Tehnologija rada pod naponom na srednjenaponskim postrojenjima

Mijić, 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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:010806

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

TEHNOLOGIJA RADA POD NAPONOM NA SREDNJENAPONSKIM POSTROJENJIMA

Diplomski rad

Ivan Mijić

Osijek, 2017

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. METODE ZA RAD POD NAPONOM 2
2.1. Upotreba zaštitnih elemenata tijekom RPN-a 2
2.2. Mjere sprječavanja kratkog spoja 3
2.3. Metoda rada „na udaljenosti“ 4
2.4. Metoda rada „u dodiru“ 7
2.5. Metoda rada „na potencijalu“ 8
2.6. Specijalni radni zahtjevi 10
2.7. Čišćenje srednjenaponskih postrojenja u tehnologiji RPN-a 11
3. UVJETI ZA IZVOĐENJE RADOVA POD NAPONOM 15
3.1. Mjesto izvođenja RPN-a 15
3.2. Obuka za RPN 17
3.2.1. Opći uvjeti i preporuke za kandidate 17
3.2.2. Program obuke za RPN 19
3.2.3. Održavanje profesionalne kvalificiranosti 21
3.3. Alat za RPN 23
3.3.1. Osobna zaštitna oprema za RPN 23
3.3.2. Pravilno skladištenje i transport alata za RPN 26
3.3.3. Hidraulička autoplatforma s izolacijskim umetkom 28
3.3.4. Periodičko ispitivanje alata za RPN 31
4. TEMELJNA NAČELA TEHNOLOGIJE RADA POD NAPONOM 35
4.1. Visoka razina koordinacije operatera i rukovoditelja radova 35
4.2. Eliminiranje potencijala na mjestu izvođenja RPN-a 35
4.3. Manipulacije vodičima tijekom RPN-a 36
4.4. Korištenje premosnice u radnim postupcima RPN-a 40
4.5. Otvaranje i zatvaranje električnih krugova pod naponom 41
4.6. Praćenje naponskih prilika na mjestu izvođenja RPN-a 42
5. PRIMJENA TEHNOLOGIJE RADA POD NAPONOM U HRVATSKOJ 43
5.1. Prednosti tehnologije za RPN 43
5.2. Nedostaci tehnologije za RPN 49
5.3. Nužnost primjene tehnologije u Hrvatskoj 50
5.4. Rezultati primjene tehnologije RPN-a na NN 52

5.5. Način implementacije RPN-a na SN u HEP 55
5.6. Procjena isplativosti primjene RPN-a na SN u Hrvatskoj 60
5.7. Poticaj na primjenu tehnologije RPN 61
ZAKLJUČAK 62
LITERATURA 63
SAŽETAK 65
ABSTRACT 66
ŽIVOTOPIS 67

1. UVOD

Rad pod naponom (u daljnjem tekstu: RPN) je svaki rad u kojem je izvođač radova u blizini neizoliranih dijelova ili dijelova pod naponom. Glavna prednost primjene tehnologije RPN-a je održavanje elektroenergetskih postrojenja bez isključenja. Prekidi opskrbe uzrokuju ekonomske gubitke za elektroprivredu i nezadovoljstvo njenih potrošača, stoga se teži što manjem broju neplaniranih i planiranih isključenja. Primjena tehnologije RPN-a poboljšava pouzdanost opskrbe i tako popravlja reputaciju opskrbljivača. Osim toga, neki radni postupci održavanja se mogu odraditi sigurnije i efikasnije.

Tehnologija rada pod naponom se u zemljama poput SAD-a koristi još od 1910. godine kada su korišteni drveni alati kućne izrade kako bi se otvorili rastavljači pod teretom. Ubrzo je počela serijska proizvodnja drvenih motki na koje su se pričvršćivali razni alati [1]. Slična metoda rada pod naponom se koristi i danas pod nazivom „metoda rada na udaljenosti“. Kako je tehnologija napredovala sve više radnih zahtjeva se moglo obavljati bez prekida opskrbe.

Danas većina razvijenih elektroprivreda koristi neku vrstu tehnologije rada pod naponom. SAD je vodeći u primjeni tehnologije RPN-a u svijetu dok u Europi prednjači francuska elektroprivreda (franc. *Électricité de France,* u daljnjem tekstu: EdF). Hrvatska elektroprivreda (u daljnjem tekstu: HEP) zbog sličnosti između HEP-a i EdF-a 2004. godine preuzima francusku tehnologiju za RPN na niskom i srednjem naponu te tehnologiju čišćenja pod naponom na srednjem naponu (u daljnjem tekstu: SN).

HEP primjenjuje tehnologiju za RPN na niskom naponu, ali se značajno veći dio radnih postupaka na niskom naponu i dalje obavlja u beznaponskom stanju. RPN na SN se u Hrvatskoj ne primjenjuje na značajnoj razini.

Kada se u daljnjem tekstu spominje „RPN“ to se odnosi isključivo na RPN na srednjem naponu, ako u tekstu nije naznačena druga naponska razina.

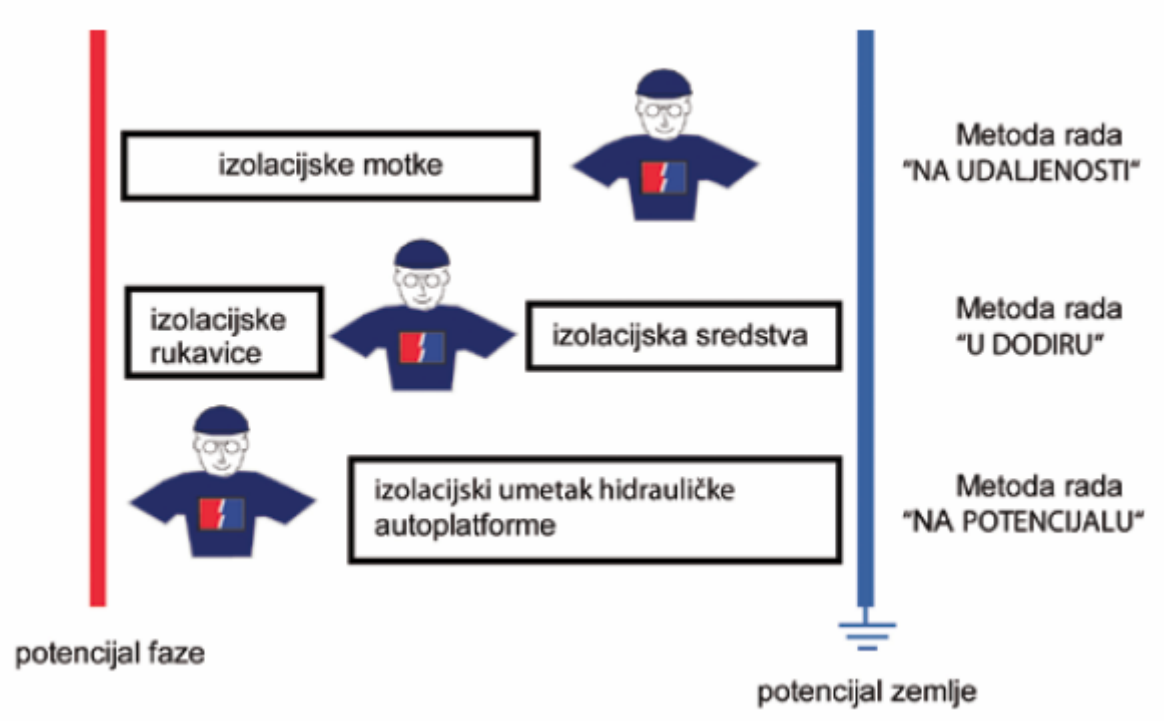
2. METODE ZA RAD POD NAPONOM

U tehnologiji za RPN nije dopušteno obavljati radne postupke na kabelskoj mreži. Čišćenje pod naponom na SN je dopušteno na srednjenaponskim postrojenjima, a svi ostali radni postupci tehnologije RPN-a su ograničeni isključivo na nadzemnu mrežu.

U RPN-u se koriste tri različite metode i njihova kombinacija. Metode koje se koriste su:

- metoda rada „na udaljenosti“,
- metoda rada „u dodiru“,
- metoda rada „na potencijalu“.

Metode se razlikuju prema položaju zaštitnih elemenata kao što je prikazano na Sl. 2.1.



Sl. 2.1. *Položaji zaštitnih elemenata prema metodama rada pod napon [2]*

2.1. Upotreba zaštitnih elemenata tijekom RPN-a

Tijekom RPN-a operater se kreće i pomiče vodljive dijelove na lutajućem ili fiksnom potencijalu u blizini drugih dijelova na različitim fiksnim potencijalima. Kako bi se izbjegle električne ozljede i kratki spojevi, operater mora održavati dovoljan broj zaštitnih elemenata (u daljnjem tekstu: ZE) između tih dijelova [2].

Zaštitni elementi se ostvaruju pomoću:

- zračnih razmaka (praznina),
- razmaka koje osiguravaju izolacijske cijevi svojom duljinom, savitljivih izolacijskih cijevi (hidrauličke cijevi) ili izolacijskog umetka hidrauličke autoplatforme,
- zaštitne opreme.

Zaštitna oprema uključuje izolacijske pregrade i izolacijske pokrivače (krute i savitljive) [2].

Tijekom RPN-a kratki spojevi između dijelova na različitim fiksnim potencijalima spriječiti će se na način da:

- rukovoditelj radova upozorava operatera da se vodiči pomicanjem ne dovedu previše blizu zaprekama (druga oprema, drveće, itd.)
- operater održava minimalni broj zaštitnih elemenata (ZE) prikazan u Tab. 2.1. za odgovarajuće dijelove [2]:

Tab. 2.1. *Minimalni broj zaštitnih elemenata između dijelova na različitim potencijalima [2]*

U_n **[kV]**	**Broj ZE između potencijala faza - zemlja**	**Broj ZE između potencijala faza - faza**
10	1	2
20	1	2
35	2	3

2.2. Mjere sprječavanja kratkog spoja

Kada operater istovremeno dodirne dijelove na dva različita potencijala, on svojim tijelom zatvori strujni krug te kao posljedica toga nastaje ozljeda uslijed električnog udara. Tijekom RPN-a električne ozljede se sprječavaju održavanjem dovoljne razine izolacije između tijela operatera i vodljivih dijelova alata i opreme kojima on rukuje s jedne strane te aktivnih dijelova s kojima operater ili vodljivi dijelovi mogu doći u dodir s druge strane. Takva izolacija može se postići zračnim razmakom ili utvrđenim izolacijskim sredstvima [3].

Tijekom radnih postupaka RPN-a operateri mogu izazvati kratki spoj na sljedeće načine:

- rukovanjem alatima s neizoliranim metalnim dijelovima,
- pomicanjem neizoliranih aktivnih dijelova,
- premošćivanjem izolatora metalnim dijelovima alata,
- slučajnim ispuštanjem metalnih predmeta, itd. [3].

Operater može spriječiti nastajanje kratkog spoja između dijelova na različitim potencijalima ako ih drži na zračnom razmaku od minimalno 0,1 m za napone od 20 kV ili niže, odnosno razmak od minimalno 0,2 m za napone od 35 kV ili niže.

2.3. Metoda rada „na udaljenosti“

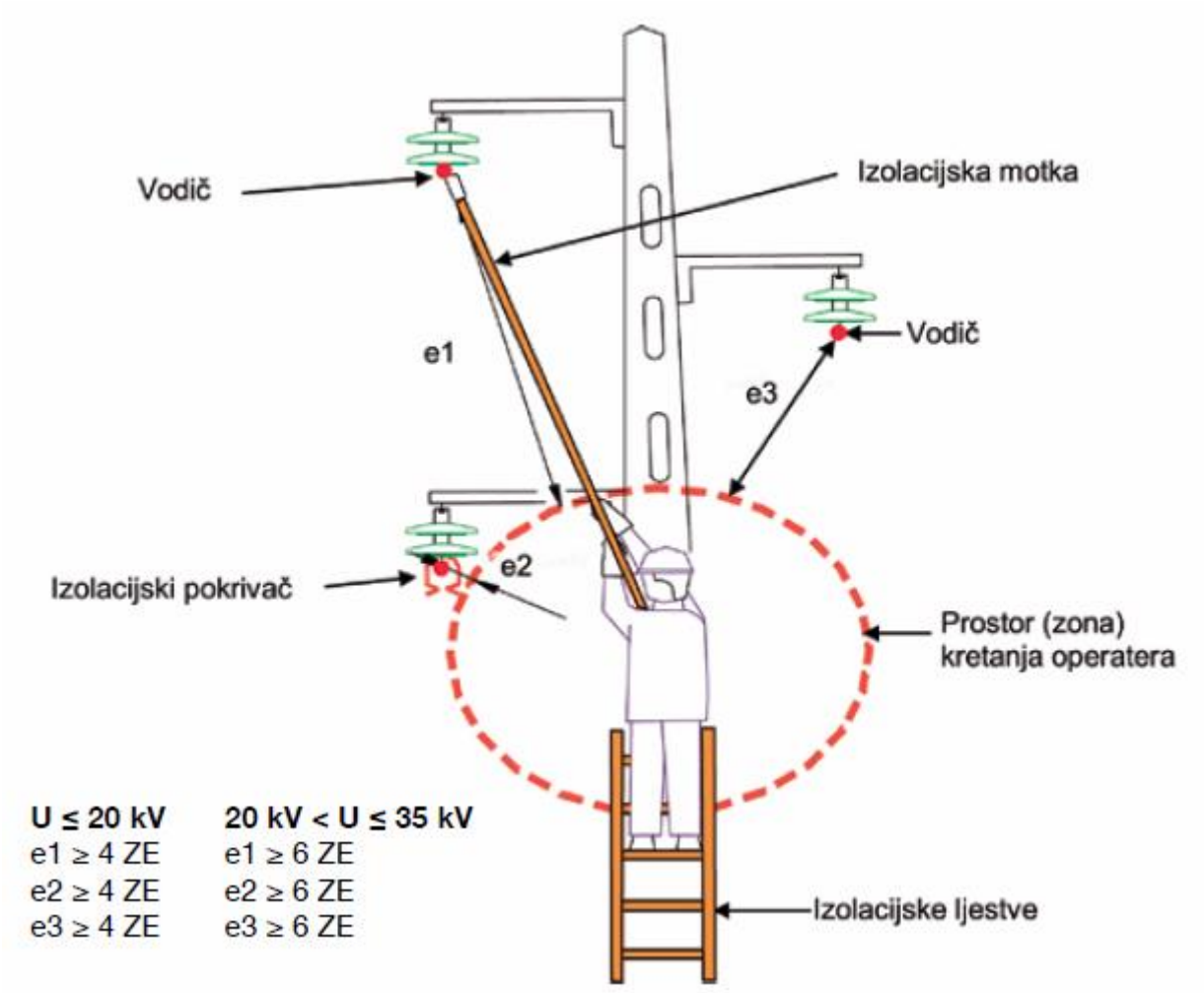
U radu metodom „na udaljenosti“, operater stoji izvan *minimalne udaljenosti približavanja* (u daljnjem tekstu: MUP), osim ako se upotrebljavaju utvrđeni zaštitni sustavi [3]. Minimalna udaljenost približavanja *D* na SN definirana je kao zbroj naponske udaljenosti *t* koja iznosi 0,005 m/kV (uzima se minimalno 0,1 m) i sigurnosne udaljenosti *g* koja je definirana po razini napona u Tab. 2.2. Udaljenost *g* je propisana hrvatskom normom HRN EN 50110:2008 [4].

Tab. 2.2. *Vrijednosti sigurnosnih udaljenosti prema naponskim razinama [3]*.

Nominalna vrijednost napona, U_n [kV]	**Sigurnosna udaljenost, g [m]**
10	0,3
20	0,3
35	0,4
>35	0,5

U spomenutoj metodi operater radi na dijelovima mreže pod naponom koristeći izolacijske cijevi ili užad na čije se krajeve dodaju posebni alati. Korišteni alati su prikladno izolirani u ovisnosti o naponu na kojem se koriste.

Na Sl. 2.2. je prikazan rad metodom „na udaljenosti“ koristeći izolacijske ljestve. Na slici je istaknut raspored i broj ZE između prostora (zone) kretanja i svih dijelova na različitim potencijalima [2].



Sl. 2.2. *Raspored i broj zaštitnih elemenata u RPN-u metodom rada „na udaljenosti“ [5]*

Broj zaštitnih elemenata se određuje prema Tab. 2.1.

Tab. 2.3. *Ekvivalenti zaštitnih elemenata [5]*

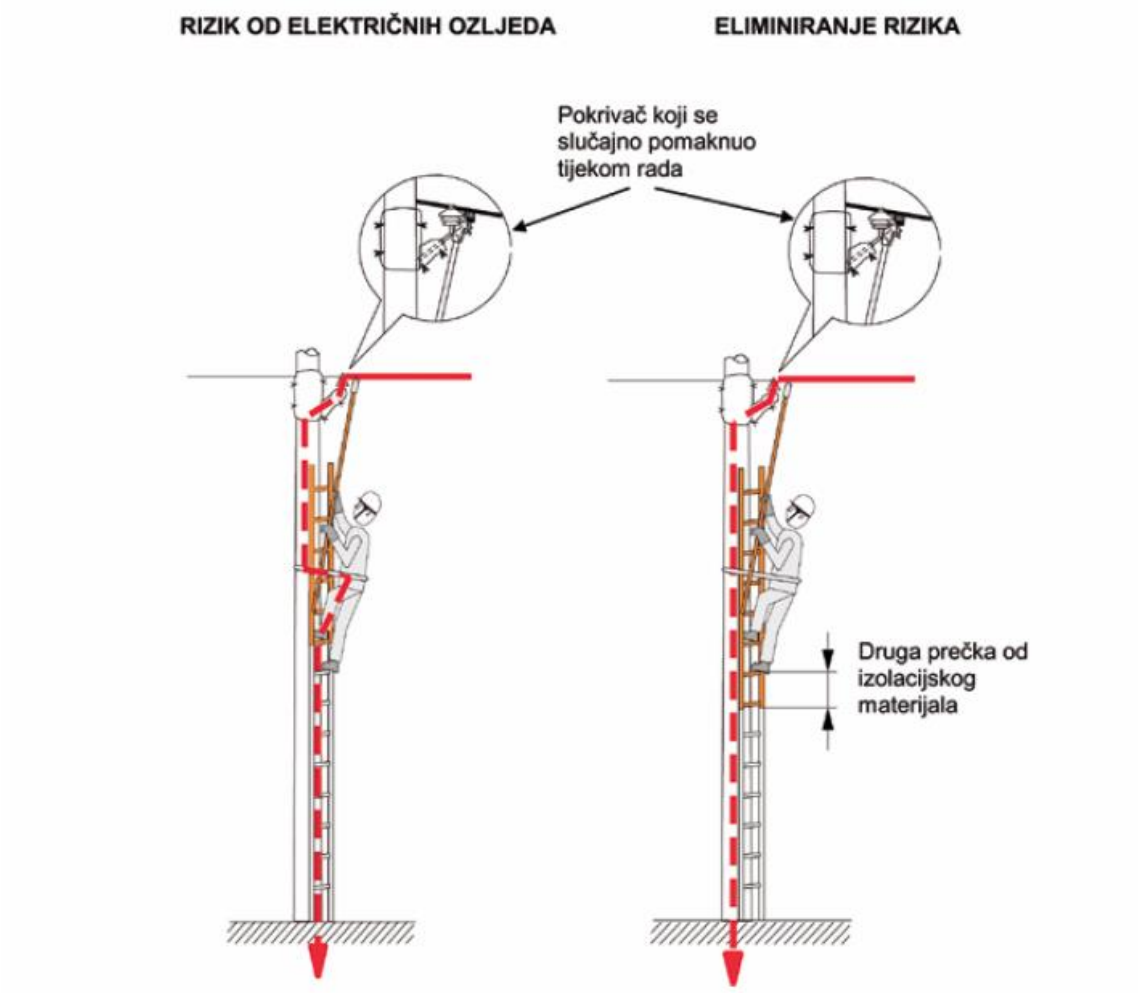
Broj ZE	**1 ZE**	**2 ZE**	**3 ZE**	**4 ZE**	**5 ZE**
zračni razmak, duljina izolacijske cijevi različitih promjera ili izolacijska hidraulička cijev [m]	0,1 m	0,2 m	0,3 m	0,4 m	0,5 m

U slučaju da operater sa Sl. 2.2. radi na naponu od 20 kV između sebe i vodiča mora održavati broj ZE veći ili jednak 4. Prema Tab. 2.3. 4 ZE iznosi 0,4 m. Operater, dakle, mora održavati minimalan razmak od 0,4 m između svog prostora kretanja i vodiča. U slučaju vodiča na kojem radi, operater može održavati 0,3 m razmaka jer 3 ZE izolacijske cijevi zajedno s 1 ZE izolacijskih rukavica zajedno daju 4 ZE.

