

Mr. Janez Hostnik, dipl.ing.el.  
JP ELEKTRO LJUBLJANA p.o., Ljubljana  
REPUBLIKA SLOVENIJA

**R 4.03**

Mr. Viktor Lovrenčić, dipl.ing.el.  
C & G d.o.o. LJUBLJANA, Ljubljana  
REPUBLIKA SLOVENIJA

### IZOLIRANI "PAS" VODIČI NA 20 kV DALEKOVODU ROB - PURKARČE U REPUBLICI SLOVENIJI

#### SAŽETAK

Skandinavska iskustva u gradnji srednjenaponskih dalekovoda sa izoliranim PAS vodičima omogućila su projektiranje i rekonstrukciju starog dalekovoda ROB-PURKARČE. Poštujući zadane ciljeve u postizanju veće sigurnosti dalekovoda uz smanjene troškove kroz životni vijek postignuti su ekološki učinci.

Zamjenjeni su goli vodiči sa izoliranim PAS vodičima te ovješeni na originalni finski materijal pričvršćen na drvenim stupovima.

### INSULATED PAS CONDUCTORS ON THE 20 kV LINE ROB-PURKARČE IN THE REPUBLIC OF SLOVENIA

#### RESUME

Scandinavian experience in building of a medium voltage line with insulated PAS conductors have made the projecting and reconstruction the old line ROB-PURKARČE possible. Having taken into consideration the set objectives in reaching high level of security of line with a minimizing cost through the life period resulted also in ecological effects.

Uninsulated conductors were changed by insulated PAS conductors which were hanged on an original Finnish material which had been fixed on the wood poles.

#### KLJUČNE RIJEČI

izolirani PAS vodiči  
srednjenaponski dalekovodi (20 kV)  
rekonstrukcija dalekovoda  
ekološki učinci

#### KEY WORDS

insulated PAS conductors  
medium voltage line (20 kV)  
reconstruction of line  
ecological effects

## UVOD

Uklapanje srednjenaponskih distributivnih dalekovoda (10, 20 kV) u okoliš, promatrano s aspekta utjecaja na korištenje zemljišta i vizuelnih utjecaja, ima za cilj pronalaženje takvih tehničkih rješenja kojima se intervencije u okoliš svode na minimalnu mjeru. Nova moderna tehnička rješenja omogućuju racionalno iskorištenje prostora u koridoru dalekovoda smanjujući sve potencijalne štetne efekte za druge objekte infrastrukture u širem prostoru trase nadzemnog voda te ostvaruju veoma povoljan vizuelni dojam gradnjom novog dalekovoda.

U distributivnoj mreži u Sloveniji se u posljednjom desetljeću pojavljuju sve veći problemi dobivanja trasa za rovu gradnju dalekovoda. Ti problemi su jednako veliki na selu gdje koridori prolaze kroz šume kao i u urbanim sredinama gdje prolaze kroz naselja, parkove, vrtove i slično. Zato smo dužni obratiti posebnu pažnju kod osiguranja koridora djelotvornosti iskorištenja zauzetog zemljišta u odnosu maksimalne snage prijenosa i širine koridora. Tako uz klasične metode boljeg iskorištenja koridora uz gradnju dalekovoda sa više trojki, pa i više naponskih sistema u istom koridoru moramo razmišljati i o novoj tehnologiji gradnje dalekovoda.

Uz problem smanjenja troškova kod osiguranja trase za koridor dalekovoda i uz poštovanje najnovijih pogleda na zaštitu okoliša dužni smo poštovati i sve veće zahtjeve potrošača električne energije po sigurnoj isporuci električne energije što su zahtjevi prouzrokovani i sve zahtjevnijim tehnološkim proizvodnim procesima.

Ekonomski zahtjevi gradnje dalekovoda nalažu nam, da uz kalkulaciju investicijskih troškova uzmemo u obzir i troškove pogona i održavanja u toku životnog vijeka dalekovoda.

