



B&B  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija  
Program: Elektroenergetika  
Modul: Varovanje okolja in varstvo pri delu

## **ZAMENJAVA ODKLOPNIKOV V TREH 110 kV DV POLJIH**

Mentor: dr. Viktor Lovrenčič, univ. dipl. inž. el.

Kandidat: Jure Cigoj

Lektorica: Neža Tomažič uni. dipl. slov.

Divača, avgust 2024

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju dr. Viktorju Lovrenčiču za podporo in vse nasvete pri pisanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi skupini RTP in nadzorništvu CIPO Divača iz podjetja ELES za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici ge. Neži Tomažič, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

## **IZJAVA**

Študent Jure Cigoj izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal/a pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča.

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

Dne: \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

Pri vzdrževanju visokonapetostnega omrežja se soočamo s težavami poškodovane, okvarjene in dotrajane opreme. Za zagotovitev brezhibnosti naprav je potrebno veliko preventivnega vzdrževanja, ki pa ni vedno dovolj. Včasih je potrebno opremo zamenjati zaradi iztrošenosti komponent.

V diplomskem delu je predstavljena zamenjava treh 110 kV odklopnikov v razdelilni transformatorski postaji Idrija. Menjava je bila nujna, saj so bili odklopniki že dotrajani in je bila njihova zanesljivost posledično manjša. Zaradi dotrajanosti odklopnikov so se v okolje sproščale majhne količine žveplovega heksafluorida.

Poleg zamenjave odklopnikov je predstavljena tudi zamenjava tokovnih merilnih transformatorjev, ki so bili istočasno zamenjani. Pri menjavi je bilo potrebno upoštevati varnostne ukrepe pri delu in varnostne ukrepe za okolje.

## **KLJUČNE BESEDE**

- razdelilna transformatorska postaja;
- SF<sub>6</sub>;
- varno delo v stikališču.

## **ABSTRACT**

In the maintenance of the high-voltage network, we are faced with the problems of damaged, defective and worn-out equipment. A lot of preventive maintenance is needed to ensure the flawlessness of the devices, but it is not always enough. Sometimes equipment needs to be replaced due to wear and tear of components.

The thesis presents the replacement of three 110 kV circuit breakers in the distribution transformer station of Idrija. The replacement itself was necessary, as the circuit breakers were already worn out and their reliability was consequently lower. Due to the deterioration of the circuit breakers, small amounts of sulfur hexafluoride were released into the environment.

In addition to the replacement of circuit breakers, the replacement of current measuring transformers, which were replaced at the same time, is also presented. During the replacement, it was necessary to take into account safety measures both at work and for the environment.

## **KEYWORDS**

- substation;
- SF<sub>6</sub>;
- safe work in the switchyard.

## KAZALO

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predstavitev okolja .....	1
1.4	Predpostavke in omejitve.....	1
1.5	Metode dela.....	2
<b>2</b>	<b>RTP 110/20 kV IDRIJA</b> .....	<b>3</b>
2.1	Kaj je razdelilna transformatorska postaja? .....	3
2.2	Opis .....	3
2.3	Način gradnje .....	4
2.4	Opis in karakteristike primarne in sekundarne opreme .....	6
2.4.1	Odklopnik ali močnostno stikalo .....	6
2.4.2	Ločilnik.....	7
2.4.3	Tokovni merilni transformator .....	8
2.4.4	Napetostni merilni transformator .....	9
2.4.5	Odvodniki prenapetosti.....	10
2.4.6	Distančna zaščita in vodenje .....	10
2.4.7	Lastna raba .....	12
<b>3</b>	<b>ZAMENJAVA ODKLOPNIKOV V TREH 110 kV DV POLJIH</b> .....	<b>13</b>
3.1	Razlog za zamenjavo .....	13
3.2	Faze projekta.....	14
3.3	Potek del.....	15
3.3.1	Prvi dan.....	15
3.3.2	Drugi dan .....	16
3.3.3	Tretji dan .....	17
<b>4</b>	<b>SF<sub>6</sub></b> .....	<b>19</b>
4.1	Kaj je plin SF <sub>6</sub> ?.....	19
4.2	Uporaba .....	20
4.3	Vpliv na okolje.....	21
4.3.1	Kjotski protokol.....	21
4.4	Ravnanje s plinom SF <sub>6</sub> .....	22

<b>5</b>	<b>VARNO DELO V ELEKTROENERGETSKIH POSTROJIH.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Pooblastilo za delo .....</b>	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>Delitev nevarnostnih območij .....</b>	<b>25</b>
<b>5.3</b>	<b>Dokumenti za varno delo.....</b>	<b>26</b>
5.3.1	Delovni program.....	26
5.3.2	Delavni nalog .....	26
5.3.3	Dovoljenje za delo.....	27
5.3.4	Obvestilo o prenehanju dela.....	27
5.3.5	Depeša .....	27
<b>5.4</b>	<b>Delo v breznapetostnem stanju .....</b>	<b>28</b>
5.4.1	Izklop in vidna ločitev naprave z vseh strani.....	28
5.4.2	Preprečitev ponovnega vklopa .....	28
5.4.3	Ugotovitev breznapetostnega stanja .....	28
5.4.4	Ozemljitev in kratkostična povezava.....	28
5.4.5	Ograditev in označitev mesta dela od delov pod napetostjo .....	29
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURA IN VIRI.....</b>	<b>31</b>
	<b>PRILOGE .....</b>	<b>32</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Severnoprimsorska zanka .....	4
Slika 2: SCADA pregled 110 kV stikališča .....	5
Slika 3: Odklopnik ALSTOM .....	7
Slika 4: Tehnični podatki TIT tipa AGU-145.....	9
Slika 5: Tehnični podatki TIT tipa AGU-123.....	9
Slika 6: Napetostni merilni transformator .....	10
Slika 7: Distančna zaščita in računalnik polja .....	12
Slika 8: Nizek tlak .....	13
Slika 9: Normalen tlak .....	14
Slika 10: Gantogram projekta .....	15
Slika 11: Odklopnik Končar tip K3AR1 .....	16
Slika 12: Molekulska zgradba SF <sub>6</sub> .....	20
Slika 13: RTP Plave GIS izvedba .....	21
Slika 14: Naprava za merjenje kvalitete plina .....	23
Slika 15: Primer oznake 3308.....	24
Slika 16: Depeša .....	27



## KRATICE IN AKRONIMI

RTP: razdelila transformatorska postaja

VN: visoka napetost

DV: daljnovod

ELES: Elektro Slovenija

DC: enosmerna napetost

A: amper

kA: kiloamper

kV: kilovolt

NIT: napetostni merilni transformator

TIT: tokovni merilni transformator

SF<sub>6</sub>: žveplov heksafluorid

GIS: angl. *gas insulated switchgear* oz. s plinom izolirano stikališče

SCADA: ang. *Supervisory Control And Data Acquisition* oz. program za vodenje sistemov

# 1 UVOD

## 1.1 Predstavitev problema

Visokonapetostni odklopnik je ena izmed najpomembnejših naprav, ki se jih uporablja v elektroenergetiki, saj služi za vklapljanje in izklapljanje velikih električnih moči. Ravno zato je njegovo pravilno delovanje ključnega pomena. V razdelilni transformatorski postaji Idrija se je do nedavnega uporabljalo precej dotrajane odklopnike, ki so imeli zmanjšano zanesljivost obratovanja. Zato je bila potrebna njihova menjava. Ker je v prihodnje načrtovana rekonstrukcija celotne RTP Idrija, se je težavo začasno rešilo z zamenjavo z odklopniki iz RTP Cirkovce, ki so že bili v uporabi, vendar so novejši. Opis poteka menjave je predstavljen v nadaljevanju diplomskega dela.

## 1.2 Cilji naloge

Cilji naloge so sledeči:

- Predstavitev rekonstrukcije treh 110 kV daljnovodnih polj.
- Predstavitev varnostnih ukrepov, ki jih je bilo potrebno upoštevati med menjavo odklopnikov.
- Predstavitev plina SF<sub>6</sub> in njegovega škodljivega vpliva na okolje.

## 1.3 Predstavitev okolja

Rekonstrukcija je potekala v okviru državnega podjetja ELES d.o.o. Gre za podjetje, ki je operater prenosnega in distribucijskega omrežja v Sloveniji. Njegova naloga je vzdrževanje in upravljanje prenosnega omrežja Slovenije.

Dela so se izvajala v RTP Idrija, katere naloga je oskrbovanje območja Idrije z električno energijo. Zgrajena je v napetostnem nivoju 110 kV s transformacijo na 20 kV za potrebe distribucije energije.

## 1.4 Predpostavke in omejitve

Omejitve, na katere lahko naletim, so vezane na pridobivanje informacij in pooblastila, ki je nujno potrebno za samostojni vstop v RTP. Ker pooblastila nisem še pridobil, mi je težavo predstavljalo koordiniranje z nadrejenim vodjo, ki mi je moral dodeliti pooblaščen osebo, s katero sem vstopal v postajo. Omejitev pri dokumentaciji mi je predstavljala pomanjkljivost in zastarelost dostopne dokumentacije.

## 1.5 Metode dela

V glavnem delu diplomskega dela sem uporabljal opisno metodo, s katero sem opisoval potek projekta, pri kateremu sem sodeloval. V odseku o plinu SF<sub>6</sub>, sem uporabljal kombinirano metodo, kjer sem združil znanje pridobljeno na izobraževanju, ki sem se ga udeležil v podjetju Hitachi Energy, in zapisano v literaturi usposabljanja – »Usposabljanje serviserjev opreme, ki vsebuje ozonu škodljive snovi ali fluorirane toplogredne pline za električne stikalne mehanizme«.

