

# Tehnologija rada pod naponom na niskonaponskim postrojenjima u Republici Hrvatskoj

---

Korov, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2017

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:815423>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-25**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**TEHNOLOGIJA RADA POD NAPONOM NA  
NISKONAPONSKIM POSTROJENJIMA U REPUBLICI  
HRVATSKOJ**

**Diplomski rad**

**Ivan Korov**

**Osijek, 2017**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 08.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

|                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ime i prezime studenta:                                                                    | Ivan Korov                                                                                                                                                                                                                                         |
| Studij, smjer:                                                                             | Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika                                                                                                                                                                                                        |
| Mat. br. studenta, godina upisa:                                                           | D 937, 12.10.2015.                                                                                                                                                                                                                                 |
| OIB studenta:                                                                              | 77208881676                                                                                                                                                                                                                                        |
| Mentor:                                                                                    | Doc.dr.sc. Goran Knežević                                                                                                                                                                                                                          |
| Sumentor:                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Sumentor iz tvrtke:                                                                        | Vladimir Caha                                                                                                                                                                                                                                      |
| Predsjednik Povjerenstva:                                                                  | Izv. prof. dr.sc. Zvonimir Klaić                                                                                                                                                                                                                   |
| Član Povjerenstva:                                                                         | Doc.dr.sc. Krešimir Fekete                                                                                                                                                                                                                         |
| Naslov diplomskog rada:                                                                    | Tehnologija rada pod naponom na niskonaponskim postrojenjima u Republici Hrvatskoj                                                                                                                                                                 |
| Znanstvena grana rada:                                                                     | <b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>                                                                                                                                                                                                |
| Zadatak diplomskog rada:                                                                   | Diplomski rad će dati uvid u trenutnu zastupljenost i iskustva primjene tehnologije rada pod naponom na niskonaponskim postrojenjima, kao i preporuke za daljnji razvoj i implementaciju u Republici Hrvatskoj. (sumentor: Vladimir Caha, HEP NOC) |
| Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):                                 | Izvrstan (5)                                                                                                                                                                                                                                       |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda<br>Razina samostalnosti: 2 razina                                                  |
| Datum prijedloga ocjene mentora:                                                           | 08.09.2017.                                                                                                                                                                                                                                        |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:  | Potpis:<br>Datum:                                                                                                                                                                                                                                  |



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 25.09.2017.

Ime i prezime studenta:

Ivan Korov

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D 937, 12.10.2015.

Ephorus podudaranje [%]:

8

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Tehnologija rada pod naponom na niskonaponskim postrojenjima u Republici Hrvatskoj**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Goran Knežević

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## IZJAVA

Ja, Ivan Korov, OIB: 77208881676, student/ica na studiju: Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, dajem suglasnost Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek da pohrani i javno objavi moj **diplomski rad**:

**Tehnologija rada pod naponom na niskonaponskim postrojenjima u Republici Hrvatskoj**

u javno dostupnom fakultetskom, sveučilišnom i nacionalnom repozitoriju.

Osijek, 25.09.2017.

---

potpis

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. UVOD</b>                                                                     | <b>1</b>  |
| 1.1. Zadatak diplomskog rada                                                       | 2         |
| <b>2. OPĆI UVJETI TEHNOLOGIJE RADA POD NAPONOM NA NISKONAPONSKIM POSTROJENJIMA</b> | <b>3</b>  |
| 2.1. Mjere sprječavanja električnog udara                                          | 5         |
| 2.2. Mjere sprječavanja kratkih spojeva                                            | 7         |
| 2.3. Osobna zaštitna oprema operatera                                              | 10        |
| 2.4. Vremenski uvjeti na mjestu rada                                               | 12        |
| <b>3. METODE RADA POD NAPONOM</b>                                                  | <b>14</b> |
| 3.1. Metoda rada „na udaljenosti“                                                  | 14        |
| 3.2. Metoda rada „u dodiru“                                                        | 16        |
| 3.3. Metoda rada „na potencijalu“                                                  | 21        |
| <b>4. ALATI I OPREMA</b>                                                           | <b>24</b> |
| 4.1. Laboratorijsko ispitivanje alata i opreme                                     | 27        |
| 4.2. Metode ispitivanja, validacija i mjerna nesigurnost [4]                       | 30        |
| <b>5. OBUKA ZA RAD POD NAPONOM</b>                                                 | <b>38</b> |
| 5.1. Organizacijska priprema i radna dokumentacija                                 | 39        |
| 5.2. Poslovi rada pod naponom na NN                                                | 41        |
| <b>6. ZAKLJUČAK</b>                                                                | <b>45</b> |
| <b>7. LITERATURA</b>                                                               | <b>46</b> |
| <b>8. SAŽETAK</b>                                                                  | <b>47</b> |
| <b>9. ABSTRACT</b>                                                                 | <b>48</b> |
| <b>ŽIVOTOPIS</b>                                                                   | <b>49</b> |

## 1. UVOD

Početkom 20-og stoljeća počinje se primjenjivati tehnologija rada u beznaponskom stanju. Otprije je poznato da tu tehnologiju pouzdanom i sigurnom za izvođenje čine takozvanih 5 pravila sigurnosti, sljedećim redoslijedom:

1. Isključiti i vidljivo odvojiti od napona (pomoću prekidača i rastavljača)
2. Spriječiti ponovno uključenje (blokadom sredstava za ponovno uključenje)
3. Utvrditi beznaponsko stanje (indikatorima napona ili mjernim instrumentima)
4. Uzemljiti i kratko spojiti (prikladnim uzemljivačkim sustavom)
5. Ograditi mjesto rada od dijelova pod naponom (pomoću upozoravajuće trake ili ograde)

Tehnologija rada u beznaponskom stanju savršeno funkcionira sve dok se izvođenje obavlja držeći se svih pravila, no pri zanemarivanju pravila sigurnosti i nepravilnom izvođenju može doći do katastrofalnih posljedica. S obzirom da je električna energija poznata po svojim opasnim učincima, nepravilno izvođenje prilikom kojeg se ti učinci mogu realizirati te sve veći zahtjevi potrošača za rad bez prekida opskrbe električnom energijom doveli su do razvijanja nove tehnologije rada.

Tehnologija rada pod naponom (u daljnjem tekstu: RPN) počela se koristiti u Sjedinjenim Američkim Državama u isto vrijeme kad i tehnologija rada u beznaponskom stanju. Prva metoda koja se koristila bila je metoda rada „na udaljenosti“. Radnici su tu metodu koristili pri održavanju niskonaponskih distribucijskih mreža, koristeći se bambusovim štapovima na čiji su kraj instalirali različite alate koji su im bili potrebni te su na taj način na udaljenosti obavljali radove na postrojenjima gdje je bio prisutan napon. RPN u Europi se pojavljuje šezdesetih godina te se koristi za poslove održavanja mreža. RPN omogućuje kontrolu, popravke, zamjenu, nadogradnju ili rekonstrukciju elektroenergetskih mreža bez prekida opskrbe potrošača električnom energijom. Smanjenje broja prekida opskrbe potrošaču je od iznimne važnosti, posebno većim potrošačima koji imaju i vlastitu proizvodnju električne energije budući da je prema mrežnim pravilima zabranjen otočni rad sustava. Dok se u većini europskih zemalja RPN smatra uobičajenom tehnologijom, na području Hrvatske se RPN tehnologija nažalost još uvijek ne koristi koliko bi trebala ili se uopće ne koristi (postrojenja visokog napona) [1] .

## **1.1. Zadatak diplomskog rada**

Zadatak ovog diplomskog rada je predstaviti tehnologiju rada pod naponom, objasniti prednosti koje RPN ima u odnosu na metodu rada u beznaponskom stanju te definirati metode koje se koriste u radu pod naponom. Također, detaljnije će se prikazati najbitniji i najkorišteniji alati i oprema koja se koristi te teorijski i na konkretnim primjerima prikazati laboratorijsko ispitivanje. Nakon alata i opreme slijedi dio u kojem je prikazana obuka za rad pod naponom. U završnom dijelu rada prikazati će se iskustva u primjeni tehnologije RPN te koje su smjernice za daljnji razvoj.

## **2. OPĆI UVJETI TEHNOLOGIJE RADA POD NAPONOM NA NISKONAPONSKIM POSTROJENJIMA**

Sredinom šezdesetih godina prošlog stoljeća najveće europske elektroprivrede su uvidjele prednosti i dobiti koje ova tehnologija pruža te su započele s njenim preuzimanjem. Kroz narednih četrdesetak godina RPN je postao glavna izvozna tehnologija te se danas koristi u više od 50 zemalja. Najznačajniji potomak u Europi je svakako bila njemačka tehnologija koja se temelji na raspisanim procedurama za svaki korak. Potpuno drugačiji pristup napravila je francuska elektroprivreda. Ona, naime, zahtjeva od svojih radnika da znaju i primjenjuju sve uvjete te da ne rade provjeru svakog postupka prema listi s koracima nego prema vlastitoj pripremi. To je dovelo do smanjenja izrade velike količine dokumenata, neprekidnog analiziranja rizika i pronalaženja načina kako ih ukloniti te do boljeg snalaženja radnika u neunificiranim postrojenjima. Ovi razlozi su bili dovoljni da hrvatska elektroprivreda odluči preuzeti francusku tehnologiju [1].

Opći uvjeti za izvođenje radova (u daljnjem tekstu OUIR- NN) primjenjuju se za niske napone izmjenične struje do maksimalno 1000 V i istosmjerne struje do maksimalno 1500 V. OUIR- NN su sukladni s normom EN 50110. Preuzeti su od francuske elektroprivrede EDF- SERECT te prilagođeni HEP-ovoj elektroenergetskoj mreži niskog napona.

OUIR- NN primjenjuju osobe koje su educirane na specifičnom području radova pod naponom kako je definirano Pravilnikom o zaštiti na radu pri korištenju električne energije (N.N. br. 9 iz 1987. godine). Ti uvjeti su opća pravila kojih se trebaju pridržavati svi zaposlenici koji rade pod naponom. Vrlo bitna stavka je ta da OUIR- NN pokrivaju područje RPN na niskom naponu na konstrukcijama, instalacijama i opremi korištenjem 2 od ukupno 3 metode rada:

- Metoda rada na udaljenosti
- Metoda rada u dodiru s izolacijskim rukavicama

Metoda rada na potencijalu NIJE dopuštena [2].

OUIR- NN pokriva rad pod naponom i čišćenje na:

- Nadzemnim i podzemnim sustavima za distribuciju električne energije, javnu rasvjetu i unutarnjim instalacijama niskog napona
- Na javnim i privatnim instalacijama, električnoj opremi, vodovima i uređajima
- Kontrolnim, mjernim i telekomunikacijskim krugovima, uključivo i napajanje njihovih sekundarnih krugova

- Akumulatorskim baterijama i njihovim energetske krugovima
- Električnim vodovima, usponskim vodovima i servisnim sustavima

Korištenje postupaka radova pod naponom na NN prati obveza korištenja svih pravila koje omogućuju električni i svaki drugi rad u blizini neizoliranih i aktivnih dijelova, ali OUIR- NN moraju se primjenjivati i za pojedine specifične radove na niskom naponu u skladu s postupkom RPN:

- Pomicanje neizoliranih nadzemnih vodiča
- Rad na niskonaponskim dijelovima kombiniranih SN/NN sustava
- Spajanje i odspajanje izoliranih vodova u razvodnim ormarima i završnim spojnim razvodnim napravama (redne stezaljke, mjerne priključnice)
- Čišćenje
- Radni zahtjevi korištenja neizoliranih ili nedovoljno izoliranih fleksibilnih kućišta

Postupci radova pod naponom ne pokrivaju:

- ELV (MN) mali napon opreme koja radi za:
  - SELV: ELV (MN) instalacije kod kojih su svi aktivni dijelovi izolirani od ostalih instalacija pomoću dvostruke ili pojačane izolacije s jedne strane i izolirane od zemlje i svih zaštitnih vodiča koji pripadaju nekoj drugoj instalaciji s druge strane
  - PELV: ELV (MN) instalaciji u kojoj su svi aktivni dijelovi izolirani i galvanski odvojeni preko transformatora za odvajanje od aktivnih dijelova svih drugih instalacija
- Telekomunikacijske, mjerne, kontrolne krugove i upravljačke krugove kod električnih distribucijskih mreža koje koriste napone koji ne prelaze 100 V

Sukladno s time, zaposlenike treba obučiti za rad pod naponom za sljedeće:

- Određeni NN radovi na javnim rasvjetnim sustavima (zamjena nepomičnog pribora ili neizoliranog pribora)
- Određena mjerenja kao što su ona koja traže prekid neizoliranih NN krugova radi umetanja uređaja za mjerenje ili omogućavanja premošćenja ili dodir s neizoliranim aktivnim dijelovima
- Određena ispitivanja (ispitivanja dielektrične čvrstoće, ispitivanje neprekinutosti strujnog kruga te radnih platformi i laboratorijskih ispitivanja) [2]

S obzirom na to da će se u tekstu sljedeći pojmovi često koristiti, potrebno ih je prvo definirati. Operater je stručna osoba zadužena za izvođenje radova pod naponom te je osposobljena za RPN na siguran način.

Minimalna udaljenost približavanja (u daljnjem tekstu MUP- NN) je udaljenost do koje se operater nezaštićenim dijelovima svog tijela smije približiti neizoliranim aktivnim dijelovima. Za niski napon MUP iznosi 0,30 m.