Uz navedene uvjete, vrijede i dodatni:

- operater mora stajati barem na drugoj prečki izolacijskih ljestava brojeći odozdo,
- ako se na stupu istodobno nalaze dva operatera (postavljene su i druge izolacijske ljestve), tada obojica moraju stajati na jednakoj visini stupa, a njihovi se prostori kretanja zbrajaju (unija prostora),
- vodljivim dijelovima alata ili opreme ni u jednom trenutku ne smije premostiti zaštitne izolacijske elemente, mora paziti na vodljivi dio alata ili opreme koji je na fiksnom potencijalu kao o elementu od kojeg mora održavati broj ZE [5].

Ako operater stoji na kraju izolacijskih ljestvi te ostvaruje kontakt s metalnim neizoliranim ljestvama, u slučaju nenamjernog pomicanja izolacijskog prekrivača, postoji mogućnost električnog udara ako vodič dođe u kontakt sa stupcem (Sl. 2.3. lijevo). Ako operater pravilno koristi izolacijske ljestve, eliminira rizik električnog udara (Sl. 2.3. desno).



Sl. 2.3. *Posljedice porasta potencijala stupa s obzirom na položaj operatera na stupu [5]*

Metoda rada „na udaljenosti“ je pogodna za operatere u pogledu udaljenosti od aktivnih dijelova postrojenja. U slučaju kratkog spoja, na samom mjestu nastanka kratkog spoja oslobađa se toplinska energija, kao posljedica toga mogu nastati štetne ultraljubičaste zrake i užarene čestice koje pršte. Pri korištenju te metode operater je od žarišta eventualnog kratkog spoja udaljen za duljinu izolacijske cijevi ili užeta te na sebi ima zaštitnu opremu. Negativni utjecaji kratkog spoja za operatera u metodi rada „na udaljenosti“ su znatno manji nego u drugim metodama kao što su metoda rada „u dodiru” ili „na potencijalu”.

Metoda rada na udaljenosti ima svoje nedostatke u usporedbi s druge dvije metode. Izolacijske cijevi mogu biti nezgodne za rukovanje zbog njihove dužine i mase alata koji je dodan na njihov kraj. Rukovanje alatom učvršćenim na izolacijskoj cijevi zahtijeva vještinu i fizičku spremnost od operatera. Većina polaznika obuke za RPN će se složiti da je metoda rada na udaljenosti najzahtjevniji dio obuke.

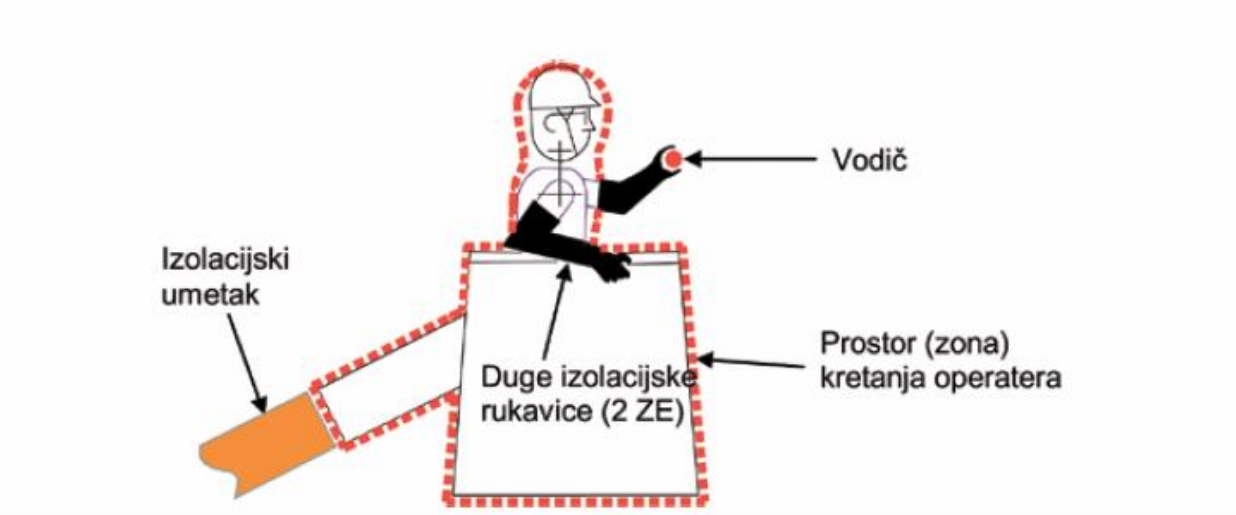
Kada operater radi metodom rada „na udaljenosti“, smatra se da je operater vodljiv i da se nalazi na potencijalu zemlje (čak i kada upotrebljava izolacijske ljestve, hidrauličku autoplatformu, izolacijske tepihe, zaštitne čizme itd.) [3].

2.4. Metoda rada „u dodiru“

U metodi rada „u dodiru“ operater je primjereno zaštićen od aktivnih dijelova na kojima se radi i ulazi u prostor smješten između aktivnih dijelova i unutar MUP. Operater može raditi na potencijalu faze ili potencijalu zemlje, smješten na izolacijskoj platformi ili u košari hidrauličke autoplatforme s izolacijskim umetkom [2].

Budući da radi unutar MUP, operater mora koristiti zaštitnu kacigu s vizirom koja je predviđena za RPN kako bi se zaštitio od mogućih posljedica u slučaju nastanka električnog luka.

Kada operater radi metodom rada “u dodiru“ iz košare hidrauličke autoplatforme s izolacijskim umetkom (Sl. 2.4.), mora održavati određeni broj ZE definiran Tab. 2.1. u poglavlju 2.1. „Upotreba zaštitnih elemenata tijekom RPN-a“.



Sl. 2.4. *Prostor (zona) kretanja operatera pri radu metodom „u dodiru“ [5]*

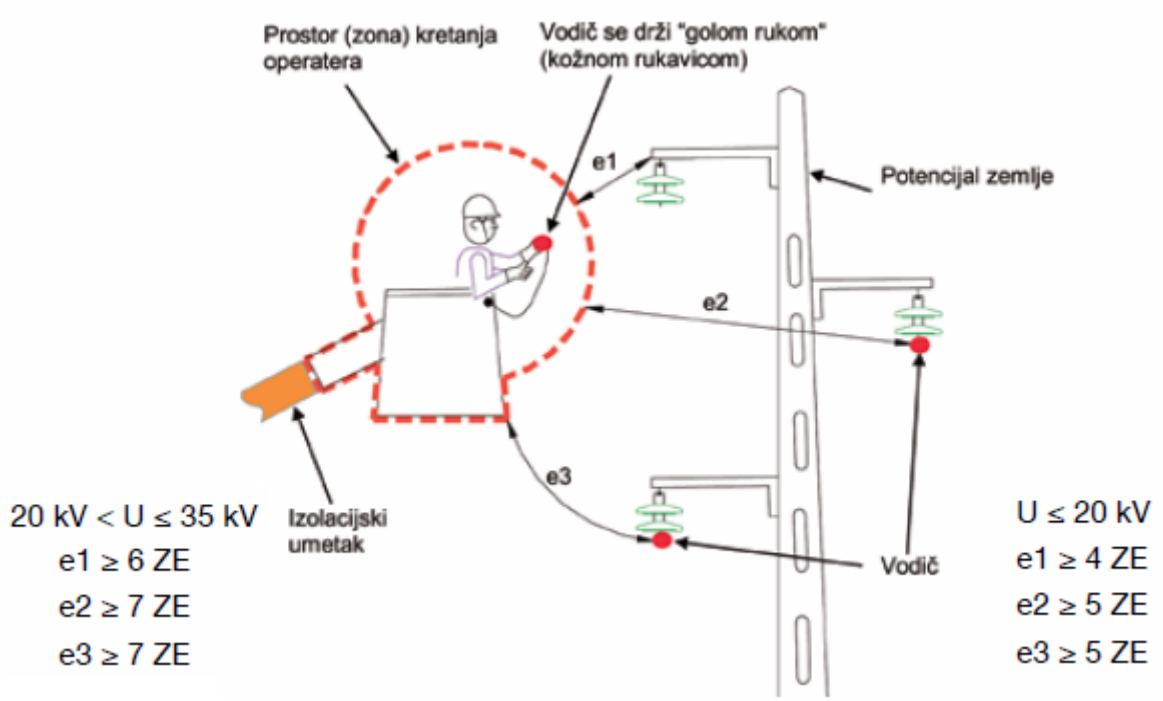
Prostor (zonu) kretanja operatera čine svi neizolirani dijelovi (iscrtano crvenom bojom). Izolacijski umetak se ni u jednom trenutku ne smije premostiti vodljivim dijelovima alata, metalnim dijelovima hidrauličke autoplatforme ili vodljivim dijelovima radnog okoliša (primjerice, grane drveća). Dugačke izolacijske rukavice se, također, ni u jednom trenutku ne smiju premostiti vodljivim dijelovima (Sl. 2.4.) [5].

Operater sa Sl. 2.4. je prislonio desnu ruku na metalnu konstrukciju košare te premostio izolacijske rukavice i na taj način poništio ulogu rukavice kao zaštitnog elementa. Pravila za izvođenje RPN-a su poprilično rigorozna kako bi sigurnost operatera ostala na visokoj razini, ali je očekivano da će u trenucima nepažnje doći do kršenja istih. Upravo zbog takvih situacija u RPN-u uvijek postoji više „slojeva“ zaštite. Operater koristi izolirani alat, ali u slučaju da rukom dotakne vodič i dalje je osiguran izolacijskim rukavicama. Ako dođe do oštećenja rukavica operater je osiguran izolacijskim umetkom autoplatforme. Na taj način operater je osiguran i u slučaju zatajenja nekog zaštitnog elementa.

2.5. Metoda rada „na potencijalu“

U metodi rada „na potencijalu“, operater je na istom potencijalu kao i dijelovi na kojima radi. U svakom trenutku operater mora održavati udaljenost jednaku ili veću od MUP - SN između sebe, alata i dijelova koje drži s jedne strane i ostalih dijelova koji su na potencijalu različitom od onog na kojemu se radi (Sl. 2.5.) [2].

Tijekom prijelaza s potencijala zemlje na potencijal aktivnih dijelova i natrag, operater nije električki spojen niti s jednim fiksnim potencijalom. Smatra se da je operater na lutajućem potencijalu. U tom prijelaznom razdoblju operater je smješten u košari hidrauličke autoplatforme s izolacijskim umetkom [2].



Sl. 2.5. *Raspored i broj zaštitnih elemenata u RPN-u metodom rada „na potencijalu“ iz košare hidrauličke autoplatforme s izolacijskim umetkom [5]*

Ta metoda na srednjem naponu nema značajne razlike niti prednosti naspram metode rada „u dodiru“. Glavna razlika je što korištenjem metode „na potencijalu“ operater može raditi „golim rukama“ (običnim kožnim rukavicama) što je donekle praktičnije, ali mora održavati dodatnih 2 ZE između svoje zone kretanja i ostalih fiksnih potencijala jer ne koristi druge izolacijske rukavice.

Primjena te metode ostvaruje se isključivo na izmjeničnim naponima iznad 1000 V, odnosno istosmjernim naponima iznad 1500 V. Do 72,5 kV izmjeničnog napona kao sredstva pozicioniranja upotrebljavaju se uglavnom specijalne autoplatforme s izolacijskim umetkom ili čak kompletnim izolacijskim kranom, dok se za dalekovode viših naponskih razina (iznad 72,5 kV) elektromonteri uglavnom pozicioniraju na potencijal faze pomoću helikoptera ili prijenosnih izolacijskih sjedalica [6].

Nakon galvanskog spajanja sredstva pozicioniranja, a time i elektromontera s dijelovima na fiksnom potencijalu faze, sam rad pod naponom za elektromontera odvija se u uvjetima identičnim radu na postrojenju u beznaponskom stanju, jer ne postoji osjet prisutnosti napona [6].

Metode RPN-a – „na udaljenosti“, „u dodiru“ i „na potencijalu“ – mogu se koristiti zasebno ili u kombinaciji na istom mjestu rada. Na jednom stupu dva operatera smiju raditi samo jednakom metodom i na istom potencijalu, a za sve promjene metode rada moraju dobiti dopuštenje od rukovoditelja radova [2].

2.6. Specijalni radni zahtjevi

Kako bi se ograničili utjecaji pojava u mreži, na mjesto RPN uvode se Specijalni radni zahtjevi (u daljnjem tekstu: SRZ). SRZ moraju osigurati dva cilja:

- eliminiranje struje kvara u zoni RPN-a u najkraćem mogućem vremenu,
- eliminiranje opasnosti od ponovnog uklopa prekidača (povratak napajanja na mjestu rada nakon prorade automatskog ponovnog uklopa koji je u stanju SRZ-a) u zoni rada RPN-a [3].

Skraćivanjem vremena aktiviranja zaštite na prostoru izvođenja radova pod naponom povećava se sigurnost operatera u slučaju kratkog spoja ili električnog udara. Ako posljedicom kvara u blizini izvođenja RPN-a zaštita isključi napajanje u zoni rada, SRZ moraju osigurati da je automatski ponovni uklop isključen kako se negativne posljedice, poput uklopnog prenapona, ne bi osjetile na mjestu RPN-a.

Za postavljanje specijalnih radnih zahtjeva odgovoran je dispečer. Dispečer i rukovoditelj radova moraju se međusobno obavještavati o vlastitim namjerama prije izvršavanja bilo kakvih promjena uklopnog stanja na mreži srednjeg napona [2].

2.7. Čišćenje srednjenaponskih postrojenja u tehnologiji RPN-a

Jedini postupak u tehnologiji RPN-a koji se ne radi isključivo na nadzemnoj mreži jest čišćenje pod naponom na srednjem naponu. Visoka razina nečistoća u zraku uzrokuje ubrzano stvaranje taloga na izolacijskim dijelovima postrojenja i tako nastaje mogućnost da nečistoće provedu električnu energiju i time premoste izolator. Kao posljedica toga nastaju značajne materijalne štete, a u najgorem slučaju stradavaju i ljudi. Kako bi se ovakve situacije spriječile, redovito održavanje opreme u postrojenju uključuje i čišćenje.

Elektroenergetska postrojenja smještena na prostorima teških uvjeta rada poput kamenoloma ili rudnika imaju visoku izloženost nečistoćama u zraku. Samim time je i proces taloženja prljavštine na opremi ubrzan. Pogoni ovakvog tipa mogu izbjeći česta iskapčanja primjenom tehnologije čišćenja pod naponom i time ostvariti značajne uštede.

Čišćenje pod naponom se izvodi usisavanjem, puhanjem, četkanjem ili pranjem utvrđenim sredstvima. Osim samog čišćenja ta tehnologija također uključuje i postupke podmazivanja i raspršivanja otapala uz pomoć utvrđenih alata. Čišćenje pod naponom može biti iznimno opasno ako se ne izvodi na pravilan način. Upravo zato se uvode opća pravila pod nazivom "Uvjeti izvođenja radova pod naponom – čišćenje na srednjem naponu". To su opća pravila koja moraju primjenjivati osobe koje će čistiti pod naponom uz specifična pravila primjenjiva s obzirom na upotrijebljene alate. Takva specifična pravila su pripremljena za svaki utvrđeni alat u tehničkom opisu alata za srednji napon, u kojima mogu biti opisani i uvjeti upotrebe alata. Ti uvjeti definiraju pravila koja se moraju slijediti tijekom čišćenja pod naponom na opremi naponskih razina od 10 do 35 kV izmjenično, s vršnim prenaponima jednakim ili manjim od 72,7 kV i 45 kV industrijske frekvencije [3]. Čišćenje pod naponom na SN obavlja se isključivo metodom rada „na udaljenosti". U Tab. 2.4. je prikazano kako vremenski uvjeti utječu na izvođenje čišćenja pod naponom na SN.

Tab. 2.4. *Utjecaj vremenskih uvjeta na čišćenje pod naponom [3]*

Vremenski uvjeti	**Unutarnja postrojenja**	**Vanjska postrojenja**
Jake i slabe oborine	Radovi **se smiju** započinjati i završavati.	Radovi **se ne smiju** započinjati ni završavati.
Gusta magla	Radovi **se smiju** započinjati i završavati	Radovi **se ne smiju** započinjati ni završavati.
Jak vjetar	Radovi **se smiju** započinjati i završavati.	Radovi **se ne smiju** započinjati ni završavati.
Grmljavinsko nevrijeme	Radovi **se ne smiju** započinjati ni završavati.	Radovi **se ne smiju** započinjati ni završavati.

Čišćenje pod naponom ne smije se izvoditi:

- na uređajima koji su blokirani u određenom položaju,
- u prostorima gdje postoji opasnost od eksplozije,
- na dijelovima koji nisu potpuno učvršćeni, odnosno na pokretnim dijelovima,
- na dijelovima opreme gdje bi postupak čišćenja vjerojatno mogao prouzročiti preskok električnog luka [3].

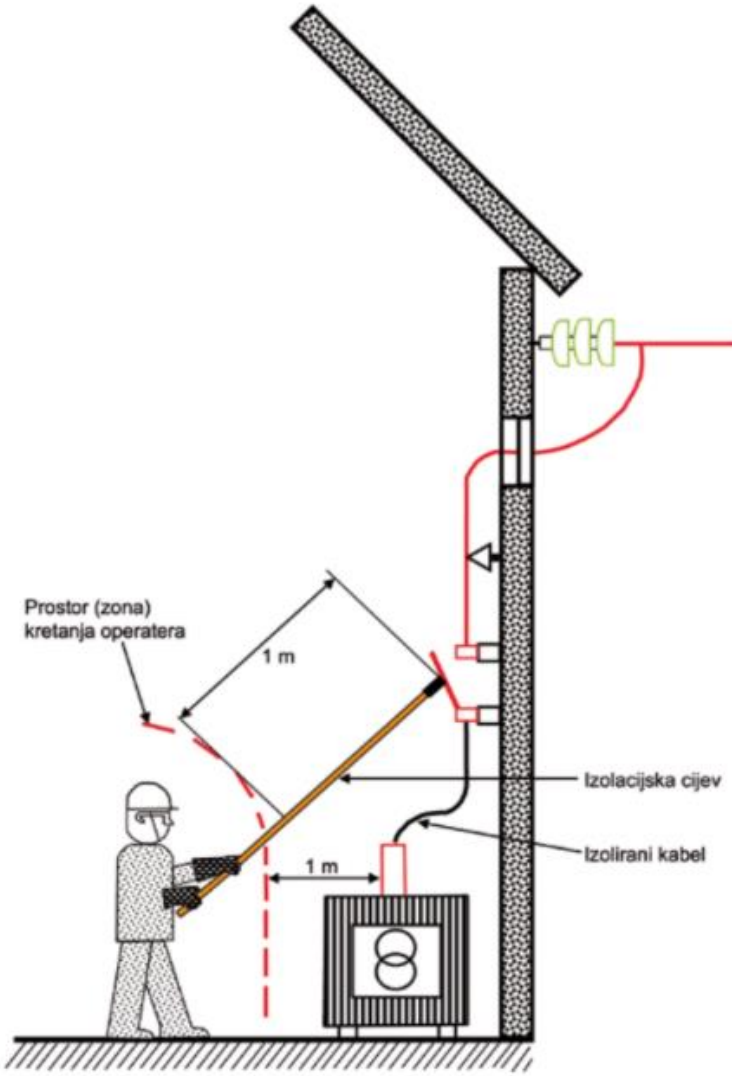
Ako se čišćenje izvodi bez SRZ-a operater mora između vlastitog prostora kretanja i dijelova na različitim fiksnim potencijalima osigurati:

- minimalni zračni razmak ili minimalnu duljinu izolacijske cijevi, što iznosi 1 m,
- minimalnu duljinu izolacijskog crijeva usisavača, što iznosi 1,5 m [3].

