

REKONSTRUKCIJA 220 KV ZBIRALK V STIKALIŠČU RTP 400/220/110 KV PODLOG

Lovro BELAK, Robert MARUŠA, Jože PIHLER, Aleš ZAGORIČNIK

POVZETEK

Članek opisuje rekonstrukcijo zbiralk 220 kV (izolacije in pripadajočega obešalnega materiala) v stikališču RTP 400/220/110 kV Podlog. Stikališče 220 kV je v obratovanju od začetka sedemdesetih let pa vse do danes. Zaradi večletnega obratovanja in dotrajanosti opreme, obratovanje ni bilo več zanesljivo. Zaradi tega je bila v letu 2011 izvedena rekonstrukcija zbiralk. Ob tem, je bil poglavitni cilj, da bo v času rekonstrukcije obratovanje EES čim manj moteno. V ta namen je poleg rekonstrukcije, bila obravnavana tudi analiza obratovanja 400 in 220 kV prenosnega omrežja v času rekonstrukcije. Poudarek je bil na tem, kako ob izvajanju rekonstrukcije zagotoviti čim manj moteno obratovanje EES in posledično nemoteno oskrbo električne energije porabnikom.

ABSTRACT

This Article describes the reconstruction of 220 kV bus (isolation and the corresponding material) in the substation 400/220/110 kV Podlog. The switching substation 220 kV has been in operation since the early seventies. Due to the long year operation and to the worn out equipment, the operations are no longer reliable. Because of this, the bus reconstruction was made in 2011. At that time, there was a primary objective that during the reconstruction the electro energetic system would be as less disturbed as possible. For this purpose, has been analyzed the operation of the 400 and 220 kV network during the reconstruction. The focus was on the implementation of the reconstruction to ensure the least disturbed electro energetic system and consequently the uninterrupted supply of electricity to consumers.

1. UVOD

Obratovanje in delovanje 220 kV napetostnega nivoja sega v šestdeseta leta. Takratni elektroenergetski razvoj je zadovoljil obratovanje na tem napetostnem nivoju. S pričetkom del v poznih šestdesetih letih se je pričela tudi gradnja 220 kV stikališča v takratnem RP 220/110 kV Podlog. S poznejšo gradnjo 400 kV prenosnega omrežja t.i. Nikola Tesla je stikališče v Podlogu postalo RTP 400/220/110 kV Podlog. Danes je stikališče obnovljeno na vseh napetostnih nivojih. Nazadnje je bila v letih 2008 in 2009 izvedena rekonstrukcija 400 kV stikališča. Stikališče z inštalirano močjo 701,66 MW sodi med večje razdelilne transformatorske postaje v Sloveniji. Leži na severovzhodu države in je pomemben člen

Slovenskega elektroenergetskega sistema. Po rekonstrukciji 400 kV stikališča je ostala še dotrajana izolacija in pripadajoča obesna oprema na 220 kV zbiralkah. Ta je v funkciji od začetka izgradnje in se je letos v okviru projekta zamenjala z novo. Elektromontažna dela so se izvajala v lastni režiji delavcev centra vzdrževanja Podlog in Maribor. Članek opisuje gradnjo stikališča, analizo obratovanja in zamenjavo obesne opreme v 220 kV stikališču RTP Podlog. V njem je podrobno opisano obratovanje in zanesljivost zbiralk v času rekonstrukcije.

2. ZGODOVINA 220 KV PRENOSNEGA OMREŽJA

Prenosno omrežje na napetostnem nivoju 220 kV ima status v ukinjanju že od nastanka. Predvideva se prehod na 400 kV napetostni nivo. Kljub vsemu načrtovanju pa vendarle še vedno normalno obratuje in brez njega si težko predstavljamo obratovanje EES v današnjem času. Od izvedbe 220 kV omrežja so bile opravljene različne študije [1]. Vsekakor je potrebno priznati, da v tistem času ni bilo dovolj izkušenj, kako bo potekala gradnja iz razvoj visokonapetostnih omrežij. Takratna država ni mogla dohajati hitrega razvoja, gospodarske rasti in stalnega povečevanja porabe električne energije. Pozna izgradnja 220 kV prenosnega omrežja v Sloveniji je, glede na ostale države bivše Jugoslavije narekovala, da bi bilo smotno pričeti z gradnjo 400 kV prenosnega omrežja [1].

Pričetek gradnje 220 kV omrežja sega v leto 1956 kot nadgradnja 110 kV omrežja. Takrat so v bivši Jugoslaviji pričeli graditi t.i. superponirano 220 kV prenosno omrežje. Gradnja 220 kV prenosnega omrežja se je v bivši Jugoslaviji praktično že zaključila leta 1962. V Sloveniji pa so se v obdobju 1960 do 1962 šele intenzivno izvajale študijske obdelave, dejanska gradnja pa se je pričela leta 1964. Gradnja je bila fazna, z vozlišči v Cirkovcah za severovzhodno Slovenijo, v Klečah za osrednjo Slovenijo in v Divači za primorsko področje. Zanka 220 kV daljnovodov od Žerjavinca (Hrvaška) – Cirkovc – Podloga – Beričevega in Kleč na eni strani in od Pehlina (Hrvaška) – Divače do Kleč na drugi strani povezuje glavne proizvodne in odjemne točke tega območja [2]. Danes v Sloveniji obratujejo naslednja 220 kV stikališča:

- Stikališče 220 kV v RTP Cirkovce,
- stikališče 220 kV v RTP Podlog,
- stikališče 220 kV v RTP Beričevo,
- stikališče 220 kV v RTP Kleče in
- stikališče 220 kV v RTP Divača.

