklajeno z veljavno zakonodajo, ki ureja področje vzdrževanja prenosnega sistema. Namen navodila je zagotoviti vzdrževanje prenosnega sistema tako, da je ves čas ohranjena njegova funkcionalnost, obratovalna usposobljenost in varnost delovanja. Elektroenergetske naprave se izklapljuje skladno z elektroenergetsko bilanco z namenom odprave pomanjkljivosti. Navodilo vsebuje opravila in roke opravljanja vzdrževalnih del na stikališčih. Opravila in roki za posamezne VN naprave so opredeljeni v naslednjih skupinah:

- pregled brez izklopa
- pregled z izklopom
- preizkusi-meritve

- odprava pomanjkljivosti



Slika 10: Delitev vzdrževanja in vzdrževalnih del
(vir: Navodila za vzdrževanje distribucijskega EEN omrežja, verzija: 1.2, 4.10.2016)

3.2 Dokumentacija o vzdrževanju

Opravljanje vzdrževalnih del temelji na ustrezni dokumentaciji (in informacijskem sistemu), ki omogoča sprotno vnašanje parametrov, pomembnih za vzdrževanje posameznih naprav in vodov. V dokumentacijo sodijo:

- projekti izvedenih del,
- navodila proizvajalcev opreme za delo in vzdrževanje,
- enopolne sheme objektov in naprav,
- baza tehničnih podatkov opreme in naprav,
- dokumentacija razvidna iz vodilne mape »Dokazilo o zanesljivosti objekta«,
- obratovalna navodila.

4. MERITVE NA VN NAPRAVAH

4.1 Termografija

Termografija je brezkontaktna metoda merjenja temperature in njene razporeditve na površini telesa z IR kamero. Metoda temelji na merjenju jakosti infrardečega sevanja merjenega telesa. Rezultat Termografskega merjenja je infrardeča slika ali termogram. Neobičajno pregrevanje se lahko odkrije samo v primeru, da naprave obratujejo zato je zaželeno, da so naprave med pregledom vsaj 40 % obremenjene. Termografija v energetiki se uporablja za ugotavljanje pregrevanja inštalacij, pregrevanja elektromotorjev, pregrevanja ležajev in jermenskih pogonov ter neobičajne porazdelitve toplote.

Za določitev resnosti pregrevanja so pomembne tri temperaturne vrednosti:

Tobj: absolutna temperatura objekta (mesta pregrevanja), ki se greje bolj kot objekt z referenčno temperaturo.

Tref: referenčna temperatura, to je normalna temperatura objekta. Običajno je ta temperatura izmerjena na enakem ali podobnem mestu v isti, ali sosednji fazi, ki se ne pregreva. Pri tem predvidevamo, da ima to mesto enako emisivnost in vodi enak tok.

Tpre: temperatura pregrevanja, ki je razlika zgornjih vrednosti. Ta podatek pove za koliko se neko mesto greje bolj kot referenčno in je najbolj pomemben za oceno resnosti pregrevanja.

Za določitev prioritete popravila je navedena izračunana višina pregrevanja pri 50 % nazivni ali dopustni obremenitvi. Izračunana je po enačbi:

Tpre(50%) = $Tpre \times (0,5 \times \ln(I_t) / \exp(1,6))$ kjer je:

- Tpre(50 %): predvidena temperatura pregrevanja v °C pri 50% obremenitvi,
- Tpre: izmerjena temperatura pregrevanja v °C,
- In: nazivni ali maksimalni dopustni tok v A,
- It: trenutni tok v A.

Prioritete popravila so točkovana od 0–3:

0 spremljati stanje

1 popraviti ob rednem remontu

2 popraviti ob prvi priložnosti

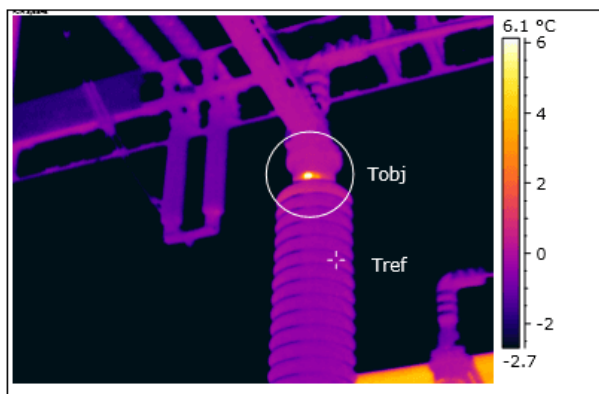
3 popraviti nemudoma

V začetku leta se v razdelilnih transformatorskih postajah opravijo termografske meritve na VN napravah, kjer se ugotovi trenutno stanje naprav ter tako zmanjša

verjetnost nepredvidenih okvar. Tako je bil dne 21.1.2019 opravljen termografski pregled VN naprav v RTP Kidričevo, kjer je bil ugotovljen vzrok za nastanek toplega mesta in sicer pojav korone na podpornem izolatorju ločilnika v polju TR 6 (slika 11). Priporočilo izvajalca meritve je bilo, da se spremlja stanje izolatorja, toda pri redni letni reviziji smo poškodovani izolator kljub temu preventivno zamenjali z novim.