Na Sl. 2.6. je prikazan primjer čišćenja pod naponom na SN bez SRZ-a. Dijelovi označeni crvenom bojom su neizolirani, vodljivi i pod naponom. Na slici je vidljivo kako je operater između svog prostora kretanja koje je označeno isprekidanom crvenom linijom i drugog fiksnog potencijala ostavio minimalni zračni razmak od 1 m. U slučaju da operater radi na stupu i stoji na privremenoj platformi izrađenoj od izolacijskih cijevi koje su učvršćene na stup, operater umjesto zračnog razmaka koristi duljinu izolacijske cijevi.

Operater na Sl. 2.6. između svoje zone kretanja i kućišta transformatora nije ostavio minimalnu zračnu udaljenost od 1 m zato što se za operatera smatra da je na potencijalu zemlje kao i samo kućište transformatora tako da između njih nema razlike potencijala.

Operater sa slike drži izolacijsko crijevo. Crijevo ima minimalno 0,5 m duljine unutar zone kretanja operatera (mjesto gdje operater drži crijevo) i dodatnih 1 m između granice prostora kretanja operatera i aktivnog dijela mreže što rezultira razmakom od propisanih 1,5 m.



Slika 2.6. *Primjer čišćenja pod naponom na SN bez SRZ-a [3]*

Ako se čišćenje izvodi pod uvjetima SRZ-a iznos minimalnih zračnih razmaka se mijenja. Novi iznosi su prikazani u Tab. 2.5. Minimalne duljine izolacijskih crijeva usisavača su 0,6 m za napone od 20 kV ili niže odnosno 0,9 m za napone od 35 kV ili niže. Isti iznosi vrijede i za izolacijske cijevi korištene za četkanje.

Tab. 2.5. *Minimalni zračni razmak ili duljina izolacijske cijevi [3]*

Linijski napon, *U* [kV]	**Udaljenost faza-zemlja [m]**	**Udaljenost faza-faza [m]**
20	0,6	0,7
35	0,8	0,9

Operater koji radi čišćenje pod naponom osim uobičajene zaštitne opreme za RPN ponekad koristi respiratorske maske, štitnike za uši i slično [6].

Čišćenje pod naponom na otvorenom prostoru može se odraditi usisavanjem, četkanjem, pranjem utvrđenim sredstvima i ispuhivanjem. Usisavanje, četkanje i pranje se koristi i u zatvorenim prostorima dok je ispuhivanje ograničeno na otvorene prostore. Korištenje ispuhivanja u zatvorenim prostorima može podići nečistoće u zrak i tako stvoriti uvjete pogodne za stvaranje električnog luka. Kod četkanja i brisanja na kraj izolacijske cijevi se dodaju posebne četke ili dijelovi tkanine. Pri tome je bitan nazivni napon za koji je ta izolacijska cijev predviđena i njena duljina. Četkati i brisati se mogu samo suhi dijelovi postrojenja kojima se ne može prići s crijevom usisavača. Za pranje se koriste isključivo sredstva namijenjena za pranje pod naponom. U razvijenijim zemljama koristi se pranje suhim ledom. Raspršivač je osmišljen tako da ispušta mlaz točno određene gustoće kako bi se moglo čistiti izolatore na visokonaponskim dalekovodima uz pomoć helikoptera bez rizika preskoka električnog luka.

Kod usisavanja u tehnologiji RPN-a osim definirane dužine crijeva usisavač mora imati propisanu usisnu moć. U usisavaču za RPN zrak struji brzinom većom ili barem jednakom 25 m/s (ekvivalent cca. 60 l zraka kroz cijev u sekundi). Taj uvjet je izuzetno bitan kako bi se spriječilo taloženje nečistoća na unutarnjoj stjenci cijevi usisavača tijekom usisavanja, što bi moglo potencijalno stvoriti vodljivu puznu stazu unutar cijevi idealnu za preskok električnog luka. Bez obzira i na veću brzinu zraka od uvjetovane, usisavanje pod naponom se povremeno prekida kako bi se provjerile i prema potrebi očistile cijevi predviđenim četkama. Ispuhivanje cijevi ustima radnika strogo je zabranjeno, naravno zbog unosa vlage u cijevi [6]. Čišćenje prostora se vrši od tla prema stropu ako je količina prljavštine veća, a obrnuto ako je količina prljavštine manja. Na taj način smanjujemo mogućnost nastanka kratkog spoja preko prljavštine koja se sruši s viših dijelova na niže.

3. UVJETI ZA IZVOĐENJE RADOVA POD NAPONOM

Uvjeti izvođenja radova pod naponom (u daljnjem tekstu: UIR) su opća pravila koja moraju primijeniti osobe koje izvode radove pod naponom metodama rada „na udaljenosti“, „u dodiru“ i „na potencijalu“ (i njihovom kombinacijom), uz specifična pravila primjenjiva s obzirom na upotrijebljene alate. Takva specifična pravila su pripremljena za svaki utvrđeni alat u tehničkom opisu alata za srednji napon (u daljnjem tekstu: TOA), u kojima mogu biti opisani i uvjeti upotrebe alata [2].

TOA je skup opisa alata i njihovih specifičnih uvjeta preuzetih od EdF-SERECT, za koje je Povjerenstvo za rad pod naponom utvrdilo da udovoljavaju relevantnim normama [5].

3.1. Mjesto izvođenja RPN-a

Prije početka rada rukovoditelj radova mora posjedovati dokument koji se naziva Nalog za rad pod naponom na srednjem naponu, kojim je on imenovan za rukovoditelja radova od rukovoditelja službe [2].

Rukovoditelj radova mora raspolagati svim informacijama potrebnim za izvođenje radova kako bi mogao adekvatno pripremiti mjesto rada. Mjesto rada mora biti ograđeno kako bi se spriječio ulazak neovlaštenih osoba. Ako je rasvjeta nedovoljna ili ako može doći do njenog isključenja, operaterima mora biti osigurana pomoćna rasvjeta. Ukoliko se radi u zatvorenim prostorima, vlažnost zraka ne smije prelaziti 80%.

U Tab. 3.1 je prikazano kako određeni vremenski uvjeti utječu na izvršavanje radova pod naponom, a neovisno o tome vidljivost mora biti dovoljna za:

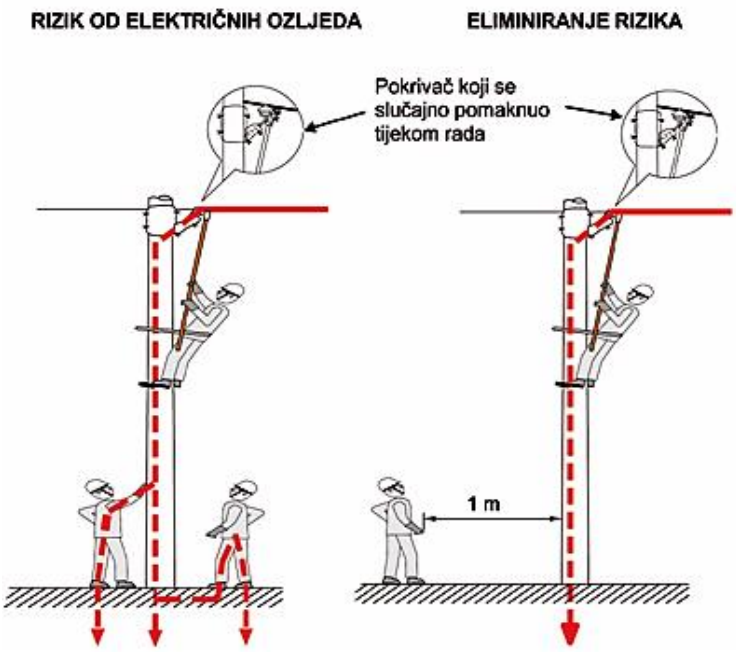
- upotrebljavanje alata s traženom preciznošću (operater),
- nadgledanje tijeka radnih postupaka (rukovoditelj radova),
- provjeru učinka rada operatera na korištenoj opremi (rukovoditelj radova ili osoba koju je imenovao) [3].

Tab. 3.1. *Utjecaj vremenskih uvjeta na rad pod naponom [5]*

Vremenski uvjeti	**Za metodu rada**	**Komentar**
Slabe oborine (bez grmljavine)	RPN metodom rada „u dodiru“ ne smije se započinjati, ali se započeti RPN može završiti. RPN metodom rada „na udaljenosti“ i „na potencijalu“ mogu biti započeti i završiti se.	Oborine se smatraju slabima kada ne ometaju vid operatera ili rukovoditelja radova. Za njih je karakteristična pojava kapljica vode na alatu.
Jake oborine (bez grmljavine i bez jakog vjetra)	RPN se ne smije započinjati nijednom primjenjivom metodom. Radni postupci u tijeku mogu se završavati sukladno UIR.	Jakim oborinama smatramo pljusak kiše, snijega ili leda.
Gusta magla	Radovi se ne smiju započinjati, ali radni postupci u tijeku mogu se završiti, svim primjenjivim metodama.	Magla se smatra gustom kada smanjuje vidljivost do te mjere da znatno smanjuje sigurnost, osobito kada rukovoditelj radova ne može jasno vidjeti operatera na mjestu rada.
Jaki vjetar	Radovi se ne smiju započinjati niti završavati, nijednom primjenjivom metodom.	Vjetar se smatra jakim kada operateru onemogućuje pravilnu upotrebu alata i opreme sa zahtijevanom preciznošću ili ako je operater zbog vjetra nestabilan.
Grmljavinsko nevrijeme	Radovi se ne smiju započinjati niti završavati, nijednom primjenjivom metodom.	Grmljavinskim nevremenom smatramo kada se vide munje ili kada se čuje grmljavina.

Ako dođe do promjene vremenskih uvjeta za vrijeme obavljanja RPN-a rukovoditelj postupa prema utvrđenim koracima koji su propisani UIR.

Ako rade na visini operateri moraju imati osiguran stabilan položaj. Također, potrebno je postaviti servisno uže koje čini trokut i služi za sigurno dodavanje alata operaterima na visini. Servisno uže se postavlja u trokut tako da radnici na zemlji koji dodaju alat preko užeta ne dođu u opasnost od predmeta koji se otkače s užeta ili ispadnu operaterima. Isto tako, u slučaju kratkog spoja radnici na zemlji nisu na području visokog napona koraka. Kako bi se eliminirao rizik od visokog napona koraka, osobe na tlu moraju stajati na barem jedan metar udaljenosti od stupa i nositi prikladnu obuću za RPN (Sl. 3.1.).



Sl. 3.1. *Eliminiranje rizika visokog napona koraka i električnog udara osoblja na tlu [5]*

3.2. Obuka za RPN

3.2.1. Opći uvjeti i preporuke za kandidate

Kandidati koji pristupaju obuci za RPN moraju imati završenu srednju strukovnu školu elektrotehničkog smjera. Osim završene škole kandidati moraju imati:

- iskustvo rada u beznaponskom stanju na srednjenaponskim postrojenjima (iskusni elektromonteri),
- iskustvo rada na visini uz upotrebu različitih sredstava za penjanje i pravilno pozicioniranje na mjestu rada [2].

Kandidati moraju imati opća predznanja iz područja:

- elektrotehnike,
- matematike,
- mehanike,
- tehnologije opreme postrojenja,
- propisa i norma [2].

Operateri moraju imati opća znanja iz mehanike i matematike kako bi tijekom izvođenja radnih postupaka mogli: efektivno koristiti koloture za smanjenje vučne sile; točno izračunati maksimalno dopušteno naprezanje vodiča; učvrstiti vodič na stup pomoću izolacijskih cijevi, i slično.

Preporučena dobna starost kandidata koji se upućuju na obuku je 25 godina, dok gornja granica starosne dobi ne postoji (ovisi o zdravstvenom i psihičkom stanju kandidata) [2]. U obzir se mora uzeti da je to preporuka, a ne pravilo. Preporuka donje dobne granice u sustavu obuke koja se koristi u Hrvatskoj ima smisla jer se traže fizički spremni kandidati s prijašnjim iskustvom rada u beznaponskom stanju. Preporuka gornje dobne granice služi kako bi se povećala ekonomska isplativost obuke. Obučavanje relativno mladih radnika osigurava dugotrajniju radnu snagu i sigurniji povrat investicije.

Svi operateri koji obavljaju RPN moraju zadovoljiti posebne uvjete pri pregledu zdravstvene i psihičke sposobnosti. RPN je fizički zahtjevan te se uglavnom obavlja na visini i u neposrednoj blizini aktivnih dijelova elektroenergetskih postrojenja. Ako operater nije fizički spreman ili psihički stabilan može dovesti sebe i druge u situacije opasne po život. Potrebno je, dakle, obavljati detaljne i redovite liječničke preglede. Provjera posebnih uvjeta obavlja se:

- prije upućivanja radnika na stručno osposobljavanje za rad pod naponom – detaljni liječnički pregled,
- tijekom rada – periodički pregled svakih 12 mjeseci,
- prema procjeni liječnika primarne zdravstvene zaštite (izabrani liječnik) - izvanredni zdravstveni pregled [2].

Poslodavac koji zapošljava operatere za RPN mora voditi posebnu evidenciju za svakog operatera. U evidenciju se unose poslovi na koje je radnik raspoređen s datumima odrađivanja poslova te podaci s liječničkog pregleda zajedno s datumom idućeg planiranog periodičkog liječničkog pregleda.

3.2.2. Program obuke za RPN

Obuka za RPN se provodi prema programu verificiranom od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta. Jedina ustanova koja trenutno može obučavati operatere za RPN u Hrvatskoj je „HEP-Nastavno obrazovni centar“ (u daljnjem tekstu: HEP-NOC) u Velikoj (Požeško-slavonska županija). Implementacija RPN-a na niskom naponu u Hrvatskoj još nije dovršena tako da je RPN na SN još u pripremi. Paralelno uvođenje RPN-a na niskom i srednjem naponu je ekonomski neizvedivo za HEP jer zahtijeva znatna početna ulaganja, a investicija nije kratkoročno isplativa.

Prije početka obuke polaznici polažu inicijalni ispit kako bi instruktor provjerio predznanje polaznika. Ispit provjerava znanje iz osnova elektrotehnike, matematike i fizike. Predznanje koje se provjerava potrebno je za pravilno izvođenje radnih postupaka tijekom RPN-a. Instruktor prema rezultatima inicijalnog ispita prilagođava program kako bi nadoknadio eventualne nedostatke grupe ili pojedinaca.

Obuka se sastoji od teorijskog i praktičnog dijela. Jedan instruktor obučava grupu od maksimalno 6 osoba. Grupe od 6 ljudi su se pokazale idealne iz sljedećih razloga:

- individualni pristup instruktora svakom polazniku obuke,
- jednostavnije praćenje polaznika, ukazivanje na moguće pogreške tijekom obuke,
- pri izvođenju praktičnih vježbi u relativno kratkom vremenu svi polaznici mogu proći kroz sve uloge,
- jednostavnije provođenje obuke u pogledu potrebne opreme i infrastrukture.

Teorijski dio obuke služi kako bi se polaznici upoznali s tehnologijom rada pod naponom te sukladnim normama i propisima. Predavanja prate HEP-ove biltene koji su sastavljeni prema literaturi EdF-a nakon preuzimanja tehnologije. Bilteni su dodijeljeni svim polaznicima obuke kako bi polaznici lakše pratili obuku i kao podsjetnik u daljnjem radu.

Praktični dio je glavni dio obuke i sastoji se od niza vježbi koje simuliraju stvarne radne postupke. Početne vježbe su jednostavnije i služe da polaznici dobiju osjećaj za rad sa zaštitnom opremom. Svaka vježba se ponavlja više puta kako bi svi polaznici prošli kroz sve uloge operatera i kroz ulogu rukovoditelja radova. Kroz ponavljanje vježbi operateri stječu rutinu rada pod naponom.

Sve vježbe se rade pod naponom na poligonu koji simulira stvarnu distribucijsku mrežu. Na poligonu, kao i na stvarnoj mreži, postoji više vrsta vodiča, stupova i rasklopne opreme (Sl. 3.2). Vježbe se ne razlikuju značajno od stvarnih radnih postupaka, što rezultira kvalitetno obučenim operaterima. Obuka završava ispitom znanja nakon kojeg su polaznici osposobljeni za RPN. Svoje prve radne postupke operateri izvode samostalno, ali pod nadzorom instruktora. Nakon završetka radova instruktori mogu istaknuti eventualne pogreške novih operatera za RPN.



Sl. 3.2. *Dio poligona za obuku operatera za RPN [7]*

Novi elektromonteri koji nisu savladali radne postupke u beznaponskom stanju ne mogu savladati obuku za RPN jednako efikasno kao oni iskusniji. Glavni razlog tome je što je sama obuka za RPN u Hrvatskoj relativno kratka i predviđena za montere s radnim iskustvom u beznaponskom stanju. Taj problem se može riješiti uvođenjem smjera „elektromonter za rad pod naponom“ u tehničke srednje škole.

Učenici koji bi završili taj smjer mogli bi neposredno nakon srednje škole raditi pod naponom na niskom naponu, a nakon nekoliko godina iskustva mogli bi se dodatno specijalizirati za rad pod naponom na srednjem naponu. Moguća je, naravno, obuka za RPN na srednjem naponu već u srednjim školama, ali to zahtijeva znatno veću investiciju, budući da je oprema potrebna za obuku na srednjem naponu znatno skuplja.

Primjenom predloženog načina obrazovanja i obuke na tržištu rada osigurao bi se dovoljan broj obrazovnih operatera za RPN na niskom naponu, a HEP NOC bi služio samo za obuku na srednjem naponu. To bi ubrzalo implementaciju tehnologije RPN u HEP i predstavljalo značajan korak u smjeru da se većina radnih postupaka na niskom i srednjem naponu odrađuju bez isključenja.

3.2.3. Održavanje profesionalne kvalificiranosti

Prihvaćanjem tehnologije za rad pod naponom u Hrvatskoj je osnovano Povjerenstvo za radove pod naponom. Povjerenstvo za radove pod naponom je nezavisno tijelo u kojem sudjeluju stručni ljudi iz resornih ministarstava, elektroprivrednih tvrtki, državnih inspektorata, zavoda za norme, instituta i slično. Povjerenstvo je krovna organizacija koja dopunjava, izmjenjuje i potvrđuje sve potrebne uvjete za rad pod naponom [8].

Povjerenstvo za radove pod naponom smatra da treba upozoriti na sljedeće poteškoće:

- nedostatak pozornosti i nepoštivanje dokumenata objavljenih u biltenima HEP-a, osobito onih koji propisuju uvjete za izvođenje radova pod naponom,
- zaboravljanje pravila kod ljudi koji nemaju dovoljno praktičnog iskustva,
- nedostatak opreza kod primjene RPN-a s obzirom na prethodno iskustvo rada u beznaponskom stanju i zato što se rad pod naponom uzima kao nešto “uobičajeno“.

Povjerenstvo za radove pod naponom odlučilo je izdati preporuke za izvođenje radova, koje se odnose na održavanje iskustva i profesionalne kvalificiranosti za radove pod naponom na srednjem naponu za zaposlenike s ovlaštenjem za RPN [5].

Testove znanja može organizirati tvrtka, uz korištenje nekog softvera ili višestrukim izborom pitanja koja su specifična za radove pod naponom na srednjem naponu. Obnova Ovlaštenja za rad pod naponom može se sistematski produljivati operateru koji nije imao dulji prekid praktičnog rada. Povjerenstvo za RPN preporučuje da se svi zaposlenici organiziraju, okupljaju u jednom ili više tečajeva obnove znanja [5].

Učestalost izvođenja radova pod naponom se računa od datuma početne obuke ili zadnjeg tečaja obnove znanja. Preporučeni interval obnove znanja je:

- četiri (4) godine za operatere s Ovlaštenjem za rad pod naponom, koji stalno rade pod naponom (više od dva puta tjedno),
- tri (3) godine za operatere s Ovlaštenjem za rad pod naponom koji povremeno rade pod naponom (najmanje jedanput tjedno),
- dvije (2) godine za operatere s Ovlaštenjem za rad pod naponom koji ponekad rade pod naponom (jedanput mjesečno), uzimajući u obzir rad pod naponom u jednoj godini [5].