## **2 RTP 110/20 kV IDRİJA**

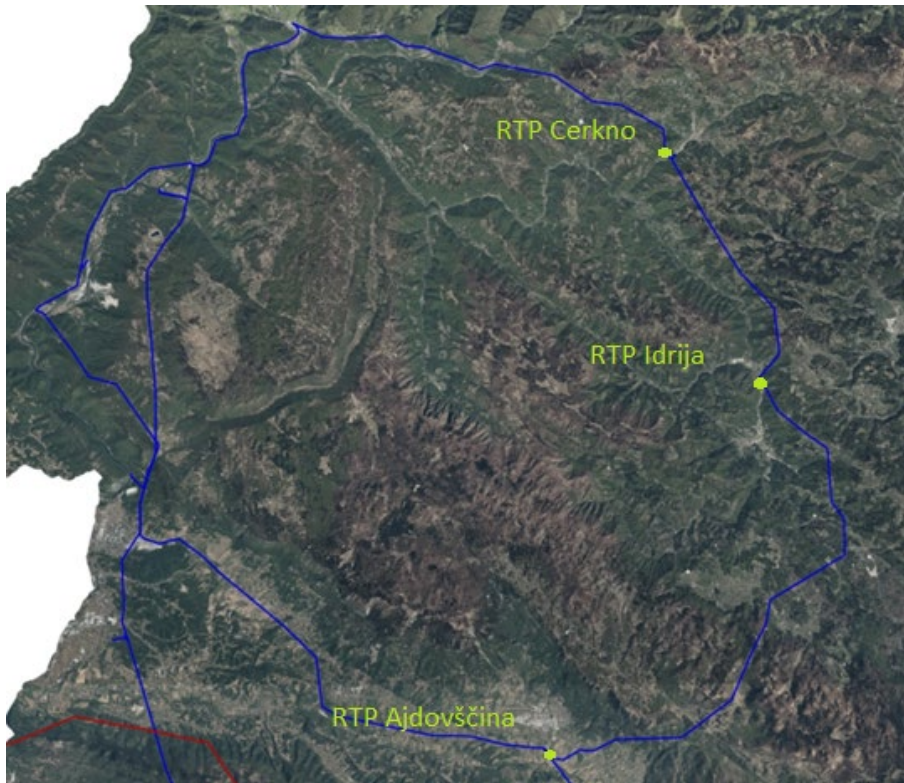
### **2.1 Kaj je razdelilna transformatorska postaja?**

V uvodu želimo predstaviti, kaj je razdelilna transformatorska postaja oz. RTP. RTP je stikalna postaja, ki je pomembnejši del prenosnega in distribucijskega omrežja. Njena naloga je zbiranje in razdeljevanje električne energije, ki jo dobimo iz različnih napajalnih virov preko daljnovodnega omrežja. Poleg zbiranja in razdeljevanja energije je del njene primarne naloge tudi prilagajanje napetostnega nivoja. Ko govorimo o visokonapetostnem prenosnem omrežju električne energije, se poslužujemo treh napetostnih nivojev (110 kV, 220 kV in 400 kV), medtem ko se v distribucijskem omrežju uporablja napetostne nivoje srednjega razreda (35 kV, 20 kV in 10 kV).

### **2.2 Opis**

Razdelilna transformatorska postaja Idrija se nahaja med mestom Idrija in naseljem Spodnja Idrija ter služi kot glavna napajalna točka za celotno okolico Idrije. Za potrebe distribucije je poleg napajanja njena naloga tudi prilagajanje napetostnega nivoja iz 110 kV na 20 kV. Sama postaja se napaja preko dveh daljnovodov, in sicer daljnovoda Ajdovščina in Cerčno. Postaja je v lasti distribucijskega podjetja Elektro Primorska, 110 kV stikališče pa je v lasti podjetja ELES, vendar brez transformacijskih polj.

RTP Idrija je vključena v severnoprimorsko zanko, ki napaja severni del Primorske in Žiri (slika 1). Zanko poleg RTP Idrija sestavljajo še RTP postaje Ajdovščina, Gorica, Plave, Avče, Doblar, Tolmin in Cerčno. Severnoprimorska zanka se trenutno napaja iz RTP Divača, ki je tudi glavna napajalna točka za celotno primorsko regijo. Trenutno na daljnovodu Divača–Gorica potekajo dela, katerih cilj je razbremenitev trenutnega dvosistemskega daljnovoda Divača–Ajdovščina, s čimer se bo povečala zanesljivost električnih prenosnih kapacitet za severnoprimorsko regijo.



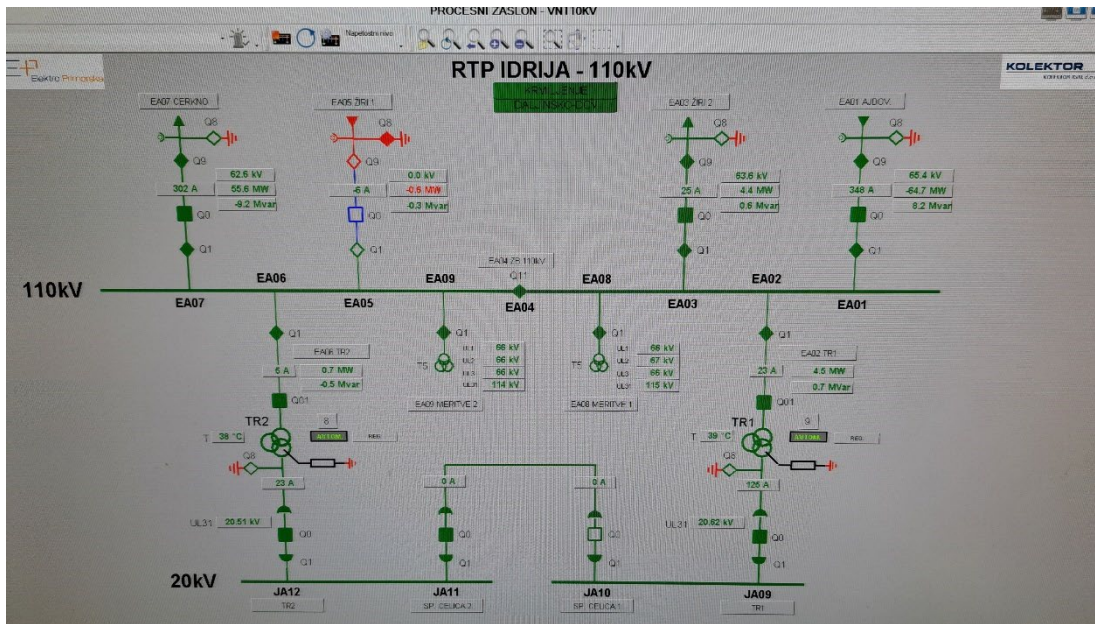
*Slika 1: Severnoprimska zanka  
(Lastni vir)*

### **2.3 Način gradnje**

RTP Idrija je grajena v sistemu enojnih zbiralk z vzdolžno ločitvijo. To pomeni, da ima dva ločena sektorja, sektor G1A in sektor G1B. Oba sektorja sta med seboj povezana z ločilnikom Q11. Ta sistem je pogostokrat uporabljen pri manjših RTP postajah, saj je cenovno zelo ugoden in enostaven. Njegova velika pomanjkljivosti pa je, da so v primeru okvare dela zbiralk posameznega sektorja odводи na tem dotičnem sektorju ohromljeni. Polje se smatra kot sklop naprav, ki deluje kot celota. Običajno je sestavljeno iz zbiralničnih ločilnik (število ločilnik je pogojeno s številom zbiralnic), odklopnika, tokovnih merilnih transformatorjev in naprave ali daljnovoda, ki jo upravlja (Leban, 2024).

Sestavljena je iz devetih 110 kV polj (slika 2):

- 4 daljnovodna polja;
- 2 transformatorski polji;
- 2 merilni polji;
- spojno polje.



Slika 2: SCADA pregled 110 kV stikališča  
(Lastni vir)

### AE01, AE03, AE05 in AE07

So klasična daljnovodna polja, ki služijo za manipuliranje in nadziranje daljnovodov. Sestavljajo jih naslednji elementi (iz zbiralk proti daljnovodu):

- Ločilnik Q1 – služi za vidno ločitev polja od vira napetosti (zbiralka). Grajen mora biti za nazivne in kratkostične tokove.
- Odklopnik Q0 – služi za izklope ob normalnih obratovalnih stanjih ali v primeru okvar. Grajen mora biti za izklope in vklope v normalnih in kratkostičnih pogojih.
- Tokovni merilni transformator ali TIT – merilni inštrument. Služi za zajemanje tokovnih vrednosti, ki jih potrebujemo za zaščitne releje in obračunske meritve.
- Ločilnik Q9 – služi za vidno ločitev daljnovoda od vira napetosti.
- Ločilnik Q8 – služi za ozemljitev daljnovoda.
- Napetostni merilni transformator ali NIT – merilni inštrument. Služi za zajemaje napetostnih vrednosti, ki jih potrebujemo za zaščitne releje. V našem primeru imamo samo enojen NIT na fazi L2.
- Odvodnik prenapetosti – služi za odvajanje prenapetosti ob atmosferskih spraznitvah.

### AE02 in AE06

To sta klasični transformatorski polji, katerih naloga je transformiranje iz višjega napetostnega nivoja na nižji, v tem primeru iz 110 kV na 20 kV, za potrebe distribucije

električne energije po srednjem napetostnem nivoju. Sestavljajo ju ločilnik Q1, odklopnik Q0, tokovni merilni transformator in energetska transformator.

### **AE08 in AE09**

Merilni polji, ki služita za zajemanje meritev zbiralk preko ločilnika Q1 za potrebe zaščitnega releja zbiralk in števnih meritev.

### **AE04**

Spojno polje, ki služi za spajanje ali ločevanje sektorja G1A in G1B s pomočjo ločilnika Q11.

## **2.4 Opis in karakteristike primarne in sekundarne opreme**

Opisal bom karakteristike primarne in sekundarne opreme, ki se je poslužuje ELES v RTP Idrija.

### **2.4.1 Odklopnik ali močnostno stikalo**

Odklopnik ima v visokonapetostnih postajah zelo pomembno in zahtevno nalogo. Odklopnik mora biti sposoben vklapljati in izklapljati moči in tokove v normalnih obratovanjih pogojih ter izklapljati vklop ob nastanku kratkega stika. Pri vklopih in izklopih tokov nastane v komori odklopnika oblok. Za gašenje obloka uporabljamo plin SF<sub>6</sub> (Zlatarev, 2023).