RTP KIDRIČEVO

Datum: 21.1.2019



Lokacija: 110 kV stikališče
 Polje: TR 6

 It(A): 107

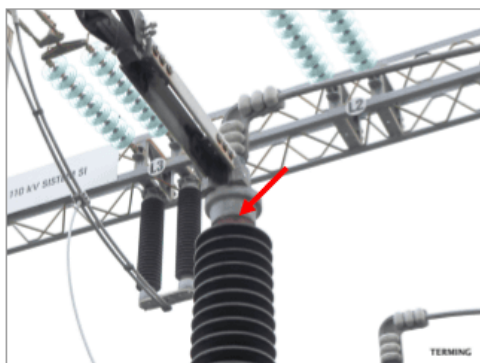
 Element: LOČILNIK Q1 (L2)
 Faza: L2
 Opis: korona na podpornem izolatorju (na strani proti ločilniku Q2)

 Tref: -0.3 °C
 Tobj: 15.9 °C
 Tpre: 16.2 °C

IR_2019-01-21_1322.JPG

ura: 12:42:37

PRIPOROČILO: 0 Spremljati stanje



Slika 11: Korona na podpornem izolatorju

(vir: : Poročilo o opravljenem pregledu VN naprav v RTP Kidričevo – 21.1.2019)

4.2 NIT in TIT

Namen meritev na instrumentnih transformatorjih je ugotavljanje kvalitete izolacije, hitrosti staranja in nenadnih poškodb, ki lahko nastanejo med obratovanjem. Instrumentni transformatorji morajo biti pred pričetkom kontrolni meritev, galvansko ločeni od visokonapetostnih priključkov.

Po odklopu instrumentnega transformatorja iz omrežja je potrebno odklopiti v priključni omarici transformatorja priključek označen z N od priključka za meritev $\text{tg } \delta$ in priključka za ozemljitev, kot je prikazano na sliki 12.

4.2.1 Meritev izolacijske upornosti in indeksa polarizacije

Metoda merjenja izolacijske upornosti temelji na meritvi toka polarizacije I_p , ki teče skozi izolacijo pod vplivom enosmerne napetosti.

Poznamo več vrst polarizacije:

- dipolska polarizacija (vrtenje dipolov v smeri električnega polja),
- elektronska polarizacija,
- atomska polarizacija.

Temperaturno odvisna je le dipolska polarizacija. Odvisnost je obratno sorazmerna. Tok polarizacije zaradi procesa polarizacije (vrtenje dipolov, premiki prostih elektronov in atomov) v odvisnosti od časa ni konstanten in eksponentno pada do neke praktično konstantne vrednosti I_0 , za katero smatramo, da je dosežena po desetminutnem merjenju.

$$I_p = I_0 + \sum I_i \cdot e^{(-t / \tau_i)}$$

Izolacijska upornost, ki služi kot glavno merilo za kvaliteto izolacije je izračunana iz vrednosti toka po desetih minutah in pritisnjene enosmerne napetosti.

Poleg desetminutne izolacijske upornosti je bistvenega pomena še faktor polarizacije, ki je podan z razmerjem enominutne in desetminutne vrednosti izolacijskega toka in služi kot merilo stopnje vlažnosti izolacije.

4.2.2 Meritev faktorja dielektričnih izgub

Faktor dielektričnih izgub običajno merimo pri izmenični napetosti 50 Hz. Podaja razmerje med izgubami v izolaciji in polarizacijsko energijo.

Dielektrik se pod vplivom zunanega izmeničnega električnega polja polarizira. Del dielektrika ϵ_2 sledi zunanemu električnemu polju, medtem, ko del dielektrika ne sledi zunanemu električnemu polju.

Izgube delimo na izgube, ki so posledica prostih nosilcev elektrine, ki tečejo skozi izolacijo in dela dielektrika, ki sledi električnemu polju.

$$\text{tg } \delta = (\epsilon_2 + \sigma \cdot \epsilon_0 / \omega) / \epsilon_1$$

$$\epsilon = \epsilon_2 + j \cdot \epsilon_1$$

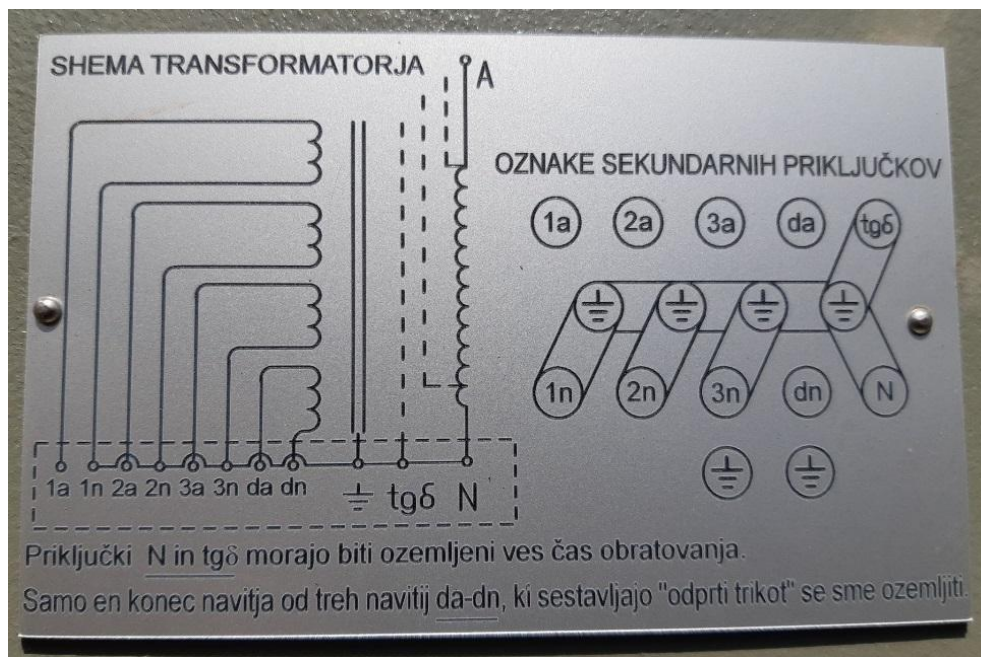
ϵ_0 - dielektrična konstanta
 σ - specifična prevodnost
 ω - krožna frekvenca ($2\pi \cdot 50$ Hz)

Merilo dielektričnih izgub je faktor $\tan \delta$ podan z razmerjem med ohmsko in kapacitivno komponento toka.

