

# PUŠTANJE POD NAPON 110 kV JEDNOG SISTEMA DVOSISTEMSKOG 400 kV DALEKOVODA POSTAVLJANJEM PRIVREMENE VEZE

BRANKO ĐORĐEVIĆ, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Elektromreža Srbije A.D., Srbija  
IVANA MITIĆ, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Elektromreža Srbije A.D., Srbija  
DUŠAN OBRADOVIĆ, Elektromreža Srbije A.D., Srbija

## KRATAK SADRŽAJ

U radu je opisano puštanje pod napon 110 kV jednog sistema dvosistemskog 400 kV dalekovoda. Usled nemogućnosti da se ceo dvostruki interkonektivni 400 kV dalekovod pusti pod napon, a zbog smanjenja gubitaka u mreži i poboljšanja naponskih prilika u području jugoistočnog Banata, urađena je privremena veza dalekovoda 400 kV br. 463A TS Pančevo 2 – granica/TS Rešica i 110 kV br. 1002 TS Vršac 2 – TS Bela Crkva, na mestu njihovog ukrštanja. U radu je opisan način izvođenja ove privremene veze, kao i primenjena oprema. U radu je opisano i rešavanje problema asinhronog otklona pojedinih faza i zaštitne užadi zbog vremenskih uslova u ovom regionu i velike visinske razlike između provodnika dva dalekovoda, kao i na problematiku koordinacija izolacije na ova dva dalekovoda.

**Ključne reči:** privremena veza, dalekovod, različiti naponski nivoi

## SUMMARY

This paper is describing commissioning of the voltage 110 kV one of the two-circuit 400 kV overhead line. Because of the inability of commissioning the entire two-circuit interconnecting 400 kV transmission line, and also the reduction of network losses and the improvement of voltage conditions in the area of Southeast Banat, is been made a temporary connection of the 400 kV overhead lines no. 463A TS Pančevo 2 - border/TS Rešica and 110 kV no. 1002 TS Vršac 2 - TS Bela Crkva, at the place of their crossing. The method of performing this temporary connection, as well as the equipment used for its, has been described in this paper. One of the problem is asynchronous deflection of conductors and earth wires because of to the weather conditions in this region and the large height difference between the conductors of the two transmission lines, as well as the problem of coordination of the isolation on these two transmission lines.

**Key words:** temporary connection, overhead line, different voltage levels

[branko.djordjevic@ems.rs](mailto:branko.djordjevic@ems.rs), [ivana.mitic@ems.rs](mailto:ivana.mitic@ems.rs), [dusan.obradovic@ems.rs](mailto:dusan.obradovic@ems.rs).

## 1. UVOD

Krajem 2017. godine završena je izgradnja dela interkonektivnog dalekovoda 2x400 kV br. 463AB TS Pančevo 2 – granica/TS Rešica na teritoriji Republike Srbije, izgradnjom ovog dalekovoda uspešno je realizovana Sekcija 1, projekta „Transbalkanski koridor-prva faza“. Međutim radovi na delu dalekovoda na teritoriji Rumunijenisu završeni i dalekovod se ne može pustiti pod napon celom svojom dužinom do TS Rešica u Rumuniji. Zbog smanjenja gubitaka u mreži i poboljšanja naponskih prilika u području jugoistočnog Banata, urađena je privremena veza dalekovoda 400 kV br. 463A TS Pančevo 2 – granica/TS Rešica (u daljem tekstu DV 463A) i 110 kV br. 1002 TS Vršac 2 – TS Bela Crkva (u daljem tekstu DV 1002), na mestu njihovog ukrštanja. U području jugoistočnog Banata, u delu prenosnog sistema - južno-banatska petlja javljaju se nepovoljne naponske prilike i u ovom regionu potencijalna preopterećenja pojedinih dalekovoda koji čine južno-banatski petlju, mogu za posledicu imati redukovanje dela potrošnje. Drugi sistem 400 kV dalekovoda pušten je u prazan hod. Stavljanjem pod napon izgrađenog dvostrukog 400 kV vod, sprečavaju se potencijalne krađe opreme ugrađene na ovom dalekovodu.