Svi ti elementi naveli su slovenska distributivna poduzeća na razmišljanje o novim mogućnostima gradnje nadzemnih energetskih vodova.

U traženju rovih tehničkih rješenja pogledali smo kako te probleme rješavaju evropska distributivna poduzeća.

U posljednjih desetak godina mogli smo primjetiti da se posebno u skandinavskim zemljama uvodi nova tehnologija gradnje nadzemnih srednjenaponskih energetskih vodova koja je već iz nekih dalekovoda prešla u gradnju standardiziranih dalekovoda.

srednjenaponskom nivou (10, 20 kV) što omogućuje ispunjenje gore navedenih zahtjeva dalekovoda u ovim uvjetima

U slovenskoj distributivnoj srednjenaponskoj mreži praktično smo poznavali samo nadzemne vodove sa golim vodičima, a kao materijal se je uporabljao aluminij, legure aluminija i belik (kao zaštitno užje ili u konstrukcijama sa aluminijem i aluminijским legurama odnosno Alučel čeli)

Kako se u slovenskim stručnim krugovima već duže vremena raspravlja o nadzemnim

- ekološki zahtjevi
- veća sigurnost vodova
- manji troškovi u toku životnog vijeka dalekovoda.

Skandinavci su nakon opsežnih studija počeli uvoditi testne dalekovode te na njima izvoditi pokuse /3/ i konačno su standardizirali novu tehnologiju gradnje dalekovoda te tako nastavili graditi nove tipove SN nadzemnih izoliranih vodova.

Ideju za gradnju SN izoliranih vodova dobili su na osnovu sve veće uporabe samonosivog kablenskog snopa (SKS) u niskonaponskim (NN) distributivnim mrežama kojeg u Hrvatskoj poznajemo pod nazivom ELKALEX.

## 2. UVODENJE PAS VODOVA U SLOVENIJI

Slovenska distributivna poduzeća naručila su studiju /1/ koja je morala poštovati tri osnovna motiva i to smanjenje širine šumskih koridora uz smanjenje troškova održavanja u životnom vijeku dalekovoda sa PAS vodovima i povećanje pogonske sigurnosti. Polazeći od postojeće tehničke regulative, stručnog potencijala te organiziranosti i stvarnih potreba distributivnih poduzeća traženo je od studije da istraži i ocijeni ekološke, tehničke i ekonomske učinke kod uvođenja PAS vodova u slovenskoj SN mreži. Uz navedene ciljeve date su osnove za projektiranje, zahtjevi za postavljanje sistema kvalitete (QA) i analiza mogućih isporučioaca opreme za PAS vodove te preporuka za što bržom realizacijom gradnje testnog dalekovoda sa PAS vodičima.

### 2.1. Prednosti uporabe PAS vodova

Kada tražimo prednosti uporabe PAS vodova moramo ih usporediti sa poznatim i općenito preхваćenim tehničkim rješenjem. Zato se sama po sebi nameće usporedba nadzemnih SN energetskih vodova sa izoliranim vodičima (NVIV) sa nadzemnim SN energetskim vodovima sa golim vodičima (NVGV).

Najznačajnije prednosti NVIV odnosno PAS vodova u usporedbi sa NVGV su:

- nema ispada dalekovoda zbog međusobnog dodira faznih vodiča odnosno zbog dodira drveća ili grana drveća sa faznim vodičima
- srušeno drveće na NVIV može se odstraniti kada to odgovara distributeru i to po danu i kada