Meritve so opravljene z mostiščno metodo (Scheringov most) pri visoki napetosti. Poleg meritve izgubnega kota se z isto opremo istočasno opravi še meritev kapacitivnosti izolacije.



Slika 12: Priključna omarica instrumentnega transformatorja
(vir: lasten)



Slika 13: Shema instrumentnega transformatorja
(vir: lasten)

4.2.3 Eksplozija instrumentnega transformatorja

Dne 28.4.2014 je v RTP Kidričevo prišlo do požara na sliki 14 zaradi eksplozije NIT v 110 kV TR polju TR6, ki je bila posledica notranje okvare v navitju. Zaradi dogodka je bilo 110 kV TR polje TR 6 nesposobno za obratovanje, posledično temu tudi TR 6 v TALUM-u. Proizvodnja TALUM-a zaradi dogodka ni bila motena. Potrebna je bila zamenjava uničenih naprav in kablskih povezav. Poškodovan NIT je bil poslan proizvajalcu na analizo iz katere je bilo ugotovljeno, da se je zaradi visoke temperature izolacijsko olje pregrelo in so se posledično zaradi tega sprostili produkti plinov, ki so oslabil VN izolacijo in je zaradi tega prišlo do kratkega stika med VN elektrodo in ozemljitvijo ohišja naprave ter posledično do eksplozije.



*Slika 14: Požar na NIT v RTP Kidričevo
(vir: Poročilo o eksploziji NIT v 110 kV TR polju v RTP 110/10 kV Kidričevo z dne,
28.4.2014)*



*Slika 15: Stanje NIT po eksploziji
(vir : Poročilo o eksploziji NIT v 110 kV TR polju v RTP 110/10 kV Kidričevo z dne,
28.4.2014)*

4.3 SF6 odklopnik ALSTOM

V stikališču je odklopnik zelo pomemben element kajti njegova naloga je da zazna kratek stik v električnem tokokrogu in prekine tokokrog, ter tako prepreči poškodbe na ostalih energetske naprave. Zaradi tega je zelo pomembna istočasnost vklopa-izklopa ob kratkem stiku v tokokrogu.

4.3.1 Istočasnost vklopa-izklopa

Pri meritvi izmerimo razliko med najhitrejšim dotikom kontaktov in ostalima dvema, ki lahko zakasnita ali pa sta enaka. Dovoljena razlika med posameznimi časi je 3ms za vklop in 2,5ms za izklop.

Meritev izvajamo tako, da merilni inštrument TM1600 slika 16. povežemo z omarico pogonskega sistema odklopnika, ki smo ga predhodno ozemljili iz obeh strani in simuliramo vklop in izklop. Na sliki 17 so prikazani rezultati meritev časov, ki so bili opravljeni na odklopniku in iz katerih je razvidno da sta čas vklopa in čas izklopa v mejah dovoljenega.



Slika 16: Merilni instrument TM1600
(vir: lasten)

RTP REPORT FORMAT 1 Session: REPORT FORMAT 1 Page: 1 ()
 KIDRIČEVO Date: 23.11.2017 Reference: Date: Reference:
 Test object: ODKLOPNIK MOKV Test object: DV polje CIRKOVCE 1
 Instrument: TM1600 SA-00020 R050 V000 Instrument: TM1600 SA-00020 R050 V000

1 COMMENTS RAZLIKA PRI VKLOPU:
 L1-L3=2,3ms

1 COMMENTS RAZLIKA PRI IZKLOPU:
 L2-L3=1,3ms

REZULTAT MERITVE JE V MEJAH DOVOLJENEGA.

2 TIMING RESULTS IN CHANNEL ORDER

2 TIMING RESULTS IN CHANNEL ORDER

Presented events:
 Initial contact touch at closure and final contact separation at opening.
 Opening bounces < 10 ns are suppressed.

Presented events:
 Initial contact touch at closure and final contact separation at opening.
 Opening bounces < 10 ns are suppressed.