Za mehansko delo vklopa in izklopa poskrbi močna vzmet, ki jo v našem primeru navije enosmeren motor nazivne enosmerne napetosti 110 V DC. V vzmeti mora biti shranjene dovolj energije za vsaj tri manipulacije odklopnika zaradi potrebe po ponovnem avtomatskem vklopu ali v primeru, da pride do okvare oz. izgube napetosti na električnem motorju. V primeru okvare električnega pogona mora imeti tudi možnost ročnega navitja vzmeti. Poznamo odklopnike, namenjene za transformatorska polja, in odklopnike, namenjene za daljnovidna polja. Razlika med njimi je, da se pri prvih manipulacije izvedejo tripolno, pri drugih pa se lahko izvedejo tudi enopolno (Zlatarev, 2023).

Za električno proženje vklopov in izklopov se poslužujemo električnih tuljav, ki mehansko sprožijo manipulacijo. V primeru okvare mora imeti tuljava tudi možnost ročnega manipuliranja vklopa in izklopa na sami napravi. Zaradi pomembnosti izklopne manipulacije ima odklopnik vgrajene podvojene izklopne tuljave. Tuljava A se normalno sproži ročno s krmilnim panelom ali z računalnikom polja. Tuljavo B pa sproži relejna zaščita. Odklopnik mora biti opremljen tudi s pokazatelji pritiska plina in signalizacijo stanj kot so: vklop, izklop, ne navita vzmet, nizek tlak, blokada plina itd. (Zlatarev, 2023).

V okviru projekta so bili vgrajeni rabljeni odklopniki proizvajalca ALSTOM tipske oznake GL 311 F3 (slika 3) s tehničnimi podatki:

- nazivna napetost: 123 kV;
- nazivna frekvenca: 50 Hz;
- nazivni tok: 3150 A;
- nazivni izklopni tok kratkega stika: 40 kA;
- nazivna napetost pogona: 110 V;
- masa SF<sub>6</sub> plina: 12 kg;
- leto proizvodnje: 2002.



*Slika 3: Odklopnik ALSTOM  
(Lastni vir)*

#### **2.4.2 Ločilnik**

Ločilnik ali ločilka je v primerjavi z odklopnikom zelo enostavna stikalna naprava. Nima nikakršnih delov, ki bi služili za gašenje obloka. Daljnovodni ločilnik ima na konstrukciji vgrajen tudi ozemljilni ločilnik, ki služi za ozemljevanje daljnovoda. Ločilnika sta med seboj mehansko povezana za potrebe medsebojnega zapahovanja v primeru, da pride do izvršitve napačne manipulacije (Zlatarev, 2023).



Ločilnik ima štiri osnovne naloge:

- Vidna prekinitev tokokroga. Ločilnik je postavljen na vsaki strani odklopnika, saj pri odklopniku zaradi njegove izgradnje fizično ne vidimo prekinitve tokokroga.
- Preklopi v breznapetostnih stanjih.
- Pomoč pri revizijah za izolacijo različnih naprav od izvora napetosti (zbiralk).
- Izklopi manjših moč kot so meritvena polja.

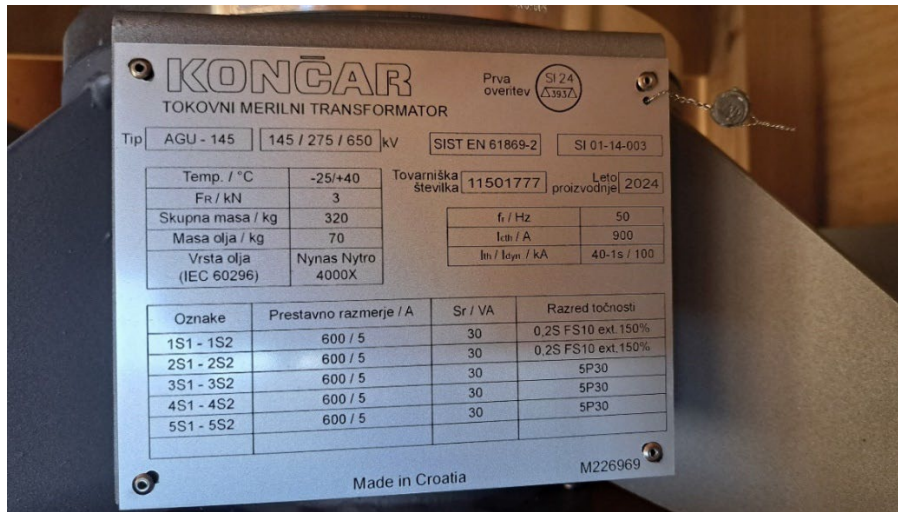
V stikališču so vgrajeni ločilniki proizvajalca Končar tipa RVZ 123-III-12 s tehničnimi podatki:

- nazivna napetost: 123 kV;
- nazivna zdržna atmosferska napetost: 550 kV;
- nazivni tok: 1250 A;
- nazivni kratkostični udarni tok 1s: 31,5 kA;
- nazivna napetost pogona: 110 V;
- leto proizvodnje: 1992.

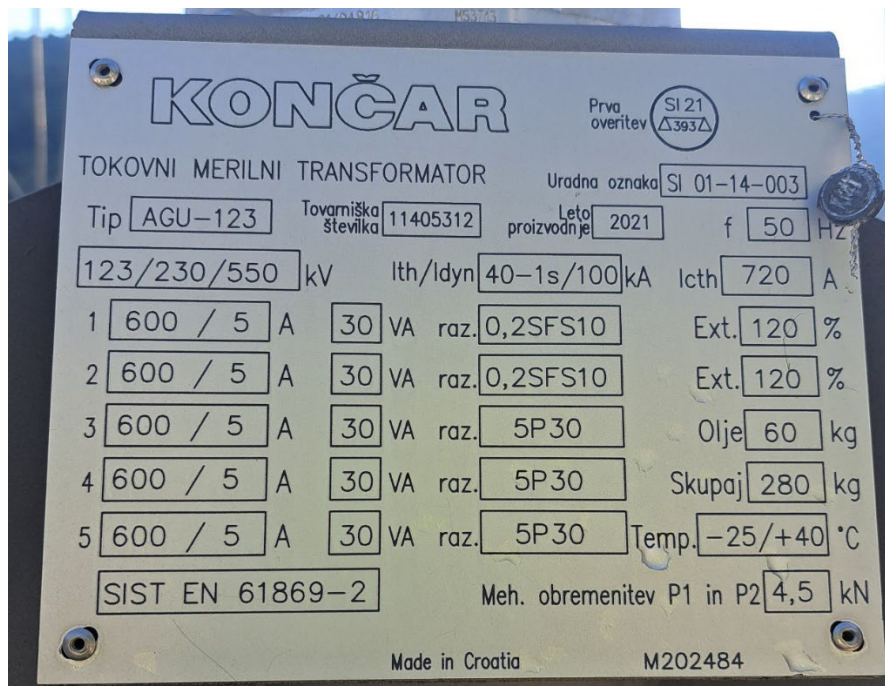
### **2.4.3 Tokovni merilni transformator**

Naloga tokovnega merilnega transformatorja (TIT) je prilagajanje zajetih tokovnih vrednosti na nam ustrezne vrednosti glede na zaščitne in merilne naprave. Visokonapetosten TIT je grajen za dva tokovna nivoja, lahko je 1 A ali 5 A. Večkrat se poslužujemo 1 A, saj za napajanje zaščitnih relejev ne potrebujemo več tako velikih moči. Jedra na sponkah vežemo vzporedno, pri čemer moramo biti še posebej pozorni na pravilno priključitev vodnikov zaradi smeri toka, ki vpliva na pravilno delovanje naprav (Prepeluh, Kragelj in Majcen, 2023).

V poljih EA03 in EA07 so uporabljeni stari tokovni merilni transformatorji proizvajalca Končar, ki bodo v prihodnosti zamenjani. V poljih EA01 in EA05 pa smo med projektom že uspeli zamenjati tokovne merilne transformatorje. Zaradi urgentnosti zamenjave in pomanjkanja zaloge smo vgradili dva različna tipa. V polje EA01 smo vgradili tip AGU-145 (slika 4), v polje EA05 tip AGU-123 (slika 5).



Slika 4: Tehnični podatki TIT tipa AGU-145  
(Lastni vir)



Slika 5: Tehnični podatki TIT tipa AGU-123  
(Lastni vir)

#### 2.4.4 Napetostni merilni transformator

Napetostni merilni transformatorji nam transformirajo visoko napetost na napetost  $100/\sqrt{3}$  V, ki je varna za uporabo pri števnih meritvah in za zaščitne releje. V RTP Idrija opravljamo napetostne meritve v daljnovodu za potrebe signalizacije prisotnosti napetosti ter za blokado ozemljilnega ločilnika. V poljih EA08 MERITVE 1 in EA09

MERITVE 2 izvajamo meritve za potrebe števnih meritev, vodenja in distančne zaščite (Prepeluh, Kragelj in Majcen, 2023).

V daljnovodnih poljih so vgrajeni napetostniki proizvajalca Končar tipa VPU-123, v merilnih poljih pa tipa VPU-123 (slika 6).



Slika 6: Napetostni merilni transformator  
(Lastni vir)

#### 2.4.5 Odvodniki prenapetosti

Odvodniki prenapetosti so naprave, ki so grajene za odvajanje odvečnega naboja, s čimer uravnavajo pravilno napetost. V normalnih pogojih odvodniki prenapetosti ne smejo odvajati napetostnega naboja. Prenapetosti najpogosteje nastanejo z udarom strele v daljnovod, lahko pa so tudi posledica drugih motenj v omrežju (Zlatarev, 2023).

V daljnovodnih poljih so vgrajeni odvodniki prenapetosti proizvajalca ABB tipa PEXLIM R108-XH123, nazivne napetosti 108 kV in nazivnega toka 10 kA.