- smanjenje ispada povećava pogonsku sigurnost u napajanju potrošača manje širine sječe šumskog koridora (2-3m na svaku stranu)
- smanjenje ekološkog oštećenja okoliša
- popravci se mogu organizirati u normalnom radnom vremenu odnosno u planiranom vremenu pošto nema ispada kao kod NVGV
- maleni rizici požara na grmlju i mladom drveću u koridoru i okolici
- smanjeni razmaci između faznih vodiča što predstavlja smanjenje torzijskog opterećenja stupova
  - jednostavniji radovi na stupu zbog manjih međufaznih razmaka
  - manja mogućnost udara groma zbog prirodne zavjese od drveća što je stvara uži koridor
  - manja dodatna opterećenja zbog slabijeg prihvatanja snijega i leda na vodove
  - ima jednostavno učvršćenje vodiča na potporne izolatore što utječe na skraćenje roka montaže
- pribor i alat za montažu omogućuje jednostavnije postupke rada u toku montaže što utječe na ugodan odaziv montažera
- smanjeni su troškovi održavanja u životnom vijeku.

Navedene prednosti PAS vodova potvrđene su u skandinavskim uvjetima pogona koji su mnogo teži od slovenskih i hrvatskih naročito u zimskom periodu. Tako statistika finskih distributivnih poduzeća daje podatak da dvije trećine kvarova na NVGV prouzrokuje vjetar, nevrijeme, snijeg i led te srušeno drveće i puknute grane koje su pale na gole vodiče. Kada su zamijenili NVGV sa NVIV tipa PAS uspjeli su praktično ukloniti kvarove zbog prije navedenih uzroka. Testiranja /3/ su pokazala na testnim poligonima da drvo srušeno na PAS vodove može biti u kontaktu sa XLPE vodičem od 6-8 mjeseci bez prouzrokovanja kvara na mreži. Opterećenja zbog snijega i leda na XLPE vodičima uopće ne prouzrokuju kvarove. Srušeno drveće i grane mogu se odstraniti sa PAS vodova u planirano vrijeme kada to odgovara ekipi održavanja bez opasnosti za sigurno napajanje potrošača.

Finski propisi dozvoljavaju širinu koridora kroz šumovita područja samo 3,5 m za 20 kV NVIV što predstavlja značajne ekološke učinke. Uz pretpostavku da za 20 kV NVIV trebamo prosječno 4 m širok koridor, a za NVGV minimalno 8 m širok koridor kroz šumu jednostavnom računom dokazujemo da uporabom NVIV spasimo najmanje 1 ha šume na dionici dalekovoda dugog 2,5 km.

Uz ekološke učinke moramo uzeti u obzir i troškove za odštete vlasnicama šuma kroz koje prolaze dalekovodi i logično je da su te manje kod NVIV rješenja.

Smanjenje razmaka do drveća i među fazama omogućila nam je XLPE izolacija PAS vodiča pošto onemogućuje kvarove zbog međusobnog dodira faza ili faze sa drvećem.

Moramo upozoriti da je strogo zabranjeno dirati PAS vodiče pod naponom što znači da prilikom skidanja drveća ili grana sa NVIV moramo isti isključiti i uzemljiti.

## 2.2. Prednosti kod gradnje PAS vodova

Slovenska distributivna poduzeća danas veoma teško dobivaju lokacijske dozvole za gradnju novih dalekovoda. Posebno je taj problem izražen kod dionica koje prolaze kroz šumovita područja. Uz dobivanje dozvola prisutni su i veliki troškovi odšteta vlasnicima šuma. Manja sječa zbog užih koridora omogućiti će lakše rješavanje navedenih problema.

Uz ove dokumentacijske i ekonomske prednosti gradnje NVIV imamo još neke prednosti u usporedbi sa gradnjom NVGV:

- razmaci između faznih vodiča se kod NVIV mogu smanjiti i do trećine vrijednosti koje valjaju za NVGV
- u slučaju otcjepnog voda koji se nalazi na istom stupu sa glavnim vodom razmaci su među vodičima glavnog i otcjepnog voda kod NVIV samo trećinu onih kod NVGV
- razmaci do različitih objekata kod NVIV višestruko su manji nego kod NVGV
- NVIV mora biti građen sa električki pojačanom izolacijom (potporni izolator sa povećanom duljinom klizne staze)
- NVIV mora imati izvedenu prenaponsku zaštitu
- PAS vodiči moraju se montirati brižljivo da ne bi došlo do oštećenja XLPE izolacije vodiča
- NVIV se mora uzemljiti u transformatorskoj stranici pomoću rastavljača sa noževima za uzemljenje.