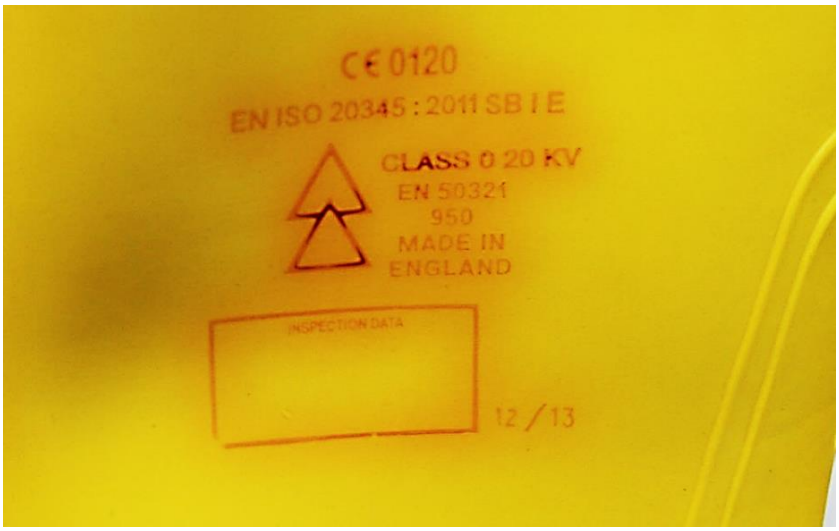
Tehnologija RPN-a se u Hrvatskoj ne primjenjuje dovoljno i to predstavlja značajan problem u razvoju tehnologije na ovim prostorima. Prema informacijama iz 2012. godine 30% zaposlenika HEP-a starije je od 55 godina, a samo 85 zaposlenika od ukupno 13784 je mlađe od 25 godina [9]. Stariji zaposlenici uglavnom pružaju otpor promjenama, nisu otvoreni prema ponovnom učenju i primjeni novih tehnologija. Primjena tehnologije RPN-a za nezainteresirane i nemotivirane zaposlenike predstavlja dodatno popunjavanje radne dokumentacije i složeniji postupak. Nedovoljna primjena tehnologije rezultira „propadanjem“ obučenih operatera jer Povjerenstvo zahtjeva stalnu praksu kako bi se održala profesionalna kvalificiranost.

Ako je nastao potpuni prekid praktičnog RPN-a (osoba nije posjedovala Ovlaštenje za RPN) više od dvije godine, tada taj operater mora biti upućen na ponovnu početnu obuku za RPN. Ako je prekid trajao od šest mjeseci do dvije godine, operater mora proći tečaj obnove znanja, osim ako poslodavac može dokazati da taj operater ima dovoljno znanje i iskustvo te će mu dati potrebno ovlaštenje za RPN [5].

Obuku mora provoditi instruktor za RPN u odgovarajućem nastavno-obrazovnom centru za obuku ili u samoj tvrtki [5].

3.3. Alat za RPN

Alat koji je predviđen za RPN na sebi ima istaknuti simbol dva trokuta zajedno s oznakom naponske razine do koje se može sigurno koristiti (Sl. 3.3.).



Sl. 3.3. *Oznake na čizmama za RPN*

Zaštitna oprema i alat koji se koriste u RPN-u su definirani u TOA. Sav alat za RPN, dakle, mora biti izrađen prema normi koja je otisnuta na alatu. Zahvaljujući testiranjima koje propisuje norma, alat za RPN mora biti kvalitetan, što ujedno povisuje njegovu cijenu. Na nekim alatima postoji mjesto predviđeno za unos datuma periodičkih ispitivanja kao što je to na izolacijskim čizmama prikazanim na Sl. 3.3.

3.3.1. Osobna zaštitna oprema za RPN

Uobičajena zaštitna oprema radnika obuhvaća kacigu s vizirom, kožne radne rukavice, obuću s izolacijskom potplatom (uvjet vrijedi samo za rad na vlažnom tlu i rad u blizini stupova) i nezapaljivo radno odijelo (ono mora biti nezamašćeno i bez metalnih dijelova) [6].

Zadaća zaštitne opreme operatera je zaštititi operatera od mogućih opasnosti tijekom RPN-a. Zaštitna kaciga s vizirom (Sl. 3.4.) štiti glavu od udaraca, a u slučaju nastanka kratkog spoja štiti oči od štetnih ultraljubičastih zraka i lice od čestica koje pršte. Čestice koje pršte su užarene i mogu zapaliti odijelo tako da ono mora biti izrađeno od nezapaljivog materijala i čisto kako bi se izbjeglo moguće zapaljenje nečistoća na odijelu.



Sl. 3.4. *Zaštitna kaciga s vizirom za RPN*

Zamagljivanje vizira je problem koji se javlja pri korištenju zaštitnih kaciga što značajno smanjuje vidljivost operatera. Zbog ograničene vidljivosti operateri se mogu dovesti u opasnost podizanjem vizira tijekom RPN-a. U slučaju da jedan operater ne koristi vizir, ostali operateri ili rukovoditelj radova moraju ga upozoriti. Neki proizvođači zaštitnih kaciga ograničavaju korištenje vizira na samo dva položaja: skroz podignut i skroz spušten. Na taj način operateri ne mogu djelomično spustiti vizir i tako izložiti donji dio lica mogućim posljedicama kratkog spoja.

Operater koji radi metodom „u dodiru“, osim kožnih rukavica, mora koristiti i izolacijske rukavice ispod njih. Izolacijske rukavice pružaju zaštitu od električnog udara, a kožne rukavice mehaničku otpornost. Osim što kožne rukavice štite ruku od mehaničkih rizika (udaraca, porezotina i sl.), one također štite izolacijske rukavice od mogućih oštećenja.



Sl. 3.5. *Izolacijske rukavice za RPN s kožnim nadrukavicama*

Alternativno operater može koristiti kompozitne rukavice koje istovremeno pružaju izolacijsku i mehaničku zaštitu. Izrađene su od deblje i čvršće gume u usporedbi s običnim izolacijskim rukavicama te su podebljane spužvastim materijalom koji djelomično amortizira moguće udarce (Sl. 3.6.).



Sl. 3.6. *Oštećene kompozitne izolacijske rukavice za RPN*

Operateri su odgovorni za vlastitu zaštitnu opremu. Prije svake upotrebe operateri moraju provjeriti zaštitnu opremu i uvjeriti se u njihovu ispravnost. Taj se postupak u nekim slučajevima ne provodi dovoljno temeljito ili se u potpunosti zanemaruje. Izolacijske rukavice su najosjetljiviji dio zaštitne opreme jer su zbog praktičnije upotrebe izrađene od relativno tankog i elastičnog gumenog materijala. U slučaju nepravilnog skladištenja ili transporta s drugim alatom koji ima oštre rubove može doći do oštećenja izolacijske rukavice.

Prije izvođenja RPN-a operateri provjeravaju svoj alat i zaštitnu opremu vizualnim pregledom. Pošto je u nekim slučajevima vizualnim pregledom izolacijskih rukavica teško uočiti oštećenje, rukavice se mogu testirati na način da se provjeri njihova nepropusnost uz pomoć vode ili zraka (Sl. 3.7.).



Sl. 3.7. *Provjera izolacijskih rukavica napuhivanjem [7]*

3.3.2. Pravilno skladištenje i transport alata za RPN

Kako bi se očuvala potpuna ispravnost alata za RPN, on mora biti pravilno složen za vrijeme transporta i skladištenja. Na radnom mjestu alat mora biti složen na čistu podlogu kako ne bi pokupio nečistoće s poda koje mogu biti pogodne za preskok električnog luka (Sl. 3.8.). Operateri su odgovorni za vlastiti alat, a rukovoditelj je odgovoran za zajednički alat. Izolacijski dijelovi alata se brišu čistom krpom i silikoniziraju silikonskim krpicama (Sl. 3.8.) [3].



Sl. 3.8. *Silikoniziranje izolacijskih motki, pokrivača i pravilno odlaganje alata [6]*

Silikonskom krpicom se na izolacijske dijelove alata nanosi tanak film silikona koji sprječava zadržavanje vode na alatu. To je izrazito važno kod izolacijskih cijevi gdje vodeni trag na površini cijevi može poslužiti kao vodič pogodan za preskok električnog luka. Ako se izolacijske cijevi nepravilno transportiraju zajedno s alatom koji ima oštre rubove može doći do oštećenja na površini cijevi. Dugačke i duboke ogrebotine se ispune nečistoćama te su idealne za preskok električnog luka.

Alat za RPN je izrađen od izolacijskih materijala osjetljivih na dugotrajno izlaganje sunčevom svjetlu i njegovom razarajućem djelovanju ultraljubičastim zračenjem (Sl. 3.9.) [6].



Sl. 3.9. *Posljedice dugotrajnog izlaganja izolacijskih rukavica sunčevom zračenju*

Sve negativne posljedice se mogu izbjeći pravilnim skladištenjem opreme za RPN. Praktično rješenje je korištenje autoplatformi koje imaju prostor za skladištenje alata za RPN. Moguće su također izvedbe u obliku teretne prikolice ili zasebnog vozila koje služi isključivo za transport opreme za RPN (Sl. 3.10.).



Sl. 3.10. *Teretno vozilo za transport opreme za RPN [10]*

3.3.3. Hidraulička autoplatforma s izolacijskim umetkom

Autoplatforma je dizalica s košarom za operatere koja je galvanski odvojena od ostatka dizalice izolacijskim umetkom (Sl. 3.11.). Do razvoja autoplatformi s izolacijskim umecima došlo je zbog potrebe za povećanjem tehničkih mogućnosti i ukupne ergonomije elektromontera koji rade pod naponom. Isprva su autoplatforme bile namijenjene za postrojenja niskog, a zatim i srednjeg napona. [6]



Sl. 3.11. *Hidraulička autoplatforma s izolacijskim umetkom [2]*

Danas autoplatforme predstavljaju sastavni dio opreme za RPN na srednjem naponu. Autoplatforme nisu obvezna oprema za RPN, ali značajno pojednostavljuju izvođenje većine radnih postupaka. Na Sl. 3.12. je prikazan postupak zamjene izolatora metodom rada „na udaljenosti“ korištenjem autoplatforme (lijevo) i izolacijskih ljestava (desno).

U primjeru s izolacijskim ljestvama operateri moraju:

- postaviti izolacijske ljestve s obje strane stupa – kako bi došli na radni položaj
- postaviti uže za dodavanje alata – kako bi sigurno dostavili alat na radni položaj
- eliminirati potencijal vodiča izolacijskim pregradama – kako bi održali dovoljan broj ZE između svoje zone kretanja i potencijala faze
- eliminirati potencijal stupca izolacijskim prekrivačem – kako bi održali dovoljan broj ZE između potencijala faze (vodiča) i zemlje (stupca) tijekom manipulacije vodiča
- udaljiti vodič uz pomoć dvije izolacijske cijevi učvršćene na stup („triangulacija“) i izolacijskog užeta sa zemlje – kako bi održali dovoljan broj ZE između svoje zone kretanja i potencijala vodiča tijekom zamjene izolatora
- zamijeniti izolator.



Sl. 3.12. *Postupak zamjene izolatora metodom rada „u dodiru“ korištenjem: autoplatforme (lijevo) i izolacijskih ljestava (desno) [7]*

U primjeru s autoplatformom operateri moraju:

- postaviti autoplatformu u stabilan, radni položaj – kako bi pristupili izolatoru
- udaljiti vodič pomoćnom dizalicom autoplatforme – kako bi došli kako bi održali dovoljan broj ZE između potencijala faze (vodiča), nule (stupca) i svoje zone kretanja (košara autoplatforme)
- zamijeniti izolator.

Broj koraka u primjeru s izolacijskim ljestvama je znatno veći, a osim toga koraci su složeniji za izvođenje u usporedbi s koracima u primjeru s autoplatformom. Vrijeme izvođenja radnog postupka zamjene izolatora je, dakle, znatno skraćeno korištenjem autoplatforme. Osim toga, potreban je manji broj alata i operatera te je povećana njihova sigurnost.

Autoplatforme se koriste u kombinaciji s raznim vozilima. Izvedbe na većim teretnim vozilima omogućuju dizalice s višim dosegom, većom nosivosti košare i pomoćne dizalice (Sl. 3.13. desno), a izvedbe na manjim teretnim vozilima omogućuju bolju okretnost i terenske sposobnosti (Sl. 3.13. lijevo).



Sl. 3.12. *Različite izvedbe hidrauličnih autoplatformi [10,11]*

Visoka cijena je najznačajniji nedostatak autoplatforme, ali budući da znatno povisuje efikasnost izvođenja većine radnih postupaka u svim metodama izvođenja RPN-a investiranje u autoplatformu je potpuno opravdano.

3.3.4. Periodičko ispitivanje alata za RPN

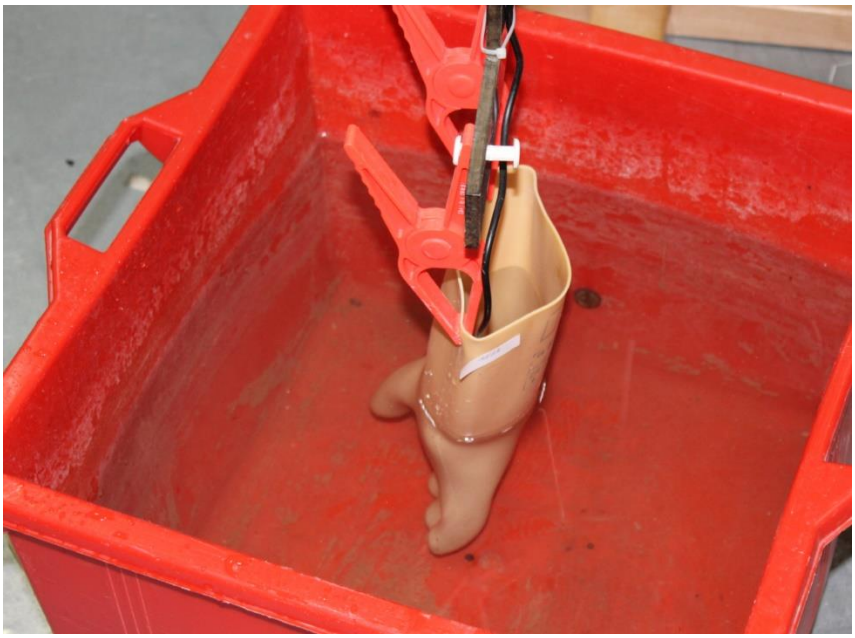
Alat za RPN mora proći periodička ispitivanja barem jedanput godišnje ako u TOA nije navedeno drugačije. Zadaća tih ispitivanja je da se iz upotrebe ukloni sav alat koji ne udovoljava normama prvenstveno radi sigurnosti operatera. Sve provjere alata se obavljaju u visokonaponskom laboratoriju prema propisanim normama. HEP-NOC posjeduje laboratoriji i norme za provođenje periodičkih ispitivanja alata.

Sve vrste alata su specifične po načinu ispitivanja, ali u većini slučajeva se radi o temeljitom vizualnom pregledu, pri kojoj se traže mehanička oštećenja, i o testu dielektrične čvrstoće. Norme propisuju: veličinu mehaničkih oštećenja koja nisu tolerantna; način provođenja dielektričnog ispitivanja; naponsku razinu i trajanje dielektričnog ispitivanja. Vizualnim pregledom se traže oštećenja površinom veća od 25 mm^2 i dublja od 1 mm, a ogrebotine ne smiju biti duže od 100 mm. Dielektrična čvrstoća izolacijske cijevi se testira na ispitivačkom stolu koji ima obuhvatne kontakte smještene na svakih 30 cm. Napon između kontakata se povisuje do 100 kV (Sl. 3.13.). Kako bi prošla ispitivanje, izolacijska cijev ne smije provesti električnu energiju.



Sl. 3.14. *Dielektrično ispitivanje izolacijske motke za RPN*

Za razliku od izolacijskih cijevi, izolacijske rukavice se testiraju na način da se smjeste u vodu te se u njih ulije voda (Sl. 3.15.). Elektroda se smjesti unutar rukavice, a druga elektroda, čiji je kraj uzemljen, smjesti se u vodu izvan rukavice. Testira se dielektrična čvrstoća rukavice pri 20 kV i struja odvoda, koja pri 5 kV ne smije prijeći normom propisanih 15 mA (Sl. 3.16.).



Sl. 3.15. *Dielektrično ispitivanje izolacijske rukavice za RPN*

Izolacijske čizme za RPN se ispituju na način sličan ispitivanju rukavica, samo se umjesto vode koriste olovne kuglice kako bi se očuvala podstava unutar čizme, a struja odvoda ne smije biti viša od 5 mA.



Sl. 3.16. *Mjerenje struje odvoda tijekom ispitivanja izolacijskih rukavica*

Alat koji zadovolji ispitivanje označen je naljepnicom na kojoj su podaci ispitivanja (Sl. 3.17). Naljepnica je brojem ispitivanja vezana za bazu podataka u kojoj je detaljniji opis ispitivanja, podaci o atmosferskim prilikama u laboratoriju tijekom ispitivanja i podaci o prijašnjim testiranjima istog alata (ako postoje). U slučaju da alat ne zadovolji ispitivanje, razlog se upisuje u istu bazu podataka. Ako izolacijske rukavice ne zadovolje ispitivanje, eliminiraju se iz upotrebe te im se odreže prst (Sl. 3.6., 25 str.) kako se ne bi pronašle u ponovnoj upotrebi. Ako izolacijski alat ne zadovolji ispitivanje, mora biti označen, ali se i dalje može koristiti u beznaponskom stanju Izolacijske cijevi koje ne zadovolje ispitivanje šalju se na servis te nakon toga ponovno na ispitivanje ili se otpisuju.



Sl. 3.17. *Naljepnica s podacima kontrolnog ispitivanja*

4. TEMELJNA NAČELA TEHNOLOGIJE RADA POD NAPONOM

Uz danas dostupnu opremu gotovo da ne postoji radni postupak održavanja elektroenergetskog sustava (u daljnjem tekstu: EES) koji se ne može odraditi bez isključenja, odnosno korištenjem tehnologije za RPN. Svaki radni postupak je jedinstven po načinu izvođenja i korištenom alatu, ali ipak postoje koraci koji se ponavljaju kroz većinu radnih postupaka. Ti univerzalni koraci se mogu nazvati temeljnim načelima izvođenja radova pod naponom. Operateri koji savladaju UIR i temeljna načela tehnologije RPN-a uz kratke upute mogu odraditi gotovo sve radne postupke. Ta načela isto tako predstavljaju glavne razlike između RPN-a i rada u beznaponskom stanju.

4.1. Visoka razina koordinacije operatera i rukovoditelja radova

Prije izvođenja RPN-a rukovoditelj radova daje detaljne upute operaterima. Rukovoditelj se mora pobrinuti da svaki operater razumije svoju ulogu i obavještava druge o vlastitim namjerama [3]. Ako operater pri radu pod naponom nije pažljiv ili ako drugi operater nije svjestan njegovih namjera, može doći do kratkog spoja ili električnog udara. Bitno je da operater razmisli prije svakog pokreta i o tome obavijesti ostale operatere. Prednost RPN jest ta što je opskrba neometana i što izvođenje radova nije vremenski ograničeno tako da operateri ne moraju žuriti pri izvršavanju radnih postupaka što znatno smanjuje mogućnost pogreške.

Radni postupci koje izvodi više operatera nerijetko zahtijevaju njihovu dobru suradnju. Iz tog se razloga operateri trebaju rasporediti u timove koji će raditi zajedno. Stvaranjem „uigranih“ timova za obavljanje RPN-a povećava se sigurnost i efikasnost radne grupe.

4.2. Eliminiranje potencijala na mjestu izvođenja RPN-a

U izvođenju radnih postupaka u RPN-u poželjno je da na radnom položaju operater u svom području kretanja ima prisutan samo jedan potencijal (onaj na kojem radi). Eliminiranje potencijala se odrađuje uz pomoć ZE (izolacijskih prekrivača, pregrada, zračnih raspona i sl.). Za smještanje prekrivača koriste se štipaljke koje su također od izolacijskih materijala (Sl. 4.1.). Izolacijske pregrade na sebi imaju kopču tako da se mogu smjestiti uz pomoć izolacijskih cijevi u metodi rada „na udaljenosti“. Eliminiranje potencijala je ključno kako bi se održao potreban broj ZE (propisan UIR) između operatera i aktivnih dijelova postrojenja te dijelova postrojenja na različitom potencijalu.



