

NEKI ASPEKTI RADA POD NAPONOM U VISOKONAPONSKIM MREŽAMA

Marijan Kalaš, Osijek

UDK 621.316.1

STRUČNI ČLANAK

Prikazuju se važniji opći, tehnički, sigurnosni, ekonomski, socijalni i organizacijski aspekti rada pod naponom, prvenstveno ako se primjenjuje na visokonaponskim prijenosnim mrežama.

Ključne riječi: rad pod naponom, prijenosna mreža.

1. UVOD

Rad pod naponom (RPN) je izvođenje kontrole, održavanja, popravaka, zamjena, rekonstrukcija ili dogradnje elektroenergetskih mreža – vodova i postrojenja – bez prekida njihova pogona.¹

U SAD i Kanadi primjenom RPN počelo se ranije, a u SSSR tijekom Drugog svjetskog rata. U europskim elektroprivredama, primjena RPN počinje pedesetih-šezdesetih godina. Počevši 1992. godine, svake se druge godine održava međunarodna konferencija o radu pod naponom, gdje se prikazuje postignuto stanje i putevi daljnjeg napretka. Praktički: u mnogim zemljama se svi rutinski zahvati na vodovima visokog napona mogu izvoditi ili izvesti na takav način, a uporno raste obuhvat radova tim načinom i u visokonaponskim rasklopnim postrojenjima. Analogna tome su i ostvarenja na niskonaponskim i sredjonaponskim mrežama. Pojedinačnim primjerima pokazuju se ostvarenja koja potvrđuju da je moguće zapravo svaku zadaću u mreži – ako je tako potrebno – izvesti radom pod naponom.

Na početku istaknimo: oprema dalekovoda i postrojenja, za primjenu današnje tehnologije RPN, ne traži nikakve prethodne preinake. Doduše, u stanovitoj mjeri, mreža mora biti ujednačena – građena i održavana na tehnički kulturan način; inače se ne mogu primijeniti ujednačeni postupci, alati, radna i zaštitna oprema, te obuka radnika. Ako je potrebno, tehnologija RPN prilagođava se prilikama u mreži – a ne obrnuto. Nakon višegodišnjeg iskustva u primjeni, naravno, nastaju spoznaje i o takvom opremanju i izvedbi mreže da je podobnija za primjenu RPN, te je to razumno uvažavati.

Zbog svestranog i egzaktnog utvrđivanja opasnosti kojima su izloženi radnici prilikom izvođenja RPN, te izbora i dimenzioniranja mjera za njihovo svladavanje, radom pod naponom ostvaruje se veća sigurnost na radu u odnosu na rad konvencionalnim načinom.

Rad pod naponom je, dakle, raspoloživa mogućnost za kvantitativno i kvalitativno povećanje iskorištenja postojećih materijalnih i kadrovskih resursa u elektroprivredi, uz povećanje sigurnosti opskrbe električnom energijom. Time – prema iskustvu – značajno pridonosi ugledu elektroprivrede u javnosti.

Rad pod naponom treba gledati kao jednu mogućost održavanja bez prekida ili smanjenja sigurnosti opskrbe električnom energijom. Druga je mogućnost privremeno premoštavanje (koje se opet može izvesti radovima pod naponom) i izdvajanje iz pogona elementa mreže na kojem se onda radi u beznaponskom stanju ili takvo izdvajanje uz prethodno osiguranu opskrbu iz pokretnog agregata (što je primjenjivo u niskonaponskoj i donekle u sredjonaponskoj mreži). Sam rad pod naponom konvencionalno izvode neposredno elektromonteri, a u razvoju je i ostvaruje se početna primjena daljinskih manipulatora pa i robota za rad pod naponom.

2. SVOJSTVA RADA POD NAPONOM NA VISOKONAPONSKIM MREŽAMA

Podsjetimo, radovi u beznaponskom stanju na visokonaponskim mrežama obvezno se izvode uz neizostavnu primjenu pet pravila sigurnosti:

- (1) isključiti
- (2) osigurati od uključanja
- (3) provjeriti beznaponsko stanje
- (4) uzemljiti
- (5) ograditi i označiti.

Radovi pod naponom na visokonaponskim mrežama u odnosu na radove uz isključenje i uzemljenje (radovi u beznaponskom stanju) imaju niz prednosti:

- neprekinuta opskrba električnom energijom u radikalno povezanim dijelovima mreže
- povećanje tekuće sigurnosti elektroenergetskog sustava jer za vrijeme radova nije isključen element mreže na kome se radi
- smanjenje gubitaka djelatne energije u mreži, jer se ne mijenja optimalno uklopno stanje mreže

¹ Rad pod naponom (RPN), live working (LiW, engl., ponekad: HLW hot-line-work, LIM live-maintenance, LLW live-line-working, LWT live-marking tehnik), Arbeiten unter Spannung (AuS, njem.), travaux sous tension (TST, franc.), lavoro sotto tensione (LST, ital.), feszültség alatti munkavégzés (FAM, mad.), trabajos en tension (TET, španj.), rabot pod naprjaženiem (PIIH, rus.)

- smanjenje deficita jalove energije u sustavu jer vodovi ostaju u pogonu
- povećanje iskorištenja ekonomičnijih elektrana u sustavu, jer za vrijeme radova nije onemogućivan/reduciran njihov angažman
- smanjenje angažmana neekonomičnih elektrana
- za vrijeme radova ostaje normalni pogonski režim: normalne naponske prilike, mogućnosti prijenosa, vozni red elektrana
- izbjegavaju se brojne pogonske manipulacije u mreži radi pripreme radova i nakon završetka radova – smanjenje trošenja sklopnih aparata i izlaganja mreže unutarnjim prenaponima
- ne odgađa se izvršenje kritično potrebnih radova u mreži čekanjem povoljnijih energetske prilike
- jednostavnija procedura dispečerskog usklađivanja i odobravanja radova
- smanjuje se trajanje pripremno-završnih radova: izostaju radovi isključenja i uzemljenja (odnosno izemljenja i uključenja), kod dalekovoda – na njegove obje strane
- temeljito prostudirane, precizno formulirane i rigorozno primjenjivane mjere zaštite na radu smanjuju broj nezgoda na radu električnim udarom (geslo: “bolje raditi siguran da je objekt rada pod naponom, nego vjerovati da je isključen”) – radne metode su tako određene dapržaju sigurnost prema najvišem pogonskom naponu i prenaponima u mreži
- širok angažman raznovrsnih stručnjaka na pripremi, uvođenju i razvijanju radova pod naponom vodi općem osuvremenjivanju organizacije, metoda i opreme za rad, radnih procedura i obuke, te njihovom ujednačavanju na širokom području
- rad se planira u normalno radno vrijeme (ne prekovremeno, neradnim danom i noću), a njegovo izvršenje ne odvija se pod pritiskom odobrenog početka i završetka, humaniji rad
- izostaje potreba obavješćavanja potrošača i usklađivanja s njima
- primjena isključivo odobrene opreme za rad i njezina stalna kontrola
- povećanje radne osposobljenosti radnika i njezino trajno obnavljanje i provjeravanje, veća i pouzdana tehnička kultura
- bolji međuljudski odnosi u ekipama
- bolje iskorištenje radnog vremena
- mogućost sporije dogradnje prijenosne mreže
- porast ugleda elektroprivrede u javnosti.

Rad pod naponom dovodi, dakle, do povećanja sigurnosti, ekonomičnosti i kakvoće opskrbe električnom energijom, uz povećanje sigurnosti, kakvoće rada i učinkovitosti, te boljih uvjeta rada radnika zaposlenih na održavanju i intervencijama u visokonaponskim mrežama.

Uvođenje radova pod naponom uvjetovano je ulaganjima u:

- stručna sagledavanja i odluke
- stvaranje pravne infrastrukture
- izbor tehnologije i izradu tehnoloških uputstava
- opremanje radnim i zaštitnim sredstvima za RPN
- obuku kadrova za RPN
- eventualne preinake u mreži koje bi zahtijevale osobite vrste RPN
- trajno obnavljanje i kontroliranje obučenosti radnika i ispravnosti sredstava za RPN.

Zemlje koje primjenjuju RPN na visokonaponskim mrežama očito su nabrojane koristi (pojedine teško ili nemoguće novčano iskazive) ocijenile većim od (daleko jednostavnije iskazivih) ulaganja u RPN.

3. RAZVOJ OBUHVATA RADOVIMA POD NAPONOM

Vrlo sustavno i obuhvatno provedena anketa UNIPEDA iz 1984. godine [15], iznosi pregled tadašnjeg stanja RPN u obuhvaćenih 14 europskih zemalja. Tada je primjena RPN u niskonaponskim mrežama bila uobičajena u 12 obuhvaćenih zemalja, u srednjonaponskim mrežama uobičajeno u 7 zemalja, djelomice u 5 zemalja, a u visokonaponskim mrežama u 3 zemlje uobičajeno (Francuska, Španjolska, Mađarska) i djelomice u 6 zemalja (Njemačka, Danska, Velika Britanija, Italija, Norveška i Švedska). Smjer razvoja primjene RPN je pretežito od niskog napona, preko srednjeg, prema visokom naponu. Premda postoji i obrnuti primjer (Norveška) ili pragmatični primjer Italije, koja je tada bez obuhvata srednjeg napona, jer je tu primjena RPN najsloženija: opasnost velika – konstrukcijski razmaci mali!

U tih 14 zemalja bilo je tada preko 70000 radnika obučanih za RPN na niskonaponskim mrežama, skoro 4000 radnika za srednji napon i oko 400 radnika za visoki napon. Predvodila je Francuska: 22000 (niski napon), 1100 (srednji napon) i 200 (visoki napon).

Početkom ovog desetljeća u Francuskoj je taj broj udvostručen: ukupno oko 50000 elektromontera (20000 u EDF i 30000 izvan EDF) bilo je obučanih za rad na niskom naponu, oko 1500 za rad na srednjem naponu i oko 500 za rad na visokom naponu – petina svih francuskih elektromontera. Poljska 1992. godine ima 180 radnika obučanih za RPN u mreži 220 do 750 kV (12000 km), a Španjolska 1995. godine ima 250 takvih radnika za mrežu 220 do 400 kV (17000 km); [21] i [22].

Uspostavio se uglavnom ujednačen skup tipičnih zahvata koji se izvode radom pod naponom. Pregled tih zahvata na visokonaponskim mrežama iznesen je u tablici 1.