Vodljivi dio na fiksnom potencijalu je vodljivi dio koji je galvanski spojen na potencijal zemlje ili na potencijal nekog aktivnog vodiča.

Vodljivi dio na lutajućem potencijalu je vodljivi dio koji nema čvrstu galvansku vezu s dijelom koji je na fiksnom potencijalu.

## **2.1. Mjere sprječavanja električnog udara**

Do električnog udara dolazi kada se operater nađe spojen na 2 različita potencijala. Udar se tijekom rada sprječava tako da operater održava dovoljnu razinu izolacije između svojih dijelova tijela. Operater mora voditi računa o vodljivim neizoliranim dijelovima koje mora uhvatiti te o aktivnim neizoliranim dijelovima s kojima može doći u dodir. Takva izolacija može biti ostvarena zrakom ili odgovarajućom izolacijskom zaštitom.

### **Načela rada operatera**

Operater mora biti neprestano svjestan da je on vodič na potencijalu zemlje. Korištenje dodatne zaštitne opreme protiv električnog udara ne mora uvijek zaštititi operatere koji koriste metodu rada na dodiru. Ako nema zaštitnu opremu, operater je dužan održavati udaljenost koja je jednaka ili veća minimalnoj udaljenosti približavanja na niskom naponu (u daljnjem tekstu MUP- NN) od 0,30 m između nezaštićenih dijelova svoga tijela te ju mora održavati tijekom cijelog vremena rada.

Vrlo je bitno naglasiti da u zaštitnu opremu spada i korištenje odgovarajućih izolacijskih rukavica. Također, operater mora voditi računa i da zaštiti određenim zaštitnim sredstvima vodljive neizolirane dijelove na kojima ne radi izravno. Ako ne može zadovoljiti MUP- NN tada operater mora sve aktivne neizolirane dijelove staviti izvan dohvata tako da ih izolira odgovarajućim izolacijskim sustavima, eliminira dodir s njima pomoću izolacijskih pregrada ili izolira nezaštićene dijelove svoga tijela tako da mogu doći na udaljenost manju od 0,30 m od aktivnih vodljivih dijelova [2].

## **Načela za vodljive dijelove**

Načela za vodljive dijelove se dijele na 2 dijela : dohvatljivi vodljivi dijelovi i neutralni vodič. Ako su pojedini vodljivi dijelovi dohvatljivi i na manjoj udaljenosti od 0,30 m od aktivnih neizoliranih dijelova, operater je dužan zaštititi sebe od tih dohvatljivih neizoliranih vodljivih dijelova. Prema neutralnom vodiču mora se u svim okolnostima odnositi kao prema aktivnom vodiču [2].

## **Čišćenje pomoću tekućine**

Operater bez obzira bio zaštićen osobnim zaštitnim sredstvima ili ne, uvijek mora biti dalje od 0,30 m od aktivnih neizoliranih dijelova.

## **Zona približavanja**

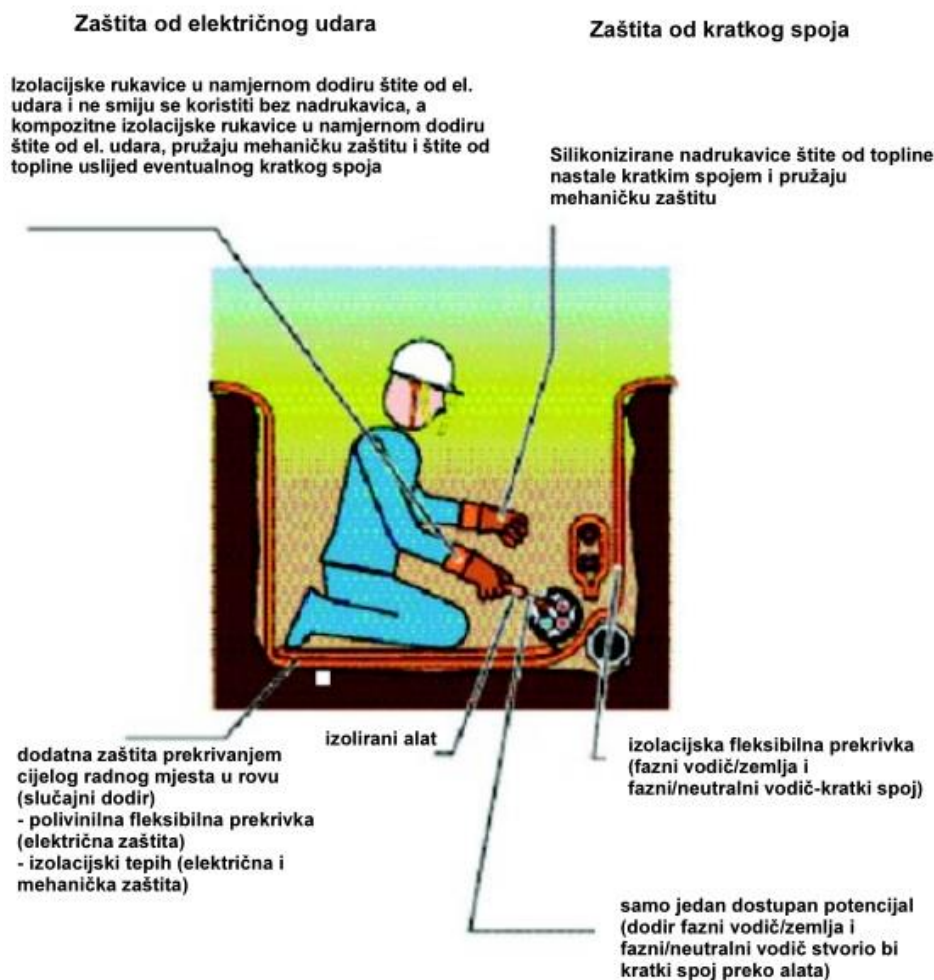
Prije početka rada operater mora utvrditi mjesto rada te voditi računa od svim aktivnim neizoliranim niskonaponskim dijelovima bez obzira jesu li u tom prostoru ili ne. Za ostale aktivne neizolirane dijelove srednjeg napona ili visokog napona operater mora biti ovlašten za rad u blizini tih dijelova, identificirati elemente koji određuju zonu približavanja te primijeniti propise koji se odnose na rad u blizini SN i VN opreme.

## **Rad u rovovima, tunelima, uskim i zatvorenim prostorima**

Fleksibilne izolacijske prekrivke koriste se kod izoliranja zemlje i susjednih aktivnih neizoliranih dijelova i kod rada u rovovima i tunelima. Zidovi iskopa su na potencijalu zemlje te se moraju izolirati.

Pri radu u zatvorenim prostorima ako operater ne nosi specijalne cipele, tada mora stajati na izolacijskom tepihu ili postolju na mjestu gdje je vlažna prostorija ili je pod vodljiv.

Postoji još jedna vrlo bitna stavka koja će se detaljno definirati kasnije, a to su metode rada pod naponom na niskom naponu [2] .



**Slika 2.1.** RPN na podzemnim električnim mrežama [2]

## 2.2. Mjere sprječavanja kratkih spojeva

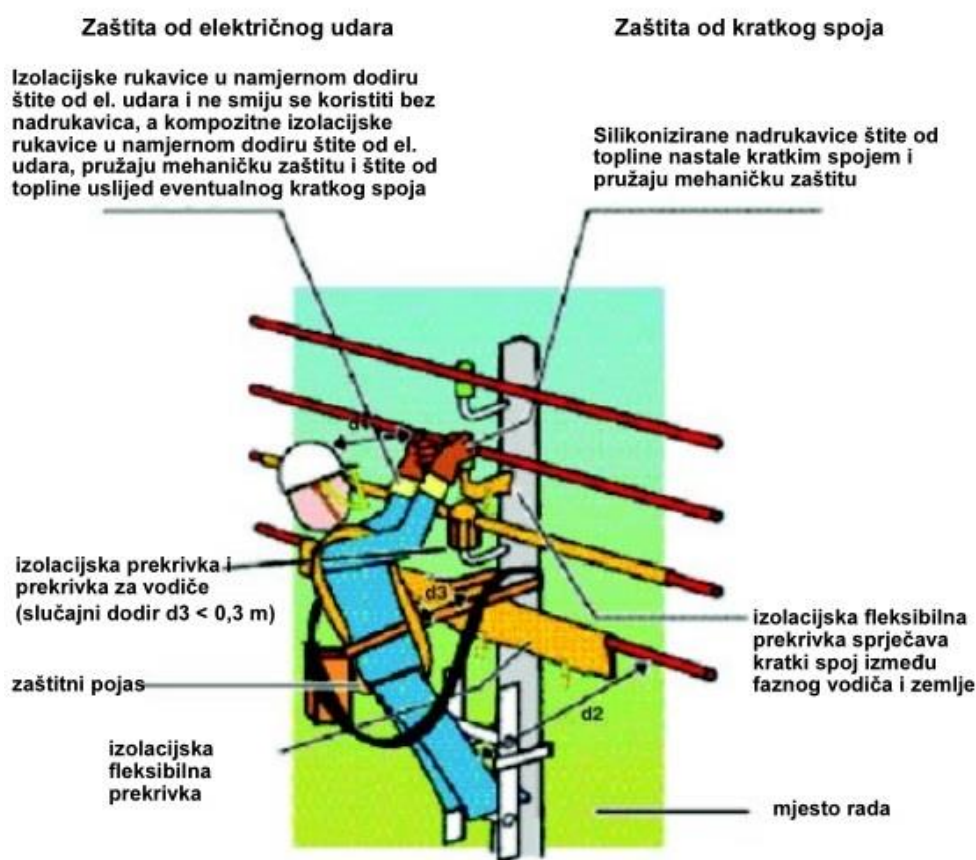
Do kratkog spoja dolazi kada u dodir dođu dva vodiča na različitom fiksnom potencijalu. Različiti su slučajevi, između faznog i neutralnog vodiča ili faznog vodiča i zemlje. Tijekom RPN operater također može izazvati spoj:

- Rukujući alatom koji ima nezaštićeni metalni dio
- Pomičući aktivne neizolirane vodljive dijelove
- Premošćujući izolator metalnim dijelom alata
- Micanjem ili postavljanjem vezne žice (na izolatoru)
- Slučajnim padom nekog metalnog predmeta
- Nepravilnim čišćenjem aktivnih neizoliranih dijelova

## Mogući dodir

Operater tijekom RPN mora biti siguran da neće doći u dodir niti jedan neizolirani vodljivi dio na fiksnom potencijalu s nekim drugim dijelom na nekom drugom fiksnom potencijalu, te na lutajućem potencijalu istodobno u dodir s 2 neizolirana vodljiva dijela na različitim fiksnim potencijalima [2].

Ako postoji neka opasnost od dodira, operater mora pokriti sve neizolirane dijelove na različitim fiksnim potencijalima s nekim od izolacijskih sredstava, te mu dostupan mora ostati samo onaj na kojem radi.



Slika 2.2. RPN na nadzemnim vodovima s neizoliranim vodičima [2]

## Procjena opasnosti

Operater mora procijeniti opasnost od dodira na temelju:

- Dimenzija neizoliranih vodljivih dijelova na kojima radi
- Neizoliranih dijelova izoliranoga alata
- Mogućnostima pomicanja dijelova u električnom okolišu
- Vlastitih pokreta i aktivnosti

## Zaštita od dodira

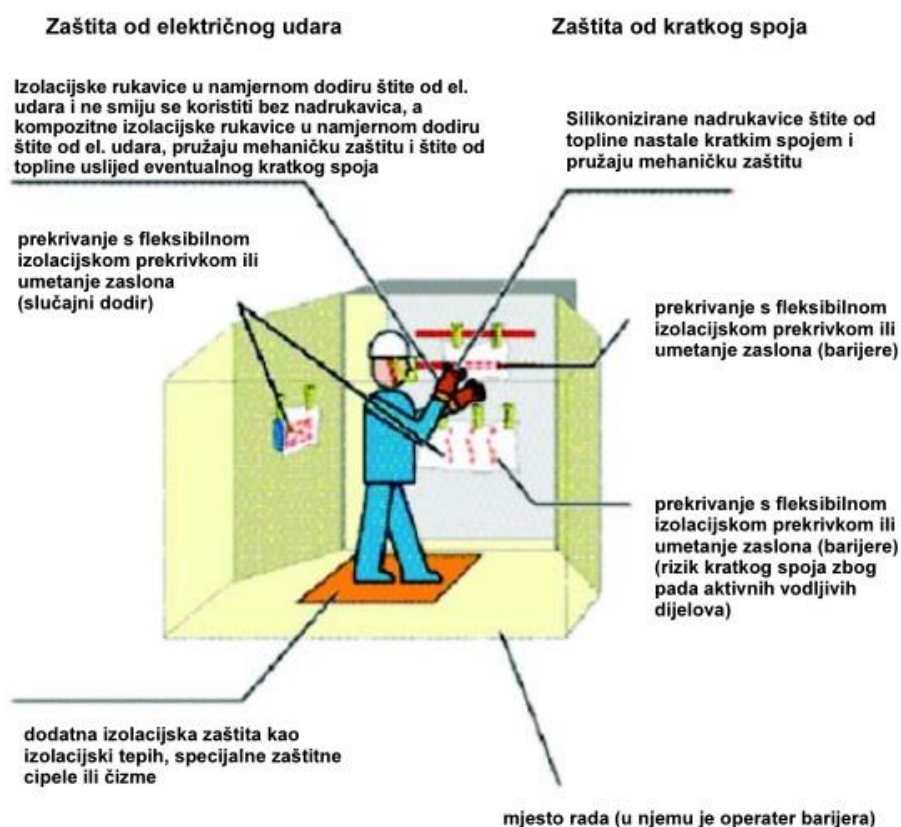
Nakon procjene opasnosti od kratkog spoja operater mora zaštititi izoliranjem cijelog uređaja, osim onog dijela na kojem će raditi ili izoliranjem dijelova na fiksnim potencijalima u neposrednoj blizini neizoliranih dijelova uređaja ili vodiča na kojima želi raditi.