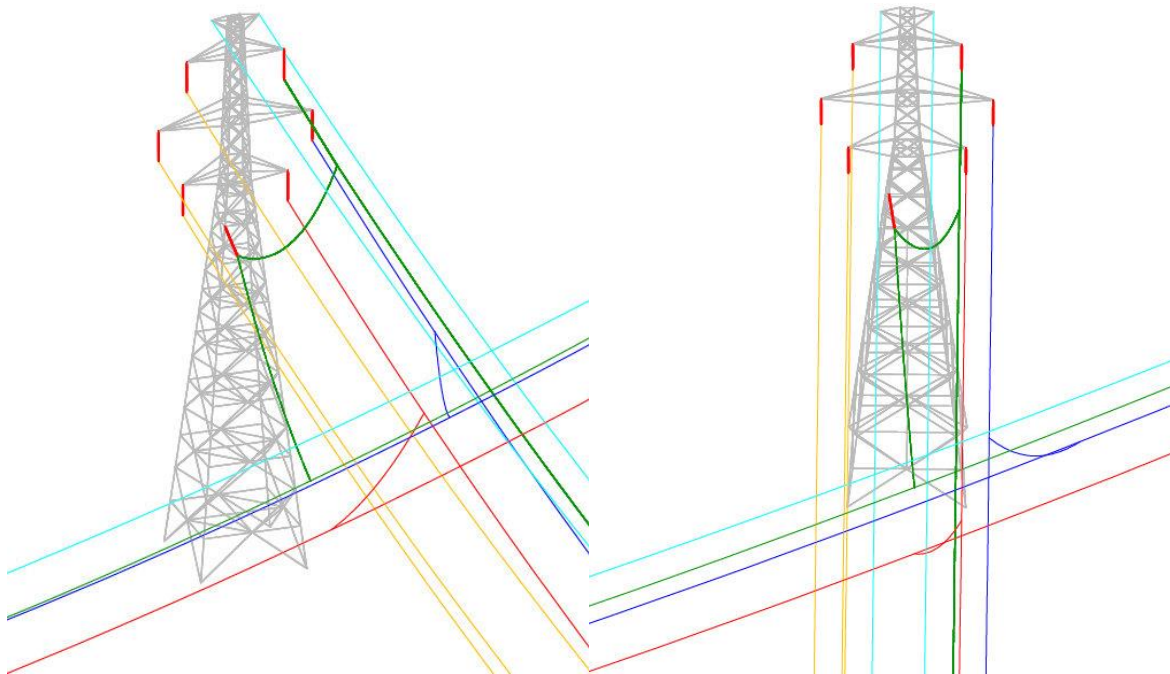
## 2. OPIS IZVEDENIH RADOV

Ukrštanje dva dalekovoda se nalazi između stubova br. 174 i 175 DV 463AB i između stubova br. 38 i 39 DV 1002. Raspon između stubova br. 174 i 175 DV 463A dugačak je 331,32 m, mestoukrštanja sa DV 1002 je udaljeno 31,3 m od stuba br. 175 ka stubu br. 174. Raspon između stubova br. 38 i 39 DV 1002 dugačak je 347,07 m, a mestoukrštanja je udaljeno 235.6 m od stuba br. 38 ka stubu br. 39. Stubovi na DV 463AB su izvedeni stubovima tipa „bure“ sa dva vrha za zaštitno uže, na ovom dalekovodu primenjen je fazni provodnik Al/Č 2x490/65 mm<sup>2</sup>, osnovnu izolaciju čine 21 izolatorskih jedinica tipa U160BS. Stubovi na DV 1002 su izvedeni stubovima tipa „jela“ sa jednim vrhom za zaštitno uže, a fazni provodnik je Al/Č 240/40 mm<sup>2</sup>, osnovnu izolaciju čine 7 izolatorskih jedinica tipa U120BS. Na DV 1002 stubovi tipa jela su okrenuti tako da je srednja konzola sa leve strane, a gornja i donja sa desne, gledano od TS Vršac 2 ka TS Bela Crkva. Srednja faza DV 1002 je najbliža stubu br. 175 na DV 463 AB.