Tablica 1. Tipični zahvati koji se izvode radovima pod naponom u visokonaponskim mrežama

Zahvat	Dalekovodi	Postrojenja
– zamjena izolatora	X	X
– zamjena stezaljki i armature	X	X
– zamjena prigušivača i odstojnika	X	X
– popravak vodiča i zaštitnog užeta	X	X
– čišćenje i/ili pranje izolacije	X	X
– premazivanje izolacije	X	X
– montaža dodatnog zavješanja	X	X
– montaža pojačane izolacije	X	
– održavanje aparata		X
– popravak aparata		X
– zamjena aparata		X
– dogradnja i priključak novih elemenata	X	X
– dolijevanje izolacijskog ulja		X
– uklanjanje stranih predmeta	X	X
– zamjena konstrukcijskih elemenata	X	X
– zaštita od korozije u III. zoni	X	X
– kontrola stanja elemenata u III. zoni	X	X

Opaska: III. zona je ona u koju nije dopušten pristup konvencionalnim načinom bez isključenja i uzemljenja.

Najčešće, početak primjene RPN je samo na dalekovodima, jer su uvjeti za rad u visokonaponskim postrojenjima složeniji. U početnoj etapi primjene u mrežama visokog napona obuhvat je manji (zamjena članaka nosnih i zateznih izolatorskih lanaca, nosnih i zateznih stezaljki, te prigušivača vibracija i odstoynika), da bi se obuhvat postupno širio, u skladu s (ponegdje i specifično naglašenim) potrebama.

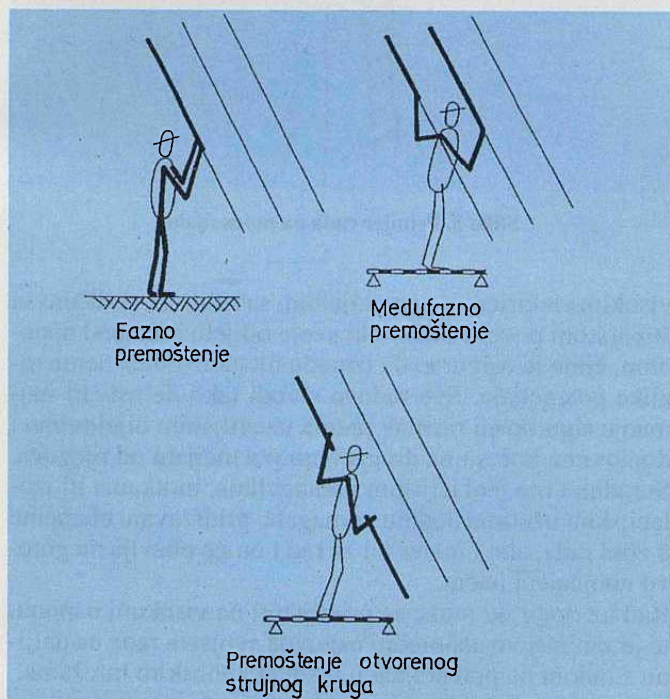
Uvjetovano intenzitetom svekolikih zagađenja suvremenog doba ili zemljopisno-klimatski uvjetovanih (posolica, prašina), ponegdje se najprije krenulo u čišćenje i/ili pranje izolacije pod naponom: suhim četkanjem, pranjem vodom (vidi sliku 9) ili tretmanom mlazom projektila (zrna kukuruza, orahove ili lješnjakove ljuske).

Za ostvareni razmah RPN u visokonaponskim mrežama odlučna su zatečena svojstva mreže i ciljevi koji se namjeravaju postići. U tom pogledu, karakteristične su prilike u Francuskoj i Njemačkoj. Francuzi su, utemeljujući svoj golemi program nuklearnih elektrana početkom sedamdesetih, utvrdili potrebu velike dogradnje prijenosne mreže kako bi se osigurala njezina raspoloživost kakvu zahtijeva ekonomično korištenje nuklearnih elektrana. Prihvatljivijim, utvrdili su ulaganja u posvemašnji razvoj RPN kako bi manje izgrađenom mrežom osigurali njezinu povoljnu raspoloživost. Nijemci tradicionalno grade višesustavne prijenosne vodove (uobičajeno četverosustavne), te zastoj jednog voda na trasi ne znači izostanak prijenosa na toj trasi. Time RPN na visokom naponu u Njemačkoj nije toliko urgentan.

Posljednjih godina, najveći zamah RPN u Europi ostvaruje se u Francuskoj, Italiji, Španjolskoj i Portugalu, sudeći prema širini i učestalosti referiranja u [21] i [22].

4. METODE RADOVA POD NAPONOM

Osnovni električni rizici kojima su izloženi radnici, radeći na trofaznom električnom sustavu niskog, srednjeg i visokog napona, bez prekida pogona su (slika 1):



Slika 1. Osnovni rizici pri radu pod naponom

- premoštenje faznog napona, tijelom (ili dijelovima tijela) između faze i zemlje
- premoštenje međufaznog napona, tijelom između dvije faze
- premoštenje prekinutog strujnog kruga, tijelom između razdvojenih dijelova.

Dopunski rizik pri radovima na niskom naponu je nehotižno izazivanje električnog luka pred licem montera na mjestu rada, a pri radovima na vrlo visokom naponu dugotrajnije zadržavanje radnika u zonama jakog električnog polja.

Mjere protiv tih rizika primjerene su njihovoj fizikalnoj osnovi. Fazno premoštenje sprečava se dodavanjem izolacije između ruku i mjesta rada pod naponom (rukavice, izolirani alat ili izolacijske motke) ili dodavanjem izolacije između tijela i zemlje (čizme, izolacijska obloga, izolacijske ljestve, izolacijska radna košara na vozilu-hidrauličnoj dizalici ili na izolator ovješena monteraška košara-sjedalica). Međufazno premoštenje sprečava se izolacijskim ograđivanjem dijelova u zoni rada. Pri radu pod visokim naponom najčešća mjera sprečavanja faznog i međufaznog premoštenja je održavanje dovoljnog zračnog razmaka između radnikova tijela i dijelova pod različitim potencijalom od potencijala tijela – pri pristupu, tijekom radnih zahvata i napuštanju mjesta rada.

Premoštenje tijelom, nehotižno ili radi radova prekinutog strujnog kruga, sprečava se time da se izvede dopunsko privremeno premoštenje koje obuhvaća prostor širi od radnoga, odnosno onoga u kojem se može dogoditi nehotični prekid.

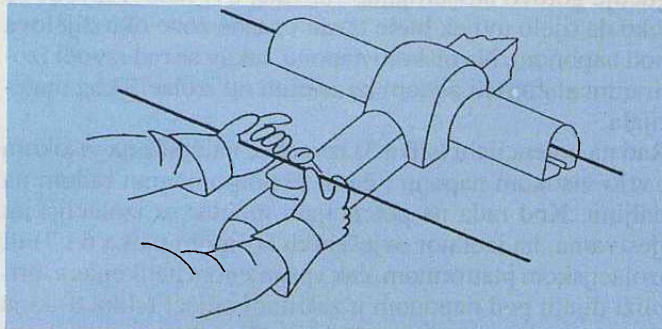
Izazivanje električnog luka sprečava se umetanjem izolacijskih pregrada u neposrednoj blizini dijelova na kojima se radi, kako bi se onemogućio njihov nehotični spoj alatom. Dopunski, ponegdje je obvezna primjena zaštitnih naočala.

Djelovanje električnog polja na organizam sprečava se primjenom ekraniziranog zaštitnog radnog odijela.

Prema tehničko-tehnološkom rješenju koje je primijenjeno za zaštitu od osnovnih rizika, razvijene su tri metode rada pod naponom:

- rad uz dodir (*rubber glove working, work in direct contact*)
- rad na daljinu (*hot stick working, work at a distance*)
- rad na potencijalu (*bare hand working, work at a potential*).

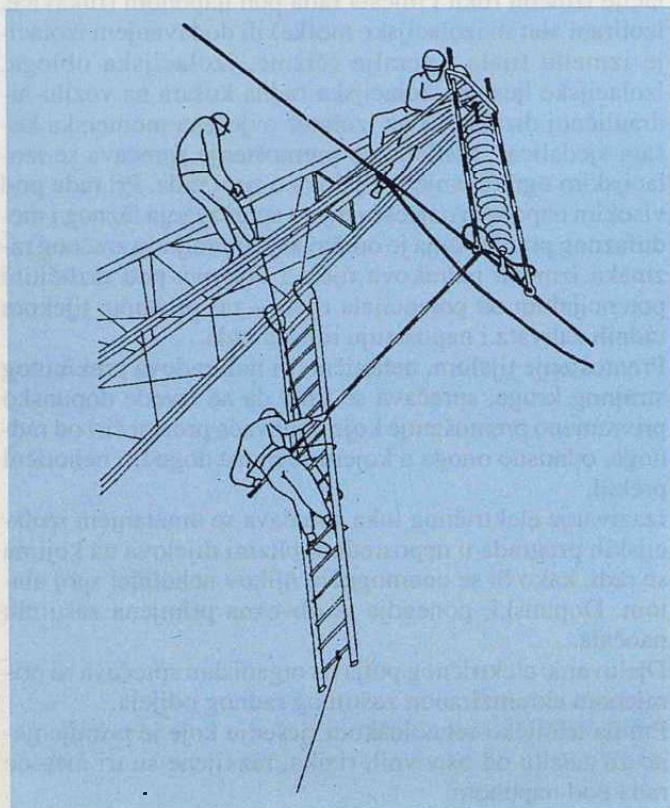
Prva metoda primjenjuje se samo na niskom i srednjem naponu, druga se može koristiti na svim naponskim razinama, a treća uglavnom na visokom i donekle na srednjem naponu. U pojedinom zahvatu mogu se te metode primijeniti samostalno ili kombinirano.



Slika 2. Rad uz dodir

Rad uz dodir (rad u blizini) izvodi se uz primjenu zaštitnih rukavica i zaštitnih gumenih rukava, na niskom naponu (slika 2) i – dodatno – izolacijskih ljestvi ili radne košare ako se radi na srednjenaponskom vodu ili postrojenju.