## Pomicanje učvršćenih vodljivih dijelova

Tek nakon što operater osigura da su dijelovi mehaničkih sustava učvršćeni na mjestu, smiju se pomicati neizolirani vodljivi. Nakon pomicanja mehanički učvršćenog sustava operater mora izolirati neizolirane vodljive dijelove ili kontrolirati pomicanje radi sprječavanja pojave kratkog spoja.

## Rad s izoliranim kabelima

Prilikom rada na izoliranim kabelima operateru smije biti dostupan samo potencijal na kojem radi, te se s tom mjerom sprječava opasnost od kratkog spoja između faznih vodiča ili između faznih i neutralnog vodiča. Prilikom takvih poslova može doći do kratkih spojeva jer se radi s alatom koji ima metalne dijelove [2].



Slika 2.3. RPN na opremi u razvodnim kutijama i ormarima u vlažnim prostorima [2]

### **2.3. Osobna zaštitna oprema operatera**

Osobna zaštitna oprema (u daljnjem tekstu OZO) operatera je oprema svakog operatera te je svaki odgovoran za održavanje i provjeru svoje OZO. Obvezna je za sve vrste radova pod naponom, osim u slučaju kada je naglašena određena iznimka. Ako se operater približi drugom operateru ili dođe s njim u dodir direktno ili preko nekog alata, mora imati OZO koja odgovara opasnosti kojoj se operater izložio.

#### **Opasnost od kratkog spoja i električnog udara**

Operater će drastično smanjiti opasnost od kratkog spoja i električnog udara ako ne nosi nikakve metalne predmete. Dužan je voditi računa o narukvicama i lančićima koji vise te bilo kojim metalnim vodljivim dijelovima koji mogu ispasti iz džepova te doći u dodir s jednim ili više fiksnih potencijala.

U skladu s tim, operaterima je strogo zabranjeno nositi zaštitne i sunčane naočale koje imaju metalne okvire i držače [2] .

#### **Korištenje osobne zaštitne opreme**

Operateri određenu OZO koriste na temelju analize opasnosti vodeći računa o mjestu rada i metodi rada koju koriste. To pravilo vrijedi za operatera te za sve one koji se nalaze na mjestu rada.

#### **Zaštita glave**

Glava operatera mora biti zaštićena od posljedice:

- Udaraca
- Električnog udara
- Kratkog spoja

Za zaštitu od udaraca operater koristi zaštitnu kacigu s vezivanjem ispod brade. Za zaštitu od posljedica električnog udara koristi zaštitnu kacigu koja je izrađena od sintetičkog materijala te nema metalnih dijelova i ventilacijskih otvora.

Kratki spoj izaziva drastično povećanje topline, UV zraka i prskanje iskri i komadića materijala. Od topline operatera štite štitnik za lice i zaštitna kaciga koja nema otvore za ventilaciju te se ne otapa usred pojave električnog luka. Od UV zraka štite naočale i štitnik za lice, dok za zaštitu od prskanja komadića materijala štite zaštitne kacige i štitnici za lice.

Dovoljna zaštita glave su zaštitna kaciga sa štitnikom za lice bez ventilacijskih otvora i bez opasnosti od topljenja. Zaštitne naočale su prigodne samo kada se radi s motkama jer je tada

operater zaštićen od topline i prskanja materijala zbog dovoljne udaljenosti od mjesta rada. Također, dovoljne su i kod spajanja i odspajanja instalacija koje su tako projektirane i izvedene da štite operatera od topline i prskanja (redne stezaljke, mjerne priključnice ili odgovarajući pribor s izoliranim kabelima), te prilikom kontakta s izoliranim kabelima i izoliranim kontaktorima.

### **Zaštita tijela**

Operater je dužan nositi zaštitno odijelo koje štiti sve osim glave i šaka. To odijelo ne smije imati nikakvih metalnih zatvarača. Zbog moguće pojave električnog luka, odijelo mora biti prilagođeno i izrađeno od materijala koji se ne topi i koji ne gori. Mješavina pamuka i sintetike može ograničiti učinak električnog luka te spriječiti da se plamen širi.

### **Specifična zaštita s izolacijskim rukavicama**

Za rad pri dodiru, koriste se dodatne rukavice od silikonizirane kože ili se radi s kompozitnim izolacijskim rukavicama [2].



**Slika 2.4.** Operater s osobnom zaštitom opremom za RPN [2]

## 2.4. Vremenski uvjeti na mjestu rada

**Tablica 2.1.** Ograničenja RPN- a za nadzemne vodove niskog napona koja ovise o vremenskim uvjetima [2]

| Uvjeti                                                                | Nadzemni vodovi s neizoliranim vodičima ili nedovoljno izolirani vanjski vodiči | Nadzemni vodovi s izoliranim vanjskim vodičima                                |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Male atmosferske smetnje (bez grmljavine)</b>                      | Radovi mogu biti započeti i završeni.                                           | Radovi mogu biti započeti i završeni.                                         |
| <b>Velike atmosferske smetnje (bez grmljavine i bez jakog vjetra)</b> | Radovi se ne smiju započinjati, ali radni postupci u tijeku mogu se završiti.   | Radovi se ne smiju započinjati, ali radni postupci u tijeku mogu se završiti. |
| <b>Gusta magla</b>                                                    | Radovi se ne smiju započinjati, ali radni postupci u tijeku mogu se završiti.   | Radovi se ne smiju započinjati, ali radni postupci u tijeku mogu se završiti. |
| <b>Jaki vjetar</b>                                                    | Radovi se ne smiju započinjati niti završavati.                                 | Radovi se ne smiju započinjati niti završavati.                               |
| <b>Grmljavina</b>                                                     | Radovi se ne smiju započinjati niti završavati.                                 | Radovi se ne smiju započinjati niti završavati.                               |

**Tablica 2.2.** Ograničenja RPN- a za podzemne električne mreže i unutrašnje instalacije niskog napona koja ovise o vremenskim uvjetima [2]

| Uvjeti                                                      | Podzemne električne mreže i unutrašnje instalacije                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Male ili velike atmosferske smetnje (bez grmljavine)</b> | Rad može biti započet ili završen ako je na mjestima: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Koja su zaštićena od smetnji</li> <li>– Koja su zaštićena od pljuskova kiše i</li> <li>– Koja su dovoljno vidljiva</li> </ul> |
| <b>Gusta magla</b>                                          | Rad može biti započet ili završen ako je na mjestu rada dovoljna vidljivost.                                                                                                                                                 |
| <b>Jaki vjetar</b>                                          | Ne smeta.                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Grmljavina</b>                                           | Rad ne smije biti započet ni završen.                                                                                                                                                                                        |

Potrebno je zadovoljiti i dodatni uvjet temperaturnog učinka. Kod niskih i visokih temperatura operater mora voditi računa o izolaciji jer izolirani kabeli mogu postati lomljivi te narušiti sigurnost.

**Tablica 2.3.** Ograničenja radova na čišćenju koja ovise o vremenskim uvjetima [2]

| <b>Uvjeti</b>                                                                | <b>Vanjske instalacije</b>                      | <b>Unutarnje instalacije</b>                    |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Velike atmosferske smetnje (bez grmljavine), gusta magla, jaki vjetar</b> | Radovi se ne smiju započinjati niti završavati. | Radovi se mogu započinjati i završavati.        |
| <b>Grmljavina</b>                                                            | Radovi se ne smiju započinjati niti završavati. | Radovi se ne smiju započinjati niti završavati. |

### **3. METODE RADA POD NAPONOM**

U tehnologiji rada pod naponom su dostupne tri metode, koje se mogu koristiti zasebno ili u kombinaciji:

1. Metoda rada „na udaljenosti“
2. Metoda rada „u dodiru“
3. Metoda rada „na potencijalu“

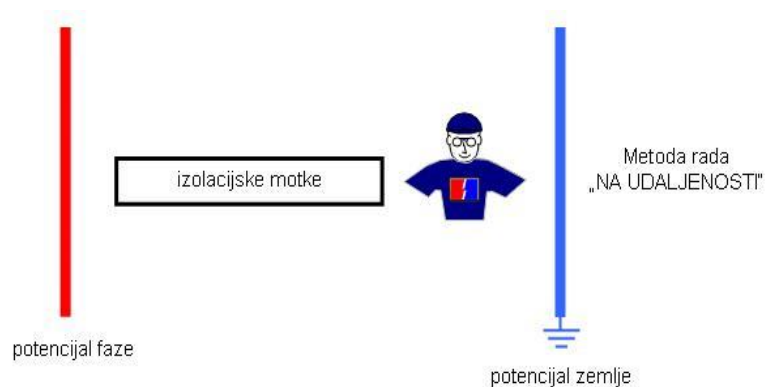
S pojavom tehnologije RPN prva se koristila metoda rada „na udaljenosti“. S vremenom se razvila potreba za drugom metodom, rad u dodiru s izolacijskim rukavicama. S tom metodom operateri na niskom naponu su bili bliže aktivnim vodljivim dijelovima pa su se samim time postrožile mjere sigurnosti, no ta metoda je omogućila jednostavnije i brže obavljanje poslova u RPN. Metoda rada „na potencijalu“ koristi se na srednjem i visokom naponu te će se samo ukratko definirati u nastavku teksta.

#### **3.1. Metoda rada „na udaljenosti“**

Kao što je već rečeno, metoda rada „na udaljenosti“ je bila prva metoda rada pod naponom. Metoda rada „na udaljenosti“ strogo definira potrebne udaljenosti između vodljivih dijelova na različitim fiksnim potencijalima, te i nezaštićenih dijelova tijela operatera i neizoliranih dijelova postrojenja. Ova metoda se u početku koristila na niskom naponu, no pojavom metode rada „u dodiru“ došlo je do promjena. Metoda rada „na udaljenosti“ se sada koristi na SN i VN, dok se metoda rada „u dodiru“ koristi na NN i SN.

Za ovu metodu su strogo definirane potrebne udaljenosti između vodljivih dijelova na različitim fiksnim potencijalima, nezaštićenih dijelova tijela operatera i neizoliranih dijelova postrojenja [1].

Operater stoji izvan MUP- a, osim u slučaju korištenja posebnim izolacijskim sustavima kao što je specijalna autoplatforma s izolacijskim umetkom. Dakle, za rad na aktivnim dijelovima radi pomoću alata koji su učvršćeni na krajevima izolacijskih motki ili užadi. Izoliranost alata ovisi o naponskim razinama dijelova na kojima će operater raditi.



**Slika 3.1.** Zaštitni elementi tijekom RPN u metodi „na udaljenosti“ [1]

Potrebne vrijednosti udaljenosti su izračunate na osnovu izraza iz hrvatske norme HRN EN 50110:2008. MUP ovisi o dvije komponente: naponskoj udaljenosti „t“ i sigurnosnoj udaljenosti „g“ dok im se za razmak između dijelova na potencijalima dodaje 1 dm. Za mjesta gdje nema prikladnih zaštitnih naprava ili gdje se vodljivi dijelovi ne mogu staviti van dohvata koristi se sljedeća formula za izračun naponske udaljenosti [1] :

$$t[m] = 0,005 \left[ \frac{m}{kV} \right] \times U_n[kV]$$

gdje t[m] predstavlja naponsku udaljenost u metrima, a  $U_n$  nazivnu vrijednost napona u kV.

Sigurnosna udaljenost „g“ se određuje kako bi se operater oslobodio od trajnog održavanja naponske udaljenosti „t“ te mogao posvetiti izvođenju radova. Definirana je hrvatskom normom HRN EN 50110:2008:

**Tablica 1.** Vrijednosti sigurnosne udaljenosti u ovisnosti o naponskoj razini [1]

| $U_n$ [kV] | $g$ [m]                 |
|------------|-------------------------|
| <1         | 0,1                     |
| 10         | 0,3                     |
| 20         | 0,3                     |
| 35         | 0,4                     |
| > 35       | 0,5 prema EN 50110:2004 |

MUP se određuje na dva načina, za udaljenosti dijelova na potencijalima zemlje i faze se koristi formula:

$$MUP[m] = t[m] + g[m]$$

dok se za udaljenosti dijelova na različitim potencijalima faza koristi:

$$MUP[m] = t[m] + g[m] + 0,1 \text{ m}$$

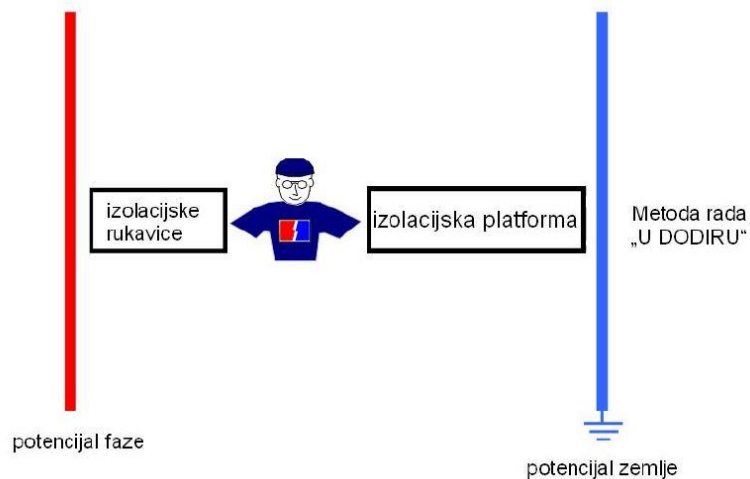
Ono što se može zaključiti je da MUP za niskonaponska postrojenja iznosi 0,30 metara dok za srednjenaponska postrojenja ide u rasponu od 0,40 do 0,60 metara [1].