Slika 1: Izvođenje radova na prevezivanju dalekovoda

Prevezivanje je izvedeno između provodnika desnog A sistema DV 463AB i provodnika DV 1002, na slici 2 prikazan je način. Nije izvedeno povezivanje zaštitine užadi. Na DV 1002 zaštitno uže je, zbog ukrštanja sa DV 463AB, je spušteno u rasponu 38-39 za oko dva metra i zakačeno na pomoćne konzole.



Slika 2: 3D prikaz povezivanja dalekovoda

Mehanička jačina veza ostvarena je tako što je na provodnik dalekovoda na koji je postavljena veza, montirana noseća stezaljka, povezana preko očke, sa čizma klemom kroz koju je provučena veza. Strujna veza na DV 1002 je ostvarena tako što je svaki kraj veze povezan sa 4 strujne stezaljke sa osnovnim provodnikom dalekovoda, dok je na

DV 463A je ostvarena tako što je svaki kraj veze povezan sa po 2 strujne stezaljke sa svakom paricom osnovnog provodnika dalekovoda. Na DV 463A na mestu spoja sa ovim krutim vezama u svim fazama su dodati rastojnici kao dodatna veza između parica provodnika. Strujne stezaljke koje se postavljaju na 400 kV provodniku, su prilagođene za dva različita prečnika provodnika.

#### 1. Veza gornje faze DV 463A i srednje faze DV 1002:

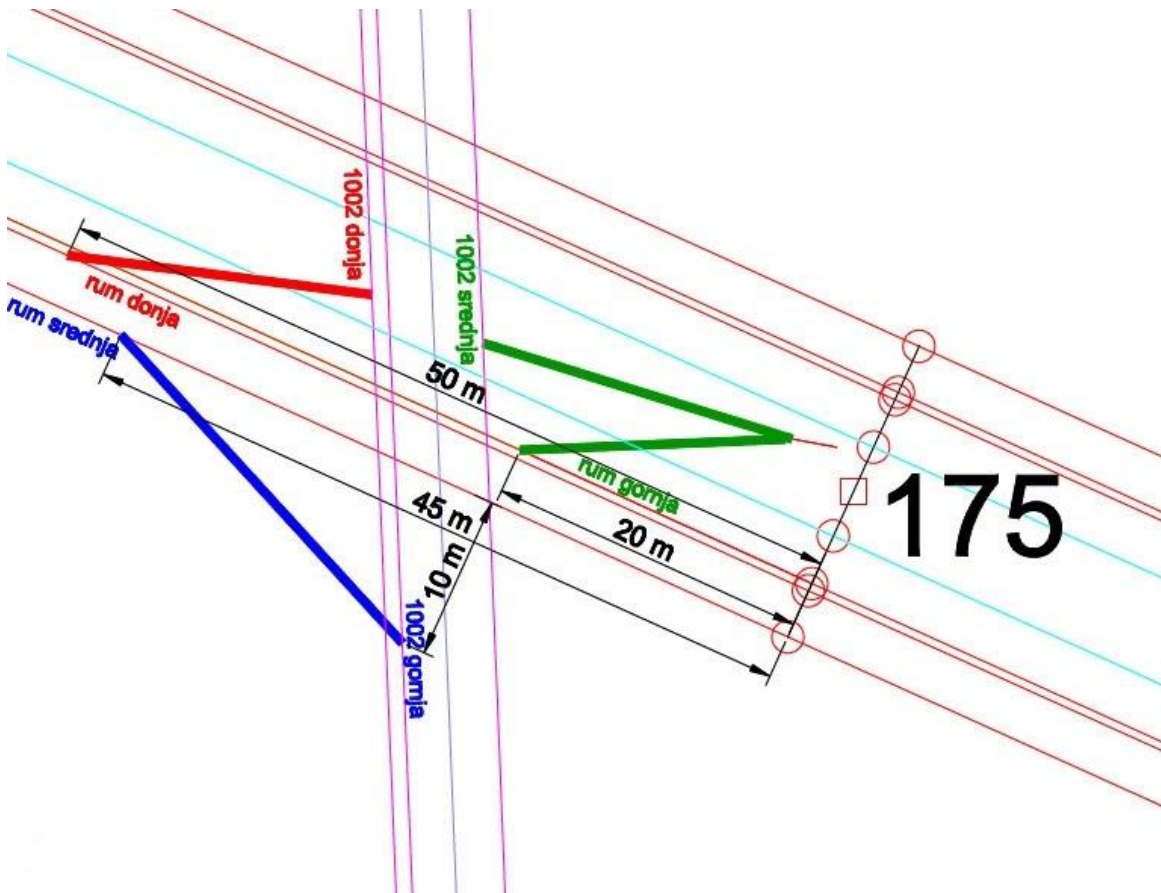
Veza na gornjoj fazi DV 463A postavljena je na oko 20 m od noseće kleme na stubu br. 175 ka stubu 174 na parici bližoj osi DV-a. Zatim je prihvaćena i privučena ka stubu broj 175 pomoću izolatorskog lanca koji je montiran na konstrukciji stuba, odakle dalje prelazi na srednju fazu DV 1002. Spoj privremene veze i srednje faze na DV 1002 je montiran u pravcu ose DV 463AB. Na stubu je privremena veza prihvaćena pomoću je štapnog kompozitnog izolatora 400 kV (ZNSI 420kV (80s) SB 160kN). Izolator je postavljen na zadnjem levom pojasnom štapu na stub br. 175 u visini drugog sprega ispod donje konzole. Zbog kačenja izolatora na stub, demontirana je jedna penjalica i izbušena jedna rupa na pojasnom štapu. U koje je postavljen „U“ stremen za povezivanje izolatora. Provodnik je za taj izolator prihvaćen pomoću noseće stezaljke i izolator se nalazi u približno horizontalnom položaju.