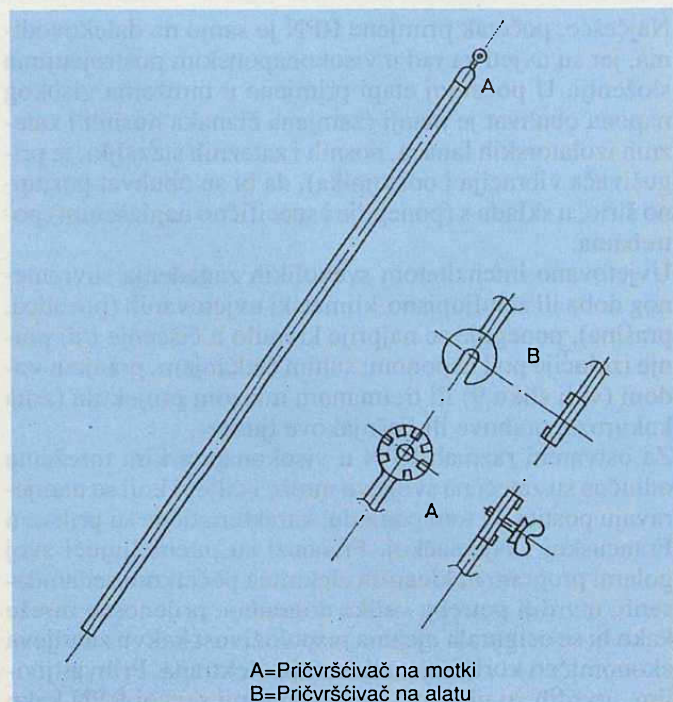
Za vrijeme rada dijelovi pod naponom se diraju (ali izolacijskim rukavicama). Priprema mjesta rada je opsežna, obično traži privremeno izolacijsko oklapanje svih uzemljenih mjesta i mjesta pod naponom faza na kojima se ne radi, te privremeno premoštavanje mjesta rada izoliranim spojnim vodičem. Za te svrhe potreban je velik broj prilagođenih izolacijskih pomagala, koja moraju odgovarati dimenzijama opreme, moraju biti ispitana i pažljivo održavana, a prije uporabe kontrolirana.



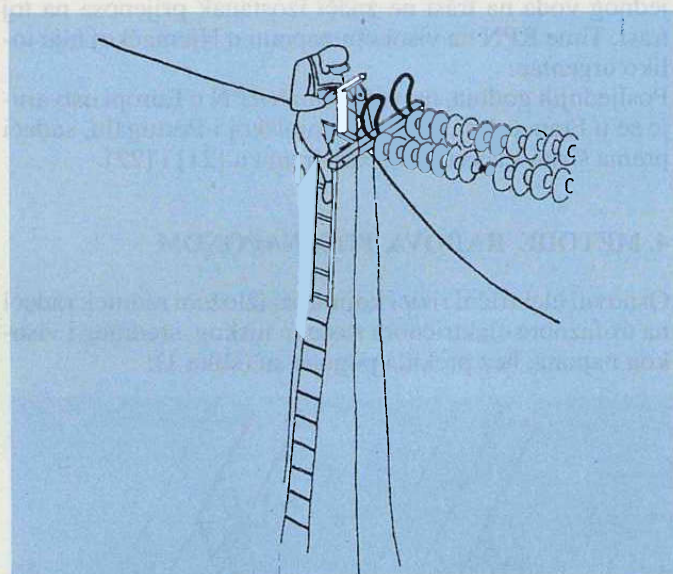
Slika 3. Rad na razmaku

Rad na daljinu (slika 3) izvodi se izolacijskim motkama, iz sintetskog materijala, poput onih kakve se inače koriste za rukovanje u visokonaponskim postrojenjima. Za rad pod naponom te su izolacijske motke vrlo krute i na vrhu snabdjevene nizom alatki široke mogućnosti izbora (od kuka, pridržiavača, kliješta, ključeva, četki – do pila, ampermeta, itd., slika 4). Spremnost i izvježbanost montera omogućuje gotovo nevjerovatne zahvate. Svi radovi izvode se tako da tijelo uvijek bude izvan opasne zone oko dijelova pod naponom. Na niskom naponu, takav se rad izvodi izoliranim alatom ili alatom izrađenim od izolacijskog materijala.

Rad na potencijalu (slika 5) izvodi se najčešće na visokom i vrlo visokom naponu i često je potpomognut radom na daljinu. Kod rada na potencijalu monter se izolacijskim ljestvama, na izolator ovješenoj košari (slika 6 i 7) ili izolacijskom platformom, čak i primjenom helikoptera, približi dijelu pod naponom u zaštitnoj odjeći (slika 8) koja je snabdjevena metalnim pletivom (Faradayev kavez – nema električnog polja u njemu). Kad je došao do dijela pod



Slika 4. Izolacijska motka za rad na razmaku

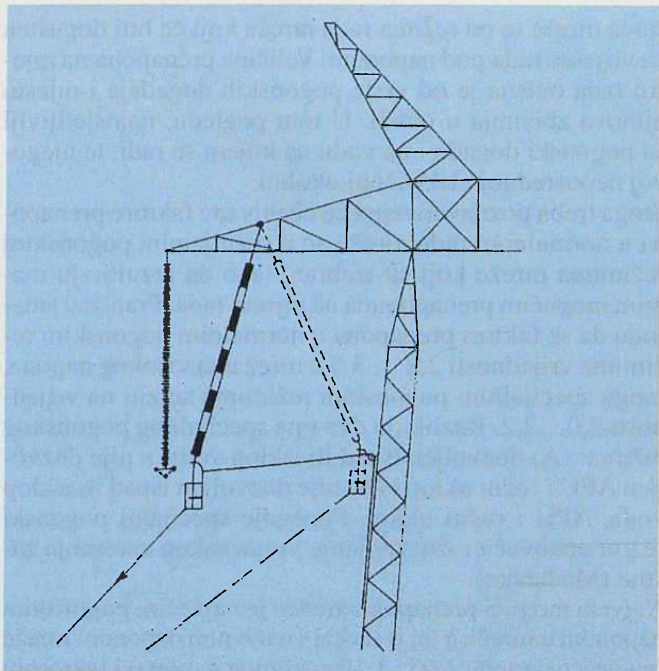


Slika 5. Primjer rada na potencijalu

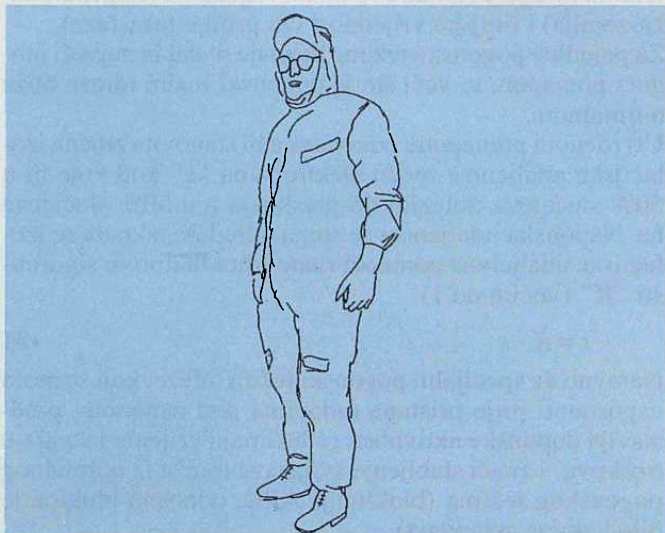
visokim električnim potencijalom, savitljivim vodičem sa štipaljkom poveže električki svoje odijelo i dio pod naponom, čime je osigurao da između njega i vodiča nema razlike potencijala. Sve radove izvodi tako da ostvari najmanje sigurnosni razmak prema uzemljenim dijelovima i dijelovima koji su na drugačijem potencijalu od njegova. Suradnici mu izolacijskim pomagalima, motkama ili izolacijskim užetima dodaju pomagala, pridržavaju elemente u zoni rada, alat i materijal za rad i on ga obavlja na gotovo uobičajeni način.

Rad uz dodir ne može se primijeniti na visokom naponu, te je zanimljivo usporediti osnovna svojstva rada na daljinu s radom na potencijalu u visokonaponskim mrežama.

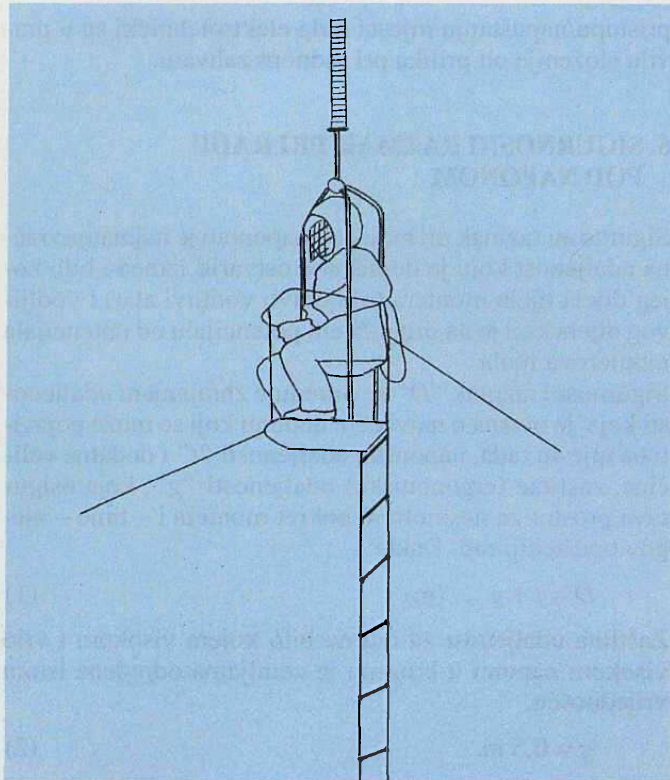
Elektrotehnički govoreći, izolacijske motke svojim materijalom, duljinom i trenutnim stanjem (ovlaženost, čisto-



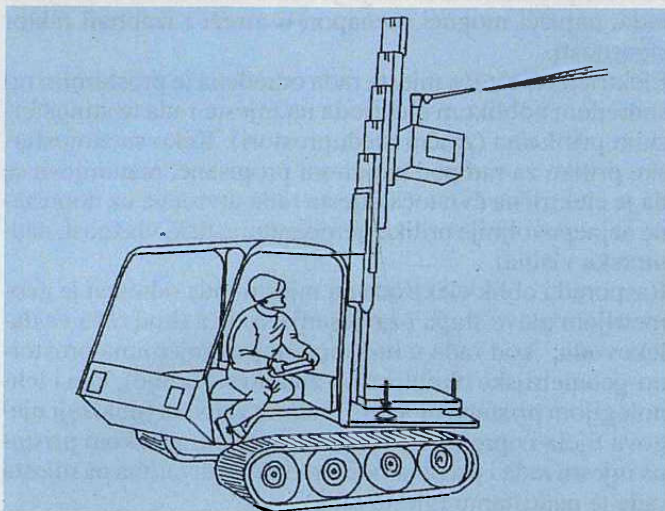
Slika 6. Pristup monterskom košarom na način ljuľjačke



Slika 8. Monter u francuskoj opremi za rad na potencijalu



Slika 7. Monter u ruskoj zaštitnoj opremi u monterskoj košari



Slika 9. Upravljiva prskalica na transporteru za pranje izolacije pod naponom

ća) osiguravaju montera od naponskog rizika pri radu na daljinu. Radi ugodnijeg rukovanja, nastoji ih se izvesti što kraće – uz razuman, ali ne prevelik faktor sigurnosti. Pri radu na potencijalu osiguranje montera od naponskog rizika provodi se izolacijskom užadi, ljestvama, izolacijskim sjedalicama i hidrauličnim korpama. Tu se može ostvariti veća rezerva u duljini, te su izolacijski komadi manje osjetljivi na konstrukcijski izbor materijala i trenutno stanje površine.