Večina gradnje 220 kV omrežja se je končala v letu 1970. V letu 1971/72 se je zgradil še DV 220 kV Šoštanj-Podlog z namenom neposredne vključitve bloka IV TE Šoštanj moči 275 MVA na EES. V preglednici 1 je prikazan seznam 220 kV daljnovodov v Sloveniji s pripadajočimi dolžinami tras.

Preglednica 1: Seznam 220 kV daljnovodov s pripadajočimi dolžinami tras

Naziv daljnovoda	Trasna dolžina [km]
DV 220 kV Cirkovce-Žerjavinec (HR)	97,782
DV 220 kV Cirkovce-Podlog	50,912
DV 220 kV Obersielach-Podlog	65,479
DV 220 kV Beričevo-Podlog	50,910
DV 220 kV Beričevo-Kleče	13,197
DV 220 kV Kleče-Divača	66,334
DV 220 kV Divača-Pehlin (HR)	53,217
DV 220 kV Divača-Padriciano (I)	11,533

Daljnovod DV 2x220 kV Rašica-Beričevo je bil zgrajen v letu 1977, v času izgradnje novega stikališče RTP 400/220/110 kV Beričevo. Takrat so presekali enosistemski daljnovod DV 220 kV Kleče-Podlog in ga vzankali v novo 220 kV stikališče v RTP Beričevo. Na tem edinem dvosistemskem 220 kV daljnovodu v Sloveniji sta obešena sistema DV 220 kV Beričevo-Podlog in DV 220 kV Beričevo-Kleče.

Z zgraditvijo 220 kV prenosnega omrežja v Sloveniji s pripadajočimi mednarodnimi povezavami s Hrvaško, Italijo in Avstrijo v skupni dolžini 299 km je bila omogočena vključitev takratne Jugoslavije v mednarodno izmenjavo električne energije v skupni zanki SUDEL. Poskusno obratovanje v letu 1970 z Italijo, v letu 1971 pa še z Avstrijo je kljub nekaterim začetnim težavam dalo izpodbudne rezultate.

Po nekajletnem poskusnem obratovanju v zanki SUDEL je elektroenergetski sistem nekdanje Jugoslavije od leta 1974 dalje trajno sinhrono povezan z Italijo, od leta 1975 pa še z Avstrijo. S tem je 220 kV prenosno omrežje vzporedno povezano z zahodnoevropskim elektroenergetskim sistemom UCPT. Na sliki 1 je prikazano 220 kV prenosno omrežje v času po izgradnji zanke SUDEL, v začetku sedemdesetih letih [3].



Sl. 1: Prenosno omrežje 220 kV v zanki SUDEL [2]

3. IZGRADNJA RP 220 KV PODLOG

Sočasno z gradnjo prvih prenosnih objektov v Sloveniji RTP 220/110 kV Cirkovce, RTP 220/110 kV Kleče ter povezovalnih daljinovodov 220 kV od Cirkovc do Kleč in naprej proti Divači so se načrtovala tudi posamezna vozlišča, od koder bi potekali povezovalni vodi z Avstrijo in Italijo. Prvi idejni projekti za razdelilno postajo 220 kV Podlog so bili izdelani v letih 1962/63. Vendar so takratne idejne rešitve temeljile na tedanjih predpostavkah o gradnji energetskega objekta, ki so se v kasnejšem obdobju močno spremenile [2,3].

Za makro lokacijo bodoče razdelilne postaje je prišla v poštev samo lokacija v bližini velenjskega energetskega bazena, kjer se je načrtovala gradnja novega bloka IV Termoelektrarne Šoštanj z inštalirano močjo 275 MVA. Le-ta naj bi se na najenostavnejši način vključil v 220 kV omrežje. Lokacija stikališča ob neposredni bližini TE Šoštanj se je izkazala za neprimerno zaradi sorazmerno težkega hribovitega terena in bližine premogovnika Velenje. Tudi trase daljinovodov, zaradi obsežnih izsekov gozdnih površin niso prišle v poštev. Nadaljnja razširitev na višje napetostno območje zaradi prostora in premogovniškega območja niso bila mogoča. Druga ustrezna lokacija je bila v Savinjski dolini, kjer so poteki tras daljinovodov zaradi ugodnejših terenskih in geoloških razmer bolj primerni. V ta namen je bilo izdelanih več variant, ob predpostavki, da bodo stroški investicij čim manjši. Prvotna mikrolokacija je bila določena v vasi Grušovlje pri Braslovčah. Vendar se je zaradi težkih geoloških razmer, bližine kmetijskih površin, prisotnosti hmeljišč opustila. Končno se je najugodnejšo izkazala lokacija v neposredni bližini stare distribucijske razdelilne postaje 35/20 kV Podlog v lasti Elektro Celja. Na rahlo položnem travnatem zemljišču, ki je odmaknjeno od gozdov in hmeljišč, je bilo možno speljati celo vrsto 220 in 110 kV daljinovodov, postaviti potrebno transformacijo v več etapah, z možnostjo razširitve objekta še na 400 kV del stikališča [3].

Postaja je bila v začetku zasnovana kot razdelilna transformatorska postaja (RP). Stikališčni plato je bil izveden že v začetku v izmerah 253×175 m ter je zajemal 220 kV in 110 kV stikališče s komandno in pomožno stavbo ter dvoriščnim prostorom. Slika 2 prikazuje RP 220 kV Podlog v času izgradnje.



Sl. 2: Odklopniki OR2R-245 leta 1970 v RP 220 kV Podlog [4]

Stikališče 220 kV je obsegalo dvojne zbiralke, klasične izvedbe, brez pomožnih zbiralk v 2 razpetinah, po tri odvodna polja. V kasnejši etapah, ko se je gradilo 400 kV stikališče, so se zbiralke podaljšale za 2 razpetini v smeri prosti jugu. Z gradnjo dveh sistemov zbiralk je bilo zagotovljeno zanesljivejše in bolj elastično obratovanje EES. Ob izgradnji so bila v obratovanju naslednja odvodna polja: Cirkovce, Kleče, Obersielach (Avstrija); Šoštanj III sedaj IV, zvezno polje ter merilno polje sistema I in II [3].