**Slika 3.2.** Metoda rada na udaljenosti u autoplatforni

### **3.2. Metoda rada „u dodiru“**

Nakon metode rada „na udaljenosti“, uslijedio je razvoj sljedeće metode koja će operaterima omogućiti brži i jednostavniji rad – metoda rada „u dodiru“. Osnovna zaštitna oprema operatera pri ovoj metodi su izolacijske rukavice. S ovom metodom se svakako htjelo približiti operatera postrojenju kako bi se malim alatima i vlastitim parom ruku izvršio posao na puno jednostavniji i brži način bez teških i ponekad nespretnih izolacijskih motki. Istovremeno je prisutna potpuna zaštita od električnog udara i kratkog spoja. Metoda se koristi na niskom naponu do 1000 V izmjenično odnosno 1500 V istosmjerno, no u novije vrijeme počinje se koristiti i na srednjenaponskom nivou zbog ostvarivanja potrebnih uvjeta, uz pomoć izolacijskih platformi. S obzirom na to da je operater smješten bliže postrojenju, bilo je potrebno postrožiti uvjete zaštite te su se postavili potpuno novi kriteriji u izvedbi OZO [1] .



**Slika 3.3.** Zaštitni elementi tijekom RPN u metodi „u dodiru“ [1]

U radu pod naponom izolacijskim rukavicama na niskom naponu do 1000 V izmjenično, i 1500 V istosmjerno vrše se radovi na [3]:

- **neizoliranim vodičima i neizoliranim dijelovima** – RPN kreće onoga trenutka kada operater uđe ili unese svoj alat u prostor manji od 0,30 m
- **izoliranim vodičima** – RPN kreće onoga trenutka kada operater otvara/probija izolacijski plašt na faznom vodiču, ili neutralnom u dodiru s vodičem
- **rad na podzemnim kabelima i rogovima** – u trenutku kada operater krene skidati izolaciju s kabela kreće i RPN
- **rad na opremi (izolacijske spojnice ili kabelske glave)** – RPN započinje uvijek kada operater otvara spojnicu, kabelsku glavu, ili skida i probija njihovu izolaciju
- **rad na nn kabelskim spojnica** - RPN počinje postavljanjem izolacijskog prekrivača u kabelski rov
- **rad na nn opremi (500-1000 V)** – RPN započinje pomicanjem poklopaca, okvira ili metalnih pregrada kako bi se moglo pristupiti aktivnim neizoliranim dijelovima
- **rad na otvorenim kućištima i razvodnim kutijama** – otvaranje i zatvaranje vrata nije radni postupak u RPN. RPN započinje kada operater dođe na udaljenost 0,30 m od aktivnih neizoliranih dijelova

U specijalne vrste radova pod naponom na NN spadaju:

- **pomicanje neizoliranih nadzemnih vodiča**
- **rad na NN dijelu kombiniranog SN/NN stupa gdje je SN po naponom** – kod kombiniranog stupa SN dio ne smije imati niti jedan neispravan izolator, ili da je pokriven nekim stranim tijelom ili odspojen vodič za uzemljenje odvodnika prenapona.
- **čišćenje** – izvodi se vakuumskim čišćenjem odnosno usisavanjem, ispuhivanjem, četkanjem ili čišćenjem pomoću odgovarajućih sredstava za čišćenje. Vodu se na niskom naponu nikada ne smije koristiti



Slika 3.4. Čišćenje transformatorske prostorije u RPN [1]

- **rad s neizolacijskim ili neizoliranim fleksibilnim cijevima** – operater mora voditi računa o cijevima koje koristi za pokretanje alata a koje su u dodiru s neizoliranim aktivnim dijelovima, te poduzeti mjere kao i kod drugih neizoliranih dijelova pod naponom
- **spajanje i odspajanje izoliranih vodiča na priključnicama** – ovakav rad se čak smije obavljati i bez izolacijskih rukavica. Do 500 V izmjenično, istosmjerno >120 V operater smije stezati izoliranu žilu s prikladnim izoliranim i izolacijskim alatom. Pri presjecima vodiča većim od  $2.5 \text{ mm}^2$  ili ako je izolacijski plašt u lošem stanju operater mora koristiti izolacijske rukavice [3]



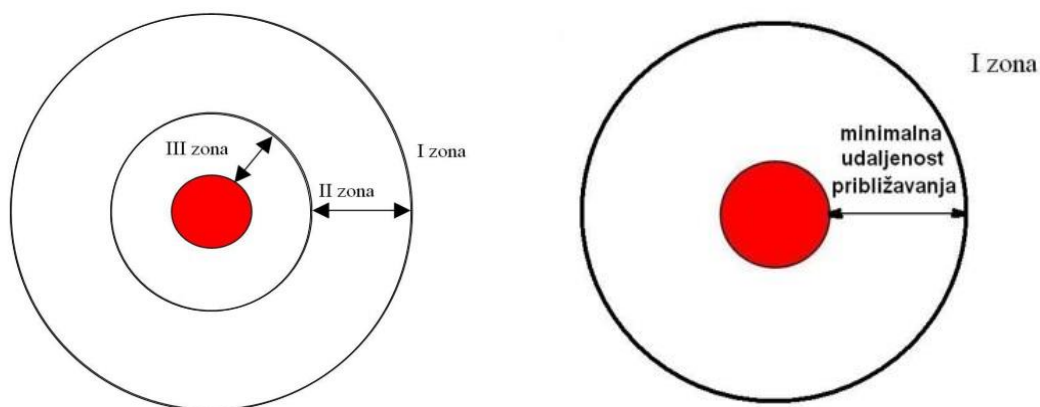
**Slika 3.5.** Operater u RPN izolira vodljive dijelove neizolirane gole mreže [5]

Prilikom rada s izolacijskim rukavicama, operater treba raditi samo na jednom faznom potencijalu, dok sve ostale mora izolirati s izolacijskom opremom.

Definirane su potpuno drugačije zone opasnosti u odnosu na rad u beznaponskom stanju. Dok rad u beznaponskom stanju ima 3 zone opasnosti:

- 3. zona – zona opasnosti oko dijelova pod naponom na udaljenosti manjoj od sigurnosnog razmaka
- 2. zona – zona približavanja i kontrole
- 1. zona – zona slobodnog kretanja u kojoj nisu potrebna posebna upozorenja

u radu pod naponom postoji minimalna udaljenost približavanja dijelovima pod naponom unutar koje je operater dužan upotrebljavati propisanu OZO, izolirani i izolacijski alat, i druga zona koja je jednaka 1. zoni u beznaponskom stanju te vrijede ista pravila.

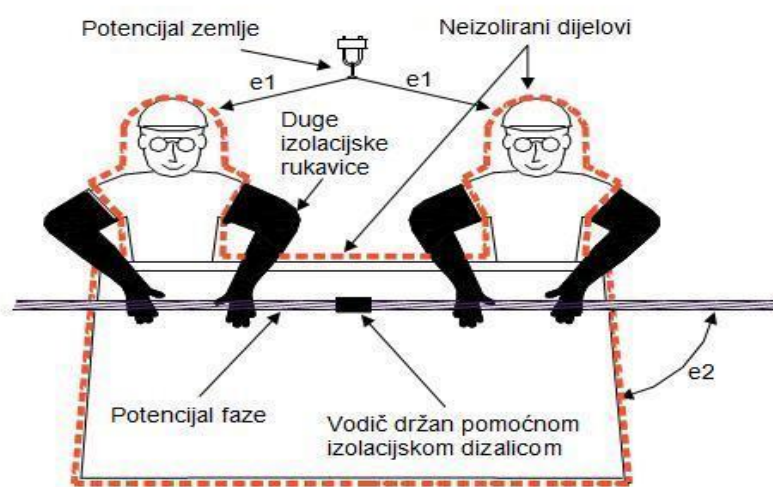


**Slika 3.6.** Raspored zona pri radu u beznaponskom stanju (lijevo) i RPN (desno) [1]

U usporedbi s propisanim iznosima udaljenosti za radu u beznaponskom stanju, MUP je ergonomske puno povoljniji, operateru je omogućeno preciznije korištenje alata i učinkovitiji je rad.

Dakle, tijekom RPN metodom „u dodiru“ operater je dužan koristiti izolacijske rukavice koje su temeljni dio zaštitne opreme za ovu metodu. Rukavice su mu potrebne jer će dodirivati dijelove koji su pod naponom te ga one moraju osigurati od električnog udara. Kao što je definirano u definicijama zona opasnosti, RPN počinje u onom trenutku kada operater uđe unutar MUP- a, i u tom trenutku on mora imati na sebi obučenu osobnu zaštitnu opremu u koje spadaju izolacijske rukavice. Vrsta i stupanj zaštite s izolacijskim rukavicama strogo je prilagođen naponskoj razini postrojenja.

Zona kretanja operatera na niskom naponu u položaju tijela koji je odabrao, određena je mogućim pokretima svih nezaštićenih dijelova tijela koji uključuju i bilo koji neizolirani dio u dodiru s tim dijelovima tijela. U nezaštićene dijelove tijela spadaju svi dijelovi osim ruku jer su one zaštićene izolacijskim rukavicama. Definiran je i prostor kretanja dva operatera. Taj prostor kretanja jednak je zbroju pojedinog prostora kretanja operatera [1].

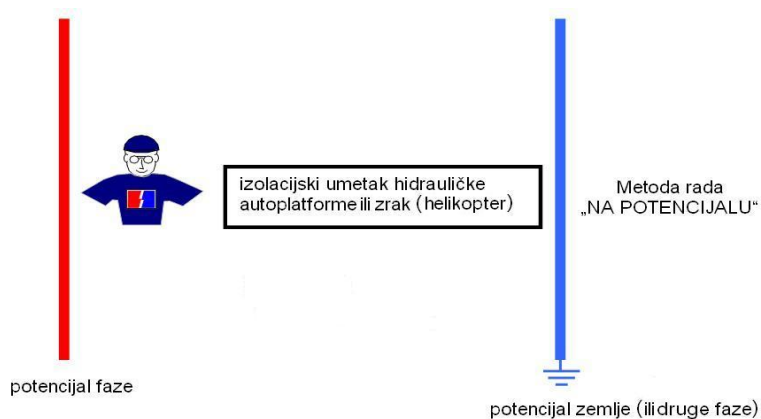


**Slika 3.7.** Zajednička zona 2 operatera i potrebni zaštitni elementi [1]

Pri RPN u metodi rada „u dodiru“ najbitnija zaštita je svakako od električnog udara i kratkog spoja, no ne smije se zanemariti niti mehanička zaštita. Za to služe zaštitne kožne rukavice koje se nazivaju i nadrukavicama, koje se navuku na izolacijske rukavice. Nadrukavice su presvučene sintetičkim slojem koji je mehanički otporan pa se još nazivaju i kompozitne rukavice. Tako kompozitne rukavice štite izolacijske rukavice i ruke operatera od mehaničkih povreda i oštećenja.

### 3.3. Metoda rada „na potencijalu“

Metoda koju se još zna nazivati i kao metoda rada „golim rukama“. Razlika rada operatera s ovom metodom u odnosu na prijašnje dvije je da se ne štite izoliranjem tijela nego se namjerno galvanski vežu s dijelovima na jednom fiksnom potencijalu, nikako više. Od preostalih fiksnih potencijala faza i potencijala zemlje se izoliraju izolacijskim sredstvima za pozicioniranje operatera. Operater se neposredno prije povezivanja na jedan fiksni potencijal nalazi na lutajućem potencijalu jer se sredstvima za pozicioniranje odvojio od fiksnog potencijala zemlje.



**Slika 3.8.** Zaštitni elementi tijekom RPN u metodi „na potencijalu“ [1]

S ovom metodom se radi na naponima većim od 1000 V izmjenično, odnosno 1500 V istosmjerno. Operateri se do napona 72,5 kV koriste specijalnim autoplatformama s izolacijskim umetkom, dok se iznad ovih napona koriste helikopterima, prijenosnim izolacijskim sjedalicama ili podizanjem na vodljivim ljestvama kako bi se pozicionirali na potencijal faze.

Nakon galvanskog spajanja sredstva pozicioniranja i operatera s dijelovima na fiksnom potencijalu faze, rad pod naponom se odvija kao i u beznaponskom stanju. Razlog tome je što se ne osjeti osjećaj prisutnosti visokog napona na vodiču faze ili u specijalnom radnom odijelu uslijed pojave elektromagnetske indukcije. Indukcija se inače javlja zbog blizine postrojenja koje je pod naponom [1].