Pri radu na potencijalu primjenjuje se, za sam radni zahvat, konvencionalni alat normalne izvedbe, konvencionalni materijal za popravak i konvencionalne radne metode, uz stanovite osobitosti. Rad na daljinu traži velik asortiman specijaliziranog alata i pomagala, te naglašenu vještinu i uvježbanost radnika. Također, veće dimenzijske tolerancije kod montaže, te okolnosti nastale starenjem ili korozijom, rješavaju se kod rada na potencijalu na konvencionalni način, a takve okolnosti mogu posve onemogućiti rad na daljinu.

Praktično, na visokom naponu nastoje se iskoristiti dobra svojstva obiju metoda ili primijeniti samo onu koja za određeni zahvat jedino dolazi u obzir. Na donjem području visokog napona (110 kV) uglavnom se mora primijeniti rad na daljinu, jer nema dovoljno prostora slobodnog za monterovo tijelo. Na vrlo visokom naponu (npr. 750 kV) taj problem ne postoji te bi se mogao primjenjivati samo rad na potencijalu, premda je uobičajenija kombinacija rada na potencijalu (neposredni radni zahvat) i na daljinu (podrška tom zahvatu). Time je napon 110 kV zapravo najneugodniji za primjenu RPN: primjena se izolacijskih motki ne može mimoći, a takve su duljine da je s njima znatno teže rukovati, u odnosu prema rukovanju kraćim motkama na srednjem naponu.

Pri radu na potencijalu uočavaju se dvije karakteristične faze cjelovitog radnog zahvata: pristup/napuštanje mjesta rada i izvođenje radnog zahvata na mjestu rada. Prilike pri

pristupu/napuštanju mjesta rada elektrotehnički su u pravilu složeni je od prilika pri radnom zahvatu.

5. SIGURNOSNI RAZMAK PRI RADU POD NAPONOM

Sigurnosni razmak pri radu pod naponom je najmanja zračna udaljenost koju je dopušteno ostvariti između bilo kojeg dijela tijela montera (uključivo vodljivi alat) i vodljivog dijela koji je na drugačijem potencijalu od potencijala monterova tijela.

Sigurnosni razmak "D" se određuje zbrajanjem udaljenosti koja je ovisna o najvećem naponu koji se može pojaviti na mjestu rada, naponske udaljenosti "t" i dodatne veličine, zaštitne (ergonomske) udaljenosti "g", koja osigurava prostor za nesmotreni pokret montera i – time – njegov opušteniji rad. Dakle:

$$D = t + g \dots (m) \quad (1)$$

Zaštitna udaljenost za rad na bilo kojem visokom i vrlo visokom naponu u brojnim je zemljama određena istom vrijednošću:

$$g = 0,5 \text{ m} \quad (2)$$

Naponska udaljenost je ona pri kojoj na mjestu rada neće doći do preskoka. Određuju je: električna čvrstoća mjesta rada, najveći mogući prenapon u mreži i izabrani faktor sigurnosti.

Električna čvrstoća mjesta rada određena je prostornim rasporedom i oblikom elektroda na mjestu rada te atmosferskim prilikama (zračni međuprostori). Kako su atmosferske prilike za rad pod naponom propisane, razumijeva se da je električna čvrstoća mjesta rada utvrđena uz dopuštene najnepovoljnije prilike (temperatura, tlak, vlažnost, nadmorska visina).

Raspored i oblik elektroda na mjestu rada određen je geometrijom glave stupa i zavješnja vodiča (kod rada na dalekovodu; kod rada u rasklopnim postrojenjima prostorno-geometrijske okolnosti su znatno složenije), kao i tehnologijom pristupa montera i radnih zahvata (položaji njegova tijela i opreme za rad pod naponom prilikom pristupa mjestu rada i pri pojedinim radnim zahvatima na mjestu rada te napuštanju mjesta rada).

Stoga treba poznavati ovisnost preskočnog napona 50-postotne vjerojatnosti i udaljenosti među elektrodama za pojedine tipične slučajeve glava stupova, zavješnja vodiča i moguće tehnologije pristupa mjestu rada i samog rada pod naponom.

Ta se ovisnost provjerava na dopušteni broj neispravnih izolatorskih članaka i njihov položaj u izolatorskom lancu. Utjecaj neispravnih izolatorskih članaka ovisan je i od zagađenja izolacije.

Ovisno o nabrojanim parametrima, poznaje se funkcija ovisnosti preskočnog napona i udaljenosti među elektrodama "s". Načelno, ostvarive su radne metode pri kojima je električna čvrstoća mjesta rada uz postojeću geometriju elemenata mreže veća i metode pri kojima je ona manja.

Najveći mogući prenapon u mreži ograničava se na sklopni (unutarnji) prenapon jer je zabranjen rad ako postoji atmosfersko pražnjenje. Stoga veličina atmosferskog (vanjskog) prenapona nije mjerodavna za izbor sigurnosnog razmaka.

Sklopni prenaponi ovisni su od elektrodinamičkih svoj-

stava mreže te od režima rada mreže koji će biti dopušten za vrijeme rada pod naponom. Veličina prenapona na mjestu rada ovisna je od vrste pogonskih događaja i mjestu njihova zbivanja u mreži. U tom pogledu, najosjetljiviji su pogonski događaji na vodu na kojem se radi, te njegovoj neposrednoj električnoj okolini.

Stoga treba poznavati najveće očekivane faktore prenapona u normalnom radu mreže, te u specijalnim pogonskim režimima mreže koji su izabrani tako da rezultiraju manjim mogućim prenaponima na mjestu rada. Francuzi smatraju da se faktori prenapona u normalnim pogonskim režimima vrijednosti 2,8 ... 3,5 u mrežama visokog napona, mogu specijalnim pogonskim režimima sniziti na vrijednosti 2,0 ... 2,2. Razlikuju dva tipa specijalnog pogonskog režima: (A) dozvoljen ispad ili isključivanje voda, a nije dozvoljen APU i ručni uklop i (B) nije dozvoljen ispad ili isključivanje voda, APU i ručni uklop. Ponegdje specijalni pogonski režim obuhvaća i izostavljanje vremenskog zatezanja zaštite (Mađarska).

Najveći mogući prenapon određen je najvećim pogonskim naponom u mreži, a taj je u vezi s nazivnim naponom mreže (najčešće između 1,05 i 1,10 nazivnog napona) i faktorom prenapona, ovisnim – kako je rečeno – o uspostavljenom režimu mreže. Promatra se fazna vrijednost (za prilike faza-zemlja) i linijska vrijednost (za prilike faza-faza).

Za pojedine pogonske režime poznaje se dakle najveći mogući prenapon, to veći što je pogonski režim mreže bliže normalnom.

Utvrđenom prenaponu odgovarala bi stanovita zračna izolacijska udaljenost među elektrodama "s" kod koje bi u 50% slučajeva dolazilo do preskoka, a u 50% slučajeva ne. Naponska udaljenost se stoga određuje tako da se izolacijska udaljenost pomnoži stanovitim faktorom sigurnosti "K" (većim od 1)

$$t = K \cdot s \quad (3)$$

Naravno da specijalni pogonski režim mreže, koji se mora uspostaviti prije pristupa radovima pod naponom, predstavlja dopunske aktivnosti (oduzimaju vrijeme i stvaraju troškove) i znači slabljenje svojstava mreže iz normalnog pogonskog režima (blokiranje APU, odnosno blokiranje bilo kakvog sklapanja).

Stoga se traži kompromis između sadržaja i dosega specijalnog pogonskog režima (samo na vodu na kojem se radi ili na vodovima u stanovitoj električnoj blizini) i minimalne naponske udaljenosti koja bi iz toga proizlazila. Složenije pripreme i oslabljenja svojstava mreže omogućuju manju naponsku udaljenost (lakše je raditi pod naponom, osobito metodom na razmaku). Normalni pogonski režim traži veću naponsku udaljenost, ali ne traži pripreme i mreža je neokrnjenih svojstava.

Francuzi su relaciju (3), za praktičnu uporabu pri radovima pod naponom sveli na formulu:

$$t = 0,005 U_n \text{ (kV)} \dots \text{ m} \quad (4)$$

gdje se nazivni napon mreže uvrštava u kilovoltima, a rezultat, zaokružen u desetinke, dobiva u metrima. Time bi za naše nazivne napone mreža proizlazila naponska i zaštitna udaljenost, te sigurnosni razmak:

U_n (kV)	t (m)	g (m)	D (m)
110	0,6	0,5	1,1
220	1,1	0,5	1,6
400	2,0	0,5	2,5

Tako određen razmak predstavlja minimalnu dopuštenu udaljenost faza-zemlja uz uvjet da je u mreži uspostavljen specijalni pogonski režim i da se radi o dalekovodima. U drugim okolnostima, mora se računati složenije i – načelno – naponske udaljenosti bit će veće od onih prema (4).