NVIV su osjetljivi na pojave prenapona te je u razvoju PAS vodova zaštiti od prenapona posvećeno mnogo pažnje. Na nezaštićenom NVIV bi prilikom atmosferskih prenapona došlo do

posljedicu da se dionica ROB-PURKAČE izgradi sa PAS vodičima odnosno kao NVIV tehnološko rješenje.

### 3.2. Osnove za projektiranje 20 kV NVIV odnosno PAS voda ROB-PURKAČE

U JP Elektro Ljubljani pojavile su se prve ideje o uporabi NVIV na području poslovne jedinice Kočevje već 1989 godine. Iste godine su učinjeni prvi kontakti s hrvatskim proizvođačem kablova ELKA te je 1990 tražena prva ponuda za izolirani SN vodič. Te godine su stručnjaci u hrvatskom mjestu Donje Ielenje pogledali testni NVIV sa izoliranim SN vodičem izvedenim sa improviziranim

ovjesnim priborom na postojećim izolatorima i konzolama i međusobnim razmacima kao za gole vodiče. Vođeni su i razgovori za ovjesni materijal sa slovenskim poduzećem MEHANIKA.

Nakon što je studija /1/ završena u veljači 1993 stručnjaci iz Elektro Ljubljane i inženjeringa C&G otputovali su u Finsku gdje su obavljani razgovori sa proizvođačem ENSTO. Tom prilikom naši stručnjaci imali su priliku da se na terenu upoznaju sa tehničkim rješenjima PAS vodova koje koriste finski distributeri.

Na osnovu studije /1/ i dobljenih iskustava od finskih distributera napravljen je projekt /2/ izvedenih radova u lipnju 1993 na osnovu kojeg je naručen finski materijal i pribor za rekonstrukciju dalekovoda ROB-PURKAČE.

#### 3.2. Tehnički zahtjevi za 20 kV dalekovod (NVIV)

Dotrajani 20 kV dalekovod /4/ sa golim Alučel vodičima presjeka 70 mm<sup>2</sup> na trasi ROB-ZAPOTOK je rekonstruiran na dionici između zidanih TS ROB i TS PURKAČE pomoću izoliranih vodiča finske proizvodnje, PAS vodičima presjeka 70 mm<sup>2</sup> od komprimiranog AlMgSi materijala (kod nas poznatog pod nazivom Aldrey) izoliranog sa XLPE izolacijom debljine 2,3 mm crne boje.

Dionica NVIV odnosno PAS voda je duga 2.045 m in na cijeloj trasi uporabljeni su 22 drvena (jela) impregnirana stupa pričvršćenih na betonskom stupniku i 5 drvena (kesten) neimpregnirana zatezna A stupa te 1 drveni (jela) stup za učinski rastavljač uklještenih u betonska kiješta. Kako je trokutni raspored faza zamjenjen sa horizontalnim na vrhu stupa novi stupovi su kraci prosječno za 1.4 m.

Na stupovima su pričvršćene originalne finske konzole tipa SH 151 i SH 153.10 na kojima se nalaze potporni izolatori tipa SDI 37 odnosno ovješeni štapni izolatori tipa SDI 24.50 sa povećanom električkom izolacijom (24 kV).

Fazni PAS vodiči su razmaknuti od 40-45 cm i pričvršćeni na potporne izolatore sa plastificiranom spiralnom žicom tipa LT 70 ili ovješeni na nosećim stezaljkama tipa SO 81 ili krajnjim stezaljkama na zateznim stupovima ili krajnjim konzolama na zidu TS tipa SO 85. PAS vodiči se produžavaju pomoću specijalne samozatezne spojke ili kompresijske spojke koje su

Radovi su započeti 22.9.1993, a završeni 26.10.1993. Radove je pratilo kišovito vrijeme ali je uz dobru organizaciju rekonstrukcija završena u roku. Kao zanimljivost dan po završetku dalekovoda pao je prvi obilni snijeg na novu trasu PAS vodiča.