Za zbiralke 220 kV so uporabljeni snopasti vodniki iz jeklo-aluminijevih vrvi $2 \times \text{Al/Je } 490/65 \text{ mm}^2$. Vse medsebojne povezave med zbiralkami in visokonapetostno opremo so izvedene z enako vrvjo prereza $490/65 \text{ mm}^2$. Ta prerez je narekoval poenotenje spončnega in obesnega materiala, ki je uporaben na vseh novozgrajenih daljnovodih 220 kV pri nas, obenem pa omogočal tudi zadostno termično obremenitev daljnovodov ($I_{th}=960\text{A}$).

Vsa polja 220 kV so širine 17 m (srednja polja) oziroma 18m (končna ob portalih), kar pomeni, da so posamezne razpetine 53 m. Širino posameznih polj 17 oz 18 m je narekovala predvsem uporaba zbiralničnih ločilnikov v brazdi, sicer bi bila širina nekoliko manjša cca. 15m. Izolacijski nivo je izbran za 220 kV del s polno izolacijsko stopnjo Si 245, razen za merilne transformatorje, kjer je stopnja izolacije znižana. Vse izolatorske verige so imele 13 členov K 170/280 [3].

4. RTP 400/220/110 KV PODLOG DANES

RTP Podlog, je ena izmed večjih razdelilnih transformatorskih postaj v Sloveniji. Leži na severu-vzhodu države in je pomemben člen Slovenskega elektroenergetskega sistema. Njeno lokacijo je v prvi vrsti pogojevala gradnja 220 kV omrežja z meddržavno povezavo s sosednjo

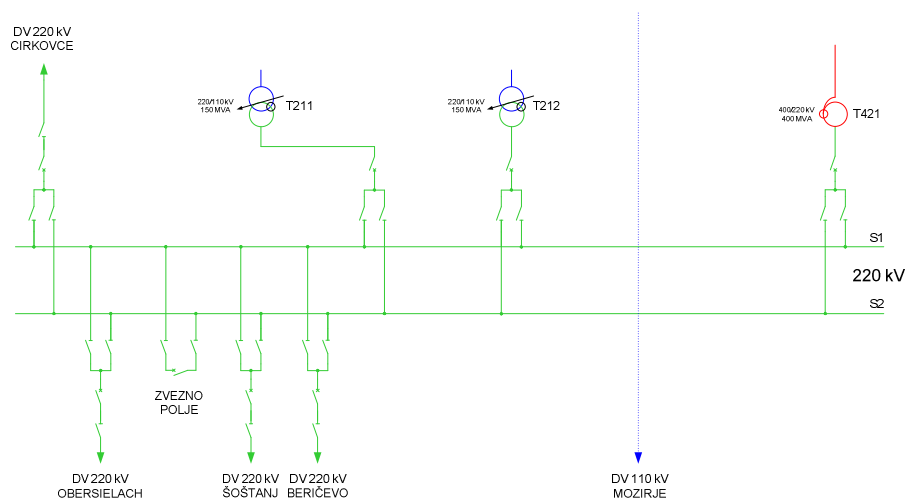
Avstrijo, ter vključitev bloka IV Termoelektrarne Šoštanj v EES. Postopoma se je gradilo tudi 110 kV omrežje s povezavami proti trem manjšim RTP-jem: RTP-Laško, RTP-Selce, RTP-Lipa za napajanje celjskega in zasavskega bazena. Zgrajena je bila tudi daljnovodna povezava Šoštanj-Podlog I. in II. in Podlog – Mozirje s čimer je bila zaključena zanka preko Šaleške doline. Gradnja 400 kV stikališča je pogojevala vključitev bloka V termoelektrarne Šoštanj na elektroenergetsko omrežje ter rešitev problema napajanja celjskega področja z električno energijo. Vključila se je tudi 400 kV povezava Maribor-Podlog in Beričevo-Podlog, posledično pa je bila zgrajena transformacija 400/220 kV, moči 400 MVA z avtotransformatorjem, ki omogoča pretoke energije iz 400 kV omrežja v 220 kV omrežje in obratno. Zaradi velikih pretokov in naraščajoče porabe električne energije se stremi k čim večji zanesljivosti obratovanja, kar se pogojuje z nenehnim posodabljanjem in obnavljanjem opreme v elektroenergetskih postrojih in pripadajočih zaščitnih naprav. S pravočasno zamenjavo dotrajane primarne in sekundarne opreme se je zanesljivost obratovanja zelo povečala, med to zamenjavo pa sodi tudi rekonstrukcija 220 kV zbiralk v RTP Podlog [5].

4.1 Stikališče 220 kV

Stikališče 220 kV v RTP Podlog se je od začetka gradnje leta 1968 pa do danes postopoma dograjevalo. Danes obsega štiri daljnovodna polja, tri transformatorska polja, zvezno polje in dve merilno ozemljilni polji. Zgrajeno je v prostozračni izvedbi z dvema sistemoma zbiralk GI in GII z vodniki Al/FJe $2 \times 490/65 \text{ mm}^2$. Stikališče je za zaščito pred atmosferskimi praznjenji opremljeno s strelovodno vrvjo Al-Fe 120/70 mm^2 [5].

Obstoječe stikališče danes obsega (slika 3):

- štiri daljnovodna polja:
 - DV polje Cirkovce,
 - DV polje Obersielach,
 - DV polje Šoštanj,
 - DV polje Beričevo,
- tri TR polja:
 - T 211 – 220/110 kV, 150 MVA, R.K.,
 - T 212 – 220/110 kV, 150 MVA, Energoinvest.,
 - T 421 – 400/220 kV, 400 MVA, R.K.,
- zvezno polje,
- dve merilno-ozemljilni polji.