Sl. 4.1. *Eliminiranje potencijala tijekom rada na konzoli stupa [12]*

4.3. Manipulacije vodičima tijekom RPN-a

U nekim radnim postupcima RPN-a potrebne su manipulacije vodovima. U postupku zamjene izolatora vod se odvaja od konzole stupa tako da ga je potrebno osigurati na drugi način. Vodič se može osigurati izolacijskim cijevima učvršćenim na stup ili uz pomoć kombinacije užeta i izolacijskih cijevi sa zemlje (Sl. 4.1). Alternativno, vod se može manipulirati pomoćnom dizalicom autoplatforme (Sl. 3.12., 26. str.).

Tijekom bilo koje manipulacije vodičem mora se obratiti pažnja na maksimalno mehaničko naprezanje vodiča, a koje se prati dinamometrom koji je učvršćen na vodič (Sl. 4.2.). Ako se vodič previše mehanički optereti, može doći do njegovog pucanja što predstavlja veliku opasnost u radu pod naponom. Prije manipulacije vodič se pregledava vizualnim pregledom, a sumnjivi dijelovi voda mogu se detaljnije pregledati korištenjem ogledala na izolacijskoj cijevi (Sl. 4.2.).



Sl. 4.2. *Vizualni pregled vodiča uz pomoć ogledala na kraju izolacijskoj cijevi i praćenje mehaničkog naprezanja vodiča dinamometrom [7]*

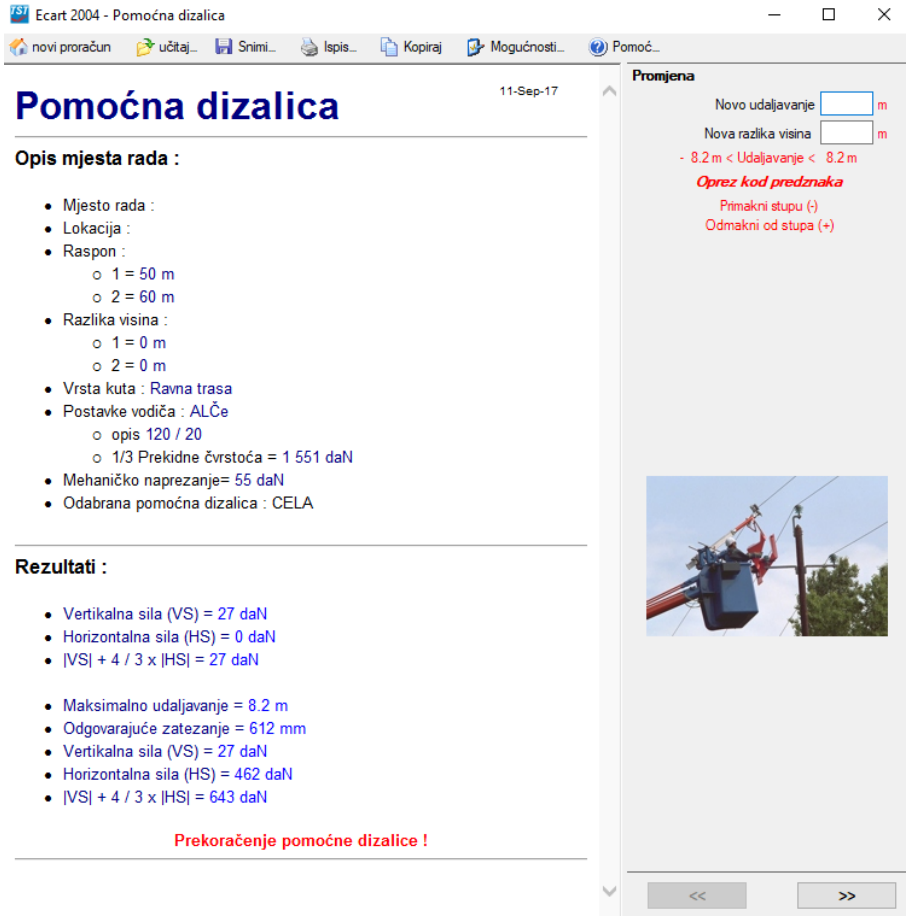
Oštećenja se svrstavaju u slabe točke prema kriterijima zadanim u UIR. Vodič na kojem je pronađena slaba točka ne smije se dodatno naprezati bez određene vrste potpore. Osim sumnjivih dijelova vodiča, potrebno je pregledati i ostale dijelove opreme kao što su izolatori, konektori, iskrišta, katodni odvodnici prenapona, i slično.

Ako na vodiču i opremi nisu uočene slabe točke operateri uz pomoć računalnog programa ECART 2004 izračunavaju maksimalno dopušteno dodatno naprezanje vodiča. Program je izvorno razvijen za EdF, ali je naknadno preveden na hrvatski jezik i nadopunjen podacima o vodičima koji koristi HEP. Program nudi više načina udaljavanja ili imobilizacije dijelova pod naponom. Programu su za izračun dopuštenog naprezanja potrebni sljedeći podaci:

- vrsta i presjek vodiča
- duljine raspona između stupca na kojem se radi i njegovih susjednih stupaca
- visinska razlika susjednih stupaca obzirom na stupac na kojem se radi, ako je trasa na neravnom terenu
- trenutno naprezanje vodiča izmjereno dinamometrom
- dolazni i odlazni kut vodiča, ako trasa nije ravna (može se unijeti u stupnjevima, a i u metrima kao „duljina kuta“)

Podaci trenutnog naprezanja, vrste i presjek vodiča određuju se mjerenjem, a svi ostali podaci određuju se vizualnom procjenom, mjerenjem koracima ili na sličan način. Dodatno naprezanje je ograničeno na jednu trećinu maksimalnog dopuštenog zbog očekivanih pogrešaka u mjerenju, ili u procjeni stanja vodiča ili ovjesne opreme.

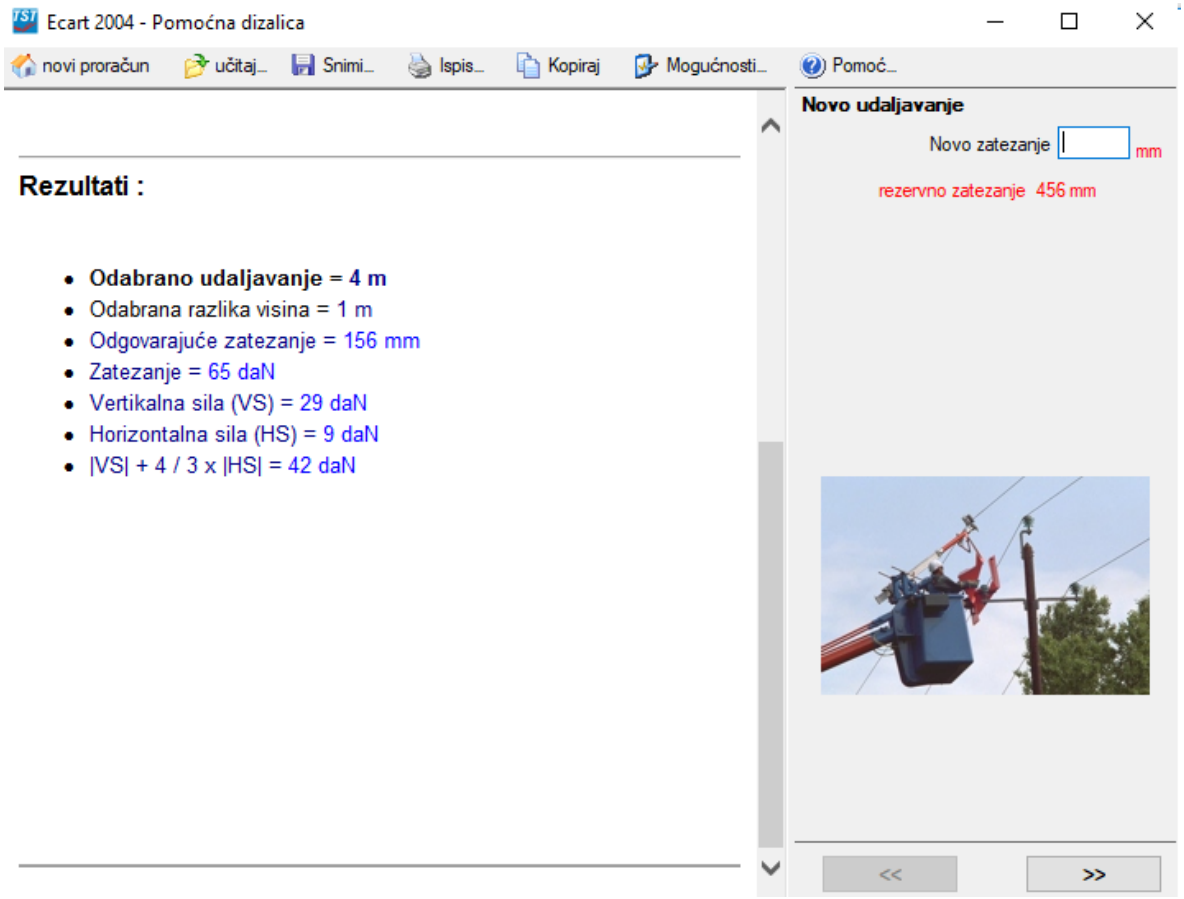
Ako se udaljavanje vodiča izvodi pomoćnom dizalicom autoplatforme potrebno je odabrati vrstu pomoćne dizalice iz baze podataka programa. Nakon unosa podataka „ECART 2004“ programska podrška prikazuje rezultate proračuna (Sl. 4.3.).



Sl. 4.3. *Proračun dodatnog naprezanja vodiča pomoću „ECART 2004“ programske podrške*

Program izračunava vertikalne i horizontalne sile na vodič. Određuje maksimalno udaljavanje vodiča u metrima i zatezanje koje odgovara maksimalnom udaljavanju. Prikazane su sile koje nastupaju pri maksimalnom udaljavanju, program također ističe da pomoćna dizalica ne može podnijeti maksimalno naprezanje.

U program se unosi vrijednost udaljavanja ili zatezanja vodiča s obzirom na njegov početni položaj. Odabrano je novo udaljavanje vodiča od 4 m po horizontalnoj osi i 1 m po vertikalnoj osi te su izračunate sile (Sl. 4.4.). Nakon udaljavanja vodiča program nudi raspon vrijednosti mogućeg dodatnog zatezanja vodiča, odnosno „rezervno zatezanje“ (ako je potrebno zategnuti vodič nakon udaljavanja). U slučaju da sila naprezanja vodiča prelazi trećinu prekidne čvrstoće vodiča ili je prekoračeno maksimalno naprezanje pomoćne dizalice, program izbacuje poruku upozorenja.



Sl. 4.4. *Rezultati proračuna udaljavanja vodiča pomoću „ECART 2004“ programske podrške*

„ECART 2004“ programska podrška se može koristiti na terenu budući da može biti instalirana na dlanovniku (engl. Pocket PC). Osim pomoćne dizalice „ECART 2004“ podržava i sljedeće načine udaljavanja vodiča: triangulacija (klizna i zglobna), sidrenje, zatezno dizalo i vertikalna montaža.

4.4. Korištenje premosnice u radnim postupcima RPN-a

U radnim postupcima popravka nekog aktivnog dijela postrojenja ponekad postoji potreba prekidanja električnog kruga. Kako bi se prekidanje električnog kruga odradilo u RPN-u bez prekida opskrbe potrebno je korištenje privremene premosnice.

Premosnica je sustav koji se spaja na obje strane aparata, osigurača, stezaljki ili dijelova sustava sa svrhom da zamijeni ili ukloni oštećeni aparat, osigurač ili neizolirane ili izolirane dijelove sustava, a da se ne prekida tok struje [2].

Na Sl. 4.5. prikazano je korištenje privremenih premosnica kako bi se mogla raditi zamjena ili popravak rasklopne opreme na konzoli stupa.



Sl. 4.5. *Korištenje privremenih premosnica tijekom RPN-a [7]*

Ako se premošćuje zaštitni element postrojenja, kao što je prekidač ili osigurač, premosnica mora biti spojena preko privremenog prekidača ili osigurača istih karakteristika kao što je premošteni

element. U nekim je slučajevima prije montaže premosnice potrebno očistiti površinu vodiča korištenjem izolacijske cijevi i nastavka sa Sl. 4.6. kako bi se ostvario bolji kontakt.



Sl. 4.6. *Alat za četkanje, skidanje oksida i nečistoća na površini vodiča*

Nakon što je vodič očišćen, dva operatera izolacijskom cijevi postavljaju premosnicu. Bitno je da oba konektora dodirnu vodič u isto vrijeme. Konektore premosnice potrebno je stegnuti i blokirati te se nakon toga uz pomoć strujnim kliješta utvrđuje je li premosnica „preuzela teret“, odnosno teče li kroz premosnicu struja. Tek nakon što se ustanovi da je premosnica „preuzela teret“, električni krug smije se prekidati.

4.5. Otvaranje i zatvaranje električnih krugova pod naponom

U slučaju otvaranja ili zatvaranja električnih krugova pod naponom koriste se privremeni prekidači ili rastavljači ovisno o razini opterećenja. Set prijenosnih prekidača (Sl. 4.6.) se može ugraditi korištenjem metode rada „na udaljenosti“. Korištenjem radio veze prekidači se uklapaju i isklapaju sinkronizirano kako bi se eliminirale posljedice ferorezonancije. Oprema tog tipa može se koristiti u slučaju uklapanja, odnosno isklapanja dijelova mreže pod opterećenjem.



Sl. 4.7. *Prijenosni privremeni prekidači za RPN [13]*

4.6. Praćenje naponskih prilika na mjestu izvođenja RPN-a

Ako se primijeti nestanak napona, nevezan uz incident na mjestu rada, rukovoditelj radova će završiti trenutni korak rada te u dogovoru s dispečerom odlučiti o nastavku rada, odnosno o povratku napajanja [5]. Naponsko stanje na mjestu rada operateri prate korištenjem indikatora napona (Sl. 4.8.). Indikator se pričvrsti na vodič i u slučaju nestajanja napona daje zvučni signal operaterima.



Sl. 4.8. *Indikator prisutnosti napona za RPN*

5. PRIMJENA TEHNOLOGIJE RADA POD NAPONOM U HRVATSKOJ

U Hrvatskoj je tehnologija za RPN još u pripravnoj fazi koja je dodatno usporena slabim razvojem tehnologije za RPN na niskom naponu (u daljnjem tekstu: NN). Usprkos znatnim prednostima u usporedbi s tehnologijom rada u beznaponskom stanju, tehnologija za RPN na svim naponskim razinama još nije stekla dovoljnu popularnost.

5.1. Prednosti tehnologije za RPN

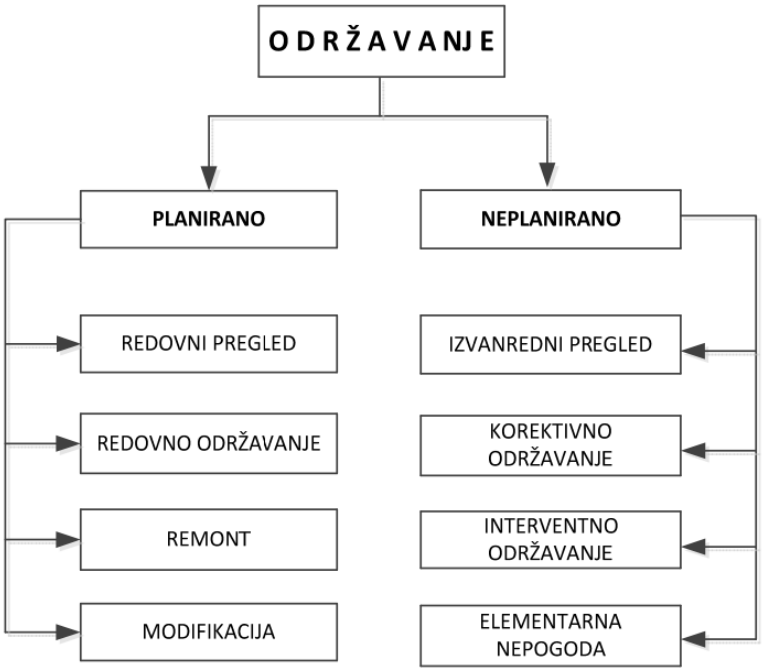
U nastavku ovog poglavlja RPN se odnosi na rad pod naponom na svim naponskim razinama osim ako naponska razina nije definirana uz kraticu.

Glavna prednost RPN-a naspram rada u beznaponskom stanju je neprekinutost opskrbe. Najveća zarada HEP-a dolazi od prodaje energije, a električna energija koja ne dođe do potrošača ne može biti prodana. Osim neisporučene električne energije, prekidom opskrbe raste i nezadovoljstvo kupaca. Potrošači poput industrije imaju i indirektne troškove zbog zaustavljanja proizvodnje.

Prekidi opskrbe nastaju uglavnom zbog:

- djelovanja „više sile“ u obliku atmosferskih neprilika ili sličnog,
- kvara uzrokovanog zatajenjem dijela elektroenergetskog postrojenja,
- održavanja EES-a.

Na prekide uzrokovane djelovanjem „više sile“ nemoguće je utjecati. Kvarovi uzrokovani zatajenjem opreme mogu se izbjeći redovitom inspekcijom i čestim održavanjem. Prekidi uoči održavanja EES-a podijeljeni su kako je prikazano na Sl. 5.1. Gotovo svi radni postupci održavanja (planirani i neplanirani) mogu se odraditi upotrebom tehnologije za RPN. Jedino ograničenje je količina opreme i obučenih operatera.



Sl. 5.1. *Podjela održavanja elektroenergetskog sustava [14]*

U Hrvatskoj dolazi do znatnog broja zastoja dijelova distribucijskog sustava (Tab. 5.1.), uzrokovanih uglavnom količinom zastarjele opreme.

Tab. 5.1. *Pregled broja zastoja po naponskim razinama u 2014. god. [26]*

Grupa napona zastoja [kV]	**Broj zastoja – planirani zastoj**	**Broj zastoja – prisilni zastoj**	**Broj zastoja – ukupno**
0,4	16.676	28.069	44.745
10 (20)	10.968	6,060	17.028
35 (30)	118	299	417
110	19	57	76
Ukupno:	27.781	34.485	62.266

Kao što je prikazano u Tab. 5.1. broj zastoja na godišnjoj razini dostiže visoke brojeve posebno na nižim naponskim razinama budući da su one više zastupljenije u distribucijskoj mreži. Kada bi se radni postupci planiranih održavanja odradili tehnologijom RPN-a ukupan broj zastoja bi se smanjio za približno 45%. Broj prisilnih zastoja bi se također smanjio budući da bi se pregledi i održavanje mogli provoditi redovitije bez prekida opskrbe.

Na ICOLIM-u u Berlinu 2002. godine Španjolska je predstavila studiju koja uspoređuje izvođenje radnih postupaka u beznaponskom stanju (u daljnjem tekstu: BNS) i korištenjem RPN-a (Tab. 5.2.). Varijable koje se uzimaju u obzir:

- ukupan broj radnika potreban za posao
- ukupan broj sati potreban za obavljanje posla
- broj radnika potreban za izvođenje radnog postupka
- broj radnih sati za obavljanje radnog postupka
- plaće radnika
- amortizacija vozila
- amortizacija alata
- neisporučena energija
- cijena neisporučene energije [17]

Broj radnika potreban za posao uključuje ukupan broj radnika koji sudjeluju na zadatku, a broj radnika za obavljanje radnog postupka uključuje samo montere koji izvode radni postupak. Broj sati potreban za obavljanje posla uključuje i pripremu za izvođenje radnog postupka. Vrijednosti koje se uzimaju u obzir:

- satnica operatera za rad pod naponom: 21,64 €,
- satnica montera za rad u beznaponskom stanju: 20,43 €,
- cijena električne energije (bez PDV-a): 0,083 €/kWh [17].

Prvi analizirani radni postupak uključuje spajanje izvoda koji nije pod naponom na nadzemni vod na srednjem naponu uz pomoć rastavljača na stupu. Pretpostavlja se da je vodič opterećen snagom od 5.000 kW.