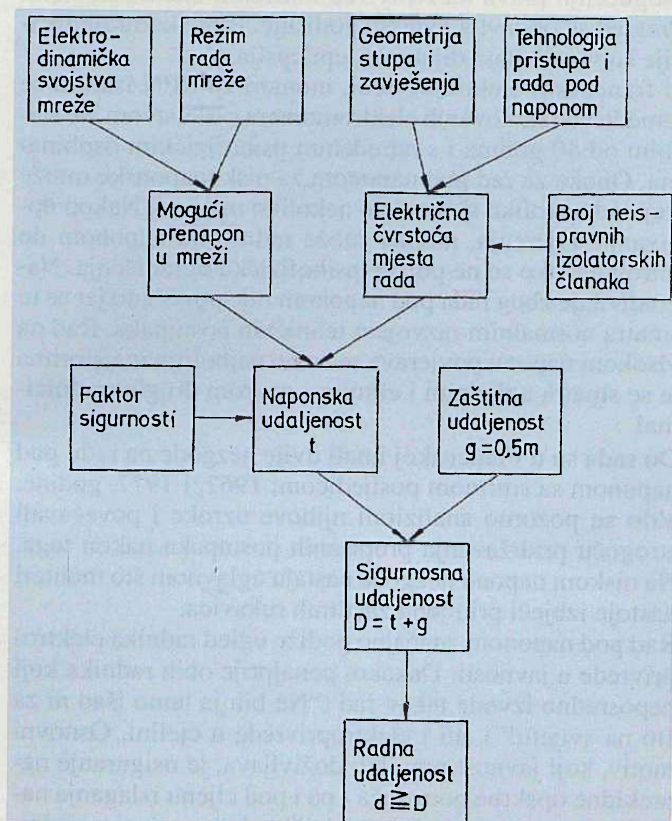
Prostorna zona oko najisturenijih vodljivih dijelova koja je zahvaćena naponskom udaljenošću predstavlja zabranjenu zonu u koju se ne smije prodrijeti tijelom (uključivši vodljivi alat) kada je tijelo montera na drugom potencijalu. Rad treba organizirati tako da je radni razmak "d" veći ili jednak sigurnosnom

$$d \geq D \quad (5)$$

Tada, do zabranjene zone postoji još i zaštitna zona širine "g".

U presjeku dvije zabranjene zone različitih potencijala ne smije se naći tijelo montera prilikom pristupa mjestu rada. Stoga pomagala za pristup i način pristupa treba tome podrediti.

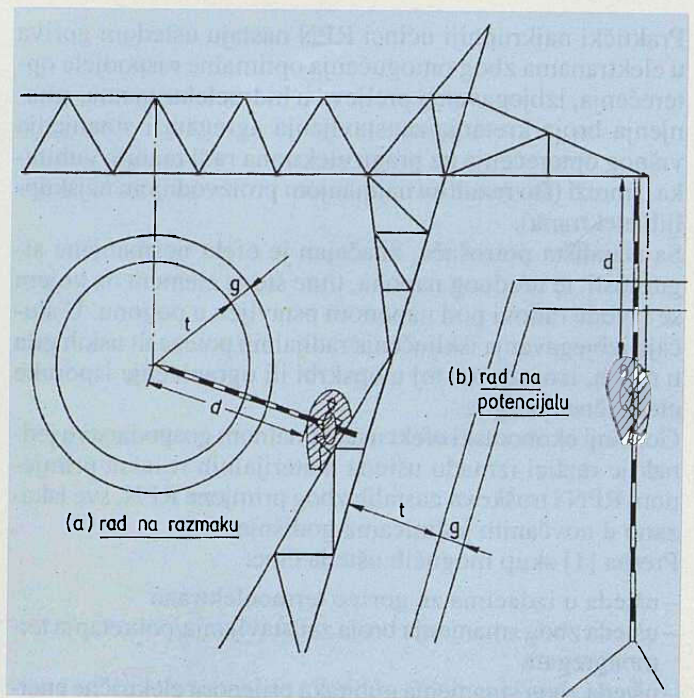
Preskočni napon na stanovitoj konfiguraciji elektroda i faktor prenapona pri stanovitim prilikama u mreži, veličine su koje nije jednostavno utvrditi niti moguće egzaktno računati. Oni koji imaju samostalni razvoj u području RPN izjavljuju da su ih utvrdili smišljenim prožimanjem proračuna i eksperimentalnih provjera u mreži i laboratoriju (slike 10, 11 i 12).



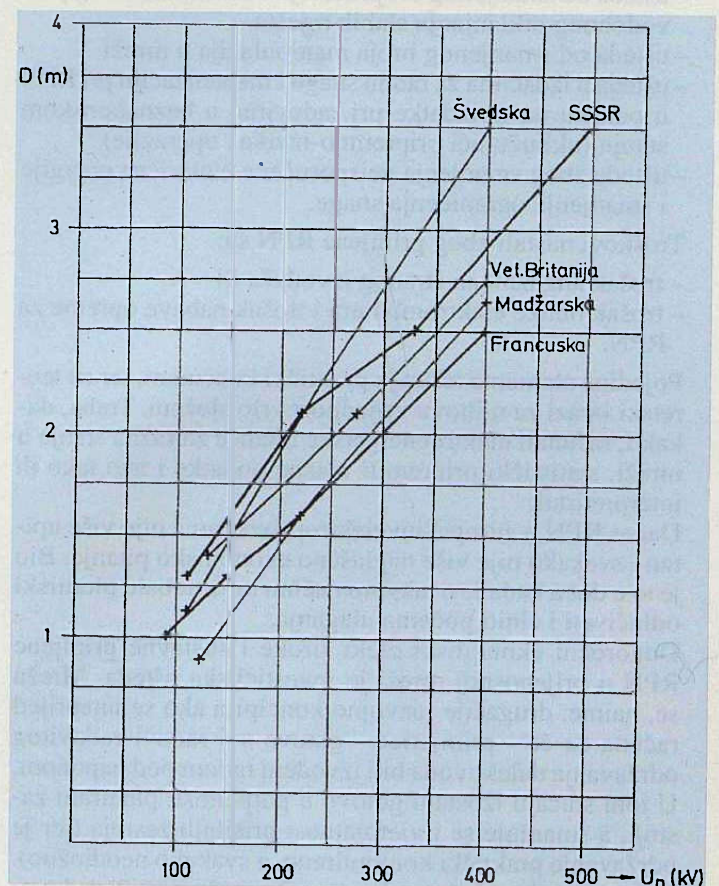
Slika 10. Određivanje sigurnosnog razmaka za rad pod naponom

6. EKONOMIJA RADA POD NAPONOM

Poteškoće oko utvrđivanja ekonomske opravdanosti primjene rada pod naponom u prijenosnoj mreži proizlaze iz



Slika 11. Sigurnosni razmaci na mjestu rada pod naponom



Slika 12. Vrijednosti sigurnosnih razmaka za rad pod naponom u nekim zemljama

toga što je novčanu vrijednost (inače nespornih) učinaka teško (ili čak nemoguće) iskazati, što njihovo ostvarenje prožima elektroenergetski sustav najširem obuhvatom (pored prijenosa: elektrane, distribuciju i potrošače električne energije), a troškovi primjene RPN (angažman stranog izvođača ili vlastita oprema i obuka) evidentni su i primarno locirani isključivo u prijenosnu djelatnost.

Praktički najkrupniji učinci RPN nastaju uštedom goriva u elektranama zbog omogućenja optimalne raspodjele opterećenja, izbjegavanja preljeva u hidroelektranama, smanjenja broja kretanja/zaustavljanja agregata i smanjenja vršnog opterećenja na pragu elektrana radi manjih gubitaka u mreži (što rezultira najmanjom proizvodnjom najskupljih elektrana).

Sa stajališta potrošača, značajan je efekt nesmanjene sigurnosti, te urednog napona, time što je element na kojem se izvode radovi pod naponom ostavljen u pogonu. U slučaju izbjegavanja isključenja radijalnih poteza ili uskih grla u mreži, izostaje zastoje u opskrbi ili ograničenje isporuke električne energije.

Godišnji ekonomski efekt u nacionalnom gospodarstvu jednak je razlici između ušteta materijalnih resursa primjenom RPN i troškova nastalih zbog primjene RPN, sve iskazano u novčanim jedinicama godišnje.

Prema [1] skup mogućih ušteta čine:

- ušteta u izdacima za gorivo termoelektrana
- ušteta zbog smanjenja broja zaustavljanja/pokretanja termoagregata
- ušteta zbog smanjenja gubitaka prijenosa električne energije
- ušteta od smanjenog broja zastoja dalekovoda zbog pravednog otklanjanja slabih mjesta
- ušteta od smanjenog broja manipulacija u mreži
- ušteta u izdacima za radnu snagu i mehanizaciju pri RPN u odnosu na te izdatke pri radovima u beznaponskom stanju (uključujući pripremno-izvršne operacije)
- ušteta zbog smanjenja neisporučene električne energije i smanjenja ograničenja snage.

Troškovi nastali zbog primjene RPN su:

- trošak angažmana stranog izvođača ili
- trošak obuke elektromontera i trošak nabave opreme za RPN.

Pojedine elemente teško je praktički izračunati, jer su teoretski izrazi za njihovu vrijednost vrlo složeni. Treba, dakako, računati elektroenergetske bilance za razna stanja u mreži, statistički pripremiti ulazne podatke i isto tako ih interpretirati.

Danas RPN u europskim elektroprivredama nije više upitan i svakako nije više naglašeno ekonomsko pitanje. Bio je to u doba kada je o takvom načinu rada trebalo pionirski odlučivati i činiti početna ulaganja.

Dugoročni ekonomski efekt široke i sustavne primjene RPN u prijenosnoj mreži je investicijska ušteta. Mreža se, naime, drugačije razvojno koncipira ako se unaprijed računa da će - primjerice - gotovo svi radovi redovitog održavanja dalekovoda biti izvođeni radom pod naponom. U tom slučaju izostaju gotovo u potpunosti planirani zastoje, a smanjuje se i vjerojatnost prisilnih zastoja (jer je održavanje praktički kontinuirano, a svakako neodložno). Time se i uz manje izgrađenu mrežu može postići zadovoljavajuća sigurnost opskrbe - prihvatljivo mala vjerojatnost neisporučene energije.

7. SOCIJALNA PITANJA UZ RPN

Važnom polugom koja treba snažno podržati poželjni razmah primjene radova pod naponom je socijalni moment. Neodgovarajuće riješena socijalna pitanja mogu biti glavna poteškoća ubrzanijem prodoru RPN.

Tehničke i organizacijske pretpostavke treba učiniti takvim da se RPN doživljava normalnim i svakodnevnim, ničim iznimnim. Sigurnijim i time čak prihvatljivijim od rada u beznaponskom stanju. Takav odnos realno je ostvaren primjerice u SAD, Francuskoj, Mađarskoj i mnogim drugim zemljama - dakle, to je realno ostvarivo i ostvareno.

Povećanom plaćom i drugim beneficijama ne može se ostvariti poželjni odnos radnika prema RPN, već je nužno razvijanje spoznaje o općoj i konkretnoj koristi takva rada, osjećaja pripadnosti onima koji više znaju i bolje umiju i time imaju veći ugled.