Sl. 3: Enočrtna shema 220 kV stikališča [6]

5. ANALIZA OBRATOVANJA OB IZVAJANJU REKONSTRUKCIJE IZOLACIJE IN OBEŠALNEGA MATERIALA NA 220 KV ZBIRALKAH

V prejšnjih poglavjih smo opisovali izgradnjo 220 kV prenosnega omrežja v Sloveniji in stikališče v RTP Podlog. Omenili smo težave pri izbiri lokacije izgradnje RTP-ja. Čeprav se je vloga 220 kV omrežja po izgradnji 400 kV zanke nekoliko zmanjšala, je še vedno precej obremenjeno. Kot primer omenimo daljnovodno povezavo DV 220 kV Obersielach-Podlog, ki je v času energetske krize v nekdanji Jugoslaviji večkrat obratovala preko meje zmožnosti. Tudi danes večkrat naletimo na podobne obratovalne razmere, saj je Slovenija tranzitna država pri prenosu električne energije iz sosednjih držav v Italijo.

Tehnično stanje opreme v 220 kV stikališču RTP Podlog je v dobri kondiciji. Visokonapetostna oprema: odklopniki, ločilniki, instrumentni transformatorji so bili rekonstruirani v letih od 1994 do 1998. Zbiralk, izolacije in pripadajočega obešalnega materiala takrat še ni bilo potrebno zamenjati. V zadnjih letih se je pokazala dotrajanost obešalnega materiala in izolacije. V ta namen se je izvedla rekonstrukcija. Rekonstrukcija je zajemala zamenjavo starih napenjalnih vijačnih sponk, ki so se zamenjale s klinastimi sponkami, kar je prvi primer uporabe klinaste sponke v RTP-jih. Vgrajeni so bili tudi kapasti porcelanski izolatorji, z osnovno izolacijo 13 členov v verigi (sliki 4 in 5).

V preteklih letih so obratovanje 220 kV prenosnega omrežja večkrat oteževali razni preobremenitveni izpadi. Danes temu ni tako, saj je bil v letu 2010 vgrajen prečni transformator v RTP Divača. Včasih je bilo večkrat vprašljivo varno obratovanje zaradi preobremenjenih daljnovodnih povezav DV 400 kV Beričevo-Podlog in DV 220 kV Beričevo-Podlog. Zaradi vseh teh naštetih razlogov je bilo potrebno pristopiti k rekonstrukciji zbiralk 220 kV.



Sl. 4,5: Zbiralke pred rekonstrukcijo

5.1 Analiza obratovanja 220 kV stikališča v času rekonstrukcije

Pri planiranju del rekonstrukcije 220 kV stikališča smo za normalno obratovanje prenosnega omrežja v analizo vključili tri možne časovne termine:

- Jesensko – zimski ali zimsko – spomladanski čas, majhen pretok rek zagotavlja manjše pretoke energije zaradi nastale hidrologije,
- mesec avgust je v Italiji rezerviran za počitnice in s tem upad tranzita električne energije v Italijo,
- zaustavitev termoelektrarne Šoštanj blok IV.

Prva možnost izvedbe rekonstrukcije bi bila v spomladanskem času, okvirno v času velikonočnih in prvomajskih praznikov. Poraba električne energije bi se zmanjšala, zaustavitev TEŠ IV bi bila teoretično možna. Vendar ni prišlo do realizacije. Ugodni hidrološki pogoji so bili vzrok večjemu pretoku energije iz Avstrije preko DV 220 kV Obersielach-Podlog in DV 2x400 kV Maribor-Kainachtal.

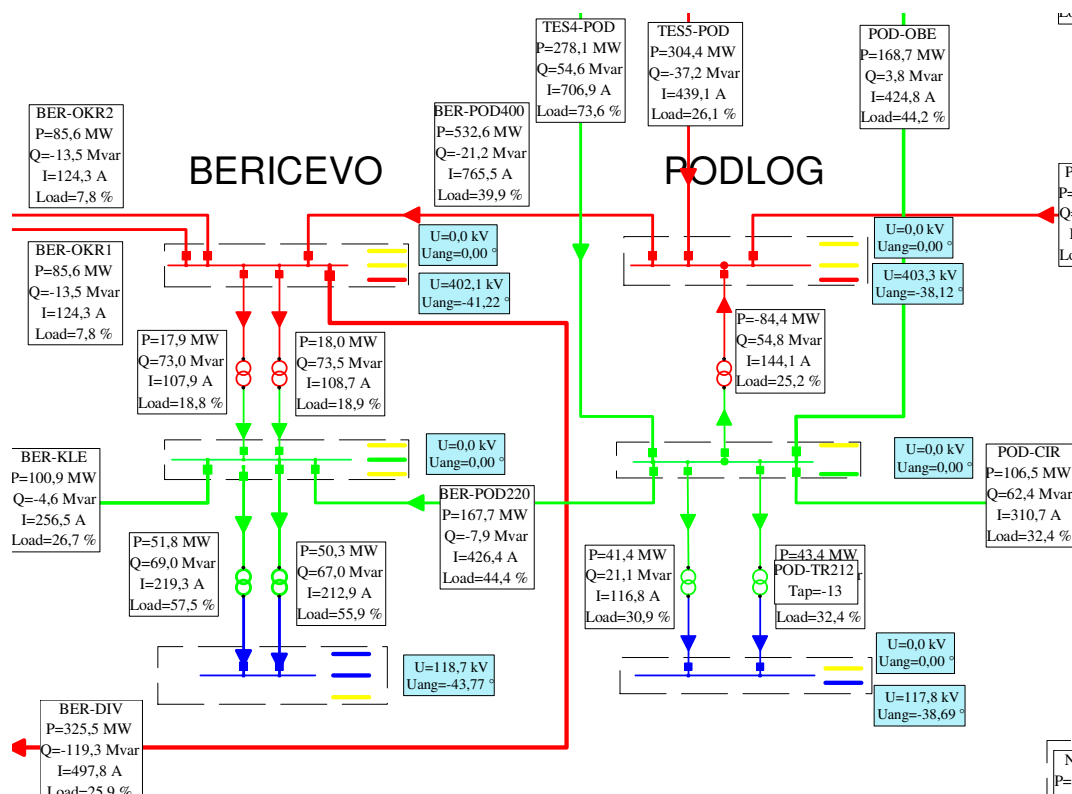
Druga možna varianta se je pokazala v jesenskem času, kjer so bile hidrološkim razmere letnemu času primerne, mogoča je bila zaustavitev bloka IV TEŠ (vikendi in prazniki). Za začetek analize obratovanja predpostavimo realne pretoke električne energije za 400 in 220 kV stikališče. V preglednici 2 prikazujemo maksimalne pretoke moči, ki so vključeni v analizo obratovanja.