Drugi analizirani radni postupak uključuje popravak sabirničkog rastavljača unutar jednostavnog srednjenaponskog postrojenja. Pretpostavlja se da je postrojenje opterećeno snagom od 10.000 kW.

Tab. 5.2. *Usporedba izvođenja radnih postupaka u RPN-u i radom u BNS-u[17]*

	Prvi radni postupak		**Drugi radni postupak**	
	Rad u BNS	**RPN**	**Rad u BNS**	**RPN**
Ukupan broj radnika potreban za posao [h]	4	6	2	3
Broj sati potreban za obavljanje posla [h]	2	3,5	1	3
Broj radnika potreban za izvođenje radnog postupka [h]	2	1	1	1
Ukupan broj radnih sati za obavljanje radnog postupka [h]	2	3	1	3
Plaće radnika [€]	245,16	515,73	61,29	256,05
Amortizacija vozila [€]	10,20	26,53	6,61	23,44
Amortizacija alata [€]	3,01	8,86	2,40	7,60
Neisporučena energija [kWh]	10.000	0	10.000	0
Cijena neisporučene energije [€]	830	0	830	0
UKUPNO [€]	**1.088,37**	**551,12**	**900,30**	**287,09**

Vrijeme potrebno za izvođenje posla tehnologijom za RPN je duže zbog pripreme koja uključuje izradu dodatne papirologije te pripremu alata i zaštitne opreme (Tab. 5.2.). Osim toga, vrijeme izvođenja samog radnog postupka je zbog složenosti duže u RPN-u.

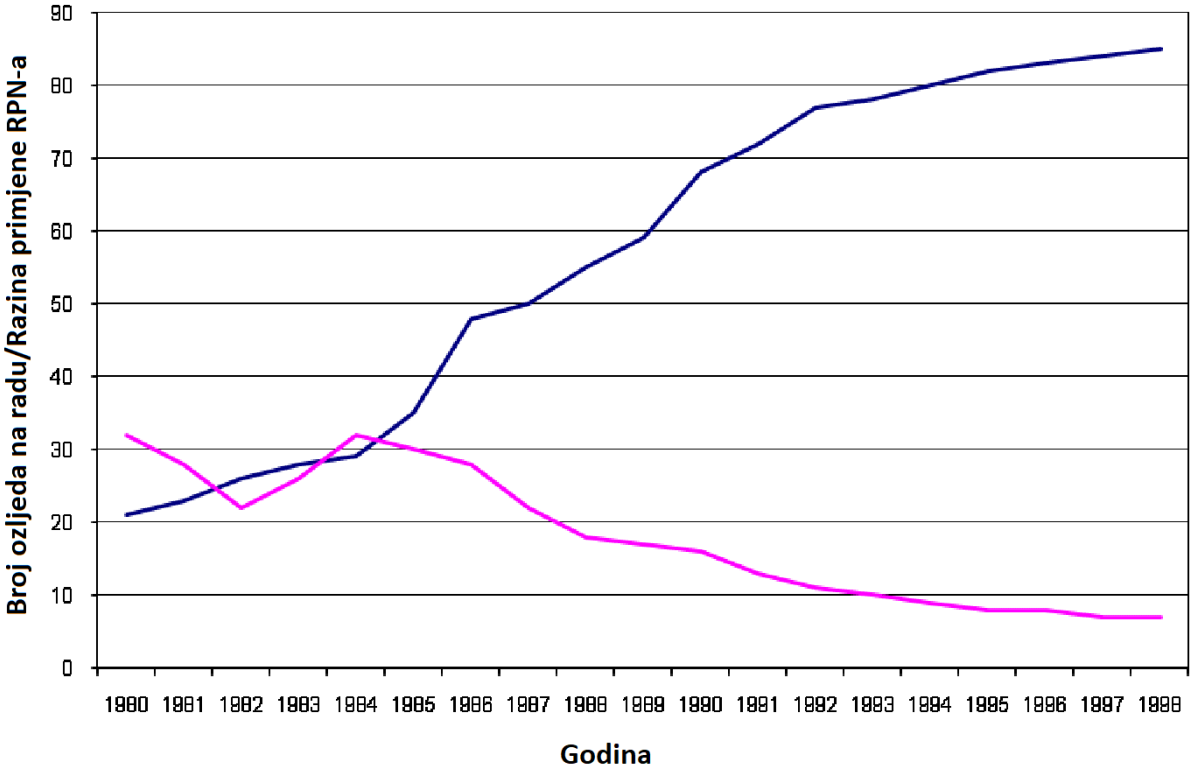
Broj radnika za izvođenje radnog postupka tehnologijom za RPN je jednak ili manji od broja radnika potreban za rad u beznaponskom stanju, ali je ukupan broj potrebnih radnika znatno veći jer je operaterima za RPN potrebna veća podrška „sa zemlje“ (dodavanje alata, manipulacija vodova, upravljanje autoplatformom i slično). Znatno veće plaće radnika u RPN-u uzrokovane su većim brojem potrebnih radnika i višim satnicama u usporedbi s monterima koji rade u beznaponskom stanju.

Cijena amortizacije vozila i alata je također znatno viša u RPN-u zbog korištenja autoplatformi za RPN i alata za RPN koji su skuplji od uobičajenih alata korištenih pri radu u beznaponskom stanju. U prvom radnom postupku prekid opskrbe u trajanju od 2 h rezultira s 10.000 kWh neisporučene energije u vrijednosti od 830 €. U drugom slučaju prekid traje 1 h, ali opterećenje iznosi 10.000 kW što ponovno rezultira s 10.000 kWh neisporučene energije u vrijednosti od 830 €. Analiza svih troškova za prvi radni postupak pokazuje uštedu od 537,25 € ako se koristi tehnologija za RPN. U drugom slučaju ušteda za korištenje RPN-a iznosi 613,27 €.

Samo izvođenje radnih postupaka ima znatno višu cijenu u RPN-u, ali uštede na neisporučenoj energiji pokrivaju troškove i stvaraju dodatne uštede. Podsjetimo da u proračun nisu uračunati indirektni troškovi prekida opskrbe i penali za neisporučenu energiju (ako postoje). Kako se povisuju naponske razine i povećavaju opterećenja tako rastu i uštede pri korištenju tehnologije za RPN.

Na ICOLIM-u u Berlinu Španjolska analizira i zamjenu izolatorskog lanca na završnom stupu 220 kV dalekovoda. U slučaju da nije moguće „zaobići“ dalekovod u kvaru, svaki sat prekida opskrbe uzrokuje 150.000 kWh neisporučene energije. Radni postupak odrađen u beznaponskom stanju traje 4 h što rezultira s 600.000 kWh neisporučene energije u vrijednosti od 49.800 €. Korištenje RPN-a za taj postupak rezultira znatnom uštedom od 49.377,66 € [17]. U realnoj situaciji popravka dalekovoda opskrba će rijetko biti prekinuta, koristit će se drugačija konfiguracija mreže, ali tada se moraju uzeti u obzir dodatni gubici koji su uzrokovani korištenjem nepovoljnije konfiguracije mreže.

Osim što povisuje pouzdanost EES-a, RPN se pokazao kao sigurniji u usporedbi s radom u beznaponskom stanju. Sl. 5.2. prikazuje iskustvo EdF-a u primjeni tehnologije RPN-a.



Sl. 5.2. *Ovisnost razine primjenjivanja tehnologije RPN-a (plavo) i broja ozlijeđenih na radu (ljubičasto) kroz početne godine primjene RPN-a u EdF-u [7]*

Na grafu je vidljiv znatan pad broja ozlijeđenih povećanjem primjene tehnologije RPN-a. Naravno da bi se broj ozlijeđenih smanjivao samim razvojem alata i opreme neovisno o primjeni tehnologije za RPN. Može se pretpostaviti da je primjena tehnologije za RPN dodatno smanjila broj ozlijeđenih.

Moguća objašnjenja za puno manji stupanj nesreća kod radova pod naponom sastoji se u tome:

- da se kod radova pod naponom problem nesporazuma oko prisutnosti napona na postrojenju uopće ne pojavljuje
- da se za radove pod naponom provode temeljite pripreme
- da su operateri za RPN bolje obučeni
- da alati koji se upotrebljavaju za RPN ispunjavaju više sigurnosne standarde i redovito se kontroliraju [7].

Rad pod naponom više nije nova tehnologija te se primjenjuje u velikom broju elektroprivreda. Znatan broj zemalja sudjeluje na „Internacionalnoj konferencija o održavanju pod naponom“ (engl. *International Conference on Live Maintenance*, u daljnjem tekstu: ICOLIM) koji se održava svake 3 godine. Na ICOLIM-u sudjeluje velik broj zemalja koje primjenjuju tehnologiju za RPN, a jedna od tih zemalja je i Hrvatska. Na konferenciji se prezentiraju alati, elektroprivrede dijele svoja iskustva u primjeni tehnologije, izvode se demonstracijski radni postupci pod naponom, i slično.

ICOLIM je idealna prilika za elektroprivrede koje planiraju implementirati RPN ili su u početnoj fazi implementacije, kao što je to HEP. Za planiranje i organiziranje održavanja pod naponom mogu se iskoristiti dobra i loša iskustva elektroprivreda koje duže koriste RPN.

5.2. Nedostaci tehnologije za RPN

Korištenje tehnologije za RPN ima određene nedostatke u usporedbi s radom u beznaponskom stanju. Neki od nedostataka su:

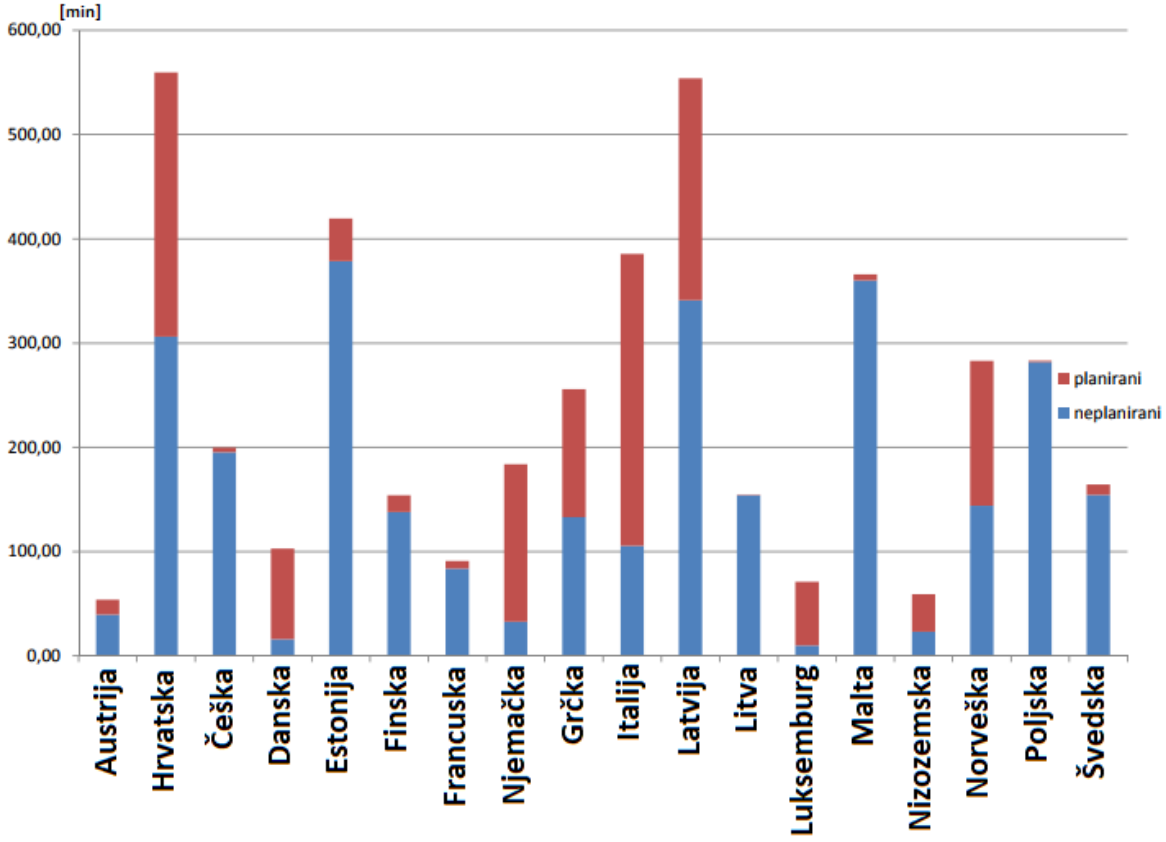
- znatna početna investicija (visoka cijena alata, autoplatforme za RPN, obuke montera i slično)
- konfiguracija mreže ponekad nepogodna za RPN
- primjena RPN-a ograničena na rad po danu i pogodne vremenske prilike (Tab. 3.1. str. 16) [10]
- potrebna dodatna infrastruktura potrebna za periodička ispitivanja alata
- potrebna nadležna tijela odnosno, regulatori za nadzor provođenja RPN-a

Visoke investicije nije teško opravdati jer su uštede na smanjenju neisporučene energije znatne i poboljšava se kvaliteta opskrbe. Budući da se tehnologija za RPN koristi paralelno s radom u beznaponskom stanju potrebno je efikasno odrediti koji će se radovi odrađivati pod naponom, a koji radom u beznaponskom stanju. Na taj način moguće je nadoknaditi određene nedostatke primjene tehnologije za RPN i povećati uštede na neisporučenoj energiji jer pod naponom odrađujemo samo radne postupke koji uzrokuju znatne količine neisporučene energije.

5.3. Nužnost primjene tehnologije u Hrvatskoj

Rezultati primjene tehnologije za RPN nisu jednako isplativi za sve elektroprivrede. Rezultati se najčešće procjenjuju razinom povećanja pouzdanosti opskrbe. Jedan od pokazatelja pouzdanosti je srednja očekivana vrijednost trajanja prekida opskrbe pojedinačnog potrošača u sustavu (engl. *System Average Interruption Duration Index*, u daljnjem tekstu: SAIDI), a definira se kao kvocijent ukupnog godišnjeg trajanja prekida opskrbe svih potrošača i ukupnog broja potrošača u promatranom sustavu [6].

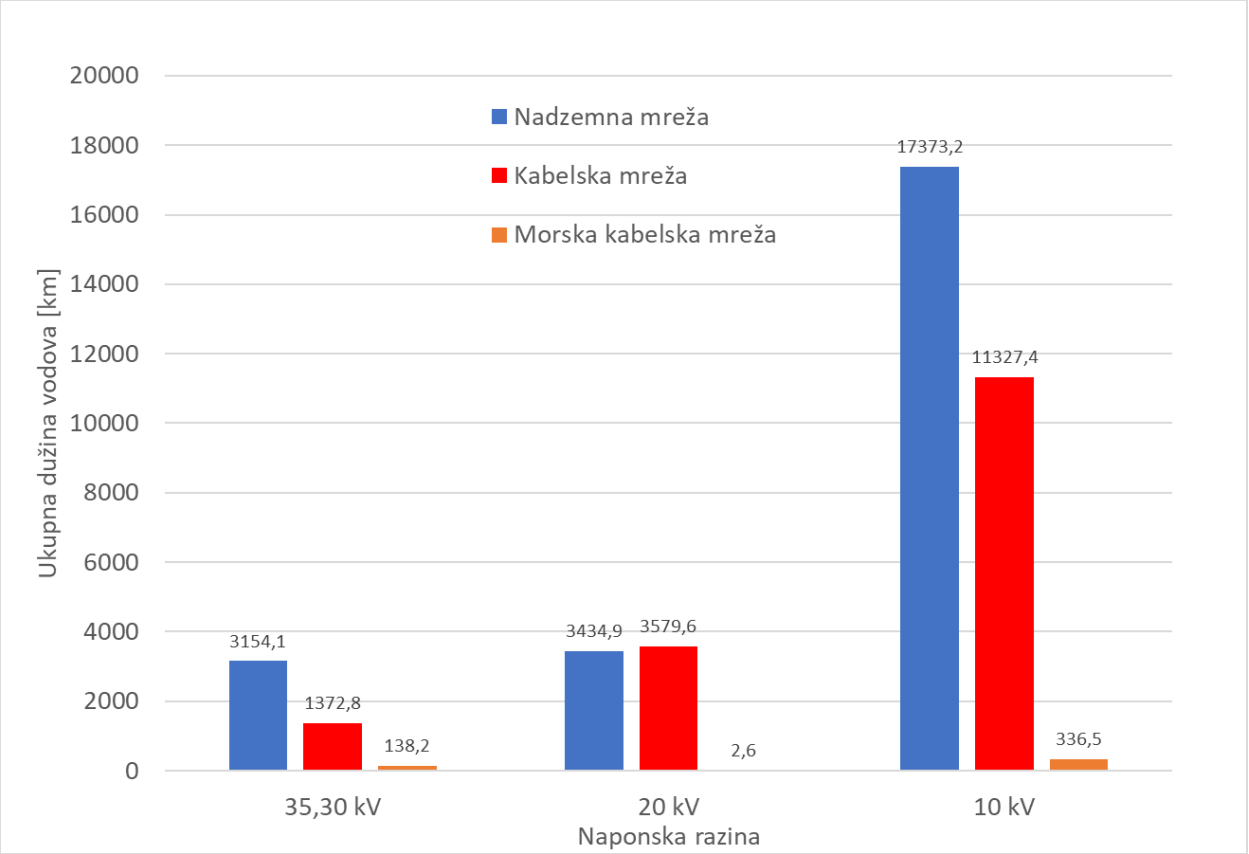
Zemlje s niskim SAIDI indeksom uvođenjem RPN-a neće ostvariti znatne uštede kao što će ostvariti zemlje s visokim SAIDI indeksom. Ako je SAIDI nizak teško je opravdati investiranje u tehnologiju RPN-a. Usporedbom SAIDI indeksa europskih država iz 2013. godine (Sl. 5.3) opravdava se nužnost primjene RPN-a u Hrvatskoj budući da ima SAIDI indeks viši od svih prikazanih zemalja.



Sl. 5.3. *Usporedba SAIDI indeksa europskih država 2013. godine [16]*

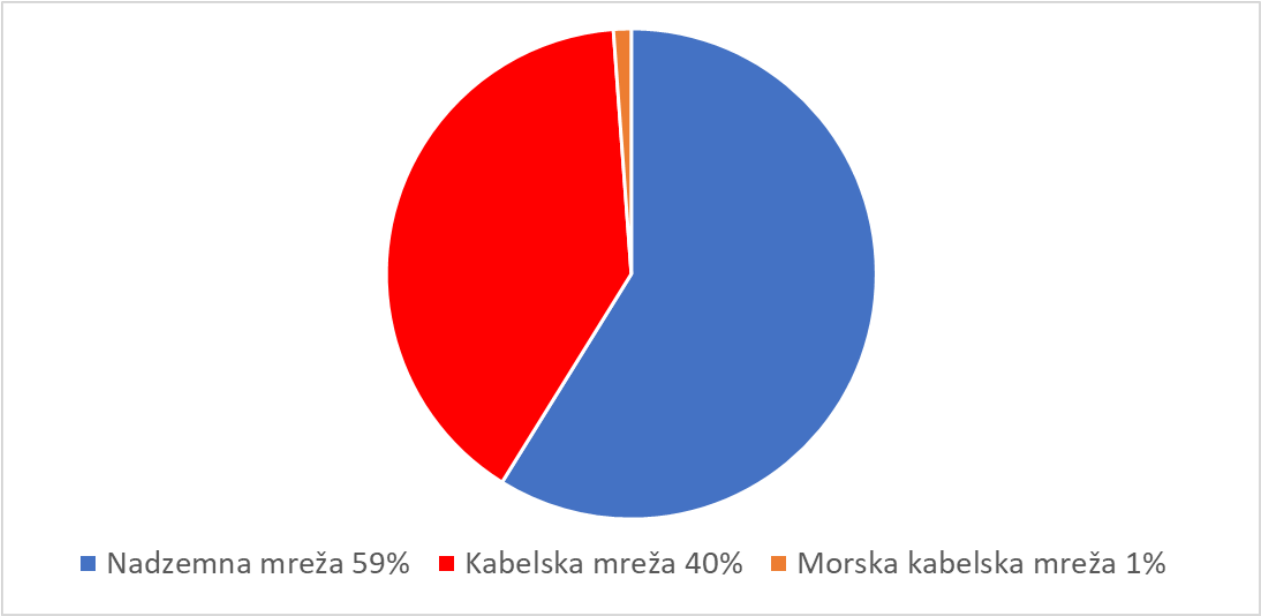
Države koje imaju noviju i pouzdaniju mrežu kao što su Austrija, Danska, Nizozemska i Njemačka imaju nizak SAIDI indeks za neplanirane zastoje. Zemlje koje intenzivno koriste tehnologiju za RPN, poput Češke, Francuske, Poljske i drugih, imaju nizak SAIDI indeks za planirane zastoje jer planirano održavanje odrađuju bez iskapčanja. Države koje koriste RPN, dakle imaju znatno višu pouzdanost EES.