U bivšem Sovjetskom Savezu dobivao se dodatak na plaću, ali stupnjevano: najviše monter koji radi na potencijalu, manje onaj koji ga podržava sa stupa, a najmanje onaj koji sudjeluje u ekipi, ali radeći na tlu. Nema novčanog poticanja da se posao obavi što brže. Postojao je beneficirani radni staž: onaj tko je radio cijeli radni vijek u ekipi za RPN išao je 5 godina ranije u mirovinu. No, to, a i nagrađivanje, nije ujednačeno u svim energetske rajonima, a u najnovije vrijeme će se to još više razlikovati radi povećane samostalnosti poduzeća, u odnosu na ranije prilike.

U Mađarskoj je ranije bila plaća elektromontera koji sudjeluju u RPN veća od odgovarajućih elektromontera koji tako ne rade, ali je to danas napušteno. Zdravstveni zahtjevi su znatno stroži, u odnosu na relativno blage prema konvencionalnim elektromonterima, i to dovodi do onemogućenja prava na RPN već obučenih elektromontera. Pregled se obnavlja jednom godišnje. Bitne kontraindikacije su visoki tlak, dijabetes, epilepsija.

U francuskoj elektroprivredi, monter za RPN izabiru se između već školovanih elektromontera s iskustvom, ne starijim od 40 godina i s određenim psihofizičkim osobinama. Obuka za rad pod naponom za niskonaponske mreže traje od nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci. Nakon dobivanja uvjerenja, monter može raditi pod naponom do mirovine, ako se ne pojave psihofizička ograničenja. Nagrađivanje zbog rada pod naponom nije povećano jer se to smatra normalnim razvojem tehničkih postupaka. Rad na visokom naponu povjerava se samo najboljim majstorima te se smatra uglednim i elitnim - uzorom drugim radnicima!

Do sada su u Francuskoj imali dvije nezgode na radu pod naponom sa smrtnom posljedicom: 1967. i 1977. godine. Vrlo su pažljivo analizirali njihove uzroke i povećavali strogoću pridržavanja propisanih postupaka nakon toga. Na niskom naponu nezgode nastaju uglavnom što monter nastoje izbjeći primjenu zaštitnih rukavica.

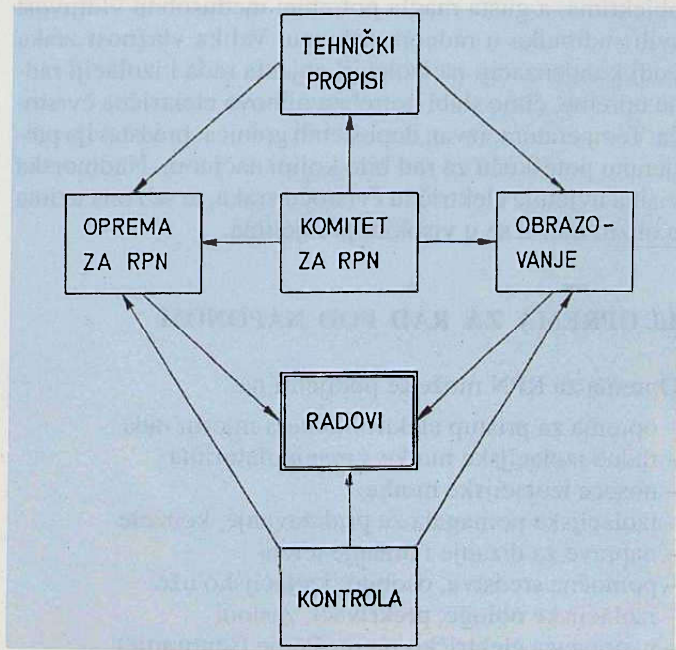
Rad pod naponom značajno podiže ugled radnika elektroprivrede u javnosti. Dakako, ponajprije onih radnika koji neposredno izvode takav rad ("Ne bih ja tamo išao ni za što na svijetu!"), ali i elektroprivrede u cjelini. Osnovni motiv, koji javnost pravilno doživljava, je osiguranje neprekidne opskrbe potrošača - pa i pod cijenu izlaganja naporima i opasnostima koji su, laički gledano, iznimno dojmiljivi.

8. GLOBALNA ORGANIZACIJA RADA POD NAPONOM

Globalna organizacija rada pod naponom sastoji se u osiguranju:

- propisa o radu pod naponom
- opreme za rad pod naponom
- obuke radnika za rad pod naponom
- tijela odgovornog za uređenje i kontrolu prethodna tri područja rada pod naponom.

Pokažimo, francuskim primjerom, uzorno postavljenu globalnu organizaciju RPN (slika 13).



Slika 13. Organizacija radova pod naponom u Francuskoj

Organizacija primjene RPN u Francuskoj provedena je tako da je pri EDF formiran Komitet za RPN koji razmatra i utvrđuje uvjete za izvođenje RPN, metode RPN i opremu za izvođenje RPN. Također određuje kvalitativna i funkcionalna ispitivanja opreme za RPN i daje dozvole za opremu te utvrđuje program obuke radnika. Postoje odjeli za istraživačke radove, za eksperimentalne radove, za proizvodnju opreme, za obuku radnika, te za izdavanje uputstava za RPN.

Kontrola provođenja propisa na radilištima, korištenja ispravne opreme i sigurnosti radnih zahvata obavlja se normalnom hijerarhijom rukovođenja u EDF, te nenajavljenom povremenom kontrolom radnika EDF, nadležnih za zaštitu na radu. Elektroenergetska inspekcija nadležna je i za nadzor RPN; inače je organizirana u okviru EDF, a ne kao dio državnog aparata.

Za donošenje propisa u području RPN ovlašten je jedino Komitet za RPN. Njegovim usvajanjem oni imaju rang nacionalnih tehničkih propisa. Struktura francuskih propisa o radovima pod naponom:

- opći uvjeti za izvođenje radova pod naponom
- uvjeti za izvođenje radova pod naponom za pojedine razine napona (za visoki napon: odvojeno za vodove i za postrojenja)
- tehnički opisi s eventualno pridodanim uputama o načinu korištenja pojedine opreme za RPN.

Opći uvjeti za izvođenje radova pod naponom sadrže:

- definicije i terminologiju (klasifikacija postrojenja, klasifikacija izvršilaca, dokumentacija o radovima, atmosferski uvjeti, minimalni razmaci)

- opća pravila rada (hijerarhija, obrazovanje, metode rada, zaštita na radu, oprema za RPN, uvjeti za izvođenje radova)
- izvođenje radova (kvalifikacija radnika, primjena pojedinih metoda rada, primjena opreme za RPN, procedura odvijanja rada).

Tehnički opis opreme za RPN sadrži:

- naziv i osnovni opis
- crtež (fotografija) i tumačenje
- tehničke karakteristike
- objekti mreže na kojima se oprema primjenjuje
- metode RPN pri kojima se primjenjuje
- postupak izdavanja potvrde za upotrebu
- način kontrole pri korištenju
- održavanje
- popravak
- skladištenje i transport
- način funkcioniranja
- ograničenja pri korištenju
- precizne upute o načinu korištenja s eventualnim crtežima u raznim prilikama i varijantama korištenja.

Kao što se vidi, u Francuskoj je prihvaćena konstrukcija propisa iz oblasti RPN orijentiranih opremom za rad, a ne orijentiranih radnim operacijama (kako je u nekim zemljama, gdje postoje upute za sigurno i ispravno izvođenje pojedinih zahvata i korištenja potrebne opreme pri tome). Francuzi smatraju da njihov pristup omogućuje:

- zainteresiraniji i kreativan pristup ekipa radovima, jer osim sigurnog i ispravnog korištenja opreme - način izvođenja rada im nije propisan, te ga - nakon obuke - usavršavaju i čine manje napornim, efikasnijim i produktivnijim
- lakšu primjenu u mrežama s nedovoljno unificiranim elementima
- kombiniranje kod složenih i netipičnih zahvata
- smanjen opseg dokumentacije.

Obuka elektromontera je dugotrajnija, a stručni zahtjevi pred njima su veći (u odnosu na propise orijentirane radnim operacijama). Ipak, trećina zemalja prema [5] odlučila se za takav pristup, a u [2] iznosi se da je zapravo najprikladnije za većinu zahvata koristiti taj pristup, a samo za neke osobite zahvate kombinaciju obadva pristupa.

9. UVJETI ZA IZVOĐENJE RADA POD NAPONOM

Uvjeti za izvođenje RPN su opći i pojedinačni, Općim uvjetima se takva aktivnost situira tako da je uopće moguće bavljenje njome, a ispunjenje pojedinačnih uvjeta omogućava primjenu takva načina rada u svakom pojedinom navratu. Opće uvjete čini skup znanstveno-stručnih, pravnih, organizacijskih, tehničkih, tehnoloških, kadrovskih i financijskih mjera, koje treba poduzeti da bi na nekom području došlo do primjene RPN. Razumljivo: kompletiranje općih uvjeta znači i utemeljenu formulaciju pojedinačnih uvjeta za RPN.

Moraju se sagledati i kvantificirati izvori opasnosti, mjere za njihovu pouzdanu neutralizaciju pri izabranim tehnološkim rješenjima za RPN, te sagledati i kvantificirati uvjete pod kojima se takve opasnosti i izabrane mjere ostvaruju, izabrati i dimenzionirati odgovarajuću opremu za zaštitu i rad, te izabrati i obučiti radnike. Oprema i obučeni

radnici mogu biti unajmljeni sa strane ili osigurani vlastitim ulaganjima.

Znanstveno-stručnim radom sagledavaju se električna napona koja se javljaju u mrežama u kojima se namjerava izvoditi RPN: najviši pogonski naponi i unutarnji prenaponi - računski, uz barem minimalne eksperimentalne potvrde, u normalnim mrežnim prilikama i izabranim specijalnim pogonskim režimima. Za tipične konstrukcije elemenata mreže (primjerice: glave primijenjenih stupova visokonaponskih nadzemnih vodova) ustanoviti treba dielektričnu čvrstoću za konfiguracije elektroda kakve bi nastajale pojedinim tehnološkim varijantama namjeravanog izvođenja RPN. Time bi se stvorila utemeljena osnova za kvantifikaciju sigurnosnih razmaka u mrežama pojedinih nazivnih napona.

Također, treba utvrditi konstrukcijsko-montažne okolnosti koje eventualno otežavaju, specifično usmjeravaju ili čak onemogućuju određene zahvate pojedinom tehnologijom RPN. Osobito je potrebno unaprijed uočiti one prilike u kojima su poteškoće prisutne i pri radu konvencionalnim načinom (npr. poteškoće sa sustavno prevelikim tolerancijama pojedinih elemenata, korodiranošću, zapuštanošću).