#### 2.4.6 Distančna zaščita in vodenje

Za nadzor in zaščito se poslužujemo numeričnih računalnikov. Njihova naloga je zaščita in nadziranje naprav.

**Distančna zaščita** je numerični rele, ki služi za zaščito naprav pred napakami na sistemu. Poleg zaščite naprav ščiti tudi pred razpadi omrežja, saj omogoča selektivno izključevanje okvarjenih vodov in naprav. Glavna naloga diferenčnega releja je

zaznavanje in odpravljanje napak kot so kratki stiki. Deluje na osnovi impedance. Ta je odvisna od merjene napetosti in toka, ki ga merimo s pomočjo prej omenjenih merilnih transformatorjev, vezanih na analogni vhod numeričnega releja. Distančna zaščita nam lahko poda tudi razdaljo do mesta napake na daljnovodu. Napake na daljnovodih najprej poskuša popraviti s funkcijo avtomatskega ponovnega vklopa okvarjene faze, v primeru neuspešnega vklopa pa daljnovod izključi (Prepeluh, Kragelj in Majcen, 2023).

V RTP Idrija je vgrajena diferenčna zaščita proizvajalca Toshiba tipa GRZ 200 (slika 7).

**Sistem vodenja** je zasnovan hierarhično in iz varnostnih razlogov omogoča prevzem vodenja na več nivojih. Poznamo štiri nivoje vodenja:

- 1. zasilni oziroma direktni nivo vodenja, brez blokad;
- 2. lokalni nivo vodenja, z računalnikom polja;
- 3. postajni nivo vodenja, s SCADA sistema;
- 4. daljinski nivo vodenja, iz centra vodenja.

V postaji je vodenje sestavljeno iz postajnega računalnika in računalnikov polja. Postajni računalnik služi kot vmesni člen za komunikacijo med računalniki polj in nadrejenim centrom vodenja ter lokalnim računalnikom vodenja.

V RTP Idrija je vgrajen postajni računalnik proizvajalca Iskra tipa NEO 2000. Računalnik polja je numerični računalnik, katerega naloga je upravljanje VN naprav, signalizacija in zajem meritev. Računalnik mora imeti sposobnost komuniciranja in posredovanja procesnih podatkov ostalim napravam vodenja. Podatke zajema s pomočjo analognih in digitalnih vhodov, medtem ko izvršitve manipulacij daje preko binarnih izhodov. Omogoča varno posluževanje VN naprav s funkcijo logičnih blokad nedovoljenih manipulacij .

V RTP Idrija je vgrajen starejši računalnik polja proizvajalca Iskra SYSEN tipa TMV 1200.



*Slika 7: Distančna zaščita in računalnik polja  
(Lastni vir)*

#### **2.4.7 Lastna raba**

Lastna raba kot pojem zajema vse vire, ki zagotavljajo električno energijo za nemoteno delovanje energetskega postroja ne glede na omrežne razmere. Ti viri so lahko transformatorji, dizel električni agregati in akumulatorske baterije. Zgrajena je na redundantnem načinu, kar pomeni, da ima v primeru izgube primarnega vira napajanja vedno na razpolago tudi pomožni vir.

Lastna raba v RTP Idrija je v lasti distribucijskega podjetja Elektro Primorska. Sestavljena je iz dveh primarnih virov napajanja, in sicer iz transformatorja lastne rabe 1 in transformatorja lastne rabe 2, oba imata moč 100 kVA. Ima pa tudi pomožni vir napajanja, in sicer BATERIJA 1 in BATERIJA 2 napetostnega nivoja 110 V DC in kapacitete 350 Ah.

### 3 ZAMENJAVA ODKLOPNIKOV V TREH 110 kV DV POLJIH

V sledečem poglavju se bo opisan osrednji del naloge. Predstavljen bo projekt zamenjave treh odklopnikov v 110 kV DV poljih Žiri 1, Žiri 2 in Ajdovščina. Projekt je bil voden s strani službe za projektno vodenje investicij ELES. Projektno dokumentacijo je izdelalo podjetje C&G zastopanje, svetovanje in inženiring d.o.o. Glavna izvajalska dela je izvedlo podjetje ELWE&Co. d.o.o. s podporno vlogo ekipe RTP Divača (ELES, 2021).

#### 3.1 Razlog za zamenjavo

Odgovorni delavec je ob rednem pregledu stikališča zaznal rahel padec tlaka SF<sub>6</sub> plina. Ob rednem spremljanju je tlak še vedno padal. Odločili so se dopolniti plin, vendar se je kljub temu težava še vedno nadaljevala. Zato je bilo za zagotavljanje obratovalne sposobnosti do zamenjave odklopnikov potrebno redno spremljati in po potrebi dopolniti plin SF<sub>6</sub>. Odgovorne osebe so preučile situacijo in se odločile za zamenjavo vseh treh odklopnikov proizvajalca Končar tipa K3AR1 zaradi iztrošenosti opreme in posledično nezanesljivega obratovanja. Vgradilo se je rabljene odklopnike iz postaje RTP Cirkovce. Odločitev za uporabo rabljenih odklopnikov izhaja iz predvidenih načrtov za rekonstrukcijo RTP Idrija v GIS izvedbo (ELES, 2021).



*Slika 8: Nizek tlak  
(Lastni vir)*



*Slika 9: Normalen tlak  
(Lastni vir)*

Slika 8 prikazuje nizek tlak pred polnjenjem, slika 9 prikazuje normalen tlak po postopku polnjenja. Razlika znaša 2 bara, kar pa ni zanemarljivo za zanesljivo obratovanje naprave.

Odgovorne osebe so se odločile za uporabo rabljenih odklopnikov proizvajalca ALSTOM tipa GL311 F3 iz objekta RTP Cirkovce. Obstoječi odklopniki so bili izdelani za krmilno napajalno napetost 110 V DC, medtem ko so bili rabljeni odklopniki izdelani za krmilni napetostni nivo 220 V DC. Odklopnike je bilo potrebno predelati na krmilno napetost 110 V DC, kar vključuje zamenjavo motorjev za navijanje vzmeti, krmilnih vklopnih in izklopnih tuljav ter zamenjavo pomožnih in krmilnih relejev.

### **3.2 Faze projekta**

Projekt je zaradi lažje organizacije dela potekal v štirih fazah (ELES, 2020).

1. Faza: Predelava odklopnika.
2. Faza: Zamenjava odklopnika Q0 v 110 kV DV polju Žiri 2.
3. Faza: Zamenjava odklopnika Q0 v 110 kV DV polju Žiri 1.
4. Faza: Zamenjava odklopnika Q0 v 110 kV DV polju Ajdovščina.

Opravilo	Datum izvedbe	2. Faza			3. Faza			4. Faza		
		13/12/21	14/12/21	15/12/21	19/4/22	20/4/22	21/4/22	13/6/22	14/6/22	15/6/22
Demontaža Q0		■			■			■		
Montaža Q0		■			■			■		
Ožičenje Q0			■			■			■	
Preizkus delovanja Q0				■			■		■	■
Zamenjava TIT						■			■	
Preizkus delovanja TIT							■			■

Slika 10: Gantogram projekta  
(Lastni vir)

### 3.3 Potek del

V prvi fazi je bilo najprej potrebno predelati krmiljenje in pogone odklopnika iz 220 V DC v 110 V DC. Predelavo odklopnika se je izvedlo predčasno z namenom skrajšanja odklopnega časa daljnovoda zaradi problematike severnoprimorske zanke. Ta je ob izklopu sektorja razdelilne transformatorske postaje preobremenjena. Predelava je potekala v prostorih centra za infrastrukturo prenosnega omrežja Divača.

V nadaljevanju bom opisal le fazo 3, ker so dela v fazah 2, 3 in 4 potekala v enakem sosledju, le da se pri fazi 2 ni izvedlo zamenjave tokovnega merilnega transformatorja (ELES, 2020).

#### 3.3.1 Prvi dan

Pred začetkom del je najprej odgovorna oseba za nadzor seznanila zunanje izvajalce z varnostnimi pravili za delo v elektroenergetskih postrojih. Potem je sledila seznanitev vseh zunanjih in Elesovih delavcev s potekom del za varno delo. Pred odstranitvijo odklopnika proizvajalca Končar (slika 11) je bilo potrebno izključiti vir napajanja in odstraniti krmilne ter signalne kable, ki so povezovali odklopnik z obstoječo krmilno omarico v polju. Temu je sledila varna odstranitev plina SF<sub>6</sub>, s čim manjšim izpustom plina v okolje (kot je to določeno v pravilniku). To delo je izvedla ustrezno usposobljena oseba z veljavnim spričevalom. Plin se je odstranilo z namensko črpalko v vsebnik s pravilno oznako UN 3308 za skladiščenje rabljenega plina SF<sub>6</sub>. Sledila je odstranitev hidravličnega olja iz pogona odklopnika. Šele po odstranitvi okolju nevarnih snovi se je s pomočjo avtodvigala razstavilo odklopnik. Tega se je do ustrezne reciklaže odpeljalo na začasno skladiščenje na oljno deponijo v CIPO Divača (ELES, 2020).





*Slika 11: Odklopnik Končar tip K3AR1  
(Lastni vir)*

Sledila je montaža rabljenega odklopnika proizvajalca ALSTOM tip GL311 F3. Zaradi drugačnega tipa montaže je bilo najprej potrebno pripraviti železna podporna podnožja odklopnika. Uporabljeni so bili adapterji, ki so bili izdelani po naročilu. Sledila je montaža kovinskega ohišja, na katerem so bile že montirane predčasno predelane omarice pogonov odklopnika, ter nato montaža polov. Ker so ti izdelani iz podpornih izolatorjev iz keramike, je potrebno biti pri montaži zelo pazljiv (ELES, 2020).