CHANNEL 1	CHANNEL 2	CHANNEL 3
L1	106.0 ns Close	

CHANNEL 1	CHANNEL 2	CHANNEL 3	CHANNEL 4
L1	39.8 ns Open		

CHANNEL 5	CHANNEL 6	CHANNEL 7
L2	106.3 ns Close	

CHANNEL 5	CHANNEL 6	CHANNEL 7	CHANNEL 8
L2	38.6 ns Open		

CHANNEL 9	CHANNEL 10	CHANNEL 11
L3	106.3 ns Close	

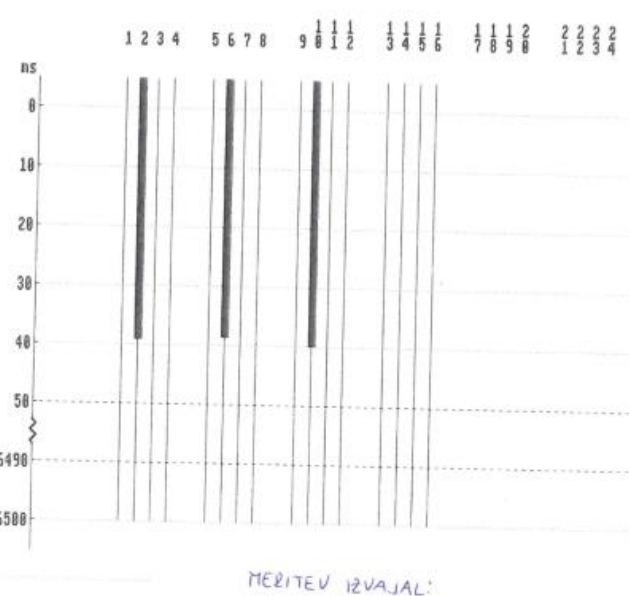
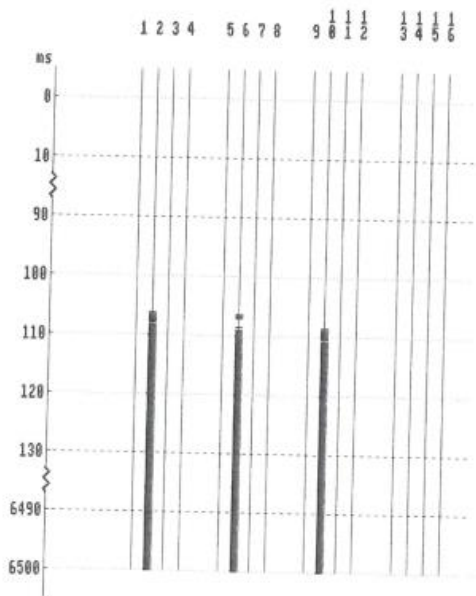
CHANNEL 9	CHANNEL 10	CHANNEL 11	CHANNEL 12
L3	39.9 ns Open		

3 GRAPH OF EVENTS - COMPRESSED TIMESCALE

3 GRAPH OF EVENTS - COMPRESSED TIMESCALE

Presented events: All

Presented events: All



MERITEV IZVAJAL:

Slika 17: Rezultati meritev vklopnega in izklopnega časa odklopnika (vir: Poročilo revizije daljnovidnega polja Cirkovce 1 - 23.11.2017)

4.3.2 Plin SF6

V odklopniku se kot medij za prekinjanje električnega obloka uporablja žveplov heksafluorid (SF6), ki je brezbarven plin brez vonja. Zaradi teh lastnosti plin ne spada me nevarne snovi in ni predmet navodil o ravnanju z nevarnimi snovmi. Toda pri uporabi SF6 v visokonapetostnih napravah se kot rezultat električnega obloka tvorijo razpadli produkti različne strupenosti, ki lahko izzovejo draženje sluznice, dihalnih poti ter nezaščitenih delov kože.

Električne lastnosti odklopnika so odvisne od gostote plina SF6, kar pomeni od mase plina, ki je načrpan v dano prostornino. Ker je zelo težko neposredno meriti gostoto plina uporabljamo industrijske merilce tlaka, ki delujejo na osnovi deformacije opne in na to povezanega kazalca. Ena površina opne je v stiku s SF6, druga pa z atmosferskim zrakom. Meritev tlaka predstavlja na ta način razliko med tlakom SF6 in atmosferskim tlakom. Ker je pri tem upoštevan atmosferski tlak je to relativna vrednost tlaka. Vrednost relativnega tlaka predstavlja gostoto definirano pri atmosferskem tlaku (101,3 kPa) in pri temperaturi 20°C. Pri preverjanju pragov delovanja moramo korigirati odčitek tlaka na temperaturo okolice in relativni tlak v času merjenja.

Dejanska vrednost tlaka je:

P_{dej} = **P_{izmerjena}** relativna vrednost + **P_p**

P_p: korekcija tlaka glede na atmosferski tlak

4.4 Diagnostika energetskega transformatorja

Energetski transformator je najpomembnejši element pri prenosu električne energije. V svoji življenjski dobi mora biti sposoben 40 let trajno obratovati z nazivno močjo (Sn), če je srednja letna temperatura okolice zraka + 20°C. V tem času je izpostavljen različnim obremenitvam, kot so mehanske obremenitve zaradi vibracij pri samemu delovanju, dinamične obremenitve zaradi posledice kratkega stika v omrežju, ter kemične in termične obremenitve. Če pride do okvare energetskega transformatorja in posledično do izpada dobave električne energije lahko pride do velikih materialnih stroškov. Zato se diagnostika energetskih transformatorjev z različnimi električnimi in kemijskimi metodami uporablja redno v sklopu vzdrževalnih delih na energetske transformatorju.

4.4.1 Fizikalno-kemijske diagnostične meritve

Fizikalno-kemijska diagnostika poda poglobljeno oceno stanja transformatorja v smislu ostarelosti in kot možnih notranjih električnih in toplotnih okvar. Diagnostika se izvaja na analizi transformatorskega olja in v olju prisotnih plinastih, trdnih in tekočih razkrojnih produktov ter na analizi papirne izolacije. Izolacijski sistem v

transformatorju sestavljata olje in papir, ki sta kot organska materiala najbolj podvržena razkrojnim spremembam zaradi kemijskih reakcij in mehanskih poškodb, ki jih povzročajo toplota, vlaga, kisik, kontaminacija, električno polje in mehanske obremenitve. Preiskave se opravljajo v skladu z zahtevami standardov IEC, DIN, ASTM, ISO.

Glavne fizikalno-kemijske preiskave so:

- Plinska kromatografija transformatorja(PK),
- Tekočinska kromatografija transformatorja(TK),
- Stopnja polimerizacije izolacijskega papirja(DP),
- Infrardeča spektroskopija(IR).

4.4.2 Plinska kromatografija transformatorja (PK)

Plini se razvijajo z razkrojem olja kadar so podvrženi lokalnemu pregrevanju, električnem loku v transformatorju ali parcialnim razelektritvam. Plini ki nastajajo ob okvarah(vodik, metan, etan, etilen, acetilen, propan, propilen) in se v olju topijo se pri hitro razvijajočih okvarah izločijo v Buchholz rele. Z redno kontrolo lahko ugotovimo na motnje v transformatorju še preden pride do resnejših okvar in sicer z PK diagnostiko, ki se uporablja za nadzor in diagnosticiranje motenj v energetskih transformatorjih.