**Slika 3.9.** Tehnologija RPN metodom „na potencijalu“ [6]

Operateri moraju dobro paziti da osiguraju izolaciju svih ostalih dijelova čiji je fiksni potencijal različit od onog na kojem se radi i na koji je operater galvanski vezan. Moraju paziti i da ne stvore uvjete za preskok električnog luka svojim tijelom ili dijelovima alata, jer to bi dovelo do poništavanja izolacije postrojenja i posljedice bi bile katastrofalne.

Specifična oprema za ovu metodu je zaštitno odijelo. Na visokom naponu, vodljiva odjeća i obuća su zaštita koja se temelji na principu Faradayevog kaveza. Radno odijelo koje se sastoji iz više dijelova (odijelo, kapuljača sa šiltom...) izrađeni su od tekstila koji je protkan metalnim nitima, srebro ili neke slitine aluminija, a svi dijelovi vodljivog odijela su međusobno galvanski povezani. U cjelinu s odijelom veže se i radna obuća s metalnim umetcima. Te protkane niti, srebro ili slitine aluminija u odjeći i obući štite operatera od djelovanja električnog polja. Svu induciranu struju zatvara na vanjskoj površini odijela i iz tog razloga operateri ne osjete nikakva peckanja na koži. Izrada i daljnje razvijanje ove opreme je kompleksna i vrlo stroga, svi zahtjevi su navedeni u normi HRN EN 60895:2008. U normi stoji kako cijeli komplet vodljive odjeće i obuće čine i vodljive čarape, navlake za vanjske cipele te elektrode s hvataljkom kojima se kontinuirano izjednačava potencijal vodljivog odijela i postrojenja koje je pod naponom. Ovo su osnovni zahtjevi koje vodljiva oprema mora zadovoljiti [1]:

1. mali električni otpor i antistatičnost
2. funkcija ekrana za elektromagnetsko polje i parcijalna izbijanja
3. izdržljivost na deranje i habanje
4. nezapaljivost
5. ergonomija



**Slika 3.10.** Tehnologija RPN metodom „na potencijalu“ uz pomoć helikoptera [7]

## 4. ALATI I OPREMA

I u RPN kao i u radu beznaponskom stanju koristi se mnoštvo opreme. Razlika je u tome da se alat i oprema za RPN izrađuje i ispituje puno detaljnije i sigurnije nego pri radu u beznaponskom stanju. Norme su puno strože te ako alat i oprema ne zadovolji jedan od mnoštva ispitivanja automatski se mora isključiti iz uporabe u radu pod naponom. Alat i oprema koji više ne zadovoljavaju RPN i dalje se smije koristiti u beznaponskom stanju, ali ne i obrnuto.

Na niskonaponskim postrojenjima su od zaštitne opreme svakako najbitnije izolacijske rukavice, kompozitne rukavice ili kožne rukavice, zaštitna kaciga, zaštitno radno odijelo i izolacijske cipele. Od alata, operater mora koristiti izolirani i izolacijski alat [1] .



**Slika 4.1.** Zaštitna oprema i alat za rad pod naponom na niskom naponu

Izolacijske rukavice su klasificirane prema naponskim razinama postrojenja. Na području Hrvatske vrijedi norma HRN EN 60903:2007, koja definira da rukavice za niski napon moraju biti minimalno klase 00 za postrojenja do 500 V izmjenično, odnosno klase 0 za postrojenja od 500 V (750 V istosmjerno) do 1000 V (1500 V istosmjerno) izmjenično. Klase 1, 2, 3 i 4 koriste se na postrojenjima srednjeg napona. Za niski napon ne postoje jer bi bile u potpunosti neupotrebljive [1] .

**Tablica 4.1.** Klase izolacijskih rukavica prema naponskim razinama i ispitni naponi [1]

| <b>Klasa izolacijske rukavice</b> | <b>Nazivni<br/>izmjenični/istosmjerni<br/>napon upotrebe [kV]</b> | <b>Ispitane<br/>izmjeničnim/istosmjernim<br/>naponom [kV]</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>00</b>                         | 0,5/0,75                                                          | 2,5/4                                                         |
| <b>0</b>                          | 1/1,5                                                             | 5/10                                                          |
| <b>1</b>                          | 7,5/11,25                                                         | 10/20                                                         |
| <b>2</b>                          | 17/25,5                                                           | 20/30                                                         |
| <b>3</b>                          | 26,5/39,75                                                        | 30/40                                                         |
| <b>4</b>                          | 36/54                                                             | 40/60                                                         |

Izolacijske rukavice se u svakodnevnoj moraju vizualno pregledavati. Operater se prije korištenja mora uvjeriti da ne postoje oštećenja, tako da ih napuhne zrakom i prati ispušta li se upuhani zrak. Prilikom vizualnog ispitivanja potrebno je obratiti pažnju na:

- pukotine i posjekotine do kojih dolazi prilikom savijanja
- oštećenja u obliku plika, najčešće uzrokovana uljima i naftnim derivatima
- mrlje koje nastaju zbog prolaska ulja i naftnih derivata kroz kožne nadrukavice
- rupe koje nastaju prodorom drvenih i metalnih dijelova
- raspadanje zbog duže izloženosti UV zračenju
- oštećenja nastala termičkim naprezanjima zbog trenja
- oštećenja nastala zbog oksidacije unutarnje stjenke rukavice
- oštećenja u obliku zaostalih drvenih i metalnih ivera.

Za zaštitu glave i lica koriste se kacige s viziorom za RPN. Te kacige moraju zadovoljavati sljedeće:

- izrađene su prema europskoj normi EN 397:1995 uz obavezan dodatak vatrootpornog vizira koji se ne može deformirati te se može integrirati u školjku kacige, ili je u obliku vanjskog dodatka za kacigu
- vizir mora biti konveksan i oblikovan tako da ne može doći do zamagljivanja, te imati svojstvo filtriranja UV zračenja
- vizir ne smije biti predugačak kako ne bi došlo do vrtloženja zraka ispod vizira
- školjka mora pružiti kvalitetnu razinu zaštite od mehaničkih rizika i ne smije posjedovati rupice za ventilaciju
- ne smije imati izložene metalne dijelove.



**Slika 4.2.** Kacige s vizirom za RPN [1]

Zaštitno radno odijelo za RPN ne razlikuje se previše od običnih, ali mora biti izrađeno od vatrootpornog materijala, ne smije sadržavati nikakav metal i ne smije imati ventilacijske rupice. Također ovratnik mora biti dovoljno visok te rukavi moraju biti izvedeni na način koji omogućuje učvršćivanje kraja rukava na zapešću [1].

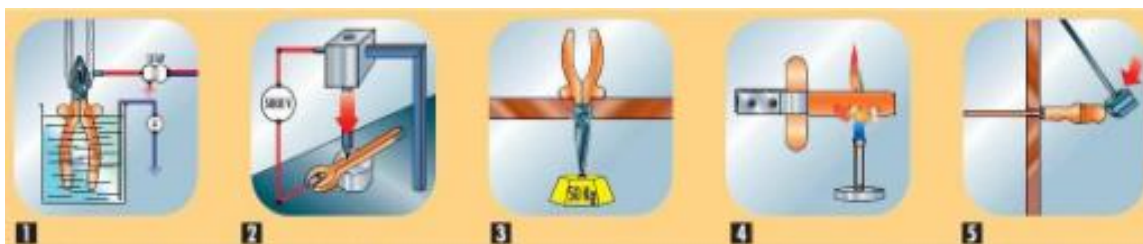
Izolirani i izolacijski alati izrađuju se prema hrvatskoj normi HRN EN 60900:2007. To je ujedno i posljednja razina zaštite operatera i postrojenja tijekom RPN na niskom naponu. Izolacijski i izolirani alati se razlikuju u tome što su izolacijski alati u potpunosti izrađeni od sintetičkih izolacijskih materijala i što nemaju apsolutno nigdje izložen vodljivi dio koji bi uzrokovao kratki spoj. Izolirani alat pak izgleda kao i sav obični, izrađen je od metala na koji su zatim nanosena 2 sloja izolacijskih materijala [1] .



**Slika 4.3.** Izolacijski i izolirani alat [1]

Svaki sloj ima svoju ulogu – unutarnji sloj je deblji, mekši i svjetlije boje i zadaća mu je osigurati dielektričku zaštitu operateru, dok je vanjski tanji, tvrdi i tamnije boje i zadaća mu je mehanički zaštititi unutarnji sloj od oštećenja [1] .

Prema načinu i tehnologiji izrade izoliranih alata razlikuju se alati čija se izolacija nanosi uranjanjem metalnog dijela u tekuću izolacijsku masu, te izolirane alate čija se izolacija nanosi visokotlačnim brizganjem izolacijske mase oko metalnog dijela. Operateri preferiraju verziji s brizganom izolacijom jer im je jednostavnije njima baratati u užim dijelovima postrojenja [1].



**Slika 4.4.** Vrstе ispitivanja izoliranog alata za RPN tijekom proizvodnje [1]

Osim ovog standardnog, u radu pod naponom koristi se još mnoštvo alata od kojih su neki kompleksniji. Od ostatka opreme treba spomenuti sigurnosni pojas (obavezno ga je imati na pri radu na visini), savitljivi pokrivači s ljepljivim trakama, izolacijske kapice, izolacijske motke (koriste se na SN u metodi rada na udaljenosti i pri čišćenju na NN), jednopolni i trolejni prekidač s premosnicama, više vrsta premosnica, hidrauličnu prešu, izolacijsko postolje, mjerne instrumente...

#### 4.1. Laboratorijsko ispitivanje alata i opreme

Sav alat i oprema koja se koristi za RPN mora biti odobrena od nadležne službe. Odmah nakon proizvodnje, alat i oprema moraju biti podvrgnuti tipskom i komadnom ispitivanju. Posebno su označeni te odgovaraju svim važećim normama koje ih se dotiču. Svaki alat predviđen za RPN mora imati list s tehničkim podacima koji se treba nositi i na mjesto rada. Za razliku od SN i VN područja koji koriste samo izolacijski alat, u NN je dozvoljeno koristiti i izolirani alat. Izolacijski alat je u cijelosti izrađen od izolacijskih materijala uz mogućnost metalnih umetaka [1]. Svaki alat sadrži isti znak koji označava da je oprema za RPN (slika 4.5.).



**Slika 4.5.** Primjer izolacijskih rukavica klase 00 za RPN [5]

Uglavnom proizvođači rade alat u dva sloja boje da se, ako dođe do oštećenja, vidi druga boja što je razlog da se alat izuzme iz korištenja u radu pod naponom. Izolirani alat je dijelom ili u potpunosti pokriven izolacijskim materijalom. Na mjestu rada, prije početka, operater je dužan vizualno provjeriti sav alat i opremu [1]. Osim toga, alat i oprema se jednom godišnje moraju ispitivati u ispitnom laboratoriju koji vode kvalificirane osobe za taj rad. U ispitnom laboratoriju su podvrgnuti vizualnom pregledu, električkom ispitivanju i mehaničkom ispitivanju. Na području Hrvatske se oprema najčešće šalje u HEP - NOC (Nastavno - obrazovni centar) ispitni laboratorij koji se nalazi u Velikoj.



**Slika 4.6.** Kontrolno ispitni laboratorij u HEP – NOC [8]

Na slici 4.5. se vidi oznaka s 2 trokuta koju posjeduje sva oprema i alat za rad pod naponom. Na opremi su i oznake klase, datum proizvodnje, naziv proizvođača itd. Nakon što se svaki alat posebno ispita, ispitivač zapisuje rezultate te je dužan obavijestiti vlasnika opreme je li oprema i dalje spremna za RPN ili ju je potrebno ukloniti iz daljnje uporabe.

Od opreme se ispituju izolacijske rukavice (slika 4.7.), cipele i čizme za RPN (slika 4.8.), izolacijske motke, motke za uzemljenje i kratko spajanje, indikatori napona, izolacijske zaštitne ploče i zaštitne pregrade, izolacijska kliješta za osigurače itd.



**Slika 4.7.** Laboratorijsko ispitivanje izolacijske rukavice [5]

Izolacijske rukavice se ispituju tako da se iznutra ispuni vodom do visine 5 – 8 cm od kraja rukavice koji mora biti suh te se rukavica uroni u posudu s vodom. Suhi dio se samo vizualno pregledava. Voda s vanjske i unutrašnje strane predstavlja elektrode, kao što to čine i metalne kuglice promjera do 1 cm. Vodič unutar posude je na potencijalu zemlje, a vodič unutar rukavice je na 2,5 kV. U mjernom krugu se nalazi vrlo precizan miliampermetar koji je spojen u seriju s vodičem elektrode na potencijalu zemlje. Za mjerenje se mogu koristiti i precizna strujna mjerna kliješta postavljena oko vodiča elektrode koja je na zemljinom potencijalu.

Na sličan način se ispituju i izolacijske cipele, samo što se umjesto vode koristi sačma kojom se ispuni unutrašnjost izolacijske cipele.