#### 2. Veza srednje faze DV 463A i gornje faze DV 1002:

Veza na srednjoj fazi DV 463A postavljena je na oko 45 m od noseće kleme na stubu br. 175 ka stubu 174 na spoljnoj parici. Veza na gornjoj fazi DV 1002 postavljena je na udaljenosti od oko 10 m od projekcije srednje faze DV 463A na DV 1002, na strani prema stubu br. 39 na DV 1002.

#### 3. Veza donje faze DV 463A i donje faze DV 1002.

Veza na donjoj fazi DV 463A postavljena je na oko 50m od noseće kleme na stubu br. 175 ka stubu 174 na spoljnoj parici. Veza na donjoj fazi DV 1002 postavljena je u pravcu ose DV 463AB.



Slika 3: Pozicija dodatnih veza

Redosled faza na deonici od stuba br. 38 ka stubu 39 na DV 1002 (na ovoj deonici nema preplitaja) je: gornja faza - „4“, srednja faza - „0“, donja faza - „8“. Pri izboru rešenja za povezivanje, pre svega je moralo da se vodi racuna o fizičkoj izvodljivosti određenog tehničkog rešenja. Zbog toga nije bilo moguće uskladiti faze na mestu prevezivanja DV 463AB i DV 1002.

Po projektu DV 463AB je predviđen sledeći redosled faza od stuba 174 do stuba 175 na DV 463A: gornja faza - „4“, srednja faza - „0“, donja faza - „8“ i u skladu sa ovim, je bio predviđen sledeći raspored faza na portal C5 u TS Pančevo 2: leva faza - „8“, srednja faza - „4“, desna faza - „0“.

Krutim prevezivanjem DV 463A sa DV 1002 na DV 463A je formiran sledeći raspored faza od stuba 174 do stuba 175: gornja faza - „0“, srednja faza - „4“, donja faza - „8“ i u skladu sa ovim raspored faza na portal C5 u TS Pančevo 2 je stizao sledeći redosled faza: leva faza - „8“, srednja faza - „0“, desna faza - „4“.