### **3.3.2 Drugi dan**

Po mehanski sestavi odklopnika je bilo potrebno vgraditi še plinsko inštalacijo med vsemi poli (odklopnik je sestavljen iz treh polov A, B in C) in manometrom ter ožičiti nove povezave med krmilno omarico v DV polju in omarico pogona odklopnika. Sledilo je polnjenje odklopnika s plinom SF<sub>6</sub>. Najprej je bilo potrebno zvakimirati komore in celotno plinsko inštalacijo. Pred pričetkom polnjenja je bilo potrebno tudi analizirati plin, da je ustrežal standardom novega plina. Meritve se je izvajalo z merilnim inštrumentom DILO Mirror Analyser. Ker je plin ustrežal parametrom novega plina, se je odklopnik lahko napolnilo do nazivnega tlaka. Polega tlaka je potrebno pri polnjenju spremljati tudi težo porabljenega plina predvsem zaradi tehničnih razlogov in potrebe po poročanju porabe SF<sub>6</sub> plina pristojnemu organu (ELES, 2020).

Poleg del na odklopniku se je izvajalo menjavo tokovnih merilnih transformatorjev v istem daljnovodnem polju. Predhodno vgrajene tokovne merilne transformatorje se je zamenjalo z novimi proizvajalca Končar tipa AGU-123, ki je imel enake tehnične lastnosti. Zamenjava merilnih transformatorjev je bila potrebna zaradi tehnično slabih predhodno opravljenih meritev (Priloga 2) (ELES, 2020).

Pred demontažo tokovnih merilnih transformatorjev je bilo potrebno popisati vezavo in priklop kablov na sekundarnih sponkah zaradi lažje ponovne priključitve novih naprav. Po popisu se je lahko varno odstranilo vrvne povezave med TIT in daljnovodnim ločilnikom. Z avtodvigalom smo previdno odstranili stare naprave in montirali nove. Sledilo je priključevanje na sekundarni strani s prej popisano vezavo. Izdelali smo še nove aluminijaste povezave med daljnovodnim ločilnikom, tokovnim merilnim transformatorjem, odklopnikom in zbiralničnim ločilnikom (ELES, 2020).

### **3.3.3 Tretji dan**

Po uspešni montaži odklopnika je bilo potrebno izvesti še zagonske meritve in preizkus delovanja. Na odklopniku so izvedli meritve časovnih parametrov odklopnika in meritve prehodne upornosti (ELES, 2020).

Pri meritvah časovnih parametrov merimo čas vklopa in izklopa, pri čemer smo najbolj pozorni na trajanje manipulacije izklopa. Primerjalna vrednost se praviloma nahaja na napisni tablici odklopnika ali v tehnični dokumentaciji. Pozornost moramo posvetiti tudi asinhronosti med posameznimi poli ki ne sme presegati vrednosti 10 ms. Prevelika odstopanja od predvidenega trajanja kažejo na nepravilno delovanje odklopnika. Časovne meritve predstavljajo enega ključnih elementov za ugotavljanje predhodnih okvar odklopnika (EIMV, 2017).

Merjenje prehodne upornosti je indikativna metoda, ki nakazuje sliko delavnih kontaktov. V primeru previsokih vrednosti meritev lahko to pomeni, da so kontakti poškodovani. Iz osebnih izkušenj pričakujem ustrezne meritve v območju manjšem od 50  $\mu\Omega$  (EIMV, 2017).

Po opravljenih meritvah se je preizkušalo pravilno delovanje odklopnika, delovanje distančne zaščite z novo vgrajenim odklopnikom in daljinsko vodenje (ELES, 2020).

Preizkušanje delovanja distančne zaščite so opravili interni inženirji za zaščito. Za preizkušanje pravilnega delovanja se uporablja napravo proizvajalca Omikron, ki je na diferenčni zaščiti zmožna izvajati različne okvarne scenarije. Pri delovanju zaščite je potrebno preveriti tudi signale, ki jih zaščita potrebuje za svoje delovanje (ELES, 2020).

Pri preizkušanju daljinskega vodenja se je prožilo odklopnik iz sinoptične plošče računalnika polja in območnega centra vodenja oz. OCV. Poleg proženja je bilo potrebno preveriti signalizacijo med odklopnikom in centrom vodenja, saj je pomembno, da OCV vidi vse nujne signale (ELES, 2020).

Ob meritvi odklopnika je bilo potrebno preveriti tudi pravilno delovanje tokovnih merilnih transformatorjev po zamenjavi. Meritve je izvajal interni merilec. Pri tem se preverja pravilno polariteto priklopa TIT na distančno zaščito, meritve vodenja in obračunske meritve. Meritev se izvaja z namenom določanja pravilne smeri toka, saj bi ob napačni smeri toka naprave nepravilno delovale in bi lahko prišlo do izpada daljnovoda (ELES, 2020).

## 4 SF<sub>6</sub>

V sledečem poglavju se bom posvetili plinu žveplov heksafluorid (v nadaljevanju: SF<sub>6</sub>). Predstavil bom lastnosti, uporabnost v energetiki, okoljski vpliv, pravilno rokovanje in razgradnjo plina SF<sub>6</sub>.

SF<sub>6</sub> ali žveplov heksafluorid je negorljiv inertni plin, ki se ga uporablja v energetiki zaradi izjemnih lastnosti kot sta dielektričnost in lastnost gašenja oblaka v odklopnikih.

V zgodovini se je plin SF<sub>6</sub> uporabljalo v številnih panogah, predvsem kot:

- detekcijski plin za iskanje uhajanj v raznih ceveh, saj je enostavno sledljiv z detektorjem;
- okenska zvočna izolacija;
- zaščitni plin pri proizvodnji aluminijevih in magnezijevih izdelkov.

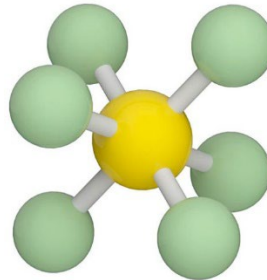
Danes je takšna raba prepovedana, saj spada med toplogredne pline (Hitachi Energy, 2021).

### 4.1 Kaj je plin SF<sub>6</sub>?

SF<sub>6</sub> je anorganska spojina, sestavljena iz šestih atomov fluorida vezanih na sredinski atom žvepla. Predstavljajo ga naslednje fizikalne in kemične lastnosti (Hitachi Energy, 2021):

- brezbarven in brez vonja v čisti obliki;
- približno 5,7-krat gostejši od zraka;
- negorljiv zaradi svoje kemijske sestave;
- inerten oziroma kemično stabilen;
- ne koroziven;
- molekulska masa 140,06 g/mol;
- gostota 6,17 g/cm<sup>3</sup>;
- tališče -64 °C;
- vrelišče -50,8 °C.

### Sulfur hexafluoride



Slika 12: Molekulska zgradba SF<sub>6</sub>  
(Vir: euprojectmission.net, 2024)

## 4.2 Uporaba

SF<sub>6</sub> plin se v energetiki uporablja kot izolacijski material in sredstvo za gašenje električnih obklov. Njegova uporaba je še posebej pogosta v napravah, kjer napetost presega 35 kV. Najpogosteje ga najdemo v visokonapetostnih odklopnikih in stikališčih z izvedbo GIS (Gas Insulated Switchgear).

Visokonapetostni odklopniki SF<sub>6</sub> so nadomestili odklopnike z manjšo količino olja, ki so za gašenje obklova uporabljali olje. To je pomenilo potrebo po pogostem vzdrževanju. Nasprotno pa visokonapetostni odklopniki SF<sub>6</sub> teoretično ne zahtevajo pogostega vzdrževanja, ampak le občasni pregled.

GIS ali plinsko izolirana naprava je naprava, ki nadomešča klasično prostozačno stikališče. Izdelana je iz kovinskega ogrodja v obliki cevi, ki so hermetično zaprte in polnjene s plinom SF<sub>6</sub>. V njej so nameščeni vsi deli klasičnega stikališča, vključno z odklopniki, ločilniki, ozemljilnimi ločilniki, odvodniki in merilnimi instrumenti (Hitachi Energy, 2021).

Ena izmed glavnih prednosti te naprave je, da zavzema do petkrat manj prostora v primerjavi s klasično izvedbo. Lahko se nahaja tudi v kletnih prostorih, kar je idealno za strnjena urbana naselja, kjer je prostorska stiska. GIS izvedba se je izkazala kot varna in zanesljiva, saj naprave niso neposredno izpostavljene okoljskim vplivom. Ta tehnologija je resnično revolucionirala področje energetike (Hitachi Energy, 2021).



*Slika 13: RTP Plave GIS izvedba  
(Lastni vir)*

### **4.3 Vpliv na okolje**

V sodobnem svetu se soočamo z mnogimi izzivi, med katerimi je eden najpomembnejših globalno segrevanje in njegov vpliv na naše okolje. Toplogredni plini kot so ogljikov dioksid, metan, dušikovi oksidi in žveplov heksafluorid, ki jih v veliki meri povzroča človekova dejavnost, so glavni krivci za to težavo. Žveplov heksafluorid je zelo pomemben, saj je eden najmočnejših toplogrednih plinov, ki jih poznamo. Njegova vrednost potencialnega globalnega segrevanja (GWP) znaša kar 24300 v primerjavi z ogljikovim dioksidom, katerega vrednost GWP znaša le 1. Ti plini absorbirajo sončno sevanje in ga odbijajo nazaj na Zemljo, kar povzroča višanje povprečne letne temperature našega planeta. Ta pojav, znan kot učinek tople grede, ima številne posledice na naše okolje, vključno s taljenjem ledenikov, dvigom morske gladine in povečanjem ekstremnih vremenskih dogodkov. Če želimo ohraniti naš planet za prihodnje generacije, se moramo nujno soočiti s temi vprašanji in iskati trajnostne rešitve za zmanjšanje našega okoljskega odtisa. Zato se je svetovna skupnost odločila ukrepati in podpisala Kjotski protokol (Lovrenčič, 2024).

#### **4.3.1 Kjotski protokol**

Kjotski protokol je pomemben mednarodni dogovor, ki je bil sklenjen z namenom obravnavanja globalnega segrevanja. Ta sporazum, ki so ga sprejele številne države po vsem svetu leta 1997, vključno s Slovenijo leta 1998, se osredotoča na zmanjšanje emisij šestih toplogrednih plinov, ki prispevajo k učinku tople grede. V veljavo je vstopil

leta 2005 osredotoča se na obvezno zmanjšanje emisij sledečih plinov (Lovrenčič, 2024) :

- ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>),
- metana (CH<sub>4</sub>),
- dušikovega oksida (N<sub>2</sub>O) in
- fluoriranih plinov, med katere spada tudi SF<sub>6</sub> (Lovrenčič, 2024).