**Slika 4.8.** Laboratorijsko ispitivanje zaštitnih cipela [1]

## **4.2. Metode ispitivanja, validacija i mjerna nesigurnost [4]**

### **1. Svrha i primjena**

Svrha ove procedure je:

- a) definirati opće uvjete ispitivanja izolacijskih motki (šupljih i punjenih pjenom) i štapova (punog presjeka)
- b) validirati odabrani postupak ispitivanja i rezultate ispitivanja
- c) iskazati mjernu nesigurnost rezultata

### **2. Dijelovi procedure**

P7-14A ISP 02 Ispitivanje izolacijskih motki za rad pod naponom

P7-14B Validacija

P7-14C Mjerna nesigurnost

### **3. Vezani dokumenti**

Z7-19-01 Radni list ispitivanja

Z7-17-02 Ispitni izvještaj pojedinog uzorka

### **4. Opis procedure**

#### **P7-14A ISP 02 Ispitivanje izolacijskih motki za rad pod naponom**

Ispitna metoda s oznakom ISP O2 je normirana metoda i identična za ispitivanje alata prema: HRN EN 60832:2008, HRN EN 60855:2008, HRN EN 61235:2008 i HRN EN 62193:2008

#### **a) REFERENCE [9]**

- HRN EN 60832-1:2011 “Izolacijske motke i pričvrstive naprave za rad pod naponom – 1. dio: Izolacijske motke (IEC 60832-1:2010, EN 60832-1:2010)”
- HRN EN 60855-1:2017: “Izolacijske cijevi punjene pjenom i krute motke – 1. dio: Cijevi i motke kružnog presjeka (IEC 60855-1:2016, EN 60855-1:2017)”, točka 11
- HRN EN 61235:2008: “Rad pod naponom - Izolacijske cijevi bez ispune za električne svrhe (IEC 61235:1993, MOD; EN 61235:1995)”, točka 12
- HRN EN 62193:2008: “Rad pod naponom - Teleskopski štapovi i teleskopski mjerni štapovi (IEC 62193:2003; EN 62193:2003)” točka 6.2.1. i 6.2.4.

#### **b) PROVEDBA AKTIVNOSTI**

##### **Vizualni pregled**

- Uzorak se vizualno pregleda kako bi se otkrile konstrukcijske ili funkcionalne greške .

- Vanjska površina mora imati hidrofobna (svojstvo materijala koji odbija vodu) svojstva.
- Vanjska i unutarnja površina ne smiju imati oljuštrenje, površinska oštećenja kao ogrebotine, nagnječenja, raslojavanje, izložena vlakna i površinska oštećenja koja mogu zahvatiti nečistoće te time smanjiti dielektričnu čvrstoću .

Nakon provedbe vizualnog pregleda u zapis Z7-19-01 u stupcu „Vizualni pregled“ upisuje se DA ako je uzorak zadovoljio navedene uvjete, a NE ako nije. Ako je ocjena NE tada uzorak nije potrebno izlagati dielektričnom ispitivanju, već takav uzorak dobiva ocjenu „NIJE ZADOVOLJIO“.

Na osnovu vizualnog pregleda popunjava se i zapis Z7-17-02.

### **Električna ispitivanja**

- Priprema motke za ispitivanje je isto kao i priprema motke za upotrebu.
- Postaviti elektrode na razmak od 300 mm
- Obratiti pozornost da se ispita svaka sekcija izolacijske motke.
- Naizmjenice spojiti potencijal faze i potencijal zemlje na elektrode (na prvu elektrodu potencijal zemlje, na drugu potencijal faze, na treću potencijal zemlje, na četvrtu potencijal faze ...).
- postupnim povećavanjem narinuti napon od 100 kV efektivno, frekvencije 50 Hz u trajanju od 60 sekundi.

Motka je ispravna ako su tijekom ili nakon provedbe testa zadovoljeni sljedeći uvjeti:

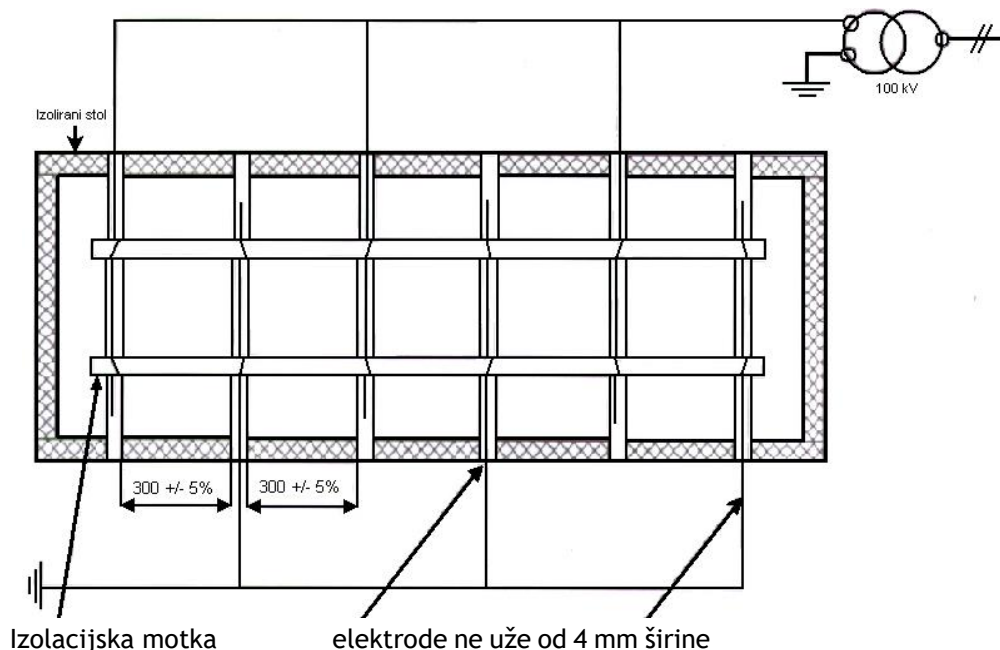
- nema preskoka, pojave bljeska (iskre) ili proboja
- nema vizualnih tragova “puzanja” ili erozije na površini
- nema osjetnog povećanja temperature sekcija ispitnog uzorka.

### **Zapis o ispitivanju**

Zapis Z7-19-01 Radni list ispitivanja koristimo pri ispitivanju i on je izvorni rukom pisani zapis u kojem se nalaze svi podatci, (interne oznake, vizualni pregled, električna ispitivanja, zabilješke i napomene) vezane za pojedine uzorke tijekom ispitivanja. Nakon provedbe električnog ispitivanja u zapis Z7-19-01 upisati u odgovarajuće stupce DA ako je uzorak zadovoljio navedene uvjeta, NE ako nije. Ako je u svim stupcima ocjena DA, onda je konačna ocjena DA i uzorak dobiva oznaku „ZADOVOLJIO JE“.

Zatim se tako ispunjeni zapis prepisuje u bazu podataka, a izvorni rukom pisani zapis se arhivira u „Mapu 18 Evidencija zapažanja pri ispitivanju“. Tako arhivirani zapisi u arhivi moraju biti 5 godina.

Na osnovu električnog ispitivanja popunjava se i zapis Z7-17-02.



#### P7-14B Validacija

Laboratorij upotrebljava standardnu laboratorijsku ispitnu proceduru definiranu relevantnim normama (rad bez upotrebe nestandardnih procedura, procedura koje je specijalno razvio sam laboratorij ili upotrebe standardnih procedura izvan opsega njihove primarne namjene), te nema potrebu posebne validacije.

#### P7-14C Mjerna nesigurnost

##### 1. Mjerna nesigurnost za ispitnu metodu „**ispitivanje izolacijskih motki za rad pod naponom**“

Pri utvrđivanju ispravnosti izolacije alata za rad pod naponom, mjerna nesigurnost je sastavni dio rezultata ispitivanja koji se može izračunati na osnovi iskustvenih vrijednosti i eksperimentalnih mjerenja uz promjenu parametara koji utječu na rezultanto električko polje (to su napon između elektroda i udaljenost između elektroda). Međutim, budući da se ispitnom metodom ne iskazuje (mjeri) brojčana vrijednost, već je mjerni rezultat logička vrijednost DA/NE, odnosno ZADOVOLJIO JE/NIJE ZADOVOLJIO ovdje govorimo o vjerojatnosti

ispravnosti rezultata, odnosno kako se rezultat nalazi u određenom razredu točnosti s odabranom vjerojatnošću.

Objekt ispitivanja su izolacijske motke (šuplje i ispunjene pjenom) i štapovi (punog presjeka). Metoda ispitivanja štapova i cijevi sastoji se od dijelova: vizualna i funkcionalna provjera, te dielektričko ispitivanje.

U prvom dijelu ispitivanja odnosno pri vizualnoj i funkcionalnoj provjeri nesigurnost može potjecati jedino od ispitivača koji vrši vizualnu i funkcionalnu provjeru, pošto se ne vrši nikakvo mjerenje. Ta nesigurnost se ne može brojčano iskazati jer je isključivo subjektivna i opisnog je karaktera.

Dielektričko ispitivanje provodi se tako da se alat postavi na propisani način u ispitni stol, elektrode se nalaze na svakih 300 mm i spojene su na izvor napona efektivne vrijednosti od 100 kV, 50 Hz, te se izolacijski segmenti alata istomu izlažu u vremenskom trajanju od 1 minute. Pri dielektričkom ispitivanju bilježi se trenutna vlaga i temperatura u prostoru u kojem se obavlja ispitivanje, mjeri se vrijeme trajanja izloženosti alata naponu. Nakon provedenoga ispitivanja ponovno se vrši vizualna provjera ispravnosti alata.

Ova metoda ispitivanja nema funkcijsku ovisnost rezultata o ulaznim parametrima, a rezultat ispitivanja se iskazuje u logičkom obliku što znači da je on ili pozitivan ili negativan: DA/NE, odnosno ZADOVOLJIO JE/NIJE ZADOVOLJIO. Ne može se razviti matematički model za procjenu mjerne nesigurnosti rezultata ispitivanja, stoga je laboratorij napravio popis parametara od kojih se može očekivati da imaju značajan utjecaj na nesigurnost, te je procijenio njihov utjecaj na ukupnu nesigurnost.

Mjerna nesigurnost može se izraziti u relativnom obliku odnosno u postocima sigurnosti da će ispitna metoda dati ispravan rezultat, što nazivamo razinom povjerljivosti u mjernu metodu.

### **Procjena mjerne nesigurnosti Tipa A**

U mjernu nesigurnost tipa A ulazi utjecaj odstupanja napona koji je isključivo posljedica kolebanja napona mreže iz koje se sustav napaja, odnosno utičnice.

Procjena mjerne nesigurnosti Tipa A dobije se statističkom obradom eksperimentalnih podataka. Za potrebe iskaza ovog dijela mjerne nesigurnosti treba provesti minimalno 10 mjerenja uz namjerno variranje napona na elektrodama u granicama kolebanja mrežnog napona napajanja (otprilike do 2 %).

U tablici su prikazani rezultati mjerenja napona mrežnog napajanja pri ispitivanju 15 alata.

| Broj šipke | Izmjereni napon mrežnog napajanja [kV] |
|------------|----------------------------------------|
| 1.         | 99,90                                  |
| 2.         | 99,80                                  |
| 3.         | 99,85                                  |
| 4.         | 99,87                                  |
| 5.         | 100,50                                 |
| 6.         | 100,30                                 |
| 7.         | 100,20                                 |
| 8.         | 100,40                                 |
| 9.         | 99,85                                  |
| 10.        | 100,00                                 |
| 11.        | 100,00                                 |
| 12.        | 100,10                                 |
| 13.        | 100,20                                 |
| 14.        | 99,90                                  |
| 15.        | 99,95                                  |

Eksperimentalnu standardnu devijaciju napona mrežnog napajanja dobijemo preko jednadžbe:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Eksperimentalna standardna devijacija napona mrežnog napajanja iznosi  $s_A = 0,219$  kV

### Procjena mjerne nesigurnosti Tipa B

Procjena mjerne nesigurnosti Tipa B dobiva se iskustvom, analizom ispitivanja, analizom prijašnjih podataka, te iz umjernih izvještaja ispitne i mjerne opreme.

Utjecaj nesigurnosti dobivene iz tehničkih podataka o mjernoj konzoli:

Prva sastavnica mjerne nesigurnosti B tipa je klasa točnosti mjerne konzole koja iznosi  $\pm 0,5\%$ , umjeravanjem je potvrđeno odstupanje od  $\pm 0,1 \%$  što za vrijednosti u predmetnom ispitivanju rezultira procijenjenom mjernom nesigurnošću od  $s_{B1}=0,05 \text{ kV}$ .

Utjecaj nesigurnosti dobivene iz tehničkih podataka o upravljačkoj konzoli:

Druga sastavnica mjerne nesigurnosti B tipa je klasa točnosti upravljačke konzole koja iznosi  $< 2\%$ , što za vrijednosti u predmetnom ispitivanju rezultira maksimalnom procijenjenom mjernom nesigurnošću  $\pm 1,99\%$  odnosno  $s_{B2}=1 \text{ kV}$ .

Treća sastavnica mjerne nesigurnosti B tipa je mjerna nesigurnost kapacitivnog djelila (uključujući i kapacitet spojnog koaksijalnog kabela), odnosno prijenosnog omjera koja se očitava iz umjernog izvještaja. Procijenjeni postotni doprinos kapacitivnog djelila mjernoj nesigurnosti napona iznosi  $\pm 1,58 \%$ , odnosno  $s_{B3}=0,79 \text{ kV}$  prema važećoj formuli i podacima umjernog izvještaja.

Sve sastavnice mjerne nesigurnosti B tipa računaju se prema izrazu:  $s_{Bx} = (U_{srx} \cdot r\%) / 100 \% \cdot k$ , gdje su:  $U_{srx}$  srednja vrijednost napona umjeravanja,  $r\%$  postotna mjerna nesigurnost iz umjernice ili tehničke dokumentacije uređaja,  $k$  koeficijent razdiobe.