4.4.3 Tekočinska kromatografija transformatorja (TK)

Izolacijski papir pri svojem razkroju oddaja razkrojne produkte v olje in višja kot je koncentracija teh razkrojnih produktov katere imenujemo furani pomeni tudi večjo razkrojnost izolacijskega papirja. TK analiza nam poda podatek o trenutnem povprečnem stanju izolacije in prednost te metode je v ne motenosti obratovanja transformatorja med samo analizo zato jo je mogoče uporabiti, kot preventivno diagnostično metodo, ki omogoča boljši nadzor papirne izolacije med tem ko je transformator v obratovanju.

4.4.4 Stopnja polimerizacije izolacijskega papirja (DP)

Ko se opravlja diagnoza preostale življenjske dobe transformatorja je podatek o stopnji polimerizacije nujno potreben. Pri staranju papirne izolacije se spreminja trdnost vezi med vlakni celuloze in njihova dolžina. Bolj kot je papir ostarel nižja je stopnja polimerizacije in s tem natezna trdnost papirja. DP analiza ni mogoča v času obratovanja transformatorja, ker je za njo potrebno odvzeti vzorec papirne izolacije tako da je potrebno vsaj delno odpreti transformator, kar pa lahko storimo samo v času mirovanja le tega. Za odvzem vzorca izberemo mesto kjer se pričakuje nižja stopnja polimerizacije in s tem posledično tudi slabši papir.

4.4.5 Infrardeča spektroskopija (IR)

Med obratovanjem transformatorja se z leti v transformatorskem olju razkrajajo in nastajajo različne sestavine katere ugotovimo z infrardečo spektroskopijo. S to metodo lahko odkrijemo razkrojne produkte, ko so le ti prisotni še v majhnih količinah. Izolacijska olja proizvedena iz različnih surovin ali iz surovine z različnim tehnološkim postopkom imajo svoje značilne IR spektre zato je IR spektroskopija pomembna pri identifikaciji olja.

4.4.6 Električne diagnostične meritve

Diagnostika temelji predvsem na električnih meritvah posameznih parametrov transformatorja s pomočjo katere se ugotovi trenutno stanje in delovanje le tega. Električne meritve na transformatorju so:

- Merjenje in analiza frekvenčnega odziva,
- Meritev kapacitivnosti,
- Meritev upornosti izolacije,
- Meritev kota dielektričnih izgub,
- Meritev stresanih induktivnosti transformatorja,
- Meritev kota dielektričnih izgub na skoznikih,
- Meritev tokov magnetiziranja,
- Meritev regulacijskega stikala.

4.4.7 Regulacijsko stikalo (RGS)

RGS je zelo pomemben del transformatorja saj omogoča preklapljanje regulacijskih odceпов oziroma spreminjanje prestavnega razmerja transformatorja med obratovanjem. Prevladujejo oljna RGS toda v novejšem času se pojavljajo tudi vakumska RGS. RGS za regulacijo napetosti na distribucijskih transformatorjih so zaradi delovanja pod polno obremenitvijo zelo izpostavljena. Ob nepravilnem vzdrževanju lahko pride do njihovih okvar in s tem do izpadov transformatorjev. Preventivno odkrivanje poškodb na regulacijskih stikalih je najboljši način za zanesljivo in pravočasno ukrepanje in je tudi najcenejše saj je možno odkrivanje slabljenja že v začetni fazi. Poslabšanje stanja kontaktov se praviloma zelo intenzivno stopnjuje. Zaradi iskrenja in lokalnega pregrevanja pride tudi do kontaminacije olja z ogljikovimi delci v težjih primerih pa tudi do razvoja eksplozivnih plinov, ki so lahko za transformator usodne. V vseh treh transformatorjih v RTP Kidričevo so vgrajena oljna RGS. Sestavljena so iz stikalnega in pogonskega stikalnega dela. Na sliki 18 je prikazana notranjost transformatorja in položaj RGS.



Slika 18: notranjost transformatorja in RGS

(vir: 2. Slovenska konferenca o vzdrževanju elektroenergetskih objektov - Nova Gorica 2014 SKLOP 1)