Preglednica 2: Delovna obremenitev VN polj 400 in 220 kV

Naziv VN polja	P [MW]	Obremenitev [%]
DV 400 kV Beričevo	532	39,9
DV 400 kV Šoštanj	304	26,1
DV 400 kV Maribor	147	13,7
Transformator T421	84	25,2
DV 220 kV Beričevo	168	44,4
DV 220 kV Šoštanj	279	73,6

DV 220 kV Obersielach	169	44,2
DV 220 kV Cirkovce	107	32,4
Transformator T211	43	30,9
Transformator T212	42	32,4

S pridobljenimi podatki iz preglednice 2 sedaj analiziramo elektroenergetsko stanje v času rekonstrukcije. Analizo obratovanja prenosnega omrežja Slovenije opravimo v aplikaciji Neplan. Programski paket Neplan omogoča analizo, načrtovanje, optimizacijo in obvladovanje elektroenergetskega omrežja. Paket omogoča modeliranje in simulacijo različnih stanj omrežja. Modularna zasnova omogoča specifične nastavitve glede na funkcije, ki jih opravljajo načrtovalci razvoja in načrtovalci obratovanja omrežja. Program lahko uporabljamo tudi za računanje analize zanesljivosti, pri čemer za kalkulacijo rezultatov potrebujemo ustrezne vhodne parametre [6]. Na sliki 6 je prikazana elektroenergetska shema v aplikaciji Neplan situacija jesen 2011.



Sl. 6: Enočrtna shema energetske situacije pred rekonstrukcijo

V modelu, ki je prikazan na sliki 6 smo predpostavili pretoke moči, ki so obravnavani v preglednici 2. Ugodne elektroenergetske razmere so omogočile, da lahko izvedemo rekonstrukcijo. Rekonstrukcijo, ki jo bomo v naslednjem podpoglavju 5.3 podrobneje opisali smo izvajali v treh etapah v jesenskem času v letu 2011. V nadaljevanju prikazujemo opravljeno analizo obratovanja 400 in 220 kV stikališča RTP Podlog, ki služi za izračun in zagotavljanja kriterija N-1.

5.2 I. etapa izklop DV polja 220 kV Cirkovce in DV polja 220 kV Obersielach

V prvi etapi se je načrtoval izklop dveh daljnovodov in sicer DV 220 kV Cirkovce-Podlog in DV 220 kV Obersielach-Podlog. V analizi obratovanja ugotavljamo možnost izpadov VN polj oz. preverjamo kriterij N-1. V preglednici 3 je prikazana obremenitev ostalih 400 in 220 kV daljnovodov v času izklopa I. etape.

Preglednica 3: Analiza obratovanja za I. etapo

		400 kV					220 kV			
		I. etapa	Beričevo	Šoštanj	Maribor	TR T421	Beričevo	Šoštanj	TR T211	TR T212
400 kV	Beričevo	39,9	x	31,5	29,6	37,7	47,2	37,3	40,2	40,2
	Šoštanj	26,1	26,2	x	26	26,5	26,1	26	26,1	26,1
	Maribor	16,4	14,9	29,5	x	17,7	15,5	24,9	15,5	15,5
	TR T421	15,8	39,9	21,7	25,5	x	40,7	27,4	18,1	18,2
220 kV	Beričevo	39,9	83,3	36,8	37,9	47,3	x	19,4	42	42,2
	Šoštanj	72,5	72,8	72,4	72,6	73,5	72,5	x	72,3	72,3
	TR T211	30,5	38,7	27	21,6	35	42,7	18,6	x	44,7
	TR T212	32	40,6	28,3	22,6	36,7	44,7	19,5	45,8	x

Za I. etapo smo opravili analizo obratovanja 400 in 220 kV prenosnega omrežja RTP Podlog v času izklopa DV polj 220 kV Cirkovce in Obersielach. Obremenitev posameznih daljnovodov so podani v %. Simulirali smo posamezen izklop DV polj ter spremljali dogajanje na ostalih priključenih daljnovodih. Najbolj kritični pretoki so se pojavili pri simulaciji izklopa DV 400 kV Beričevo-Podlog. Posledično se je pretok energije najbolj povečal na DV 220 kV Beričevo-Podlog in sicer na vrednost 83,3 %. Kar je še v mejah varnega obratovanja. Glede nato, da je bila to simulacija najbolj tvegane scenarija so tudi ostali scenariji s stališča varnega obratovanja spremenljivi. Pri analizi obratovanja za I. etapo smo potrdili kriterij N-1 in lahko opravimo rekonstrukcijo. Ob predpostavki, da v primeru izpada DV 400 kV Beričevo-Podlog, v čim krajšem času zagotovimo normalno obratovalno stanje 400 in 220 kV stikališča.