To bi rezultiralo izborom tehnologije RPN za pojedine radne zahvate, izborom tome odgovarajuće radne i zaštitne opreme, potrebnom obučenošću i zdravstvenom spremnošću radnika, te parametrima mreže i okoline koji trebaju biti ispunjeni da je konkretni radni zahvat dopušten, odnosno okolnostima u kojima je zabranjen.

Pojedinačne uvjete za izvođenje pojedinog zahvata u mreži primjenom RPN čini izvršenje organizacijskih priprema, priprema potrebnog pogonskog režima mreže, tekuće psihofizičko stanje i osobna opremljenost montera za rad, tekuće stanje pomagala za rad, zatečeno stanje mjesta neposrednog izvođenja zahvata i njegove okoline, te meteorološke prilike prije početka rada i sagledivi trend njihove promjene. Ako oni nisu ispunjeni na propisani način (utvrđen općim uvjetima RPN), ne može se pristupiti radu ili se on mora prekinuti.

Mrežne prilike, relevantne za primjenu RPN, najčešće određuju:

- podešenje zaštite
- režim APU
- dopuštena sklapanja,

svakako objekta na kojem se namjerava raditi pod naponom, a ponekad i objekata u stanovitoj električnoj okolini u mreži. Time su ograničene moguće vrijednosti unutarnjih prenapona, one pri kojima su određeni sigurnosni razmaci u zraku i električna čvrstoća izolacije radne opreme.

Meteorološke prilike, relevantne za RPN, određuju osobito:

- pojava bljeska munje ili zvuka grmljavine
- značajnije pojave kiše, snijega, leda, inja ili slane
- gusta magla
- jači vjetar
- velika relativna vlažnost zraka
- preniska ili previsoka temperatura.

Pojava nekih od tih okolnosti izričito zabranjuje RPN (npr. grmljavina), neke su ograničene u istoj mjeri kao i pri radu u beznaponskom stanju (npr. temperatura), a odnos pre-

ma svim okolnostima u pravilu se uređuje tako da je odgovornom rukovoditelju radova prepušteno da donese odluku o zabrani rada i ako nisu dostignuti rubno dopušteni parametri. Često nije dopušten rad u sumrak i noću (npr. u bivšem SSSR).

Zabrana RPN pri grmljavini onemogućuje izlaganje nekontrolirano visokim vanjskim prenaponima. Padaline, zaleđenost i prejak vjetar fizički otežavaju rad na vanjskim objektima, a gusta magla potrebnu međusobnu vidljivost svih sudionika u radnom zahvatu. Velika vlažnost zraka vodi kondenzaciji na izolaciji objekta rada i izolaciji radne opreme, čime slabi potrebna njihova električna čvrstoća. Temperatura, izvan dopuštenih granica, predstavlja pretjeranu poteškoću za rad bilo kojim načinom. Nadmorska visina uvjetuje električnu čvrstoću zraka, te se i ona uzima u obzir, radi li se u visokim predjelima.

10. OPREMA ZA RAD POD NAPONOM

Oprema za RPN može se podijeliti na:

- oprema za pristup elektromontera mjestu rada
- radne izolacijske motke s manipulatorima
- noseće izolacijske motke
- izolacijska pomagala za pridržavanje, konzole
- naprave za dizanje i držanje tereta
- pomoćna sredstva, osobito: izolacijsko užje
- izolacijske obloge, prekrivači, zasloni
- naprave za električko premoštenje (šentiranje)
- osobna zaštitna sredstva.

Uz to valja zamišljati potrebu korištenja specijalizirane mehanizacije: vozila, dizalica, helikoptera - kakva se i inače koristi za podršku rada pri održavanju prijenosne mreže. Najprije se ta mehanizacija koristi u svom zatečenom obliku, a s vremenom se izvode na njoj takve modifikacije i dopune, te zahtijevaju takvi njeni parametri da udovoljava stanovitim osobitim potrebama pri korištenju u pojedinim osobitim zahvatima radova pod naponom.

Međunarodni elektrotehnički komitet IEC od 1975. godine ima Tehnički komitet TC78, koji je započeo svoje aktivnosti pod nazivom Oprema za rad pod naponom, no danas mu je djelovanje šire i djeluje pod nazivom Rad pod naponom (Live working - Travaux sous tension). Prema [22], do konca 1995. godine izdano je ukupno 20 publikacija IEC iz tog područja, a još 25 je u različitim stadijima dovršenosti. Početni je IEC 743 (1983, dodatak 1995): Alati i oprema za rad pod naponom, terminologija. Manji broj tih IEC publikacija prevedeno je i svojedobno usvojeno kao JUS.

Vrativši se primjeru EDF, tamo je organiziran Departman SERECT, kojem je sjedište u Mulhouseu. SERECT je sekcija za istraživanje, studij, eksperimentiranje, uvođenje metoda i alata, te kontrolu i ispitivanje Komiteta za rad pod naponom EDF i jedina je ovlaštena ustanova za te aktivnosti u Francuskoj.

U toj ustanovi se obavlja:

- istraživanje, izrada i ispitivanje prototipa opreme za RPN, te modifikacija postojeće opreme za RPN i načina korištenja - vodeći računa o ergonomiji, sigurnosti i produktivnosti pri korištenju; definiranje električkih i mehaničkih parametara

- izrada prijedloga tehničkih uputstava o uvjetima za izvođenje radova, tehničkih opisa i uputa o načinu korištenja opreme za RPN - tako da budu primjenjiva, usklađena s drugim propisima i shvatljiva elektromonterima
- nabava opreme za RPN - takve da odgovara propisanim zahtjevima, da je raspoloživa u potrebnim količinama i da je što povoljnije cijene (srednjonaponska i visokonaponska oprema dobavlja se centralizirano za cijeli EDF)
- i periodička kontrola opreme, popravci, prikupljanje iskustava korisnika
- promocija postojećih i modificiranih načina rada, nove i modificirane opreme za RPN, sredstava za pristup montera i transport opreme na mjesto rada, te samopokretnih pomagala
- izrada studija opravdanosti uvođenja RPN za francuske i inozemne naručitelje.

Zanimljiv je postupak označavanja ispravnosti opreme za RPN. Čim rukovoditelj ekipe ustanovi moguću neispravnost pojedinog komada, na taj se komad lijepi odgovarajuća uočljiva naljepnica. U SERECT-u se taj komad opreme ispita i popravi ili uništi. Svaki ispravan komad opreme, nakon periodičkog ispitivanja ili povodom popravka, dobiva vidljivu naljepnicu SERECT-a, čime je odobrena njegova upotreba do naredne periodičke kontrole ili na terenu uočene neispravnosti.

Osim mehaničkih kvarova, čija pojava i otklanjanje mogu biti raznovrsni, najbrojniji i tipični su kvarovi: oštećenje površine izolacijskih motki i drugog izolacijskog pribora. U aranžmanu oko masovnije kupovine opreme za RPN, očito bi bio koristan uvjet kupca da prodavač prihvati odgovarajuću instituciju iz zemlje kupca za periodička ispitivanja, te isporuči tehnologiju i obveže se za snabdijevanje materijalom za tipične popravke (ponajprije oštećenih izolacijskih površina).

11. OBUKA ZA RAD POD NAPONOM

Za svaki osobiti rad, tako i rad pod naponom, mora biti osigurano: pravno/tehnološka osnova - oprema za rad - obučeni i ovlašteni radnici. Pri tome, obuka za rad mora se temeljiti na općoj pravnoj regulativi, izabranim tehnološkim rješenjima i opremom za taj rad. Njezina je konkretizacija posljednja, ali neizbježna, u procesu čije zao kruženje omogućuje samostalan rad pod naponom.

Bavljenje obukom za RPN je zahtijevna aktivnost u ukupnom ostvarenju samostalnog izvođenja RPN. To može potvrditi primjer Francuske, gdje se obuka za rad pod naponom provodi u ukupno 8 centara za obuku koje je uspostavio EDF. Pri tome se u svim centrima provodi obuka za rad na niskom naponu, u nekima i za rad na srednjem naponu, a u Centru za obuku Ottmarsheim za rad na niskom, srednjem i visokom (odnosno, po francuskom razvrstavanju: visokom i vrlo visokom) naponu.

Osnovni podaci Centra za obuku EDF (početkom devedesetih) u Ottmarsheimu su:

- 81 zaposlenih
- 1800 polaznika raznovrsne obuke godišnje
- 83 tipa obuke
- 7200 m² objekata
- 12 km DV 63-400 kV (razni tipovi stupova, izolatorskih lanaca i rješenja vodiča u snopu)
- 13 km DV 20 kV

- 7 km vodova 225-380 V
- jedna TS 225/63 kV
- šest TS 63/20 kV
- 16 raznih TS s.n./n.n.

U tom centru obavljaju se raznovrsna profesionalna obučavanja za potrebe EDF (pored obuke za RPN), prvenstveno elektromontera, ali i drugih struka (tehničkih, ekonomskih, općih). Centar je počeo s radom 1964. godine, odmah i za RPN. Godine 1969. daje prve obuke za rad na 20 kV, a od 1980. godine izvodi se obučavanje i za visoki napon.

Obuka za rad na dalekovodima pri visokom i vrlo visokom naponu, dakle za rad pri naponima 63 do 400 kV, metodom na razmaku i potencijalu traje 11 tjedana. Grupa za obuku treba obuhvaćati 5 do 6 izvršnih elektromontera, dva do tri vodeća elektromontera i jednog elektroinženjera.

U centru Ottmarsheim obučavaju se za rad pod naponom i elektromonteri iz Francuske koji nisu zaposleni u EDF, nego kod korisnika električne energije ili izvođača elektro-radova, te ekipe iz više europskih, sjeveroafričkih i azijskih zemalja. Godine 1990. u tom centru je završeno obučavanje prve dvije hrvatske ekipe: za rad na niskom naponu i za rad na srednjem naponu.

Odvijanje nastave teče svakodnevno po shemi: (a) detaljno upoznavanje sa zadatkom, tumačenje i razumijevanje svih faza izvođenja; (b) izvršenje zadatka prema uputstvima i izrađenoj pripremljenoj dokumentaciji na način kao u pogonu (objekt rada pri obuci je pod naponom, iznimno za rad na visokom naponu neke se operacije prethodno uvježbavaju u beznaponskom stanju); (c) obvezno: rasprava o obavljenom zadatku nakon izvršenja, zapažanja sudionika, komentar sudionika i instruktora. Ekipe se pri školskom zahvatu formira tako da je jedan učenik "rukovoditelj" ekipe, ostali učenici su "izvršni članovi" ekipe - a instruktor nadzire cjelokupni rad.