4.4.8 Navodila za vzdrževanje RGS

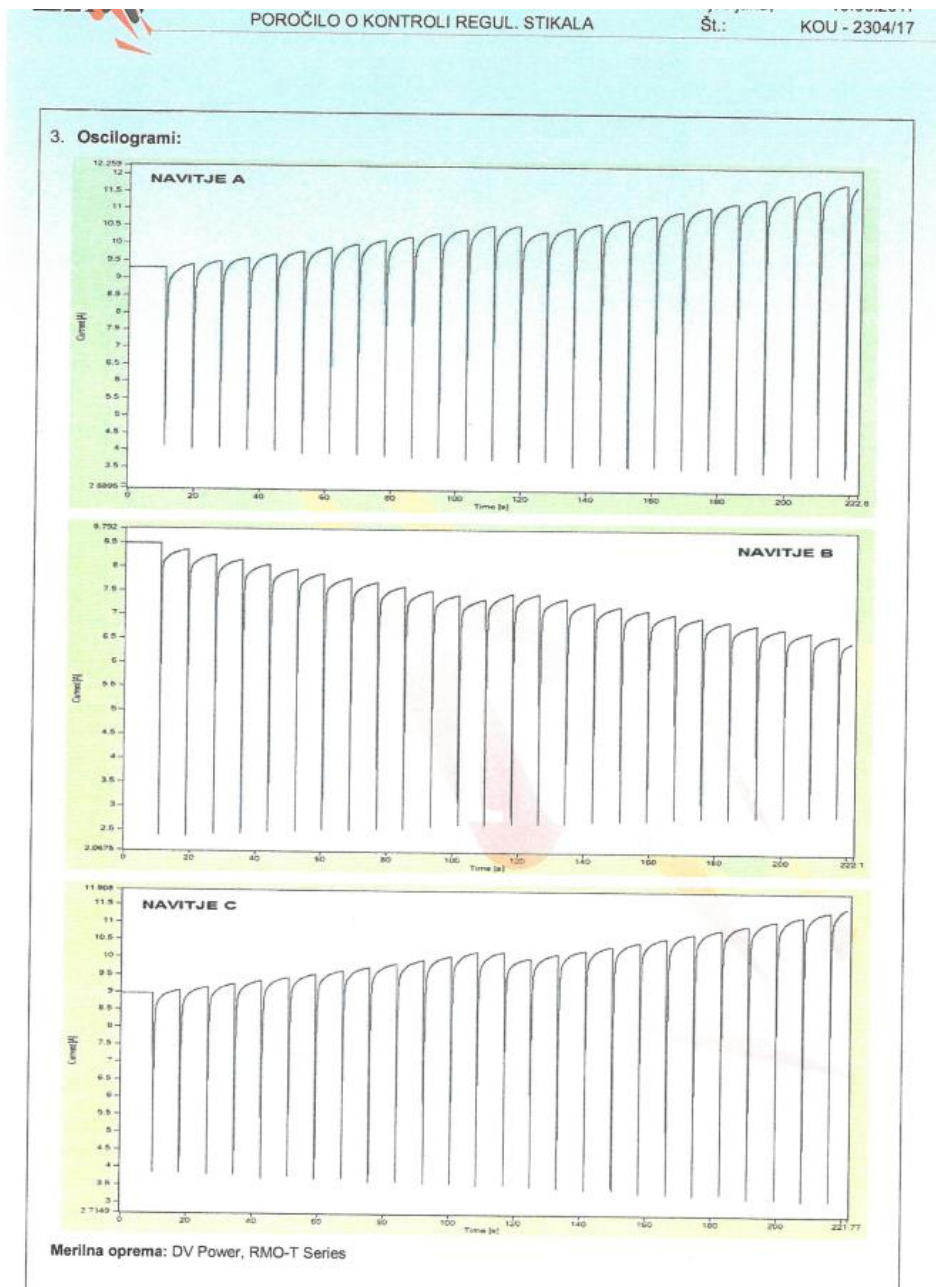
Vzdrževalna dela za RGS se izvajajo v določenih časovnih presledkih oziroma na osnovi števila preklopov RGS. V splošnem velja da je potrebno revizijo izvajati periodično vsakih 4-7 let oziroma po 20.000 do 100.000 preklopov. S preventivnim vzdrževanjem RGS preprečimo prehod le tega v stanje okvare. Zelo pomembno je da na podlagi pregledov, meritev in navodil proizvajalca ukrepamo predno pride do okvare.

Preventivno vzdrževanje RGS zajema naslednje aktivnosti:

- Pregled
- Meritve
- Revizija
- Remont
- Obnova

Preizkus RGS temelji na enkratni meritvi skupne ohmske upornosti navitja in upornosti kontaktov RGS. Meritev se izvaja z merilno napravo DV power katere prednost je da se lahko meritev izvaja v času gibanja kontaktov (preklapljanje pod obremenitvijo). Na podlagi analize posnetih oscilogramov ugotovimo, če so odstopanja kontaktnih upornosti v posameznih stopnjah RGS pod mejo dovoljenega

in če je normalno obnašanje stikala ob prehodih posameznih stopenj. Na sliki 19 je prikazano poročilo, kjer je razvidno da so odstopanja minimalna.



Slika 19: Poročilo o kontroli RGS

(vir: Poročilo o kontroli regulacijskega stikala – Ljubljana 19.06.2017)

5. VARNO DELO NA VN NAPRAVAH

V smislu splošne varnosti, varovanja zdravja in življenja zaposlenih in varovanja materialnih dobrin je potrebno upoštevati tehnične predpise in standarde pri vseh delih na VN napravah in postrojih, ne glede na napetostni nivo in lokacijo naprav. Da se zagotovi varen vstop v/na elektroenergetske objekte in postroje, v električna obratovališča, do električnih postrojov ter v bližino električnih naprav in opreme, se določijo glede na stopnjo nevarnosti električnega toka tri območja nevarnosti.

- I. **nevarnostno območje** je območje prostega gibanja, v katerem niso potrebna posebna opozorila delavcev in niso izvedeni posebni varnostni ukrepi. V I. nevarnostno območje spadajo prostori in kraji, v katerih oseba z ne ustreznim postopkom ne more povzročiti izpada ali izklopa postroja, niti če pride z orodjem ali dolgimi predmeti v bližino delov pod napetostjo.

- II. **nevarnostno območje** je območje posluževanja in kontrole. Za prostore in kraje v II. nevarnostnem območju je značilno, da je za zadrževanje in delo v tem območju nujna strokovna usposobljenost in poznavanje nevarnosti, da ne pride do ne zaželenih dogodkov kot so:
 - nehoten dotik delov postrojov pod nizko napetostjo,
 - nehoten izklop ali vklop delov postroja zaradi dotikanja elementov za proženje postroja,
 - nedopustno približevanje delom postroja pod napetostjo nad 1 kV z dolgimi predmeti in orodjem.

- III. **nevarnostno območje** je območje okoli delov pod napetostjo na razdalji, ki je manjša od varnostne razdalje. V tem območju je gibanje in delo posebej urejeno z dokumenti za varno delo. Vstop v III. nevarnostno območje je dovoljen v brez napetostnem stanju samo delavcem, ki:
 - opravljajo zavarovanje mesta dela,
 - izvajajo dela po zavarovanju mesta dela,
 - izvajajo notranji in zunanji nadzor.