Države, ki so se strinjale s protokolom, so se zavezale, da bodo v obdobju petih let, od leta 2008 do 2012, zmanjšale svoje skupne emisije za vsaj 5 % v primerjavi z ravno iz leta 1990. Medtem ko so se članice Evropske unije (EU) zavezale za 8 % zmanjšanje emisij. Pozneje je nastopil v veljavo Pariški sporazum leta 2016, ki še bolj zaostruje bitko proti podnebnim spremembam ([Kjotski protokol o spremembi podnebja | EUR-Lex \(europa.eu\)](#)).

Glavni okoljski problem žvepovega heksafluorida je njegova vrednost potencialnega globalnega segrevanja, ki je 22800-krat večja od ogljikovega dioksida. Ob tem pa njegova življenjska doba znaša kar 3200 let, kar pomeni, da je vsa do sedaj izpuščen plin še vedno prisoten v atmosferi. Zaradi omenjenih problemov si je EU zadala cilj, da se do leta 2031 v novih napravah popolnoma opusti uporabo plina SF<sub>6</sub>. Njegovo uporabo v energetskih napravah se po uredbi 2024/573 do istega leta zmanjšuje postopno. Zato vodilni proizvajalci energetskih naprav razvijajo nove nadomestne tehnologije za zamenjavo plina SF<sub>6</sub> (Lovrenčič, 2024).

#### 4.4 Ravnanje s plinom SF<sub>6</sub>

Ker velja, da je plin SF<sub>6</sub> močan toplogredni plin, moramo z njim ravnati previdno po smernicah, ki so zapisane v uredbi o uporabi fluoriranih toplogrednih plinov in ozonu škodljivih snovi (Ur. l. RS, št. 60/16). V uredbi so določena pravila za izobraževanje oseb, ki izvajajo teste puščanja naprav, zajem plina, namestitvev, vzdrževanje, popravilo in razgradnjo opreme (Lovrenčič, 2024).

S plinom lahko rokujejo samo ustrezno izobražene osebe, ki so uspešno opravile in pridobile spričevalo iz izobraževanja za usposabljanje serviserjev opreme, ki vsebuje ozonu škodljive snovi ali fluorirane toplogredne pline za električne stikalne mehanizme. Nepooblaščen oseba lahko povzroči nevarnost za okolje in zdravje ljudi. Ko izvajamo dela v zaprtih prostorih v bližini naprav, ki vsebujejo rabljen plin SF<sub>6</sub>, moramo biti zelo pazljivi, saj je plin neviden, njegov vonj pa ni izrazit. Že v manjših količinah lahko povzroči draženje sluznice, medtem ko je v večjih količinah zelo nevaren, saj je petkrat težji od zraka in lahko z vdihovanjem izpodrine zrak iz pljuč in povzroči zadušitev. Pri izvajanju raznih del, ki vključujejo plin SF<sub>6</sub>, je potrebno uporabljati ustrezno certificirano opremo, ki je izdelana izključno za uporabo s plinom SF<sub>6</sub>. Pri podjetju ELES se poslužujemo opreme proizvajalca DILO, ki je namensko izdelana in certificirana za delo z plinom SF<sub>6</sub>. V moji delavni skupini CIPO Divača

imamo dve pooblaščenici osebi, ki imata veljavno spričevalo za delo s plinom. Sodelavca izvajata redne meritve kvalitete plina po predvideni periodiki, pri čemer uporabljata napravo proizvajalca RH Systems (slika 14).



*Slika 14: Naprava za merjenje kvalitete plina  
(Lastni vir)*

Pri ravnanju s plinom SF<sub>6</sub> je pomembno tudi njegovo shranjevanje in prevoz. Plin je hranjen v vsebniku, ki je označen z ustrezno nalepko. Nov plin ima zeleno nalepko z oznako UN 1080, rabljen plin pa ima oranžno nalepko z oznako UN 3308 (slika 11) in rumeno obarvan pokrov. Rabljen plin, ki se nahaja v napravah, je lahko strupen zaradi njegove razgraditve ob iskrenju v energetskih napravah. Ob iskrenju nastane stranski produkt, znan kot žveplov dioksid (SO<sub>2</sub>). SO<sub>2</sub> je brezbarven plin, ki ima zelo izrazit vonj (Lovrenčič, 2024).





Slika 15: Primer oznake 3308  
(Lastni vir)

Ko plin  $\text{SF}_6$  doseže konec svoje uporabnosti, bodisi zaradi demontaže odslužene opreme ali slabih meritev kvalitete plina, ga je potrebno pravilno razgraditi. Plin lahko pošljemo nazaj dobaviteljem, kjer plin ovrednotijo glede na kontaminacijo. Če je plin presegel dovoljeno vrednost kontaminacije, ga pošljejo na uničenje, če pa kontaminacija ne presega določenih vrednosti, lahko plin s pomočjo filtrov nazaj očistijo in ponovno uporabijo. Na uničenju plin sežgejo pri temperaturah višjih od  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ . Pri tem nastaneta dva produkta, in sicer kalcijev sulfat ali gips in kalcijev fluorid, ki ga lahko ponovno uporabimo za izdelavo plina  $\text{SF}_6$  (Hitachi Energy, 2021).

## 5 VARNO DELO V ELEKTROENERGETSKIH POSTROJIH

Varnost pri delu v elektroenergetskih (EE) postrojenjih je ključnega pomena za zaščito življenj in zdravja delavcev ter za nemoteno delovanje EE postrojenj. Pri delu v stikališču smo vsi dolžni skrbeti za varnost drug drugega, saj so stikališča zelo nevarna zaradi kompleksnosti naprav in okolja dela. Varnostna pravila so preventivni varnostni ukrepi in se uporabljajo pri delu v EE postrojih. Z njihovim upoštevanjem se stopnja nevarnosti zmanjša na sprejemljivo raven.

V sledečem sestavku bom povzel interni pravilnik **VARNOSTNA PRAVILA ZA DELO V/NA ELEKTROENERGETSKIH OBJEKTIH IN POSTROJIH** (ELES, 2024).

### 5.1 Pooblastilo za delo

Delo v EE postrojih smejo opravljati le ustrezno pooblaščen osebe, ki so seznanjene z vsemi nevarnostmi in imajo ustrezno varovalno opremo. Obstajajo izjeme, kjer dela izvajajo zunanji izvajalci, vendar morajo v tem primeru podpisati izjavo za obiskovalce, s katero potrjujejo, da so seznanjeni z vsemi nevarnostmi. V podjetju ELES so pooblastila deljena v štiri kategorije glede na vrsto dela, ki ga delavec lahko samostojno opravlja.

- **Pooblastilo za delo I:** Delavec ima dovoljenje za upravljanje z vsemi elektroenergetskimi objekti in napravami. Dovoljenje ima tudi za vodenje, izdajanje delovnih programov in nalog ter koordinacijo del v eni ali več enotah podjetja.
- **Pooblastilo za delo II:** Delavec ima dovoljenje za upravljanje z vsemi elektroenergetskimi objekti in napravami. Lahko opravlja tudi vodenje del in izdaja delovne naloge, vendar znotraj svojega območja.
- **Pooblastilo za delo III:** Delavec ima dovoljenje za samostojno delo in nadzor nad vsemi elektroenergetskimi objekti in napravami.
- **Pooblastilo za delo IV:** Delavec lahko dela na elektroenergetskih objektih in napravah, vendar samo pod nadzorom pooblaščen osebe.

### 5.2 Delitev nevarnostnih območij

Elektroenergetske objekte in postroje razdelimo na tri območja nevarnosti, s čimer preprečimo nevarnost električnega udara pri vstopu.

1. **Prvo nevarnostno območje** je območje, kjer ni posebnih opozoril ali varnostnih ukrepov. Tukaj oseba ne more povzročiti izpada ali izklopa postroja, niti če pride z orodjem ali dolgimi predmeti v bližino delov pod napetostjo.

2. **Drugo nevarnostno območje** je območje za posluževanje in kontrolo. Za delo v tem območju je potrebna strokovna usposobljenost in poznavanje nevarnosti. Tukaj se lahko zadržujejo in delajo samo tisti delavci, ki opravljajo določena dela ali naloge.
3. **Tretje nevarnostno območje** je območje okoli delov pod napetostjo na razdalji, ki je manjša od varnostne razdalje. Vstop v to območje je dovoljen samo delavcem, ki:
  - opravljajo zavarovanje mesta dela,
  - izvajajo dela po zavarovanju mesta dela,
  - izvajajo notranji in zunanji nadzor.

### 5.3 Dokumenti za varno delo

Delo na električnih objektih se izvaja le s predhodno pripravljenimi varnostnimi dokumenti.

Varnostni dokumenti so jasna navodila za delo. Iz njih mora biti razvidno, kdo je odgovoren za kaj. Odgovorna oseba mora biti dobro seznanjena z vsebino teh dokumentov. Delovni nalog in dovoljenje za delo skupaj določata pravila za delo in varnostne ukrepe.

Dokumenti za varno delo so:

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

#### 5.3.1 Delovni program

Delovni program določa celotno organizacijo del za vsa dela na EE objektih, postrojih, napravah in opremi, kadar dela istočasno opravlja več delavnih skupin.

#### 5.3.2 Delavni nalog

Delovni nalog podrobno določa organizacijo varnega dela vsake delovne skupine in se ga izda vodji skupine. Izdaja je obvezna za vsa dela na EE postrojih in opremi. Vsebovati mora časovne termine izvedbe del, podatek o kraju izvajanja dela, odgovorne osebe za izvedbo zavarovalnih ukrepov, navedbo vseh delovnih skupin in posebna določila, ki se navajajo na delo.