5.3 II. etapa obojestranski izklop transformatorja TR T211

V drugi etapi se je načrtoval izklop prvega transformatorja v RTP Podlog in sicer TR T211. Transformatorja TR T421 in TR T212 nista bila vključena v rekonstrukcijo. V obratovalni analizi smo testirali kriterij N-1 v času izvajanja del, ki jih zajema II. etapa. V preglednici 4 je podana obremenitev ostalih 400 in 220 kV v času II. etape.

Preglednica 4: Analiza obratovanja za II. etapo

		400 kV					220 kV				
		II. etapa	Berič evo	Šošta nj	Mari bor	TR T421	Berič evo	Šošta nj	Cirkov ce	Obersi elach	TR T212
400 kV	Beričevo	40,1	x	31,5	33,5	36,7	47,8	37,7	40,5	39,9	40,6
	Šoštanj	26,1	26,2	x	26	26,6	26,1	25,9	26,1	26,1	26,1
	Maribor	13,2	18,6	24,2	x	16,7	14,4	17,3	10	18,7	12,1
	TR T421	26,8	30	38,3	38,5	x	47,3	19,7	35,7	14	30,9
220 kV	Beričevo	45,9	89,9	45,6	47,7	54,6	x	32,2	52,2	36,2	49,6
	Šoštanj	73,4	73,8	73,6	73,5	75	73,2	x	72,3	73,6	72,7
	Cirkovce	33,9	36	31,3	28,9	38,2	40,6	23,7	x	26,7	37,6
	Obersielach	43,0	42	51,2	50,6	36,1	33,5	61,5	35,9	x	39,9
	TR T212	45,3	57,1	43	39,2	52,4	58,8	30,3	58,2	34,7	x

Pri II. etapi elektromontažnih del smo enako kot pri I. etapi v analizi obratovanja spremljali kriterij N-1. Pri tem obratovalnem scenariju ni večjega tveganja, za kakšen nepričakovan dogodek. Obremenitev posameznih daljnovodov so podani v %. Ob izklopu transformatorja TR T211 napajanje 110 kV stikališča zagotavlja vzporedni TR T212. Večje tveganje pri tej etapi pomeni le izpad transformatorja TR T421 in posledično povečana obremenitev DV 220 kV Beričevo-Podlog, ki je ob izklopu lahko naraste na 89,9 % obremenitve. Z analizo obratovanja lahko zagotovimo kriterij N-1. S tem lahko potrdimo izvedbo del v 220 kV stikališču, ki jih nalaga II. etapa.

5.4 III. etapa izklop DV polja 220 kV Šoštanj, DV polja 220 kV Beričevo

V III. etapi so se izvajala dela, ki zajemajo dve 220 kV daljnovodni polji Beričevo in Šoštanj in zvezno polje. V tej etapi smo predvideli, da je blok IV TEŠ zaustavljen. Izklopljen je DV 220 kV Beričevo-Podlog in občasno DV 220 kV Obersielach-Podlog. Z analizo obratovanja smo potrdili kriterij N-1 enako kot pri prejšnjih primerih, ob predpostavki, da je možna vzpostavitev normalnega obratovalnega stanja v najkrajšem času, preglednica 5.

Preglednica 5: Analiza obratovanja za III. etapo

		400 kV					220 kV			
		III. etapa	Beriče vo	Šošta nj	Marib or	TR T421	Cirko vce	Obersi elach	TR T211	TR T212
400 kV	Beričevo	42,6	x	34	33,3	41,2	43,6	40,4	43	43,1
	Šoštanj	25,9	26	x	26,4	26,2	26	26	25,9	25,9
	Maribor	18,6	18,9	30,3	x	21,3	16,3	25,7	18,2	18,2
	TR T421	25,8	32,7	34,1	41,9	x	27,7	28	26,4	26,4
220 kV	Cirkovce	26,1	36,7	23,1	19,9	27,7	x	16,6	27,7	27,8
	Obersileach	56,2	44,6	64,4	66,8	51,5	50	x	54,8	54,7
	TR T211	25,9	48,2	23,9	20,4	28,5	34,8	14,6	x	37,7

TR T212	27,2	50,5	25,1	21,4	29,9	36,4	15,3	38,7	x
---------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

V preglednici 5 smo opravljali analizo obratovanja za izpolnitev kriterija N-1. V tretji – zadnji etapi so se izvajala dela na sektorju zbiralk preko katerega staj priključeni DV polji 220 kV Beričevo, Šoštanj in Zvezno polje. Obremenitev posameznih daljnovodov so podani v %. Simulacija možnih izpadov ob predvidenem obratovalnem stanju je bila v mejah varnega obratovanja. Najvišjo vrednost obremenitve je posledično povzročil izpad DV 400 kV Maribor-Podlog; v tistem času bi se obremenitev najbolj povečala na DV 220 kV Obersielach-Podlog. Z analizami obratovanja v vseh treh etapah rekonstrukcije in zadovoljitvi kriterijev varnega obratovanja smo potrdili možnost izvedbe del ob rekonstrukciji, ne da bi bilo ob tem ogroženo varno obratovanje EES.