Da bi redosled faza na dalekovodima bio usklađen izvršena je promena priključaka na spustevima na portalu C5 u TS Pančevo 2. Odnosno spust sa leve odlazeće faze sa portala C5 je zadržan i on je i dalje priključen na levi izlazni naponski transformator. Izvršena je promena priključaka srednjeg i desnog spusta na portalu C5. Spust sa srednje odlazeće faze sa portala C5 je, pomoću jednostrukog prihvatnog lanca koji je montiran na desnoj fazi na portalu C5 (prethodno je demontiran V lanac), prihvaćen je i priključen na desni izlazni naponski transformator, dok je spust sa desne odlazeće faze na portal C5 zakačen za spust ispod prihvatnog V lanca na srednjoj fazi na portalu C5 i tako priključen na srednji izlazni naponski transformator. Na ovaj način je raspored faza na priključcima naponskih transformatora vraćen u projektovano stanje: levi priključak faza - „8“, srednji priključak faza - „4“, desni priključak faza - „0“.



Slika 4: Usklađivanje redosleda faza na portalu C5 u TS Pančevo 2

### 3. KOORDINACIJA IZOLACIJE

Dalekovoda 463AB je izgrađen za napon 400 kV i prema (2) ovaj vod je dimenzionisan tako da njegova fazna izolacija izdrži atmosferski udarni napon od 1300 kV, dok je podnosivi napon u postrojenju 1425 kV. Za vodove naponskog nivo 110 kV nazivni podnosivi atmosferski udarni napon za dalekovod iznosi 450 kV, dok za postrojenje 550 kV. Kako bi se rešio ovaj problem postavljeni su prihvatni izolatorski lanci 110 kV sa zaštitnim iskrištima na zateznim stubovima u sve tri faze na 1. i 4. stubu gledano od TS Pančevo 2 na A sistemu. Ovi lanci se sastoje od po 7 članaka sa izolatorskim jedinicama U160BS, dok su regulaciona iskrišta prema (2) podešena na 560 mm.



Slika 5: Prihvatni izolatorski lanci 110 kV sa zaštitnim iskrištima na zateznom stubu

Prema empirijskoj formuli datoj u literaturi (3) može se izračunati podnosivi atmosferski napon brzog čela za razmaka između zaštitne armature do 10 m:

$$U_{50rp\_ff} = 530 d \text{ [kV]}, \quad (3.1)$$

gde je  $d$  razmak između zaštitne armature u metrima. Prilikom koordinacije izolacije prema (3) za najviše napone mreže od 1 kV do i uključujući 245 kV u obzir se uzima samo prenapon brzog čela, prenapon sporog čela se uzima u obzir za proračun rastojanja u mrežama najviših napona iznad 245 kV. U mrežama sa dugačkim vodovima (dužim od 100 km), atmosferski prenaponi sporog čela potiču od udaljenih atmosferskih udara u fazni provodnik, kada je struja atmosferskog pražnjenja dovoljno mala da ne uzrokuje preskok na izolaciji voda i kada se udar javi na dovoljnom rastojanju od razmatranog mesta da bi proizveo sporo čelo.

Na osnovu 3.1. podnosivi atmosferski napon brzog čela za podešeni razmak između regulacionih iskrišta na prihvatnim 110 kV izolatorskim lancima iznosi 296,8 kV, čime je snižena izolacija 400 kV voda kako bi se prilagodio radu pri naponu 110 kV i sprečilo prenošenje kvara sa novoformiranih dalekovoda u transformatorsku stanicu.