### **Ostale napomene**

Laboratorij je procijenio da udaljenost među elektrodama nema značajan utjecaj na mjernu nesigurnost jer se isti drži konstantnim (težinski faktor je 0). Također, laboratorij je procijenio kako temperatura i relativna vlaga ne utječu na mjernu nesigurnost ispitnog napona (u konačnici i el. polja- njihov težinski faktor iznosi 0). Ispitivanje se vrši u normalnim atmosferskim uvjetima, a radi osiguranja provedbe ispitivanja u normom propisanim atmosferskim uvjetima ispitne prostorije (opisano u proceduri P7-12B) raspon dozvoljene temperature i relativne vlažnosti zraka sužava se za vrijednosti mjerne nesigurnosti dane u umjernim izvještajima termometra i higrometra (npr. za normom dozvoljenih  $18-28^{\circ}\text{C}$  uz podatak proširene mjerne nesigurnosti termometra od  $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$  određuje ispitivanje u uvjetima  $18,6 - 27,4^{\circ}\text{C}$ , i npr. uz podatak mjerne nesigurnosti higrometra od  $\pm 2,4 \%$  npr. za dozvoljenih  $45 - 75 \%$  r. h. određuje ispitivanje u uvjetima  $47,4 - 72,6\%$ .)

Laboratorij je također procijenio kako parametar vremenski period trajanja izlaganja alata propisanom naponu nema utjecaj na mjernu nesigurnost odnosno pouzdanost ispitne metode (težinski faktor je 0).

**Težinski faktor temperature, relativne vlažnosti zraka, udaljenost između elektroda i vrijeme ispitivanja je 0 i prema tome oni ne čine sastavnice (utjecajne parametre) mjerne nesigurnosti napona.**

### **Sastavljena mjerna nesigurnost utjecajnih parametara**

Prema formuli  $u_c = \sqrt{(s_A^2 + s_{B1}^2 + s_{B2}^2 + s_{B3}^2)}$  sastavljena mjerna nesigurnost iznosi

$$u_c = 1,2908 \text{ kV}$$

### **Proširena mjerna nesigurnost utjecajnih parametara**

Uz vjerojatnost rezultata  $P=95\%$  faktor pokrivanja je  $k=2$ . Sada možemo izračunati proširenu mjernu nesigurnost  $U$  prema jednadžbi:  $U = u_c * k$

proširena mjerna nesigurnost  $U$ ,  $k=2$ ,  $P=95\%$ ,  $U=2,5816 \text{ kV}$

### **Zaključak**

Uzevši u obzir sve dostupne podatke o utjecajnim parametrima postotak pouzdanosti ispitne metode iznosi 97,9 % [5].

|                 |                                    |                                  |
|-----------------|------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Z7-17-02</b> | Ispitni izvještaj pojedinog uzorka | Datum: 26/06/2009                |
| Izdanje: 02     |                                    | HEP NOC - KIL<br>Stranica 1 od 1 |



**Ispitni izvještaj broj: 1/15**

|                  |                        |                 |             |
|------------------|------------------------|-----------------|-------------|
| Naručitelj       | ELEKTRODALMACIJA SPLIT | Adresa          |             |
| Telefon          |                        | Fax             |             |
| e-mail           |                        | OIB:            |             |
| Broj dostavnica: | 01/15                  | Datum primitka: | 12.01.2015. |

**Uzorak Izolacijska motka**

|                            |                         |                     |             |
|----------------------------|-------------------------|---------------------|-------------|
| Interna oznaka             | IM/1.5/36/8365/1/15     | Proizvođačka šifra  | CF-5        |
| Proizvođač                 | Catu                    | Godina proizvodnje  | -           |
| Stanje uzorka              | Korišten                |                     |             |
| Ispitni napon              | Uisp 100 kV             | Datum izvještaja    | 13.01.2015. |
| Oznaka upotrebljene metode | HRN EN 61235:2008 t. 12 | Struja odvoda (mA): | N/A         |

**Uzorak u skladu s normom HRN EN 61235:2008 t. 12**

**ZADOVOLJIO JE ispitivanje**

|                   |                              |                                    |                                |
|-------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Datum ispitivanja | 13.01.2015.                  |                                    |                                |
| prilozi           | Radni list ispitivanja 01/15 |                                    |                                |
| Ispitao           | Zoran Jogun                  | Odobrio Rukovoditelj Laboratorija: | Vladimir Caha, univ. spec. el. |

**Slika 4.9.** Primjer popunjenog ispitnog izvještaja HEP - NOC

## 5. OBUKA ZA RAD POD NAPONOM

Obuka za rad pod naponom odvija se u HEP nastavno obrazovnom centru u Velikoj. Operateri prisustvuju dvotjednoj obuci koja se dijeli na teorijski i praktični dio. Prvi tjedan operateri slušaju teorijski dio koji predaje kvalificirani instruktor za održavanje obuke RPN za niski napon. U prvom tjednu obuke su osim slušanju teorije operateri izloženi testiranjima kako bi se ustanovilo njihovo predznanje, i ako je to potrebno, osvježilo. Svako predavanje operateri paralelno prate s HEP- ovim biltenima koji detaljno opisuju tehnologiju rada pod naponom.

Uglavnom svi operateri imaju puno iskustva s obzirom na to da godinama već rade u beznaponskom stanju. Do malih poteškoća može doći kada imaju loše navike koje treba ispraviti. U grupama budu 4 do 8 polaznika kako bi se omogućio i individualni pristup instruktora.



**Slika 5.1.** Izmjena radne stezaljke u sklopu obuke u učionici HEP - NOC

U drugom tjednu nakon obavljanja teorijskog dijela i upoznavanja s opremom i alatom, operateri pristupaju praktičnom dijelu. U praktičnom dijelu obavljaju uglavnom jednostavnije zahvate u metodi RPN u učionici i na poligonu u Velikoj. Prije svake vježbe operateri pišu pripremu, te nakon svake obavljene vježbe izvještaj. Operateri koji su pristupili obuci počinju s nešto jednostavnijim vježbama kao što je zamjena redne stezaljke. Zatim obavljaju popravak kabela, nadzemnog voda, spajaju kućni priključni ormarić na samonosivi kabelski snop (u daljnjem tekstu SKS), obavljaju izmjenu izolatora itd.

Nakon određenog vremena instruktori i ispitivači izlaze s operaterima na teren te tamo obavljaju završni ispit.



**Slika 5.2.** Spajanje novog kućnog priključnog ormarića na SKS

### **5.1. Organizacijska priprema i radna dokumentacija**

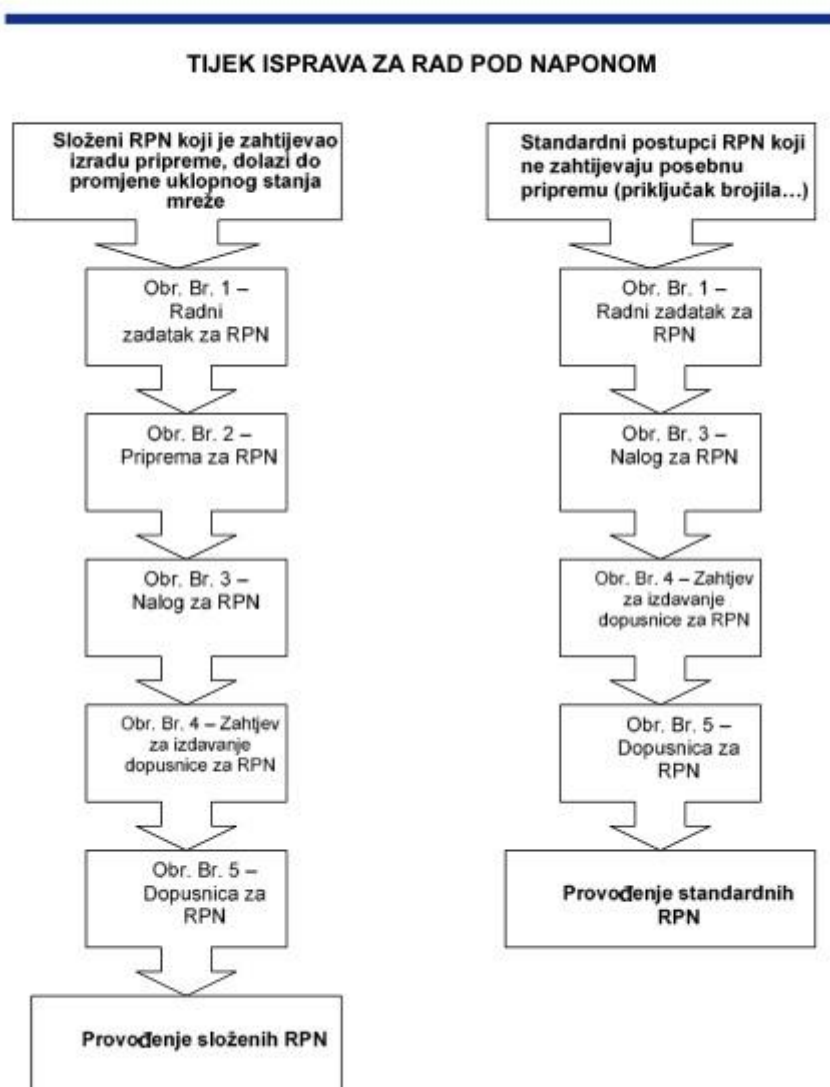
Prije početka svakog rada operator mora dobiti informacije koje su potrebne za izvođenje rada i informacije o mogućim opasnostima. Informacije se odnose na identifikaciju opreme ili instalacije, karakter posla koji se treba obaviti i treba li koristiti specijalnu opremu, okolinu i mogućnost pristupa mjestu rada, stanje mreže odnosno iz kojeg izvora se napaja te kakvo opterećenje se može pojaviti te postupak u slučaju ozljede [3].

Pri dolasku na mjesto rada rukovoditelj radova mora identificirati konfiguraciju mreže, instalaciju ili opremu na kojoj se treba raditi. Nakon identifikacije slijedi analiza potrebnog rada te potencijalne opasnosti u smislu potrebnih radnih postupaka, karaktera opreme, okoline i raspoloživosti specijalne opreme. Nadalje, rukovoditelj radova svim operaterima zajedno treba dati informacije o mjestu rada, o redoslijedu postupaka na radu i uvjetima pod kojima će se koristiti alat i oprema. Operateri su dužni potvrditi rukovoditelju da su razumjeli i primili sve informacije o radnom zadatku.

Prilikom pripreme radnog mjesta rukovoditelj radova treba biti siguran da je radni položaj svakog operatera stabilan, odnosno da imaju čvrsti oslonac. Potrebno je odrediti prostor za alat i opremu, kao npr. položaj auto korpe ili ljestava, servisnog užeta i užadi za manevriranje te položaj ostalih vozila. Ako je potrebno, postavlja se cerada na tlo. To se prakticira zbog sprječavanja oštećenja alata i njegove čistoće. [3]

Zatim je rukovoditelj ili netko od operatera dužan postaviti signalizaciju kako bi se spriječio neovlašteni pristup mjestu rada. Postavlja mjere da spriječi moguće opasnosti dodira s aktivnim neizoliranim dijelovima i svim naponskim razinama na kojima se u blizini ne radi, tako da se stave aktivni neizolirani dijelovi izvan dodira, ili izoliraju izolacijskim fleksibilnim prekrivkama za izolatore i vodiče. [3]

Prije početka uvjeriti se da svaki operater u timu zna svoj zadatak. Ako dođe do prekida rada, prije početka ponovnog rada rukovoditelj se mora uvjeriti da su sve mjere koje su provedene na početku rada još uvijek aktivne i da se rad može nastaviti. Sva ova procedura popraćena je radnom dokumentacijom (slika 5.3.).