6. POTREBNI IZKLOPI IN STIKALNE MANIPULACIJE OB IZVAJANJU REKONSTRUKCIJE

Za termin rekonstrukcije smo se dogovorili s slovenskim operaterji prenosnega omrežja, avstrijskim operaterjem in Termoelektrarno Šoštanj. Opravili smo analizo obratovanja za načrtovana dela v treh etapah. Kriterij obratovanja N-1 je izpolnjen, kar smo preverili v prejšnjem poglavju 5. V nadaljevanju so opisani potrebni izklopi in stikalne manipulacije s katerimi smo zagotovili breznapetostno stanje dela stikališča v katerem se bodo trenutno izvajala dela. Opisani so vsi postopki za posamezno etapo del vključno s posebnimi pogoji, ki lahko nastopijo ob posebnih obratovalnih stanjih v stikališču 220 kV (zapahovalni pogoji, sinhronizacija, ... itd).

6.1 I. etapa – odsek 1

Odsek 1 zajema izklop DV polja Cirkovce, Obersielach in merilno ozemljilno polje sistema GI in GII. Za začetek del potrebujemo enostranski varnostni izklop samo v RTP Podlog za DV 220 kV Obersielach-Podlog in DV 220 kV Cirkovce-Podlog. Vsi priključeni 220 kV odvodi obratujejo preko sistema GII. Na sistemu GI se odklopijo tokovni loki, ki povezujejo odsek GI z ostalim delom zbiralk. Vsi odvodi se preklapijo na sistem GI, s tem se zagotovi breznapetostno stanje v odseku 1. Izvede se zamenjava izolacije in obešalnega materiala na segmentu zbiralk sistem GI. Po končanih delih se vsi odvodi preklapijo na sistem GII. Na sistemu GI se priklopijo tokovni loki. Sledi prekllop vseh odvodov na sistem GI. Na sistemu GII se odklopijo tokovni loki, nato sledi prekllop nazaj na sistem GII, s tem je zagotovljeno brez napetostno stanje na odseku 1. Izvede se zamenjava izolacije in obešalnega materiala na segmentu zbiralnic sistem GII. Po končanih delih se vsi odvodi preklapijo na sistem GI. Na sistemu GII se priklopijo tokovni loki. S tem pa so dela na odseku 1 zaključena. V nadaljevanju se vzpostavi normalno obratovalno stanje, vklop DV 220 kV Obersielach-Podlog in Cirkovce-Podlog.

V primeru potrebe imamo možnost vzpostavitve normalnega obratovalnega stanja na sistemu zbiralk GI in GII v času cca. 5 min, lokalno iz postaje RTP Podlog. V času izvajanja

del velja opozorilo: zaradi breznepetostnega stanja merilnega polja I in II ni možna sinhronizacija (zapiranje zanke) za DV 220 kV Beričevo-Podlog in DV 220 kV Šoštanj-Podlog. Stikališče 220 kV v tem času nima systemske sinhronizacijske napetosti in bi v primeru izpada daljnovoda bilo potrebno izklopiti daljnovod v sosednjem RTP –ju ter ga najprej vklopiti v RTP Podlog nato pa zapreti zanko v sosednjem RTP-ju. Postopek je hitrejši kot vzpostavitev normalnega obratovalnega stanja-preklop vseh odvodov.

6.2 II. etapa – odsek 3

Za začetek elektromontažnih del potrebujemo obojestranski varnostni izklop TR T211. Transformatorski odvod obratuje preko sistema GII. Izvede se zamenjava izolacije in obesne opreme na sistemu GI. Po končanih delih na sistemu GI se vsi odvodi se preklapijo na sistem GII. Izvede se zamenjava izolacije in obesne opreme na sistemu GII. Na odseku 3 ni potrebna ločitev zbiralk, ker je na tem odseku dovolj prostora za varno delo. V primeru potrebe po vzpostavitvi normalnega obratovalnega stanja se transformatorji lahko vklopijo v času cca 5 min.

6.3 III. etapa – odsek 2

Odsek 2 zajema DV polja Šoštanj, Beričevo in Zvezno polje. Elektromontažna dela se izvajajo po naslednjem vrstnem redu: Za začetek je bilo potrebno zagotoviti enostranski varnostni izklop samo v RTP Podlog za: DV 220 kV Šoštanj-Podlog in DV 220 kV Beričevo-Podlog. Vsi odvodi obratujejo preko sistema GII. Na sistemu GI se odklopijo tokovni loki, ki povezujejo odsek 2 z odsekom 3. Za ločitev tokovnih lokov med odsekom 2 in odsekom 1 na sistemu zbiralk GI se potrebuje enostranski varnostni izklop za DV 220 kV Obersielach-Podlog za čas cca 30 min. V primeru potrebe se lahko daljnovod vklopi v cca 2 minutah. Po ločitvi tokovnih lokov med odsekom 2 in 1 se lahko DV 220 kV Obersielach-Podlog vklopi. Vsi odvodi se lahko preklapijo na sistem GI s tem se zagotovi brez napetostno stanje v odseku 2. DV 220 kV Obersielach-Podlog in DV 220 kV Cirkovce-Podlog obratujeta v času del ločeno od ostalih odvodov. Ločeno obratujejo tudi vsi trije energetske transformatorji T211, T212, T421. Izvede se zamenjava izolacije in obešalnega materiala na segmentu zbiralnic sistem GI. V tem segmentu se izvede tudi zamenjava izolacije in obešalnega materiala na prečnih povezavah zveznega polja nad sistemom GI. Po končanih delih se vsi odvodi preklapijo na sistem GII. Na sistemu GI se priklopijo tokovni loki, ki povezujejo odsek 2 z odsekom 3. Za povezavo tokovnih lokov med odsekom 2 in odsekom 1 na sistemu zbiralk GI se potrebuje enostranski varnostni izklop za DV 220 kV Obersielach-Podlog za čas cca 40 min. V primeru potrebe se lahko daljnovod vklopi v cca 2 minutah. Sledi še preklop vseh odvodov na sistem GI. Sledi odklop tokovnih lokov med odsekom 2 in odsekom 1 na sistemu GII za kar se izkoristi varnostni izklop DV 220 kV Obersielach-Podlog. Po opravljenih delih se lahko DV 220 kV Obersielach-Podlog vklopi. Na sistemu GII se odklopijo tokovni loki, ki povezujejo odsek 2 z odsekom 3. Vsi odvodi se preklapijo na sistem GII. Zagotovljeno je brez napetostno stanje v odseku 2. DV 220 kV Obersielach-Podlog in DV 220 kV Cirkovce-Podlog obratujeta v RTP Podlog ločeno od ostalih odvodov, ločeno obratujejo tudi vsi trije