### 5.3.3 Dovoljenje za delo

Dovoljenje se izdaja za delo v breznapetostnem stanju in dela v bližini delov pod napetostjo. Pred izdajanjem dovoljenja za delo morajo biti izvedene vse stikalne manipulacije na napravah ali postrojih. Vedno ko se izdaja dovoljenje, je potrebno izvesti zavarovalne ukrepe, ki morajo biti zavedeni na dovoljenju. Vodja delovne skupine in oseba za nadzor izvedeta vse zavarovalne ukrepe pred začetkom del (Priloga 3).

### 5.3.4 Obvestilo o prenehanju dela

Obvestilo o prenehanju dela je dokument, ki ga izdaja vodja delavne skupine osebi, ki ji je izdal dovoljenje za delo. Izdaja je potrebna ob vsaki prekinitvi ali končanju del. Njen namen je sporočanje, da so dela na EE napravah ali postrojih zaključena, pred tem morajo biti odstranjene vse delovne in kratkostične naprave ter vsi delavci, ki so sodelovali pri delih. Od izdaje o prenehanju dela je potrebno ravnati z napravami kot da so pod napetostjo.

### 5.3.5 Depeša

Depeša je dokument, ki služi za zajemanje pisnih zahtev, potrditev in sporočil stanj postroja ter naprav za organizacijo varnega dela med pooblaščenimi osebami. Komunikacija poteka preko telefonske zveze, kjer ena oseba oddaja depešo druga oseba pa sprejema. Običajno si oseba, ki oddaja sporočilo, vnaprej napiše depešo da predčasno še enkrat preveri pravilnost informacij. Z depešo pooblaščenih oseb zahtevajo in potrdijo izvedbo stikalnih manipulacij in zahtevanih ukrepov po pravilniku za varno delo, sporočijo konec del ter stanje postroja in opreme.

PREJETA ODDANA (okrožni) **DEPEŠA** št.: 028885 / (St. nasprotnega dokumenta)

Datum:  Ura:

Vsebina: \_\_\_\_\_

Depešo oddal:  (primek in ime) Depešo sprejel:  (primek in ime)

OBR V 8.2.15.4, izdaja 1, 20. 2. 2024

Slika 16: Depeša  
(Lastni vir)

## **5.4 Delo v breznapetostnem stanju**

Pred začetkom dela v breznapetostnem stanju je treba najprej pripraviti delovišče. Za zavarovanje delovišča moramo uporabiti načelo petih zlatih pravil v sledečem vrstnem redu (Priloga 4):

- 1) izklopiti in vidno ločiti naprave od napetosti z vseh strani,
- 2) preprečiti ponovno vklopitev,
- 3) ugotoviti breznapetostno stanje,
- 4) izvršiti ozemljitev in kratkostično povezavo naprav,
- 5) ograditi in označiti mesto dela od delov, ki so pod napetostjo.

### **5.4.1 Izklop in vidna ločitev naprave z vseh strani**

Naprave, na katerih se bodo izvajala dela, morajo biti vidno ločena od vseh delov pod napetostjo s predvideno varnostno razdaljo. Po izklopu je nujno potrebno preveriti, če so noži ločilnika v izklopnem položaju v vseh fazah in drugih poljih istih zbiralk. Pri posluževanju z napravami v GIS izvedbi je potrebno preveriti pravilen položaj indikatorja stanja ločilnika.

### **5.4.2 Preprečitev ponovnega vklopa**

Na vseh napravah, na katerih izvajamo ukrep izklopa in vidne ločitve naprave z vseh strani, moramo izvesti blokado nehotenega vklopa. Ukrep izvedemo na najnižjem krmilnem nivoju. Največkrat se prestavi stikalno preklopko na lokalno vodenje, izključi napajanje motorja in mehansko blokira mehanizem, če je to izvedljivo. Ko opravimo blokado je treba namestiti tablico »NE VKLAPLJAJ – DELO NA NAPRAVI«.

### **5.4.3 Ugotovitev breznapetostnega stanja**

Po blokadi ponovnega vklopa je potrebno ugotoviti breznapetostno stanje. Ugotovi se ga z indikatorjem prisotnosti napetosti ali z merilnim inštrumentom. Pred uporabo je potrebno preveriti delovanje indikatorja.

### **5.4.4 Ozemljitev in kratkostična povezava**

Ozemljitev in kratkostična povezava se izvaja na mestih izvajanja dela in na vseh mestih postroja, ki se ločuje od delov pod napetostjo. Za izvajanje ukrepa se lahko uporablja ozemljitveni ločilnik ali ustrezno prenosno napravo za ozemljitev, ki mora biti dimenzionirana za kratkostične pogoje postrojev, na katerih se izvaja dela.

#### **5.4.5 Ograditev in označitev mesta dela od delov pod napetostjo**

Ukrep se izvaja, ko se dela izvajajo v bližini delov pod napetostjo. Ograditev in označitev od delov pod napetostjo se izvaja z opozorilnimi znaki, pregradami in dobro vidnimi vrvmi.

Pred začetkom del je potrebno vse delavce opozoriti na dele naprav pod napetostjo, predstaviti plan del in nevarnosti, ki se lahko zgodijo.

## 6 ZAKLJUČEK

Poslanstvo podjetja ELES je zanesljivost in stabilnost slovenskega prenosnega omrežja, zato skrbno vzdržuje in nadgrajuje opremo. S tem razlogom se je ELES odločil zamenjati nezanesljive odklopnike v treh 110 kV DV poljih v RTP Idrija.

V diplomskem delu sem predstavil projekt zamenjave odklopnikov, pri katerem sem tudi osebno sodeloval. Opisal sem SF<sub>6</sub>, ki je zelo močan toplogredni plin. Osredotočil sem se na pravilnik za varno delo v stikališčih, ki je obvezen za preprečitev oziroma zmanjšanje nevarnosti.

V prihodnosti ima ELES načrte popolne rekonstrukcije stikališča RTP Idrija. Rekonstrukcija se bo izvedla v sistemu GIS, ki je zanesljivejši in varnejši za uporabo in vzdrževanje.

## 7 LITERATURA IN VIRI

ELES (2024). Interno gradivo: *Varnostna pravila za delo v/na elektroenergetskih objektih in postrojih*, PR V 6.2.15. Ljubljana: ELES.

ELES (2021). Projekt izvedenih del: *RTP 110/20kV-zamenjava odklopnikov v treh 110kV DV poljih*. Kraj: Ljubljana.

ELES (2020). *Knjiga vstopov*. Kraj: Idrija.

EIMV (2017). Študija: *Uvedba sistemov sprotnega nadzora tehničnega stanja odklopnikov za potrebe AHI*, Kraj: Ljubljana.

*Kjotski protokol o spremembi podnebja*, (2011). Pridobljeno 2. 8. 2024 z naslova <https://eur-lex.europa.eu/SL/legal-content/summary/kyoto-protocol-on-climate-change.html>

Hitachi Energy (2021). Gradivo izobraževanja: *Customer Training RTP IZOLA – SF6 gas*. Zürich: Hitachi Energy

Lovrenčič, V. (2024). *usposabljanje serviserjev opreme, ki vsebuje ozonu škodljive snovi ali fluorirane toplogredne pline za električne stikalne mehanizme*. Ljubljana: ICES.

Zlatarev, G. (2023). Zapiski predavanj: *Elementi elektroenergetskih sistemov*.

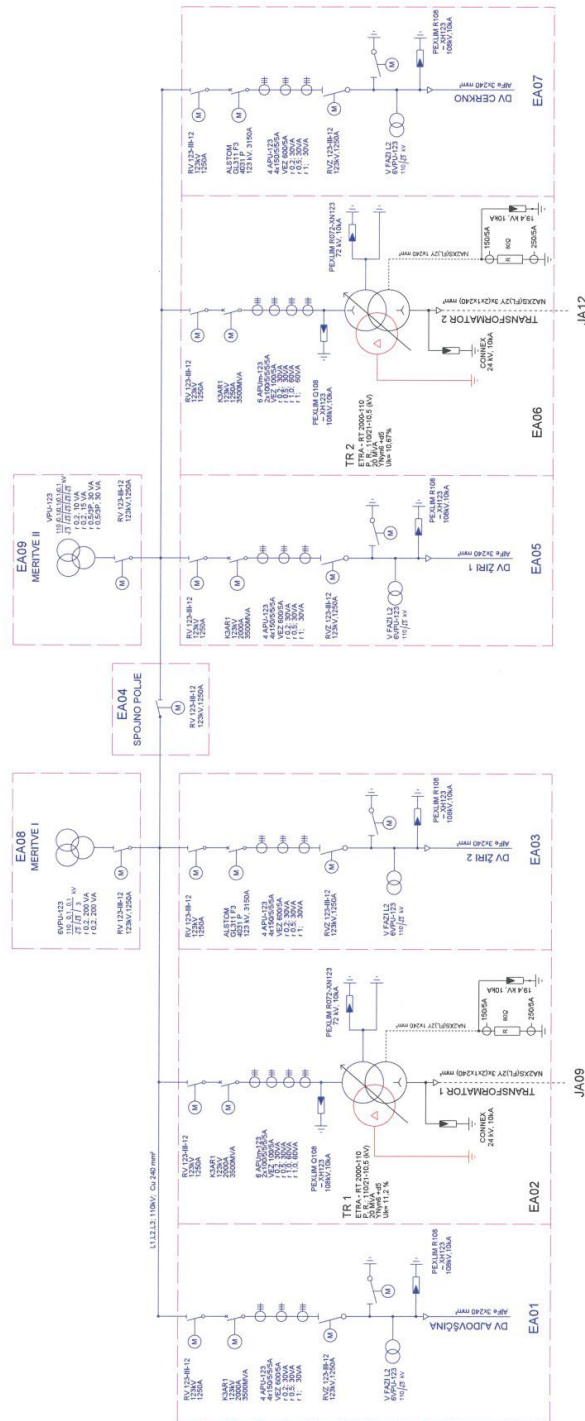
Prepeluh, F., Kragelj, J. in Majcen, A. (2023). Zapiski predavanj: *Zaščita elektroenergetskih sistemov*.