**Slika 5.3.** Tijek isprava za rad pod naponom [3]

Iz tijeka isprava vidljivo je da se standardni i složeni postupci razlikuju u jednom koraku. Kod standardnih jednostavnijih postupaka rada pod naponom nije potreban obrazac br. 2 s pripremom za RPN [3]. Svaki od obrazaca je specifičan na svoj način:

1. Obrazac br. 1. RADNI ZADATAK ZA RAD POD NAPONOM – ide rukovoditelju radova, u njemu se opisuje rad, mjesto rada, naziv postrojenja na kojem se obavlja rad, planiran početak i završetak radova te tko je radni zadatak pripremio i izdao. Na poleđini je izvještaj o provođenju radnog zadatka za RPN te koliki su ukupni troškovi radova
2. Obrazac br. 2. PRIPREMA ZA RAD POD NAPONOM – ide organizatoru radova, u njemu je također opis radova, mjesto rada, naziv postrojenja, obavlja li se rad u blizini SN postrojenja, koja metoda se koristi, vrste mogućeg rizika te osobna zaštitna oprema koja će se koristiti. Na poleđini se ispunjavaju koraci rada (bez napona, u blizini napona i RPN) te popis potrebnih alata i materijala
3. Obrazac br. 3 NALOG ZA RAD POD NAPONOM – ide rukovoditelju radova, osim što sadrži osnovne podatke o mjestu, opisu, počeku i završetku radova, sadrži i podatke o kategoriji rada (u blizini ili pod naponom), vrsti rada (planirani, neplanirani, složeni ili posebni), prisutnim zaposlenicima (stručni, podučeni, nepodučeni i pripravnici) te prilog s ispravama za rad. Na poleđini je izvještaj o provođenju naloga u kojem se iznose opis provedenih radova, neprovedeni radovi i uočeni nedostaci i zapažanja, te troškovi radova
4. Obrazac br. 4 ZAHTJEV ZA IZDAVANJE DOPUSNICE ZA RAD POD NAPONOM – ide dispečeru, sadrži osnovne podatke o radu
5. Obrazac br. 5 i Obrazac br. 6 su dopusnica i trajna dopusnica za rad pod naponom. Idu rukovoditelju radova, te se razlikuju u tome što se trajna dopusnica može izdati za nadzemne izolirane i neizolirane mreže (6a), podzemne mreže (6b), unutrašnje instalacije (6c) i čišćenje (6d) [3]

## **5.2. Poslovi rada pod naponom na NN**

Najčešće su to:

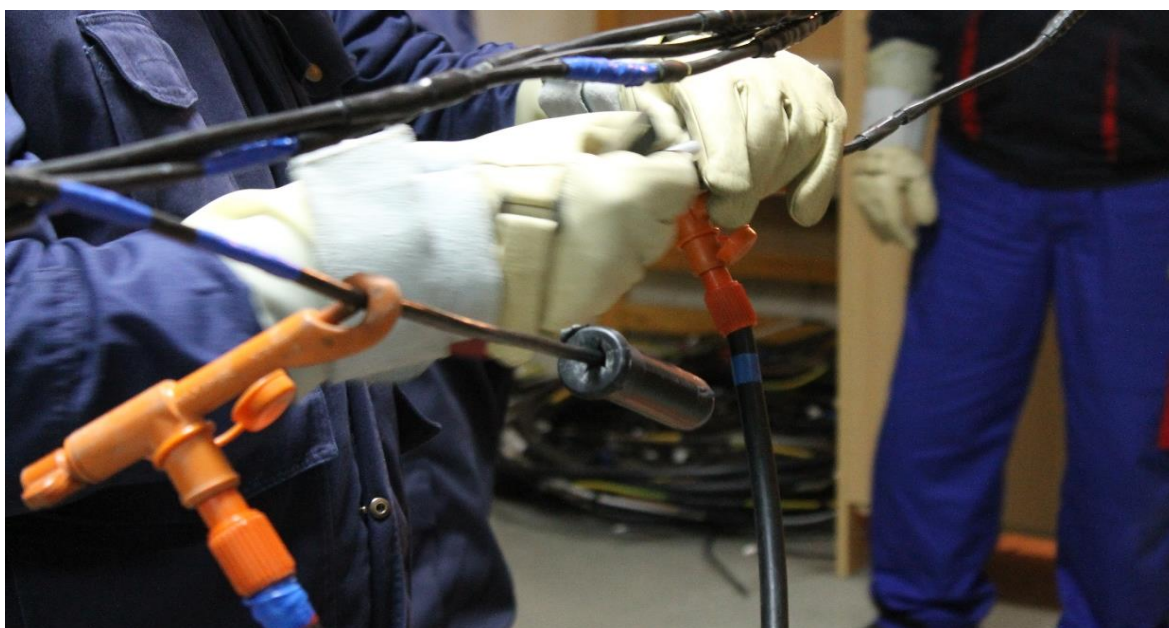
- izmjena izolatora
- ugrađivanje ormarića
- popravci SKS- a
- radovi na brojilima
- priključci kućanstava

- radovi u razvodnim kutijama

U nastavku će se opisati postupak pri održavanju SKS- a, te postupak izmjene izolatora, koji su obavljali operateri koji su bili na obuci za RPN u HEP - NOC.

### **Održavanje SKS- a**

SKS je potrebno održavati. Postoji mogućnost oštećivanja izolacije jednog ili više vodiča, odnosno prekida vodiča na nekom mjestu. Prilikom početka izvođenja radova, prvo je potrebna usporedba mjesta rada s nalogom i pripremom za rad. Nakon toga operateri su dužni ograditi mjesto rada i uspostaviti komunikaciju s dispečerom. Pregledavaju i pripremaju alat i materijal. Ova 3 koraka se rade u beznaponskom stanju [5] .



**Slika 5.4.** Postavljanje premosnice na oštećeni vodič u RPN

Sljedeća 3 koraka rade se u RPN: operater mjeri teret kroz vodič i prekriva mjesto oštećenja, zatim postavlja premosnicu te popravlja oštećeni vodič. Premosnicu postavlja tako da obuhvati s oba kraja mjesto gdje je vodič oštećen tako da ima dovoljno mjesta da mu bude prikladno odraditi posao (slika 5.4.). Operater je dužan provjeriti instrumentom je li premosnica preuzela teret. Nakon toga sigurno može odstraniti oštećeni dio. Dok je oštećeni vodič razdvojen, bitno je staviti izolacijske kapice na oba kraja kako ne bi došao u dodir s vodljivim dijelom vodiča. Za ponovno spajanje popravljenog vodiča operater koristi metalne čahure koje se prešaju akumulatorskom prešom namijenjenom za RPN (slika 5.5.). Uprešanu čahuru pokrije s termoskupljajućom cijevi koja dalje služi kao izolacija. Nakon popravka operater provjerava spoj, ako spoj zadovoljava, skida premosnicu i završava posao. Zadnji korak predstavlja pospremanje alata koje se provodi u radu u beznaponskom stanju [5].



**Slika 5.5.** Postupak prešanja metalne čahure u koju ulaze oba kraja vodiča

### **Izmjena izolatora**

Stara i neizolirana mreža mora imati keramičke i porculanske potporne izolatore, pa je potrebno i održavanje tih mreža. Izolatori mogu puknuti te je oštećene izolatore potrebno zamijeniti. Radove je moguće provoditi koristeći se autoplatfromom, ljestvama ili penjačima koji omogućuju operateru da se po drvenom stupu popne do konzole i vodiča. Operater uvijek mora biti osiguran s 2 pletena užeta. Pri dolasku na mjesto rada prvi korak predstavlja usporedbu mjesta rada s onim navedenim u nalogu i pripremi za rad. Drugi korak je ograđivanje mjesta rada i uspostava komunikacije s dispečerom. Treći korak se radi pod naponom, a to je prekrivanje neizolirane nadzemne mreže. Operater mora voditi računa o MUP- u te izolirati sve vodljive dijelove s kojima može doći u kontakt prilikom izmjene izolatora kako ne bi došlo do električnog udara. Za izoliranje vodiča koristi izolacijski pokrivač za vodiče te savitljivu izolacijsku prekrivku koja ima ljepljivu traku na rubovima kako bi prekrrio konzolu i ostale vodljive dijelove (slika 5.6.). Često operater koristi i štipaljke kako bi dodatno fiksirao prekrivku. Nakon što je proveo postupak izolacije, operater može odvojiti vodič od izolatora, zamijeniti izolator te vodič ponovno pričvrstiti s novopostavljenim izolatorom. Posljednji korak RPN-a je skidanje svih prekrivki. Operateru ostaje pospremiti alat u beznaponskom stanju te da rukovoditelj javi dispečeru da je posao obavljen [5].



**Slika 5.6.** Operater na drvenom stupu vrši izmjenu izolatora u RPN [5]

## 6. ZAKLJUČAK

S obzirom na to da se već duži niz desetljeća uspješno koristi u najrazvijenijim zemljama, tehnologija RPN je definitivno dokazala svoju svrhu i prednosti u odnosu na rad u beznaponskom stanju. Ova tehnologija je puno sigurnija i za radnike i za postrojenja, smanjuje se broj ozljeda na radu prouzrokovanih električnim učinkom. Neprekinutost i kvaliteta opskrbe potkrijepljena je pokazateljima pouzdanosti SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI...

Dakle, prednosti u aspektu povećane sigurnosti radnika, promatrača i postrojenja, kvalitete isporučene energije i njene neprekinutosti, planiranju i trajanju rada, definitivno su razlog da se i Hrvatska znatnije uključi i započne ozbiljno s obukom svojih radnika i prakticiranjem tehnologije RPN. Postoje ravnopravne i jednako provjerene 3 metode rada koje se mogu koristiti: metoda rada „u dodiru“, metoda rada „na udaljenosti“ i metoda rada „na potencijalu“. Treća metoda trebala bi omogućiti i rad pod naponom na visokom naponu čega za sada na područjima Hrvatske nema. Obučavanje ekipa ne bi trebao predstavljati problem jer postoji dobar obrazovni centar te kvalitetan i verificirani program obuke.

Može se doći do zaključka da će jednokratno ulaganje u radnike, instruktore, alat i zaštitnu opremu uz učestalo korištenje ove tehnologije puno doprinijeti Hrvatskoj kako na području elektroenergetike, tako i na društvenom, financijskom i industrijskom području.

## 7. LITERATURA

- [1] V. Caha, Tehnologija rada pod naponom – Projekcija učinaka primjene u hrvatskoj elektroprivredi, specijalistički rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2012.
- [2] „Opći uvjeti za izvođenje radova pod naponom na niskom naponu”, Bilten HEP- a br. 150, 2005.
- [3] „Uvjeti za izvođenje radova pod naponom – radni postupci na niskom naponu”, Bilten HEP- a br. 151, 2005.
- [4] Z. Jogun, V. Caha, Procedura - metode ispitivanja, validacija i mjerna nesigurnost , 4. izdanje, Velika, Hrvatska elektroprivreda, 2011.
- [5] I. Korov, G. Knežević, V. Caha, Održavanje niskonaponske distribucijske mreže u tehnologiji rada pod naponom, zbornik radova OTO2017, Osijek, 2017.
- [6] AIR2 Grupa, dostupno na: <http://air2.com/wp-content/uploads/energized-sq.jpg> (pristupljeno: 08.09.2017.)
- [7] Xcel Energy Transmission, dostupno na: [http://www.transmission.xcelenergy.com/staticfiles/microsites/Transmission/Images/Photo%20Gallary/helicopter%20view\\_go%20pro\\_09.07.2011.JPG](http://www.transmission.xcelenergy.com/staticfiles/microsites/Transmission/Images/Photo%20Gallary/helicopter%20view_go%20pro_09.07.2011.JPG) (pristupljeno: 08.09.2017)
- [8] Službena stranica HEP – nastavno obrazovni centar, dostupno na: <http://noc.hep.hr/noc/galerija/laboratorij/11.jpg> (pristupljeno: 08.09.2017)
- [9] Hrvatski zavod za norme, dostupno na: <http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/WebPopisNorma?OpenView&RestrictToCategory=%27TO%20E78%27> (pristupljeno: 08.09.2017.)
- [10] M. Stojkov, Raljević, D. Tehnologija rada pod naponom, sveučilišni udžbenik, Strojarski fakultet Slavonski Brod, 2016.

## **8. SAŽETAK**

U radu su se nakon definiranja općih uvjeta tehnologije rada pod naponom definirale 3 metode rada: metoda rada „na udaljenosti“, metoda rada „u dodiru“ i metoda rada „na potencijalu“. Poslije definiranja metoda predstavljeni su alat i oprema za rad pod naponom, odnosno razlike između izoliranih i izolacijskih materijala te sva oprema koja se koristi pri navedenim metodama. Objašnjen je vizualni pregled alata i opreme, te periodičko ispitivanje u laboratoriju i način zapisivanja rezultata. Alat i zaštitnu opremu koja zadovolji na ispitivanju koriste operateri. Prije početka rada pod naponom dužni su proći i položiti obuku rada pod naponom koja se odvija u HEP - Nastavno obrazovnom centru u Velikoj.

Ključne riječi: tehnologija rada pod naponom, osobna zaštitna oprema, metoda rada „na udaljenosti“, metoda rada „u dodiru“, metoda rada „na potencijalu“, ispitivanje alata i opreme, obuka za RPN, HEP - NOC

## **9. ABSTRACT**

After defining general conditions in technology of live-line working, the work defined three working methods: the "hot stick" method, the "Rubber glove" method and the "Bare hand" method. After defining the methods, tools and equipment for technology of live-line working are presented, ie the difference between insulated and insulating materials and all the equipment used in the above mentioned methods. A visual inspection of tools and equipment, periodical laboratory testing and the way of writing results is explained. The tools and protective equipment that satisfy the test are used by the operators. Before starting to work under voltage they are obliged to pass the work training of live-line working that takes place in HEP - The Education Center in Velika.

Keywords: technology of live-line working, personal protective equipment, "hot stick" method, "Rubber glove" method, "Bare hand" method, tool and equipment testing, RPN training, HEP - NOC

## ŽIVOTOPIS

Ivan Korov rođen je 05.01.1993. u Našicama, s prebivalištem u Donjem Miholjcu. 2007. godine završava osnovnu školu „August Harambašić“ te iste godine upisuje srednju školu „Elektrotehnička i prometna škola Osijek“ u Osijeku, smjer elektrotehničar. Tijekom cijelog srednjoškolskog obrazovanja ostvaruje vrlo dobar uspjeh te školu završava 2011.godine.

Od 6. godine bavi se nogometom te kao srednjoškolac postiže dobre timske rezultate na državnoj razini. Veliki nogomet aktivno igra na županijskoj razini.

2011. godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku i završava 2015.godine. Iste godine upisuje diplomski studij, smjer Elektroenergetski sustavi.

Stručnu praksu obavlja tijekom studiranja na drugoj godini diplomskog studija u HEP – Nastavno obrazovnom centru u Velikoj.

Sredinom kolovoza 2017. godine zapošljava se u Prvom plinarskom društvu u Vukovaru.

U Osijeku, \_\_\_\_\_

Ivan Korov

Potpis: \_\_\_\_\_