energetski transformatorji T211, T212, T421. Izvede se zamenjava izolacije in obešalnega materiala na segmentu zbiralnic sistem GII. Izvede se tudi zamenjava izolacije in obešalnega materiala na prečnih povezavah zveznega polja nad sistemom GII. Po končanih delih se vsi odvodi preklopijo na sistem GI. Na sistemu GII se priklopijo tokovni loki med odsekom 2 in odsekom 3. Za povezavo tokovnih lokov med odsekom 2 in odsekom 1 na sistemu zbiralnic GII potrebujemo enostranski varnostni izklop za DV 220 kV Obersielach-Podlog za čas cca 30 min. V primeru potrebe se lahko daljnovod vklopi v cca 2 minutah. Po opravljenih delih povezav se lahko DV 220 kV Obersielach-Podlog vklopi. Elektromontažna dela so na odseku 2 zaključena. Vzpostavi se lahko normalno obratovalno stanje, vklop daljnovodov DV 220 kV Šoštanj-Podlog in Beričevo-Podlog.

V času del velja opozorilo: med deli na odseku 2 ni možna uporaba zveznega polja. Na stikališču 220 kV v času del na odseku 2 ne bo zapahovanja. Vsi preklopi sistemov se bodo izvajali samo z ločilniki (brez Zveznega polja). V primeru potrebe imamo možnost vzpostavitve normalnega obratovalnega stanja na sistemu zbiralk GI in GII v času cca. 5 min. lokalno v RTP Podlog.

7. ZAKLJUČEK

Po opravljeni rekonstrukciji je stanje v 220 kV stikališču naslednje. Dotrajan spončni material, je bil zamenjan z novim zanesljivejšimi zateznimi sponkami. Prav tako je bil zamenjan ves obesni material. V Zveznem polju so bili namesto starih keramičnih izolatorjev in dotrajanega spončnega materiala in obesne opreme zmontirani novi, lažji visokokvalitetni silikonski izolatorji. Glede na to, da vodniki zveznega polja prečkajo oba sistema zbiralk GI in GII smo s tem povečali zanesljivost obratovanja 220 kV stikališča. V primeru okvare bi namreč prišlo do delnega ali celotnega izpada 220 kV sistema. Enako bi veljalo tudi ob pojavu okvare na enem izmed zbiralčnih sistemov GI ali GII 220 kV. Zaradi dotrajanosti porcelanastih izolatorjev so, zaradi raztezanja materiala, začeli odpadati delci porcelanastih izolatorjev in posledično bi lahko prišlo do poškodb ljudi in VN opreme [7].

Zaradi gradnje novega bloka VI Termoelektrarne Šoštanj in posledično povečanja moči na zbiralkah 220 in 400 kV v RTP Podlog je, zaradi prerazporeditve obremenitve, eden izmed scenarijev predvidena priključitev starega bloka V s 345 MVA na 220 kV zbiralke. S tem bi se še povečala obremenitev na 220 kV zbiralkah, posledično pa bi bili stroški takšnega izpada večji. Z obnovitvijo stikališča (obesna oprema in izolacijski material) smo dosegli večjo zanesljivost obratovanja kar, ob predvidenih povečanih pretokih skozi zbiralke 220 kV, predstavlja pomemben faktor.

S člankom smo želeli opisati in poudariti predvsem dobro usklajeno delo, kondicijo VN naprav, obratovanje 220 kV prenosnega omrežja, potek izvajanja elektromontažnih del, kot odsev delavcev Sektorja prenosnega omrežja v centru vzdrževanja Podlog in Maribor. Programska podpora in podatki obratovanja so področje inženirjev iz Sektorja za obratovanje. Njihova pomoč s področja obratovanja in naše delo v vzdrževanju pripomore k usklajenemu delu v podjetju ELES.

8. VIRI, LITERATURA

- [1] M. Plaper, Pogledi na bodoči razvoj omrežij najvišjih napetosti v Sloveniji, EIMV – 507, Ljubljana 1971,
- [2] Zgodovina slovenskega elektrogospodarstva, Elektrotehnična zveza Slovenije in Cigre-Cired, Ljubljana 2007,
- [3] F. Jakl, Razdelilna postaja (RP) 220 kV Podlog, Elektrotehniški vestnik, 1972,
- [4] R. Maruša, Različne izkušnje z visokonapetostnimi elementi v stikališčih 400/220/110 kV ELES, Seminarska naloga FERI, Šentjur 2012,
- [5] M. Hrapot, Obratovalna navodila za RTP 400/220/110 kV, ELES, 1998,
- [6] L. Belak, J. Pihler, Analiza zanesljivosti obratovanja VN stikališča v RTP 400/220/110 kV Podlog, Komunalna energetika, Maribor, 2008,
- [7] B. Volk, Rekonstrukcija zbiralk 220 kV GI, GII in prečnih zbiralk v RTP Podlog, PID, ELES, Nova Gorica 2012.

NASLOV AVTORJEV

mag. Lovro Belak,
mag. Robert Maruša,
Aleš Zagoričnik, inž. el.

Elektro-Slovenija, d.o.o.,
Hajdrihova 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija,

red. prof. dr. Jože Pihler,

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor, Slovenija.