Budući da se RPN na SN može primjenjivati samo na nadzemnim mrežama potrebno je utvrditi konfiguraciju Hrvatske distribucijske SN mreže (Sl. 5.4.).



Sl. 5.4. *Dužine različitih vrsta vodova po naponskim razinama u nadležnosti HEP-ODS-a u 2014. godini [26]*

Kao što je prikazano na Sl. 5.4. nadzemna mreža prevladava na svim naponskim razinama osim na 20 kV. Zastupljenost pojedinih vrsta vodova u HEP-ODS-u je bolje prikazana na postotnom prikazu (Sl. 5.5.). Budući da na srednjem naponu unutar HEP-ODS-a prevladava nadzemna mreža, može se zaključiti da je hrvatska distribucijska mreža pogodna za primjenu tehnologije za RPN.

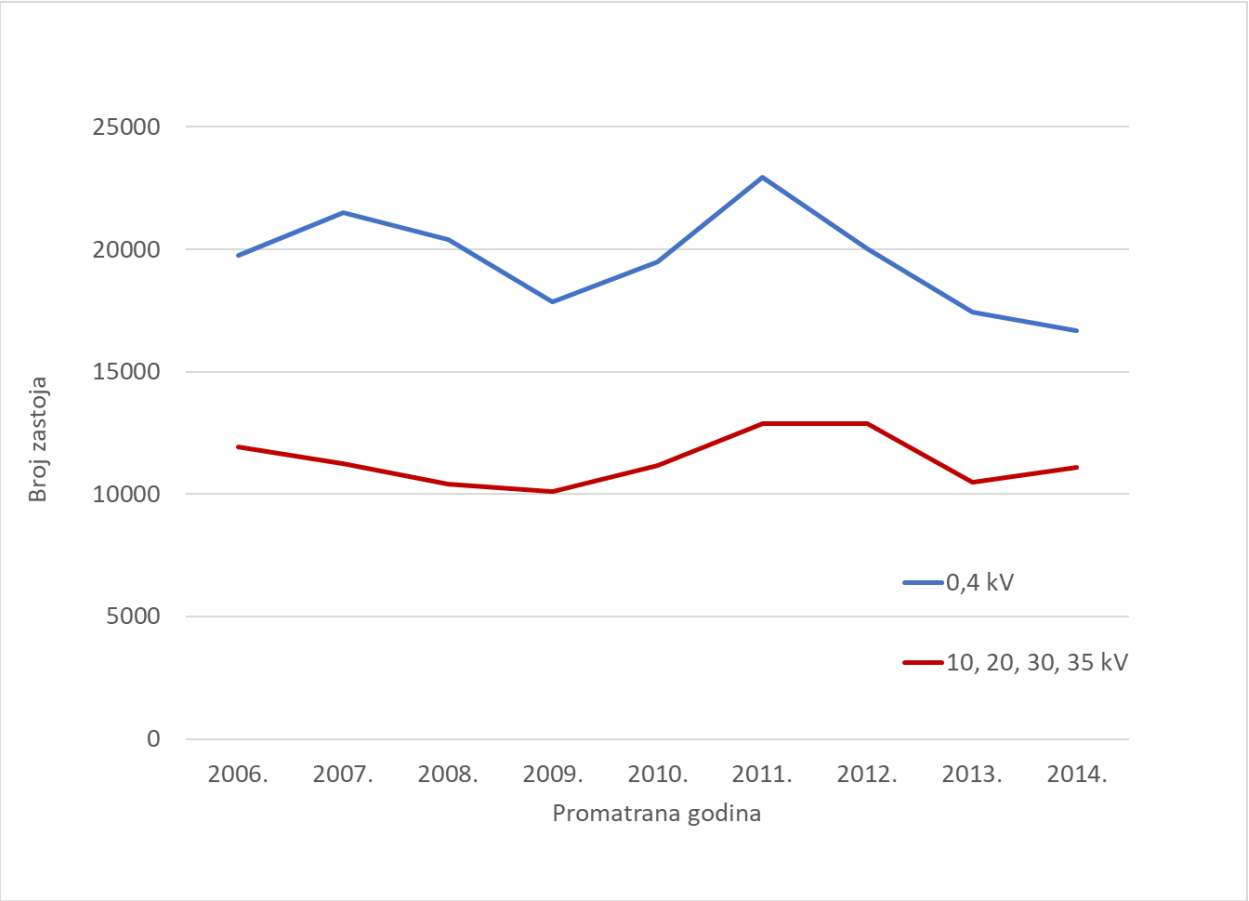


Sl. 5.5. *Postotna zastupljenost različitih vrsta srednjenaponskih vodova u nadležnosti HEP-ODS-a u 2014. godini [26]*

5.4. Rezultati primjene tehnologije RPN-a na NN

U Hrvatskoj se RPN na NN koristi nešto duže od 10 godina. Iako se RPN ne koristi dovoljno intenzivno svejedno treba pokazati rezultate. Na grafu je prikazan broj planiranih zastoja na niskom i srednjem naponu od 2006. do 2014. godine (Sl. 5.6.). Broj zastoja se u konačnici spustio za 15,63% na niskom naponu, a broj zastoja na srednjem naponu za 6,95%. Uzrok boljih rezultata na niskom naponu može biti primjena tehnologije za RPN.

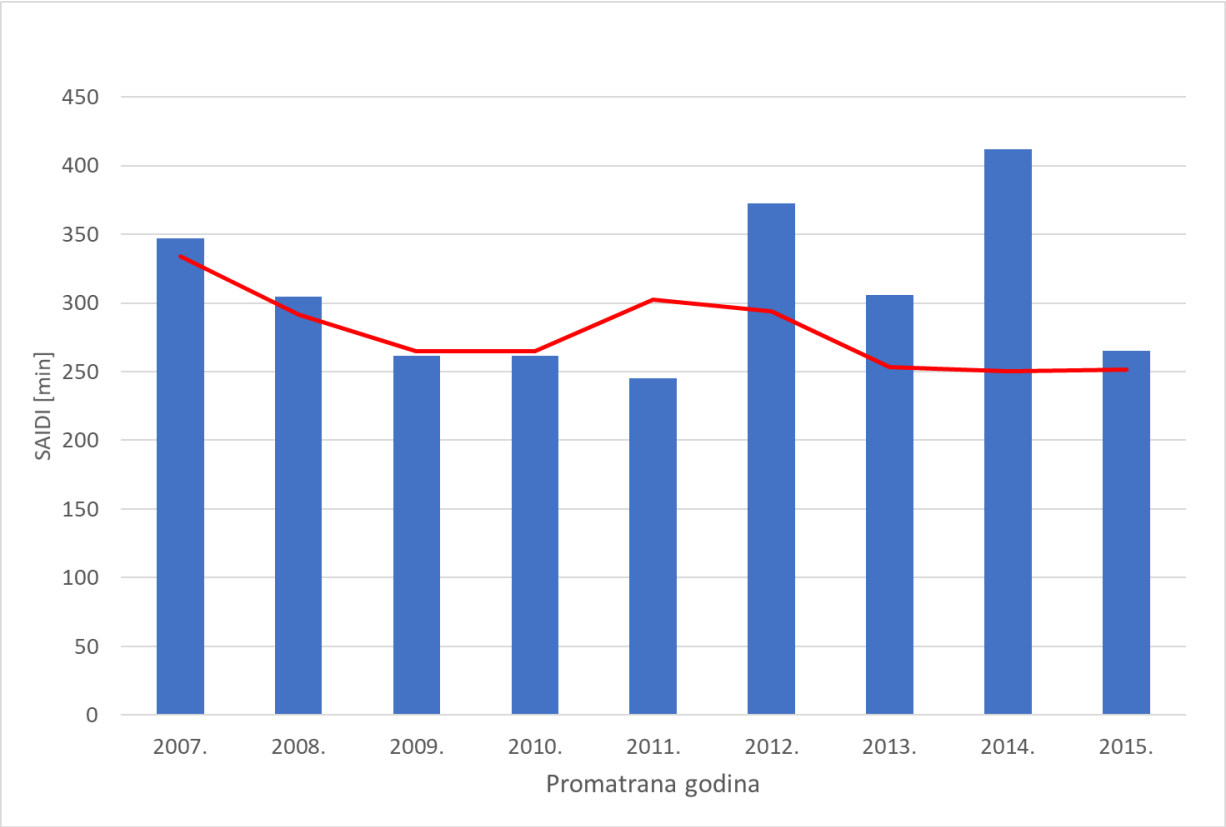
Mora se napomenuti da je dužina niskonaponske mreže porasla za 4,05%, a dužina srednjenaponske mreže za 3,91% između 2006. i 2014. godine. Ukupan broj mjernih mjesta je također porastao za 8,22% u tom razdoblju [18,15]. Porast ukupne dužine mreže i broj novih priključaka znatno je utjecao na broj planiranih zastoja i na taj način „ublažio“ pozitivne utjecaje korištenja tehnologije za RPN u tom periodu. Broj novih priključaka značajno utječe na broj planiranih zastoja na niskom naponu budući da se prije svakog spajanja korisnika na niskonaponsku mrežu izvod mora isključiti osim ako se izvodi tehnologijom za RPN.



Sl. 5.6. *Broj planiranih zastoja pogona na niskom i srednjem naponu 2006.-2014. godine [18-26]*

Ako se promatra promjena SAIDI indeksa (Sl. 5.7.) u Hrvatskoj u razdoblju od 2007.-2015. godine može se primijetiti trend snižavanja prosječnog trajanja planiranih prekida (crveno). Prosječno trajanje prisilnih zastoja (SAIDI) opada do 2011. godine nakon koje stagnira uz nagli porast u 2012. i 2014. godini.

Prosječno trajanje prisilnih zastoja (SAIDI) nije realan pokazatelj rezultata primjene RPN-a budući da uvelike ovisi o količini vremenskih neprilika kroz promatranu godinu. Primjena RPN-a može smanjiti broj prisilnih zastoja samo ako se planirano održavanje odrađuje intenzivnije, što je moguće jer nije potrebno prekidati opskrbu. Intenzivnijim pregledom i održavanjem mreže, mogući kvarovi mogu se na vrijeme sanirati.

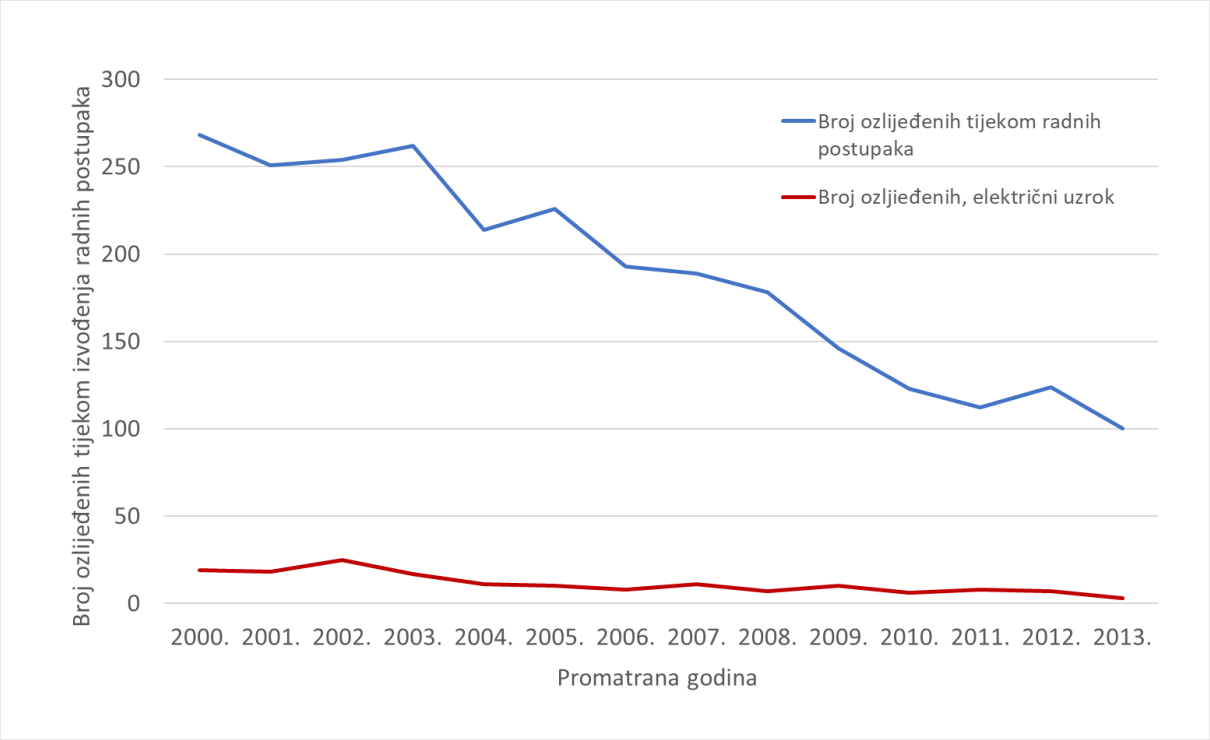


Sl. 5.7. *Iznos SAIDI indeksa za planirane (crveno) i prisilne (plavo) zastoje pogona na niskom i srednjem naponu 2007.-2015. godine [19-27]*

Može se pretpostaviti da je primjena RPN-a na niskom naponu djelomično utjecala na snižavanje prosječnog trajanja prekida (SAIDI). Prostora za napredak i dalje ima budući da je SAIDI indeks još uvijek visok u usporedbi s ostalim europskim elektroprivredama.

Ako se prati broj ozlijeđenih na radnom mjestu (Sl. 5.8.) vidi se konstantan pad broja ozlijeđenih. Mora se napomenuti da brojke pokazuju samo ozlijede tijekom izvođenja radnih postupaka i da obuhvaćaju samo ozlijede pod nadležnosti „HEP-Operatera distribucijskog sustava“ (u daljnjem tekstu: HEP-ODS). Na grafu su također istaknute ozlijede s električnim uzrokom. Broj ozlijeđenih ima opadajući trend i prije početka primjene rada pod naponom 2006. godine. Teško je procijeniti kako je primjena RPN-a na niskom naponu utjecala na broj ozlijeđenih jer je u istom periodu znatno napredovala i sigurnosna oprema koja se koristi u radu u beznaponskom stanju.

Broj ozljeda koje imaju električni uzrok ima neznatan udio u ukupnom broju ozlijeđenih što znači da većina ozljeda tijekom radnih postupaka nastaje padom s visine što je uglavnom posljedica nepravilnog korištenja sigurnosne opreme.



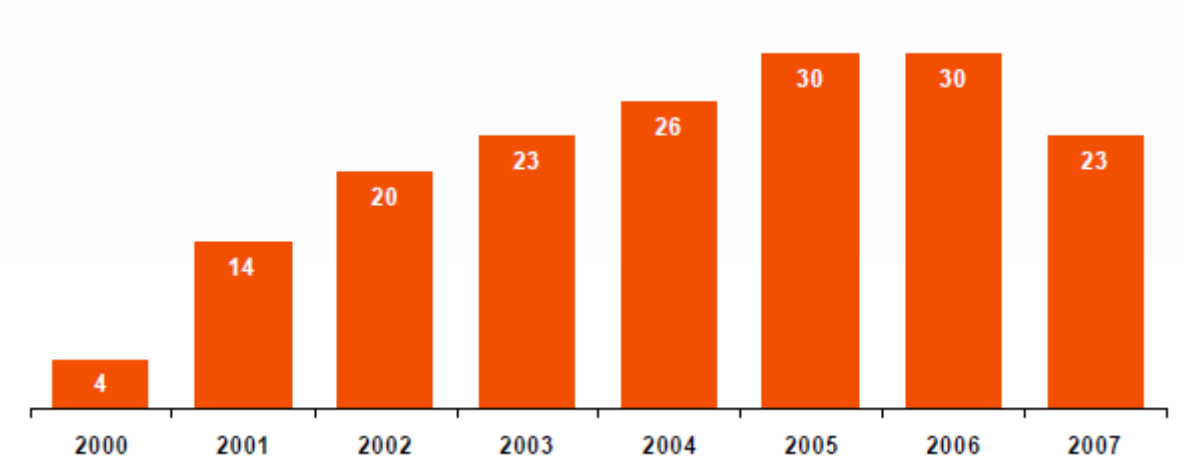
Sl. 5.8. *Broj ozlijeđenih tijekom radnih postupaka (plavo) i broj ozlijeđenih posljedicom električnog uzroka (crveno) na niskom i srednjem naponu 2000.-2013. godine [18-25]*

Primjenom tehnologije RPN-a na srednjem naponu i korištenjem autoplatforme za RPN broj ozlijeđenih padom s visine bi se mogao dodatno sniziti.

5.5. Način implementacije RPN-a na SN u HEP

Kao što je nekoliko puta spomenuto, početna investicija primjene tehnologije za RPN na SN je znatna te je potrebno detaljno analizirati podatke iz dosadašnje prakse održavanja distribucijskog sustava. Količina potrebnog alata i kompleksnost obuke raste s brojem vrsta radnih postupaka koji se planiraju izvoditi. Elektroprivrede poput češke elektroprivrede koje koriste RPN na SN savjetuju da se u početku primjene RPN-a na SN ne odrađuje više od 10 vrsta radnih postupka. Iz tog razloga je potrebno odrediti zastupljenost određenih radnih postupaka u održavanju te procijeniti količinu neisporučene energije koju prouzrokuju.

Broj radnih postupaka koji se odrađuju korištenjem tehnologije za RPN na SN tijekom 7 godina primjene u Češkoj elektroprivredi (u daljnjem tekstu: ČEZ grupa) prikazan je na Sl. 5.9.