5.1 Dokumenti za varno delo

Dela na elektroenergetskih objektih in elektroenergetskih postrojih ter električnih napravah in opremi, pri napajanju z napetostjo nad 1 kV, se izvajajo samo na osnovi predhodno izdanih dokumentov za varno delo. Dokumenti za varno delo so pisni akti, ki določajo pripravo ali izvedbo del. Vsak dokument za varno delo mora vsebovati vse zahtevane podatke. Izpolnjen mora biti tako, da je skupini in posamezniku, ki ga prejme, razumljiv. Prav tako morajo biti iz dokumentov razvidne odgovornosti v zvezi z delom.

Dokumenti za varno delo so:

- delovni program,
- delovni nalog,
- dovoljenje za delo,
- obvestilo o prenehanju dela,
- fonogram (depeša).

Delovni program

Delovni program je dokument, ki se izdaja za vsa dela na elektroenergetskih objektih pri katerih v istem času sodeluje več delovnih skupin. Ker delovni program ne predstavlja samostojnega dokumenta za varno organizacijo dela, zato mu mora obvezno slediti delovni nalog.

Delovni nalog

Delovni nalog je dokument, ki podrobno določa organizacijo varnega dela posamezne delovne skupine in se izda vodji delovne skupine. Delovni nalog se izdaja za vsa dela na elektroenergetskih objektih in električnih napravah. Podan mora biti tako, da je vodji delovne skupine razumljivo kje in kaj mora delovna skupina opraviti. Koordinator stikalnih manipulacij opravi vse zavarovalne ukrepe, ki so zahtevani po delovnem programu in izda vodji delovne skupine dovoljenje za delo.

Dovoljenje za delo

Dovoljenje za delo je dokument, ki se izda za delo v brez napetostnem stanju v tretjem nevarnostnem območju in za dela v bližini delov pod napetostjo, ko se uporablja katerakoli od petih varnostnih pravil. Dovoljenje za delo izda pooblaščen oseb vodji delovne skupine pred pričetkom dela potem, ko so izvedene stikalne manipulacije in vsi zavarovalni ukrepi.

Obvestilo o prenehanju

Obvestilo o prenehanju dela je dokument, ki ga izda vodja delovne skupine pooblaščenim osebam za izdajo dovoljenja za delo po vsaki prekinitvi dela ali končanem delu. Pred izdajo dokumenta morajo biti vsi delavci odstranjeni z delovišča. Prav tako morajo biti odstranjene vse delovne ozemljitve, naprave za kratkostičenje, orodje in material.

Fonogram(depeša)

Fonogram (depeša) je dokument, ki služi za dajanje pisnih zahtevkov, potrditev in sporočil v zvezi z organizacijo varnega dela med zato pooblaščenimi osebam preko govornih telekomunikacijskih zvez z obojestranskim preverjanjem teksta, vpisanega v fonogramski blok (depešno knjigo).

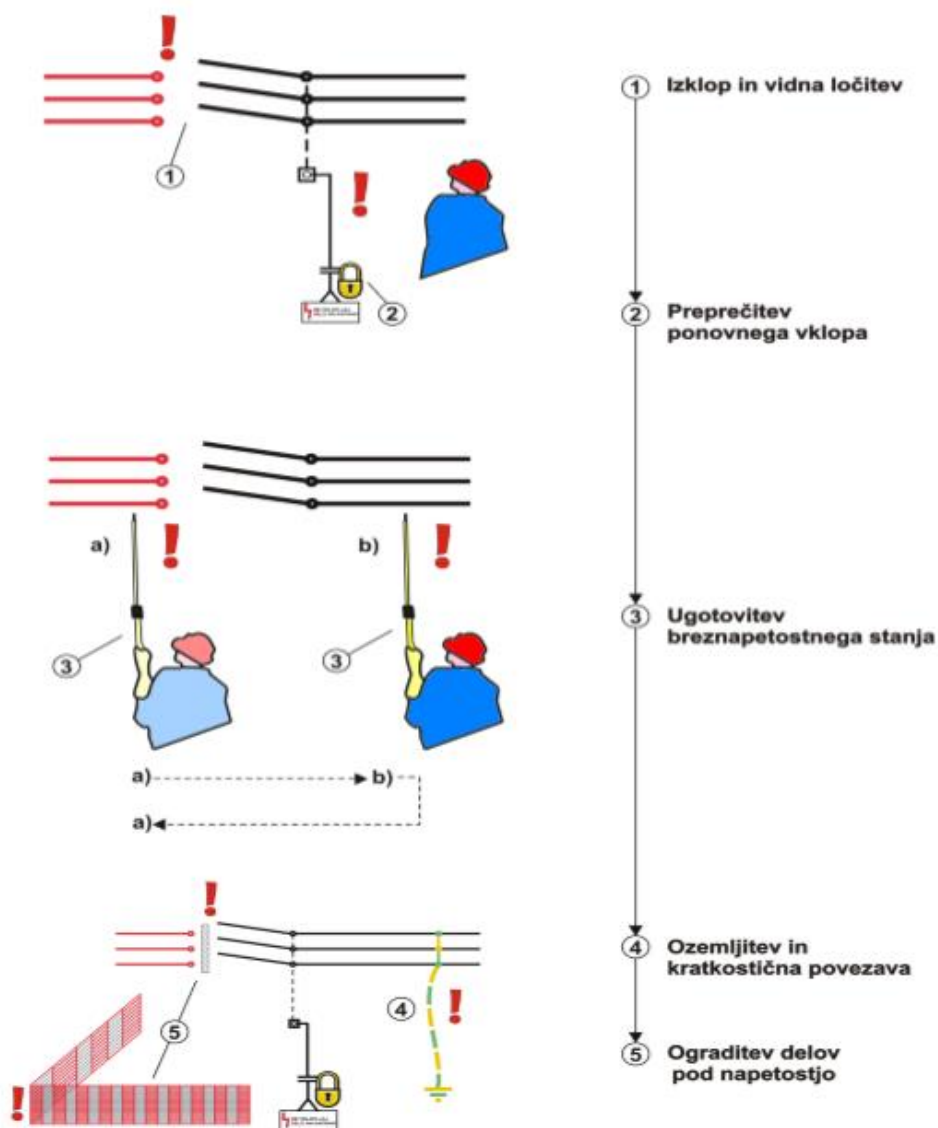
S fonogramom (depešo) pooblaščenec osebe zahtevajo ali potrdijo izvedbo stikalnih manipulacij in zavarovalnih ukrepov, predvidenih z dokumenti za varno delo, sporočijo konec z dokumenti za varno delo določenih del ter stanje postroja, naprave.