Nakon zamjene starih drvenih stupova pozvani su finski stručnjaci pošto je bilo planirano da se u prvoj dionici od približno 1.300 m zamjene Alučel užadi sa PAS vodičima uz pomoć Finaca. Nažalost je kiša pokvarila taj plan te su finski stručnjaci u priručnoj učionici ispod sjenika održali samo kraće nekoliko sati trajajuće školovanje naših radnika. Taj kraći prikaz tehnologije rada i dodatno pojašnjenje pojedinih montažnih operacija omogućilo je kvalitetne pripreme montažera koji su samostalno i bez problema, uz njihovu kasniju procjenu o jednostavnosti obavljenih montažnih radova, u kišovitom vremenu pravovremeno i kvalitetno završili radove.

Zbog zahtjeva o neprekinutom napajanju razvlačenje PAS vodiča učinjeno je kroz koloture pomoću starih Alučel užadi koja su ostala na trasi. Nove PAS vodiče na potpuno novom dalekovodu bi sigurno razvlačili bez kolotura pošto bi jih provlačili kroz posebne uloške na potpornim izolatorima SDI 37 pomoću najlonskih užadi. Naprezanje smo izveli pomoću dinamometra tako da smo PAS vodiče opteretili sa maksimalnim radnim naprezanjem od  $28 \text{ N/mm}^2$ . Kod naprezanja i razvlačenja PAS vodiča pomogao nam je originalan finski pribor kojeg smo nazvali metalna žabica sa kojom smo pričvrstili PAS vodič kod naprezanja te najlonska čarapa za razvlačenje PAS vodiča.

Nakon završenih montažnih radova PAS vod je odmah stavljen pod napon i opterećen. Za praćenje pogona ovog prvog testnog dalekovoda sa PAS vodičima u Republici Sloveniji postavljen je interni sistem praćenja kvalitete (QA) te do danas nije primiećen niti jedan kvar. Dalekovod je doba

## 6. PITANJA ZA DISKUSIJU

1. Kakva su na novija iskustva uporabe izoliranih vodiča u Hrvatskoj i kakvi su planovi uporabe ove tehnologije NVI/ u Hrvatskoj elektroprivredi (HEP)?
2. Da li poduzeća u Hrvatskoj planiraju proizvodnju izoliranih SN vodiča i pribora za ovješanje?

## 6. LITERATURA

1. Uvajanje izoliranih nadzemnih vodov u elektroenergetsko omrežje Slovenije, Referat br.1195, Elektroinštitut "Milan Vidmar", Ljubljana, veljača 1993
2. Elaborat za priglasitev del in izvedbo, Obnova 20 kV DV ROB-ZAPOTOK odsek ROB-PURKAČE izvedba s PAS vodniki, Elaborat br.419-A/93, JP Elektro Ljubljana, Kočevje, lipanj 1993
3. H.Lehtinen, T.Lehtinen, A.Hinkkuri, Research on Covered Medium-Voltage Overhead Lines in Finland, CIRED, 1989
4. Poročilo o izgradnji 20 kV dalekovoda ROB-PURKAČE s polizoliranimi (PAS) vodniki, Elektro Ljubljana, Kočevje, siječanj 1994
5. M.Babuder, J.Hostnik, M.Nadižar, Uvajanje izoliranih nadzemnih vodov v elektroenergetsko omrežje Slovenije, I. SLOKO CIGRE, Ljubljana, 25-26.05.1993
6. Prospektna dokumentacija proizvođača PAS vodiča i ostalog materijala i pribora, ENSTO OY SEKKO AB, Finska