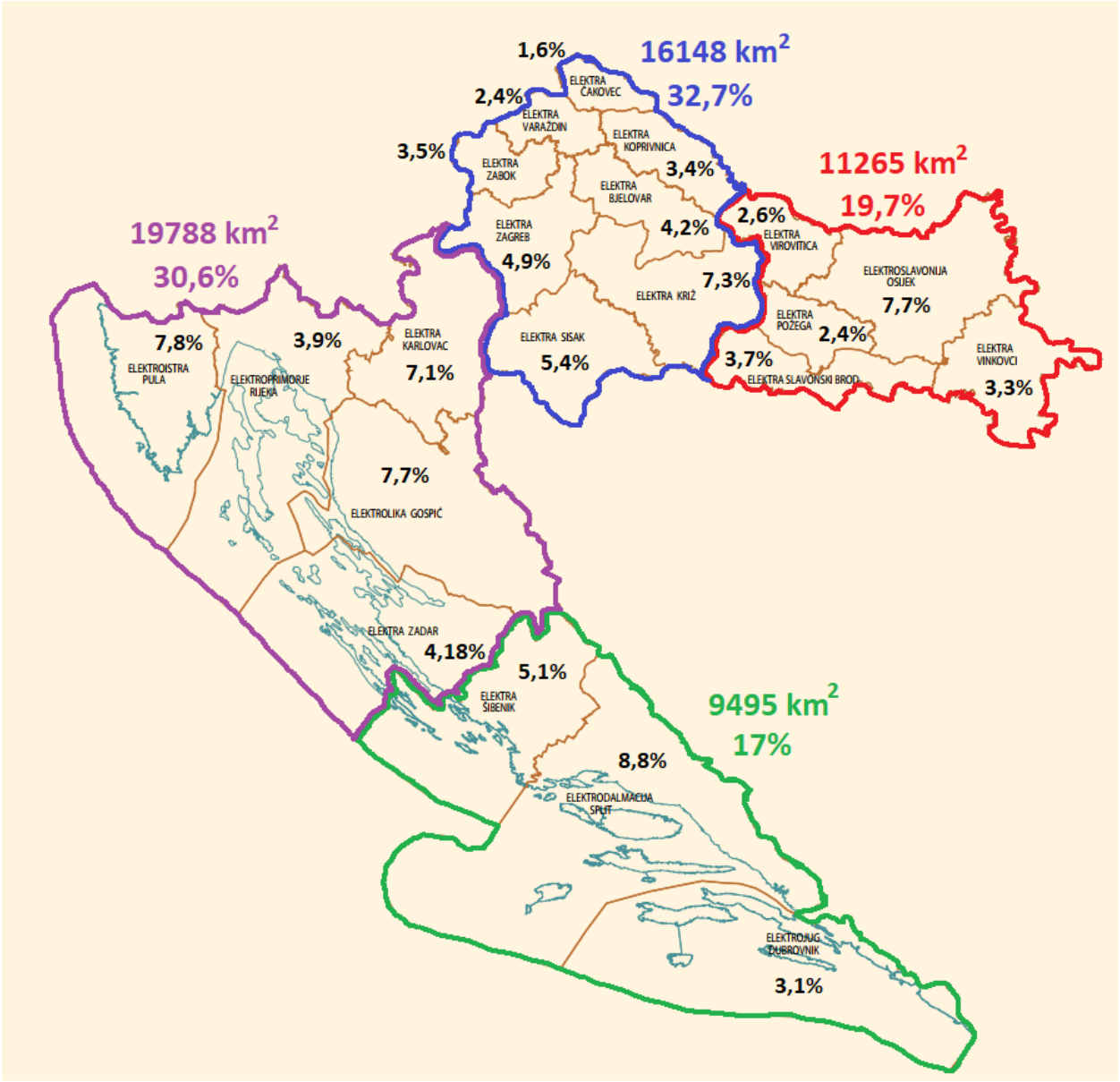
Sl. 5.9. *Broj radnih postupaka koji se odrađuju tehnologijom RPN-a na srednjem naponu u ČEZ grupi u razdoblju 2000.-2007. godine [28]*

Na početku korištenja tehnologije za RPN na SN u ČEZ grupi odrađuju se samo 4 osnovna radna postupka, ali se tijekom godina postupno uvode novi radni postupci (Sl. 5.9.). U 2007. godini dolazi do ukidanja 7 radnih postupka koji se nisu pokazali dovoljno isplativima.

Jedan od problema primjene RPN-a u Hrvatskoj jest njezin „nepogodan“ geografski oblik. Teško je rasporediti timove na način da održavaju podjednaku duljinu mreže raspoređenu na podjednakoj površini. Na Sl. 5.10. je prikazan raspored nadzemne mreže na SN u postocima po distribucijskim područjima. Također je predložen raspored timova za RPN na SN prema površini i udjelu SN nadzemne mreže. Za početak primjene RPN-a na SN u Hrvatskoj bi bilo osposobljeno 5 timova, 1 tim u Osijeku, Rijeci i Splitu te 2 tima u Zagrebu. Jedan od timova u Zagrebu bi održavao mrežu u plavom i ljubičastom području jer ta dva područja zajedno obuhvaćaju preko 60% ukupne duljine nadzemne mreže na SN u Hrvatskoj.

U takvom načinu podjele pojedini tim bio bi odgovoran za približno 20% udjela nadzemne mreže na SN, što iznosi 4792,44 km. Svaki tim bi se sastojao od:

- 10 operatera za RPN na SN, 5 u svakoj radnoj grupi,
- 4 vozača (za autoplatformu i vozilo za transport alata za RPN, u obje smjene),
- 2 rukovoditelja (po 1 u smjeni),
- 1 administrator.



Sl. 5.10. *Udio nadzemne mreže na SN po distribucijskim područjima (2014.) te prijedlog rasporeda timova za RPN u Hrvatskoj s ukupnom površinom i udjelom nadzemnih mreža [26]*

Operateri i rukovoditelj moraju završiti obuku za rad i čišćenje pod naponom na SN, a administrator može završiti informativni tečaj bez praktičnog rada. Administrator bi izvršavao odabir radnih postupaka koji će se odrađivati pod naponom prema određenim kriterijima kako bi se povećala efikasnost timova. Administrator bi također bio zadužen za redovito odrađivanje periodičkog ispitivanja alata, redovitost zdravstvenih pregleda operatera i sličnih administrativnih poslova.

Vozači za autoplatformu i dodatno vozilo za transport alata su potrebni jer autoplatforme pokrivaju znatnu količinu površine u dvije smjene. Ako se koriste vozači, timovi za RPN na radno mjesto dolaze posebnim vozilom te se na isti način vraćaju na kraju smjene, vozači za to vrijeme prevoze autoplatformu i dodatno vozilo direktno na iduće radno mjesto gdje druga smjena operatera dolazi svojim vozilom. Korištenjem vozača autoplatforma i dodatno vozilo za alat kreću se između radnih mjesta neovisno o kretanju operatera. Na taj način smanjuje se vrijeme koje autoplatforma i dodatno vozilo za alat provode u tranzitu. Na kraju radnog vremena druge smjene autoplatforma i dodatno vozilo se odlažu u sjedište distribucijskog područja koje ima najmanju udaljenost od radnog mjesta koje je predviđeno za sljedeće jutro.

Odabir radnih postupaka koji će se odrađivati pod naponom je ključan faktor u optimizaciji djelovanja tima za RPN. Iz tog razloga moraju postojati jasni kriteriji po kojima administrator procjenjuje hoće li radni postupak biti odrađen pod naponom ili u beznaponskom stanju. Kriteriji u obzir moraju uzimati sljedeće faktore:

- raspored planiranog održavanja mreže
- složenost radnog postupka primjenom RPN-a u ovisnosti s količinom neisporučene energije u slučaju rada u beznaponskom stanju
- mjesto izvođenja radnog postupka s obzirom na vremenske uvjete i mjesto prethodnog radnog postupka, odnosno položaj autoplatforme
- raspoloživost radne grupe, alata i autoplatforme

Prednost u izvođenju pod naponom imaju jednostavni postupci koji omogućuju znatne uštede na neisporučenoj energiji.

Oprema potrebna za tim za RPN uključuje:

- autoplatforma za RPN na SN s istaknutim terenskim sposobnostima
- dodatno vozilo za transport alata za RPN s istaknutim terenskim sposobnostima
- 2 vozila za transport operatera i jednostavnijeg alata za RPN
- alat za RPN i čišćenje pod naponom

Dvije radne grupe mogu obavljati radne postupke u istoj smjeni ili u različitim smjenama. Jedna radna grupa može odrađivati složenije radne postupke s autoplatformom dok druga radna grupa može odrađivati čišćenje pod naponom ili druge jednostavnije radne postupke koji ne zahtijevaju korištenje autoplatforme. Na taj način je postignuta razina fleksibilnosti, odnosno svestranosti tima za RPN. U slučaju nepovoljnih vremenskih prilika moguće je odrađivati čišćenje pod naponom u zatvorenim postrojenjima.

Osposobljavanje timova treba biti raspoređeno kroz više godina zbog znatne početne investicije i složenosti projekta. Početna faza može biti osposobljavanje „pilot projekta“ u Osijeku zbog blizine HEP-NOC-a, jednostavnosti terena i udjela nadzemne mreže. Udio nadzemne mreže iznosi približno 20%, što je predloženi udio mreže po timu u ovom projektu. Iskoristila bi se autoplatforma za RPN na SN koja je u vlasništvu HEP-NOC-a i izvršila bi se nabava ostale potrebne opreme. Povjerenstvo za RPN bi pratilo rad tima za RPN. Nakon godinu dana djelovanja izvršila bi se analiza koja uključuje:

- iznos fiksnih troškova tima za RPN na SN
- broj izvršenih radnih postupaka pod naponom
- vrijednost uštede na smanjenju neisporučene energije
- promjena SAIDI indeksa te ostalih pokazatelja kvalitete opskrbe

Na temelju iskustva u „pilot projektu“ moguće je poboljšati način implementacije tehnologije RPN-a na SN u ostatku Hrvatske. Osim toga, razlog korištenja „pilot projekta“ može biti:

- neznatna početna investicija budući da već postoji autoplatforma za RPN, nastavno-obrazovni centar i tehnologija za RPN na SN u vlasništvu HEP-a
- prikupljanje podataka za potrebe detaljnijih tehno-ekonomskih analiza isplativosti RPN-a na SN
- neznatni gubici u slučaju neisplativosti projekta

5.6. Procjena isplativosti primjene RPN-a na SN u Hrvatskoj

Procjena isplativosti primjene RPN-a na SN u Hrvatskoj je direktno povezana sa smanjenjem količine neisporučene energije. Prema izvješću HEP-ODS-a iz 2011. godine, količina neisporučene energije je bila 20.023 MWh, što iznosi 0,13% ukupne prodaje tijekom te godine [23]. Ako se koriste podaci iz 2005. godine, može se procijeniti da je približno 45% ukupne neisporučene energije prouzročeno planiranim održavanjem [15]. Vrijednost neisporučene energije prouzročene planiranim održavanjem u 2011. godini po cijeni od 0,347 kn/kWh (srednja cijena više i niže tarife bez PDV-a) iznosi 3.126.591,45 kn. Ta vrijednost naravno nije realan pokazatelj uštede budući da uključuje planirane zastoje na svim vrstama mreže svih naponskih razina. Potrebno je pokazati koliki udio neisporučene energije je prouzročen planiranim zastojima na srednjenaponskoj nadzemnoj mreži. Bez detaljnih pogonskih podataka to je nemoguće dovoljno precizno procijeniti zbog složenosti distribucijske mreže.

Prema podacima distribucijskog područja „Rijeka“ u razdoblju od 2001. do 2006. godine moguće je približno procijeniti udio neisporučene energije po naponskim razinama (Tab. 5.3.).

Tab. 5.3. *Postotni udio neisporučene energije po naponskim razinama u distribucijskom području Rijeka u razdoblju od 2001.-2006. godine [29]*

	Količina neisporučene energije [%]					
Promatrana godina	**2001.**	**2002.**	**2003.**	**2004.**	**2005.**	**2006.**
Elektroenergetska mreža 0,4 kV	6,37	11,62	11,12	7,89	15,5	8,04
Elektroenergetska mreža 10(20) kV	90,78	72,98	82,06	56,57	75,67	84,05
Elektroenergetska mreža 35 kV	2,85	15,4	6,82	35,54	8,83	7,91

Iz vrijednosti prikazanih u Tab. 5.3. vidljivo je kako je najveći udio neisporučene energije distribucijskog sustava prouzročen zastojima na srednjem naponu. Iako se radi o podacima s jednog distribucijskog područja, može se pretpostaviti da su rezultati približno isti i za ostatak hrvatske distribucijske mreže budući da se konfiguracije mreže ne razlikuju značajno.

S podacima udjela neisporučene energije po naponskim razinama procjena količine neisporučene energije po radnom postupku je prezahtjevna za odrediti bez detaljnih podataka o distribucijskom sustavu. Iz tog razloga za procjenu isplativosti primjene tehnologije za RPN na SN u Hrvatskoj korišteni su podaci tvrtke „E.ON“ iz Češke. Upotrebom dvaju metoda, od kojih je jedna izračun prema podacima održavanja u beznaponskom stanju, a druga mjerenje na mjestu rada pri RPN-u na SN, Češka tvrtka dolazi do srednjeg iznosa količine neisporučene energije po radnom postupku na SN od 3,45 MWh [30].

Ako se pretpostavi da svaka od radnih grupa odradi 1 radni postupak dnevno, to na 4 tima za RPN na SN s 2 radne grupe ukupno iznosi 8 radnih postupaka. Odrađivanje 8 radnih postupaka rezultira s 27,6 MWh „dodatno“ prodane električne energije zahvaljujući radu bez prekida opskrbe. Ako se računa da godina ima 250 radnih dana to je ukupno 2000 radnih postupaka, odnosno 6.900 MWh godišnje. Na godišnjoj razini procijenjene uštede iznose 2.943.300 kn (0,347 kn/kWh).

Te uštede vrijede u idealnoj situaciji gdje svaki tim odradi barem jedan radni postupak pod naponom dnevno, i također se odnose samo na direktne uštede zbog smanjenja neisporučene energije. Realne uštede mogu biti znatno više.

Teško je procijeniti koliko vremena je potrebno da se isplate početna ulaganja u RPN na SN bez točnih cijena opreme za RPN. Međutim, održivost te tehnologije nije upitna, a uštede na neisporučenoj energiji mogu pokriti cijenu amortizacije vozila, alata i plaće operatera. Isto tako, u obzir se mora uzeti i činjenica da glavni razlog primjene te tehnologije nije zarada novca nego povećanje pouzdanost opskrbe distribucijske mreže.

5.7. Poticaj na primjenu tehnologije RPN

Jedan od većih problema u primjeni tehnologije za RPN u Hrvatskoj jest manjak motivacije. Radnici unutar distribucijskih područja nemaju poticaj za obavljanje radnih postupaka pod naponom i to rezultira slabom primjenom RPN-a. Neke elektroprivrede, poput one u Njemačkoj, koriste sustav nagrađivanja, odnosno kažnjavanja radne skupine koje ostvare, ili ne ostvare, zadanu razinu pouzdanosti opskrbe. Ciljanu razinu pouzdanosti određuje regulator sustava, a radnici unutar distribucijskih područja svojim radom ostvaruju novčane bonuse ili penale u slučaju loše pouzdanosti sustava [31].

ZAKLJUČAK

Hrvatska ima jedan od najlošijih SAIDI indeksa u Europi, a u isto vrijeme posjeduje tehnologiju rada pod naponom na srednjem naponu koju ne koristi. RPN na SN se intenzivno koristi u znatnom broju elektroprivreda i pokazuje samo pozitivne rezultate.

Budući da posjeduje HEP-NOC koji može obučavati operatere za RPN i autoplatformu za RPN na HEP-ODS, Hrvatska ima idealne uvjete za pokretanje pilot projekta koji bi pružio prave rezultate primjene RPN-a na SN u Hrvatskoj i služio kao smjernica u daljnjoj implementaciji tehnologije. Naravno, potrebno je odraditi i detaljnu tehno-ekonomsku analizu, posebno za Hrvatsko primorje. Slabo pristupačan teren možda se pokaže neisplativim za primjenu tehnologije RPN-a na SN. Nakon izvršavanja analize i provedbe pilot projekta potrebno je osposobiti prve timove za RPN na SN te postaviti realne ciljeve poboljšanja pouzdanosti distribucijskog sustava. Povjerenstvo za RPN treba pratiti timove koji rade pod naponom te novčano nagrađivati uspješno ostvarivanje zadanih ciljeva. Nagrađene radne skupine služit će kao primjer i motivacija svim novim timovima za RPN na SN.

Ako HEP uspješno provede implementaciju RPN-a na SN, ne samo da će se smanjiti broj planiranih prekida nego će se redovitim održavanjem smanjiti i broj kvarova na mreži, čime je moguće ostvariti znatne novčane uštede. Osim toga, HEP će zapošljavati bolje obučene radnike, što će povećati efikasnost i sigurnost na radnom mjestu.

Hrvatska može postati predvodnik primjene tehnologije za RPN u regiji i možda predvoditi implementaciju RPN-a u nekoj od susjednih, slabije razvijenih zemalja.

LITERATURA

[1] Réseau de transport d´électricité, "Live working a cutting-edge technique", Les Éditions Textuel, Paris 2013.

[2] Hrvatska elektroprivreda, „Opći uvjeti za radove pod naponom na srednjem naponu", Bilten HEP-a br. 241, Zagreb 2011.

[3] Hrvatska elektroprivreda, "Uvjeti za izvođenje radova pod naponom – čišćenje na srednjem naponu", Bilten HEP-a br. 243, Zagreb 2011.

[4] Hrvatske norme, "Pogon električnih postrojenja (HRN EN 50110-1:2008 i HRN EN50110-2:2008)", 2008.

[5] Hrvatska elektroprivreda, „Uvjeti izvođenja radova pod naponom na srednjem naponu metodom rada „na udaljenosti" i kombinacijom metoda", Bilten HEP-a br. 241, Zagreb 2011.

[6] V. Caha, "Tehnologija rada pod naponom - projekcija učinaka primjene u Hrvatskoj elektroprivredi", Specijalistički rad, Osijek 2012.

[7] Stojkov, M. i Raljević, D., „Tehnologija rada pod naponom", Slavonski Brod 2016.

[8] HEP-NOC, interna kolekcija fotografija, Velika.

[9] HEP, „Godišnje izvješće 2011.", 2012.

[10] S. Motejzík, J. Stankovsky, „Operational Experiences-Live Working in Medium Voltage Field in Czech Republic", ICOLIM 2004. Bukurešt, 2004.

[11] S. Motejzík, V. Žid, „Live working in the ČEZ Group" ICOLIM 2011. Zagreb, 2011.

[12] ICOLIM 2014. Budimpešta, službene fotografije, dostupno na: http://www.icolim2014.org/photos_video pristupljeno: 20.8.2017.

[13] Siemens Ltd., karakteristike i slike prijenosnog prekidača, dostupno na: http://corporate.siemens.com.au/content/dam/internet/siemens-com-au/root/aunz-overhead-medium-voltage-ohmv/portable-soft-ganged-switch-for-temporary-isolation.pdf pristupljeno: 20.8.2017.

[15] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2005.", 2006.

[16] S. Dubrović, I. Radetić, „Rad pod naponom - nužnost ili trend", 2016.

[17] P. Z. Periñán, S. Endesa, M. M. Amezcua, „Comparative Study of the Costs in Live Working Acivities", ICOLIM 2002. Berlin, 2002.

[18] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2006.", 2007.

[19] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2007.", 2008.

[20] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2008.“, 2009.

[21] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2009.“, 2010.

[22] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2010.“, 2011.

[23] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2011.“, 2012.

[24] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2012.“, 2013.

[25] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2013.“, 2014.

[26] HEP-ODS, „Godišnje izvješće 2014.“, 2015.

[27] HEP „Izvješće o održivosti 2015.“, 2015.

[28] S. Motejzík, V. Žid, „Seven years of live working on medium voltage overhead lines in the ČEZ group“, ICOLIM 2008. Torun, 2008.

[29] V. Komen, S. Krajcar, „Ovisnost pokazatelja pouzdanosti distribucijske mreže o financijskim ulaganjima u mrežu“, 2008.

[30] L. Vojtek, „Live line working on middle voltage in E.ON Czech after two years“, ICOLIM 2008. Torun, 2008.

[31] K. Dütsch, „Quality Regulation in German Distribution Networks – New Impulse for Live Working“, ICOLIM 2014. Budimpešta, 2014.

[32] I. Mijić, G. Knežević, V. Caha, „Čišćenje srednjenaponskih postrojenja u tehnologiji rada pod naponom“, OTO znanstveno-stručni skup, Osijek 2017.

SAŽETAK

U diplomskom radu opisana je analiza primjene tehnologije rada pod naponom na srednjem naponu. Analiza je obuhvatila metode, uvjete i temeljna načela rada pod naponom na srednjem naponu.

Prikazane su prednosti i nedostaci primjene tehnologije rada pod naponom te način implementacije tehnologije u HEP.

Procijenjena je isplativost primjene tehnologije u Hrvatskoj te je prikazana metoda poticaja i motivacije radnika na rad pod naponom.

ABSTRACT

The final thesis analyses the use of medium voltage live maintenance technology. The methods, conditions and basic working principles for medium voltage live maintenance technology are described.

The advantages and disadvantages of using live maintenance on medium voltage are presented, alongside with the manner in which live maintenance technology could be implemented in HEP.

The cost-effectiveness of the implementation of such technology in Croatia is estimated, and a stimulation method for workers who use live maintenance technology is suggested.

ŽIVOTOPIS

Ivan Mijić je rođen 26. ožujka 1992. godine u Osijeku, gdje završava Elektrotehničku i prometnu školu Osijek u trajanju od četiri godine za zvanje elektrotehničar.

Svoje obrazovanje nastavlja 2011. godine na Elektrotehničkome fakultetu Osijek gdje završava preddiplomski studij smjer elektroenergetika.

Diplomski studij na Fakultetu elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek upisuje 2015. godine, smjer elektroenergetski sustavi.

U slobodno vrijeme volontira u Udruzi za međunarodnu razmjenu studenata prirodnih i tehničkih znanosti IAESTE.