5.2 Pet varnostnih pravil

Da zagotovimo varno delo na VN napravah, morajo biti vsi izvajalci del strokovno usposobljeni, seznanjeni z nevarnostmi pri delu in tehničnimi predpisi.

Vsa dela na VN napravah se morajo izvajati v brez napetostnem stanju. Pred začetkom dela se mora mesto zavarovati z uporabo petih varnostnih pravil (slika 20) po naslednjem vrstnem redu:

1. izklop in vidna ločitev naprav od napetosti,
2. preprečitev ponovnega vklopa,
3. ugotovitev brez napetostnega stanja,
4. ozemljitev in kratkostična povezava,
5. ograditev mesta dela od delov pod napetostjo.



Slika 20: Pet varnostnih pravil

(vir: Varnostna pravila za delo na elektroenergetskih postrojih GIZ distribucije, 2008)

6. ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo se posvetili področju meritev na VN napravah ter pomenu meritev pri preprečevanju tveganja izpadov električne energije. Pri tem smo predstavili različne metode in inštrumente ter opisali postopke izvajanja meritev.

VN naprave, ki smo jih v nalogi obravnavali so odklopnik, ločilnik, odvodnik prenapetosti, NIT in TIT. Pogledali pa smo fizikalno-kemijske diagnostične in električne meritve ter s tem zaobjeli vse vrste VN naprav in meritev, ki se trenutno

izvajajo v družbi ELES d.o.o. Poleg tega smo v nalogi opisali še vzdrževanje in varno delo na VN napravah.

Pomen rednega in kakovostnega izvajanja meritev smo predstavili na primeru VN naprav v RTP Kidričevo, ki je namenjena oskrbi tovarne Talum z električno energijo. Narava proizvodnje tovarne Talum, ki brez stalnega dovajanja električne energije ne more obratovati ter kjer izpadi pomenijo škodo visokih razsežnosti, je odličen primer na katerem smo lahko prikazali pomen izvajanja meritev. Slednje namreč omogočajo pravočasno odkrivanje tveganj ter posledično vzpodbujajo k preventivnim vzdrževalnim ukrepom, ki so na dolgi rok cenejši ter smotrnejši.

Tekom naloge smo ugotovili, da so meritve v okviru vzdrževanja na VN napravah bistvenega pomena, saj preprečujejo izpade električne energije ter rezultirajo v stalnem delovanju VN naprav.

Glavni potencial meritev vidimo v fizikalno kemijskih meritvah oziroma raziskavah, saj slednje omogočajo boljši vpogled v stanje VN naprav ter omogočajo preventivno izvajanje vzdrževalnih del. Kot drugo lahko poudarimo potencial uporabe novejših naprav pri izvajanju meritev, ki ponujajo bolj kakovostne meritve ter poenostavljeno izvajanje. Prav tako bi lahko določene meritve izvajali pogosteje in s tem spremljali napredek vzdrževalnih del - tak primer so termografske meritve, ki omogočajo oceno izgub in optimizacijo delovanja VN naprav. Vse naštetu bi pomenilo moderniziranje načina izvajanja meritev kot dodatno izboljšalo njihovo izvajanje, posledično pa pripomoglo k neprekinjenemu dovajanju električne energije VN napravam od katerih so odvisni mnogi strateški odjemalci električne energije.

Ker smo se pri nalogi osredotočili na praktične primere izvajanja meritev VN naprav v družbi ELES d.o.o. ima naloga zanimiv potencial primerjave z drugimi primeri meritev s področja energetike.

7. LITERATURA IN VIRI

2. SLOVENSKA KONFERENCA O VZDRŽEVANJU ELEKTROENERGETSKIH OBJEKTOV - Nova Gorica 2014 SKLOP 1

ELES d.o.o. (2002) Interno gradivo: Obratovanje in vzdrževanje EEN v skladu z veljavnimi predpisi).

ELES d.o.o. (2011) Navodilo o vzdrževanju elektroenergetskih prenosnih naprav.

ELES d.o.o. (2012) Organizacijski predpis: Vzdrževanje v centrih vzdrževanja.

MULEJ Marja, Končan Gradnik Maja: *Fizikalno-kemijska diagnostika za zagotavljanje zanesljivosti obratovanja transformatorjev*. Zbornik 1. del, Ref. 15-5.: Sloko Cigre. 5. konferenca slovenskih elektroenergetikov, Bled, 28-30.maj 2001. Sloko Cigre, Ljubljana, 2001.- str. 15/39–15/46.

Pravilnik o vzdrževanju elektroenergetskih postrojev (Uradni list RS, št. 98/15).

Zbirka rezultatov periodičnih meritev na izolacijskih sistemih energetskih transformatorjev (11. Konferenca Slovenskih elektroenergetikov - Laško 2013).