Leban, I. (2024). Zapiski predavanj: *Tehniški predpisi in projektiranje*.



# PRILOGE

## Priloga 1: Enopolna shema stikališča 110kV.



Priloga 1: Enopolna shema stikališča 110kV  
(Vir: Projektna dokumentacija PID, 2021)

## Priloga 2: Primer poročila meritve TIT.

		ELEKTROINŠTITUT "MILAN VIDMAR", Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija	
		Datum poročila:	14. 06. 2022
		Št. poročila:	2299/22
Naročnik:	ELES d.o.o., Hajdrihova ulica 2, SI-1000 Ljubljana	CIPO Divača	
Projekt:	28/22 NAR2021/1394		
Objekt:	<b>RTP IDRUIA</b>		
	Tokovni instrumentni transformator		
Polje:	DV 110 kV AJDOVŠČINA, Faza L1	<b>R812622</b>	
Proizvajalec:	KONČAR, 4APU 123	<b>NZD1070050</b>	
Leto izdelave	1992		
Tovarniška št.:	<b>991059/92</b>		
Območje V/VA:			
Območje A/VA:	4x150 5; 5; 5 / 30; 30; 30		
Datum meritev:	13. 06. 2022		
Temperatura:	23 st. C		
Vreme:	Vlažno		
Merilni postopek:	PD-4.T/MT.003		
Meritve opravili:			

## 1. Meritev izolacijske upornosti

Merilna vezava:	UDC (V)	R1 (MOhm)	R10 (MOhm)	Fp:
VN:NN+M	1400	90.000	130.000	1,44

## 2. Meritev faktorja dielektričnih izgub:

Merilna vezava:	UAC (kV)	tg delta (%)	Rw-korekcija	tg deltakor (%)	C (pF)
VN:NN+M	10	1,041	0	1,041	439,90

Merilna oprema: MIDAS Tettex 2881G, Megger

## 3. Ocena:

Na podlagi analize izmerjenih vrednosti izolacijskih parametrov in primerjav z rezultati predhodnih meritev ugotavljamo, da je predmetni instrumentni transformator ostarel, na kar kaže visoka stopnja degradacije izolacijskega sistema. Faktor dielektričnih izgub presega 1%. Ocenjujemo, da transformator ob poostreni kontroli lahko še obratuje, vendar svetujemo čimprejšnjo zamenjavo.

Priporočamo zamenjavo.

Poročilo sestavi:



Vodja oddelka:


<http://www.eimv.si>

Rezultati se nanašajo samo na preizkušene primerke. Poročila brez pisnega dovoljenja Elektroinštituta ni dovoljeno reproducirati razen v celoti.

Stran 1 od 1

Priloga 2: Primer poročila meritve TIT  
(Lastni vir)

Priloga 3: Dovoljenje za delo.



Organizacijska enota: \_\_\_\_\_

**DOVOLJENJE ZA DELO** št.: 00230 \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

na postroju, napravi, opremi \_\_\_\_\_

Delo je določeno z delovnim nalogom št.: \_\_\_\_\_ z dne \_\_\_\_\_

**Izvedene stikalne manipulacije in zavarovalni ukrepi na mestih ločitve od napetosti:**

1. izklop in vidna ločitev naprav od napetosti z vseh strani,
2. preprečitev ponovne vklopitve naprav za odklop in vidno ločitev,
3. ugotovitev breznapetostnega stanja,
4. ozemljitev naprav na mestih ločitve od napetosti;

**Posebna opozorila:**

**Pred začetkom dela na mestu dela, vodja del – vodja delovne skupine (za RTP in RP ob prisotnosti pooblaščenih oseb za nadzor) zagotovi izvedbo naslednjih zavarovalnih ukrepov:**

- ugotovitev breznapetostnega stanja,
- ozemljitev in kratkostičenje naprav,
- ograditev mesta dela od sosednjih delov, ki so ostali pod napetostjo.

**in dodatnih varnostnih ukrepov ter posebnih določil v zvezi z delom, določenih z delovnim nalogom.**

**OSTALI DELI POSTROJA SO V OBRATOVALNEM STANJU! DOTIKANJE ALI PRIHAJANJE V NJIHOVO BLIŽINO JE ŽIVLJENJSKO NEVARNO!**

Dovoljenje izdano v \_\_\_\_\_ dne \_\_\_\_\_ ob \_\_\_\_\_ uri

Z deli se je pričelo ob \_\_\_\_\_ uri

Način izdaje (ustrezno označi): osebno - telefon - e-pošta - radiozveze

Dovoljenje za delo izdal:	Dovoljenje za delo prejel:
..... <small>(ime in priimek)</small>	..... <small>(ime in priimek)</small>
..... <small>(podpis)</small>	..... <small>(podpis)</small>

---

**Obvestilo o prenehanju dela št.:** št.: 00230 \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Dela na postroju, napravi, opremi po tem dovoljenju za delo **so končana.**

Orodje, delovne priprave ter druge naprave, prenosne ozemljitvene vrvi za ozemljevanje in kratkostično povezavo ter drugi predmeti so odstranjeni. Vsi delavci, ki so sodelovali pri delu pod mojim vodstvom, so se umaknili iz mesta dela oz. iz nevarne bližine postroja, opreme, naprave. Opozorjeni so, da se naprava iz katere je odstranjena ozemljitev in kratkostična povezava smatra kot da je pod napetostjo in je poseganje v nevarno območje življenjsko nevarno.

Obvestilo izdano v \_\_\_\_\_ dne \_\_\_\_\_ ob \_\_\_\_\_ uri

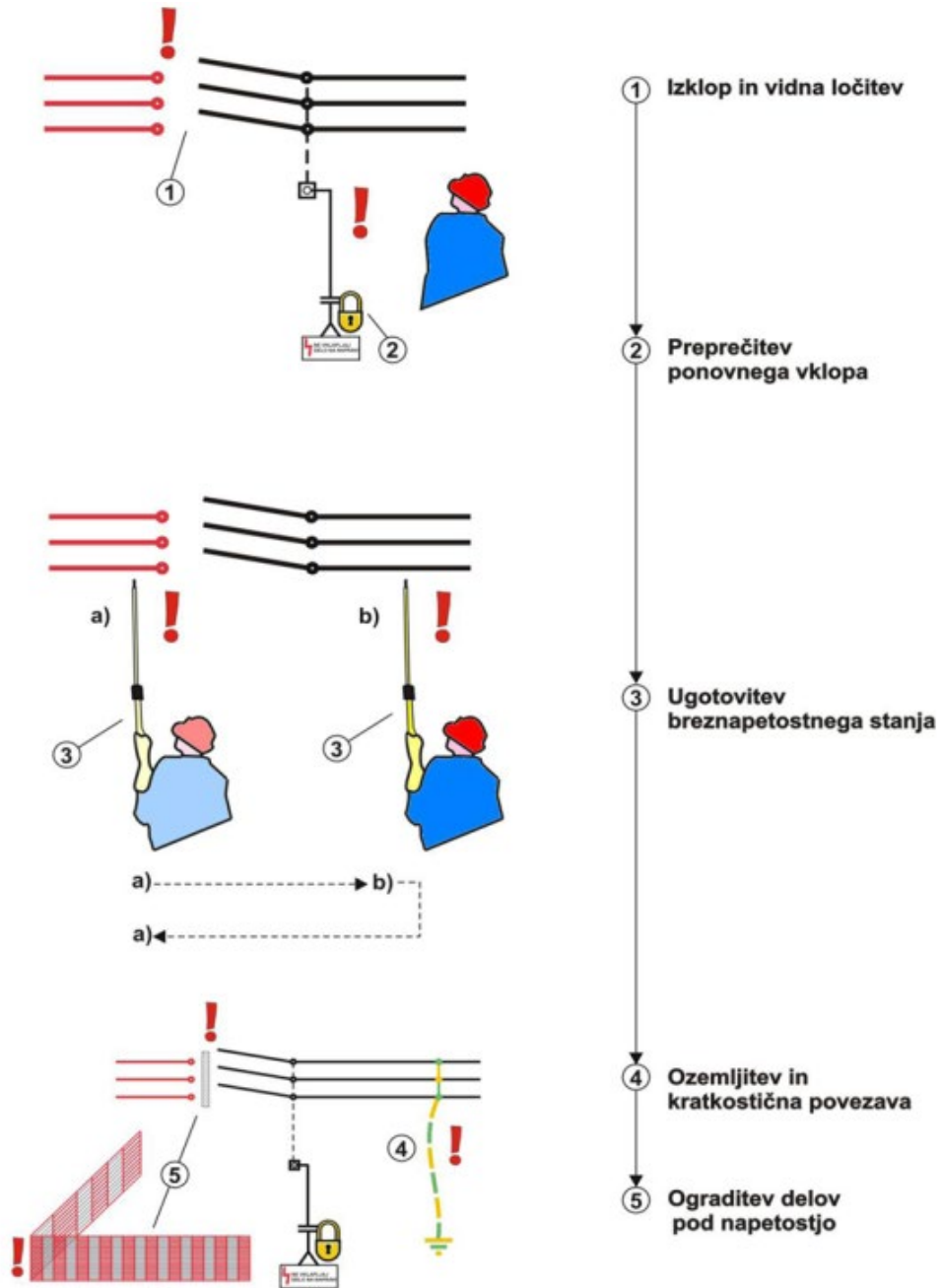
Način izdaje (ustrezno označi): osebno - telefon - e-pošta - radiozveze

Obvestilo o prenehanju dela izdal:	Obvestilo o prenehanju dela prejel:
..... <small>(ime in priimek)</small>	..... <small>(ime in priimek)</small>
..... <small>(podpis)</small>	..... <small>(podpis)</small>

OBR V 6.2.15\_3, izdaja 1, 26. 2. 2024 1/1

Priloga 3: Dovoljenje za delo  
(Lastni vir)

Priloga 4: Pet zlatih pravil.



Priloga 4: Pet zlatih pravil

(Vir: Varnostna pravila za delo v/na elektroenergetskih objektih in postrojih, 2024)