#### 4. PROBLEMA ASINHRONOG OTKLONA POJEDINIH FAZA I ZAŠTITNE UŽADI

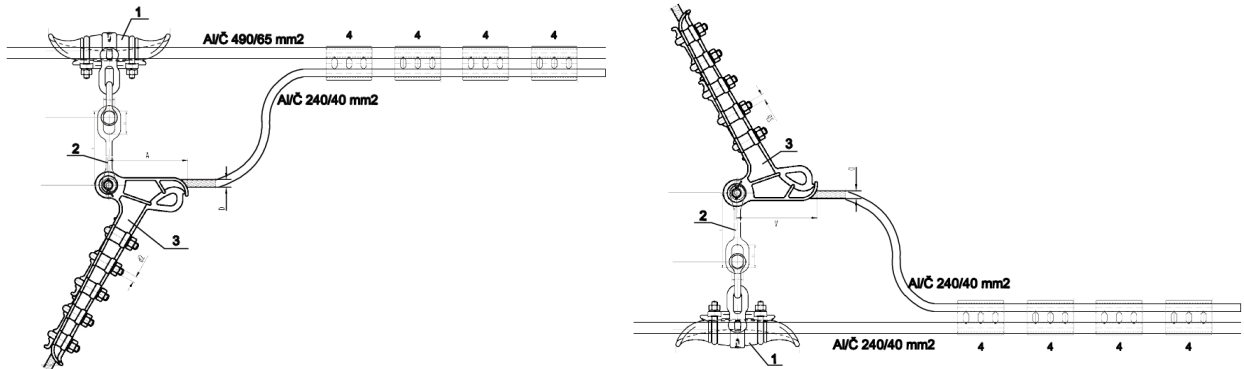
U području jugoistočnog Banata javljaju se vetrovi znatnog inteziteta. Dalekovod 463AB projektovan je za pritisak vetra  $110 \text{ daN/mm}^2$  za visine do 40 m i  $130 \text{ daN/mm}^2$  za visine preko 40 m.

Orijentaciona dužina privremenih veza je 58 m. Sa obzirom na to da su privremene veze relativno dugačke, ne smeju da budu suviše labave zbog otklona pri dejstvu vetra. Radi sprečavanja mogućeg asinhronog otklona pojedinih faza i zaštitnog užeta DV 110 kV, postavljeni su međufazni kompozitni izolatori između donje i gornje faze, između gornje faze i zaštitnog užeta i između srednje faze i zaštitnog užeta. Ovim su postignute i sigurnosne udaljenosti.

Postavljeni su međufazni podesivi izolatori 123kV od 3700 do 4000 mm, između donje i gornje faze, između gornje faze i zaštitnog užeta i između srednje faze i zaštitnog užeta, na mestu ukrštanja sa DV 463AB.

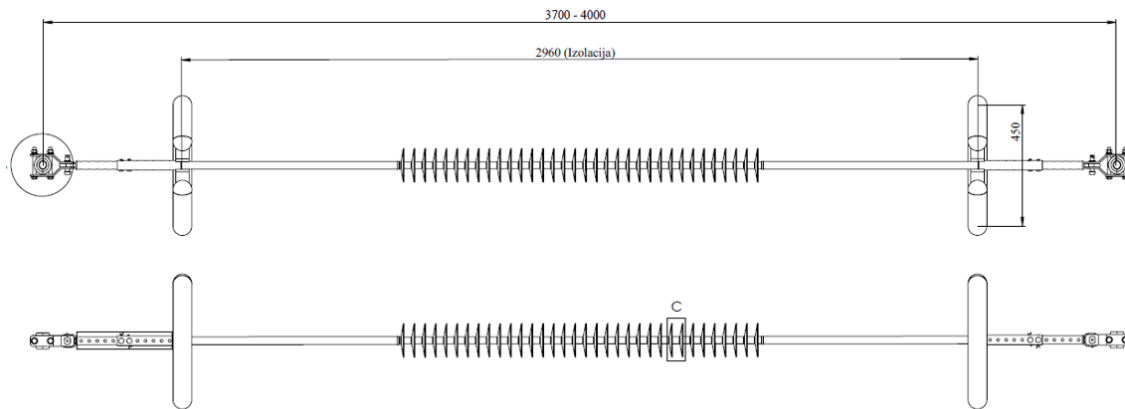
## 5. PRIMENJENA OPREMA

Dodatne veze su izvedene provodnikom tipa Al/Č 240/40 mm<sup>2</sup>. Mehanička jačina veza ostvarena je tako što se na provodnik dalekovoda na koji je postavljena veza, postavljena i noseća klema povezana sa čizma klemom kroz koju je provučena veza. Silazatezanja veze iznosi 70 - 80 daN. Strujna veza će ostvarena je pomoću 4 strujne kleme koje su postavljene na svaki kraj veze. Strujne kleme koje su postavljaju na provodniku DV 463A su prilagođene za dva različita prečnika provodnika.