Kanadska elektroprivredna kompanija, "Ontario Hydro" u posljednje vrijeme je u Europi prisutna prijenosom svoje tehnologije RPN i organizacijom obuke za RPN: u Republici Irskoj za radove u mreži do nazivnog napona 110 kV i u Mađarskoj, za primjenu radova uz dodir na niskonaponskim i srednjonaponskim mrežama; [21] i [22].

12. STANJE U HRVATSKOJ

Opća pravna osnova za primjenu RPN u Hrvatskoj postoji; to je slog propisa iz područja zaštite na radu, osobito o zaštiti na radu pri korištenju električne energije, te pravilnik HEP-a o sigurnosti pri radu na elektroenergetskim objektima.

Prema Zakonu o zaštiti na radu (NN 19/1983), radnik mora biti osposobljen da rad obavlja bez ugrožavanja svog života i zdravlja, te života i zdravlja drugih. To se mora učiniti prema utvrđenom opsegu i vrstama opasnosti, teoretskim i praktičnim obučavanjem, dokumentirano. Može se odrediti obveza povremene provjere znanja.

Također, moraju se odrediti psihofizičke sposobnosti, zdravstveno i psihičko stanje, koje omogućuje obavljanje raskih radova i to se mora potvrđivati periodičnim zdravstvenim pregledima.

Radna i zaštitna sredstva moraju biti izrađena prema pravilima zaštite na radu, moraju se periodički ispitivati, mo-

ra se utvrđivati njihova ispravnost prije korištenja, te koristiti samo na propisani način. Nabava i ispitivanje tih sredstava moraju se temeljiti na hrvatskoj ili odgovarajućoj inozemnoj normi, a atest o tome mora osigurati prodavač, odnosno proizvođač.

Pri Državnom zavodu za normizaciju i mjeriteljstvo trebalo bi osnovati tijelo za RPN; koje bi pripremalo izdavanje normi i davalo mišljenje o usklađenosti radnih i zaštitnih sredstava s hrvatskim ili odgovarajućim inozemnim normama.

Hrvatski Pravilnik o zaštiti na radu pri korištenju električne energije (NN 9/1987) dopušta RPN uz uvjete:

- stručna osposobljenost radnika
- postojanje radne i zaštitne opreme
- izabran sistem RPN i utvrđen radni postupak
- postojanje pismenih uputa za svaku vrstu rada.

Isti Pravilnik zabranjuje RPN, ako:

- električna iskra može izazvati požar ili eksploziju
- nisu ispunjeni određeni meteorološki uvjeti (jednaki kao za rad u beznaponskom stanju na otvorenom prostoru)
- iz bilo kojih razloga radove nije moguće izvesti na propisan način.

Prema Pravilima i mjerama sigurnosti pri radu na elektroenergetskim objektima HEP (od 31. 8. 1992.) dopušta se RPN samo prema uredbama koje su odobrene od Komisije za rad pod naponom HEP-a, koju imenuje generalni direktor i čija su ovlaštenja uređena Pravilnikom o zaštiti na radu HEP-a.

Takvo pravno uređenje omogućuje u Hrvatskoj angažman stranog izvođača za RPN, odnosno vlastito postupno uvođenje materijalne i kadrovske spremnosti za takav rad. U obadva slučaja: prema učincima koji se time žele ostvariti. Dodajmo da je u nas, neposredno pred rat 1991/92. godine, dovršeno početno opremanje Nastavno-obrazovnog centra za rad pod naponom u Velikoj kod Požege, čime je bilo moguće postupno obučavanje hrvatskih ekipa elektromontera pomoću instruktora obučanih u Francuskoj, za rad na niskom i srednjem naponu. Rat je započete aktivnosti prekinuo.

13. ZAKLJUČAK

Iz prikazanog stanja u svijetu, fizičkog stanja i oblika hrvatske prijenosne mreže, te pravnog stanja, proizlazi da postoji osnova za rad pod naponom na prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede. Longitudinalna topologija hrvatske prijenosne mreže s uglavnom jednostrukim vodovima, naglašeno je privlačna za primjenu RPN. To dopunski potenciraju brojni sektori mreže radijalno vezani za sustav, takvi nastali ratnim razaranjima 1991/92. godine ili uspostavom državnog teritorija manjim od teritorija unutar kojeg se u prethodnom razdoblju formirala prijenosna mreža.

Razmatranjem relevantnih i primjerenih tuđih iskustava, te naših prilika i potreba, trebalo bi stvoriti argumentiranu osnovu za odlučivanje o potrebama i mogućnostima angažiranja stranih izvođača za rad pod naponom, a nedvojbena konačni ishod je da će u budućnosti biti uvedeno vlastito izvođenje RPN u našoj prijenosnoj mreži, u mjeri kao i prosječno drugdje uz izbor prioriteta:

- samo na dalekovodima ili (istovremeno) dalekovodima i rasklopnim postrojenjima
- samo na jednoj naponskoj razini ili (istovremeno) svim naponskim stepenicama 110-220-400 kV
- užem ili širem obuhvatu radnih zahvata za početnu primjenu RPN
- samo jednoj metodi (osnovni rad na potencijalu uz dopunske radove na razmaku, u funkciji osnovnog rada) ili (istovremeno i ravnopravno) rad na potencijalu i rad na razmaku.

Također, tijekom takvih razmatranja i odlučivanja, valjalo bi identificirati koje okolnosti u mreži otežavaju, specifično uvjetuju ili čak onemogućavaju one radne zahvate koje se utemeljeno utvrdilo prevladavajućim za primjenu RPN. Zaključimo recentnim francuskim gledanjem: Rad pod naponom? - Naravno! Radi neprekidne opskrbe električnom energijom i radi povoljnijih uvjeta rada elektromontera.

LITERATURA

- [1] I. G. BARG, S. V. POLEVOJ: "Remont vazдушних линій електропередачі под напруженням". Energoatomizdat - Moskva, 1989.
- [2] F. L. KOGAN: "Sojuztehenergo: Radovi pod visokim naponom na dalekovodima u SSSR-u", Izlaganje u ZJE, Beograd 18.XII. 1989.
- [3] Dr. B. CSIKOS: "Kontinualan pogon i popravak pod naponom dalekovoda najvećeg napona", prijevod s mađarskog, članak iz Elektrotehnika - Budimpešta 8/1984, str. 249-266.
- [4] Live working all over the world, Electricite de France - Paris, 1989.
- [5] C. ATLANI, EDF: "Radovi pod naponom na v.n. i s.n. mrežama u Francuskoj", bilješke s predavanja u Zagrebu, 17. IV. 1989.
- [6] RPN - projekt istraživanja i uvođenja rada pod naponom u elektroenergetski sistem ZEOH, Institut za elektroprivredu - Zagreb, 1989.
- [7] Izvještaj sa studijskog putovanja u SAD ključnih tehničkih kadrova jugoslavenske elektroprivrede. ZJE - Beograd, 1979.
- [8] Live line work, priručnik za rad na glavi v.n. i s.n. stupa. Commonwealth Edison Company - Chicago, izdanje 1976.
- [9] K. OŽEGOVIĆ: "Rad pod naponom - opis osnovnih metoda i potreba", Elektroprenos - Split, 1962.
- [10] K. OŽEGOVIĆ: "Iz Demokratske Republike Njemačke - o radu pod visokim naponom", list Elektroprenos - Beograd, br. 73/travanj 1976.
- [11] M. KALEA: "Rad pod naponom u francuskoj elektroprivredi", list Elektroprenos - Beograd, br. 158/travanj 1983.
- [12] Arbeiten unter Spannung, DEDASZ - Pecs i STEWEAG - Graz, seminar u Grazu, studeni 1989.
- [13] Elektrizitätswirtschaft br. 2/1980, Fachheft "Arbeiten unter Spannung" (tematski posvećen radu pod naponom u n.n. mreži)
- [14] I. G. BARG, V. I. EDELJMAN: "Vozдушные линии электропередачі", Energoatomizdat - Moskva, 1985.
- [15] Anketa Live working experts group. UNPEDE, lipanj 1984.
- [16] D. G. KOLKER, I. O. PISARENKO, S. V. POLEVOJ: "Eksperimentalno određivanje preskočnih karakteristika izolacijskih međuprostora elektroprijenosnih vodova 220-750 kV pri radu pod naponom" (prijevod s ruskog, 1990)
- [17] I. G. BARG, O. PISARENKO, S. V. POLEVOJ: "Utvrdjivanje sigurnosnih razmaka pri remontu pod naponom nadzemnih vodova 220-1150 kV" (prijevod s ruskog, 1990)
- [18] S. V. KOROANOV, M. D. STOLJAROV: "Suvremene metode i sredstva zaštite radnika koji rade na postrojenjima vrlo visokog napona, od djelovanja električnog polja" (prijevod s ruskog, 1990)

- [19] M. KALEA: "Francusko iskustvo o radu pod naponom na visokonaponskim mrežama", Elektroprivreda - Beograd 11-12/1990.
- [20] M. KALEA: "Sovjetsko iskustvo o radu pod naponom na visokonaponskim mrežama", Elektroprivreda - Beograd 11-12/1991.
- [21] ICoLIM'94 - Druga međunarodna konferencija o radu pod naponom, Zbornik referata, Mulhouse, 1994.
- [22] ICoLIM'96 - Treća međunarodna konferencija o radu pod naponom, Zbornik referata, Venecija, 1996.

SOME ASPECTS OF LIVE WORKING IN HIGH-VOLTAGE NETWORKS

Some important global, technical, security, economy, social and organisational aspects of live working are presented, especially if applied on high-voltage transmission networks.

MANCHE UMSTÄNDE BEZÜGLICH DER ARBEITEN UNTER SPANNUNG IN DEN HOCHSPANNUNGSNETZEN

Dargestellt sind wichtigere allgemeine, technische, wirtschaftliche, soziale, Organisations- und Sicherheits - Umstände bezüglich der Arbeiten unter Spannung, vor allem wenn auf Übertragungsnetze unter Hochspannung angewandt.

Naslov pisca:

Marijan Kalea, dipl. inž.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za upravljanje i prijenos
Prijenosno područje Osijek
Šetalište kard. F. Šepera 1a
31000 Osijek, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 1996 - 12 - 05