Slika 6: Priključne veze između faznih provodnika dalekovoda

Na slici 4 prikazani su kompozitni međufazni izolatori 400 kV, (ZNSI 420kV (80s) SB 160kN). koji služe da bi sprečili asinhrona nihanja dodatnih veza i osigurale sigurnosne razmake između njih.



Slika 7: Međufazni izolatori

## 6. PARAMETRI NOVOFORMIRNIH DALEKOVODA

U tabeli 1 data je direktna i nulta reaktansa, rezistansa i otočna susceptansa DV 463A i DV 1002 pre i nakon povezivanja ova dva dalekovoda privremenom vezom.

TABELA 1 – Proračunate vrednosti parametara

Parametri	pre povezivanja dalekovoda		posle povezivanja dalekovoda		
	DV 463A TS Pančevo 2 - granica	DV 1002 TS Bela Crkva - TS Vršac 2	DV 463A TS Pančevo 2 - čvor	DV 1002/1 TS Bela Crkva - čvor Straža	DV 1002/2 čvor Straža - TS Vršac 2

			Straža		
$R_d [\Omega]$	2.094	3.534	1.815	2.150	1.384
$X_d [\Omega]$	21.307	12.420	18.473	7.556	4.864
$R_0 [\Omega]$	12.226	9.329	10.600	5.676	3.654
$X_0 [\Omega]$	53.408	37.264	46.305	22.670	14.594
$B_d [\mu S]$	248.877	80.693	215.773	49.091	31.602
$B_0 [\mu S]$	150.335	50.650	130.316	30.814	19.836
$L [km]$	68.0341	29.792	58.9854	18.1246	11.6674

U tabeli 2 data je izmerena direktna i nulta imedansa DV 463A od TS Pančevo 2 – do privremene veze. Razlika između proračunatih i izmerenih parametara je neznatna.

TABELA 2 – Izmerene vrednosti direktne i nulte impedanse za DV 463A TS Pančevo 2 – čvor Straža

Rezultat merenja	$R [\Omega]$	$X [\Omega]$	$Z [\Omega]$	Phi (°)
Direktna impedansa	1.729	18.288	18.370	84.60°
Nulta impedansa	8.831	46.167	47.004	79.17°

Razlika između proračunatih i izmerenih parametara javlja se zbog razlike u pretpostavljenoj i stvarnoj vrednosti otpornosti tla (u proračunima je uzeta vrednost otpornosti tla 50  $\Omega m$ ), kao i zbog uticaj cevovoda i ostalih metalnih linijskih objekata koji se nalaze u blizini dalekovoda, a ne uzimaju se u obzir prilikom proračuna.

## 7. ZAKLJUČAK

Nestandardnim rešenjem prevezivanjem dalekovoda 400 kV br. 463A TS Pančevo 2 – granica/TS Rešica i 110 kV br. 1002 TS Vršac 2 – TS Bela Crkva i puštanjem pod napon 400 kV voda, obezbeđuje se poboljšanje naponskih prilika u regionu jugoistočnog Banata i smanjene gubitaka u prenosnoj mreži. Stavljanjem pod napon novoizgrađenog dalekovoda sprečavaju se potencijalne krađe, što je još jedna od prednosti ovakvog rešenja, koji je prvi put u Srbiji uspešno primenjeno.

## LITERATURA

1. ELABORAT ZA IZRADU PRIVREMENE VEZE IZMEĐU DV 2x 400 kV Pančevo 2 – granica Rumunije i DV 110 kV br. 1002 TS Vršac 2 – TS Bela Crkva
2. IS – EMS 125:2016 Koordinacija izolacije u mrežama viskog napona
3. SRPS EN 50341-1, Nadzemni električni vodovi naizmenične struje iznad 1 kV - Deo 1: Opšti zahtevi - Zajedničke specifikacije
4. Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV („Sl. list SFRJ” broj 65 iz 1988. god.; „Sl. list SRJ” broj 18 iz 1992. god.)