

MONTAŽA SABIRNIČKOG SUSTAVA U RASKLOPNOM POSTROJENJU 400 kV U TS 400/110 kV ERNESTINOVO

Mr. sc. Borko Frühwirth, Zagreb

UDK 621.311.1:621.316.1
STRUČNI ČLANAK

Daje se pregled proračuna i rješenje cijevnih sabirnica iz glavnog projekta, proračuna koji su se izvršili kao priprema za montažu sabirnica, izvedbeni detalji montaže i opis tijeka montaže, te pregled izmjerenih progiba nakon montaže i njihova usporedba s podacima iz proračuna.

Ključne riječi: TS 400/110 kV Ernestinovo, sabirnički sustav, montaža, izgradnja.

1. SABIRNIČKI SUSTAV RP 400 kV U TS ERNESTINOVU

Rasklopno postrojenje 400 kV u transformatorskoj stanici 400/110 kV Ernestinovo izgrađenoj i puštenoj u pogon 1977. godine sastojao se od ukupno trinaest polja. Od toga je bilo opremljeno sedam polja i to: tri vodna, dva transformatorska i dva spojna polja. Sabirnički sustav se sastojao od dva sustava glavnih sabirnica i jednog sustava pomoćnih sabirnica koji se protezao

preko vodnih polja. Izgradnjom pomoćnih sabirnica omogućeno je da se u slučaju kvara bilo kojeg prekidača u dalekovodnim poljima isti zamijeni rezervnim prekidačem u spojnom polju glavnih i pomoćnih sabirnica. Na taj način, dalekovod čiji je prekidač u kvaru ili se na njemu vrši revizija može ostati u pogonu. Spojna polja glavnih sustava sabirnica bilo je uklopljeno kao dio samog sabirničkog sustava i nalazilo se na istočnoj strani postrojenja te je time ograničavalo njegovo proširenje na tu stranu. S obzirom da se na zapadnoj strani

Aluminijska cijev $\varnothing 160/144$ mm, izrađena od AlMgSi 0.5 F22

Vanjski/unutarnji promjer 160/144 mm
Debljina stijenke 8 mm

Potporni izolator, tehničkih karakteristika:

Smještaj za vanjsku ugradnju
Nazivni napon 380 kV
Materijal porculan
Tip: SSG-1550-PE,
"Industrija elektroporculana Aranđelovac"

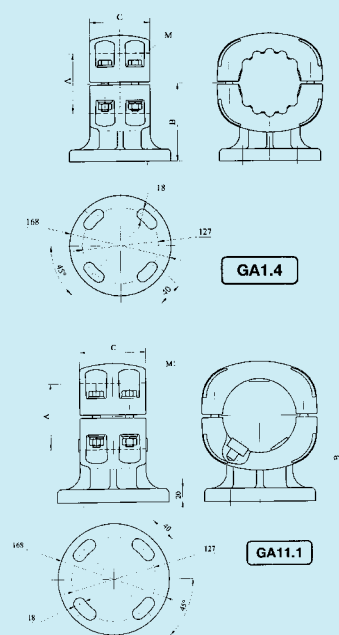
Klizni nosač 400 kV, za montažu Al cijevi $\varnothing 160/144$ mm na potporni izolator

Tip GA11.160.127, "Dalekovod"

Čvrsti nosač 400 kV, za montažu Al cijevi $\varnothing 160/144$ mm na potporni izolator

Tip GA1.160.127, "Dalekovod"

Ravna elastična stezaljka 400 kV, za spoj dvije Al cijevi $\varnothing 160/144$ mm
Tip EGA0.160.160, "Dalekovod"



Okvir 1. Pregled opreme sabirničkog sustava u skladu s glavnim projektom iz 1974. godine

Tablica 1. Opseg rekonstrukcije rasklopnog postrojenja 400 kV u TS Ernestinovo

	Prije rušenja	Prema glavnom projektu	Nakon obnove
Vodno polje	3	5	5
Pričuvno vodno polje	2	2	2
Transformatorsko polje	2	2	2
Pričuvno transformatorsko polje	1	1	1
Mjerno polje	–	–	1
Spojno polje	2	3(*)	3(*)
Mjerno-sekcijsko polje	–	1	–
Ukupno polja 400kV	10	14	14

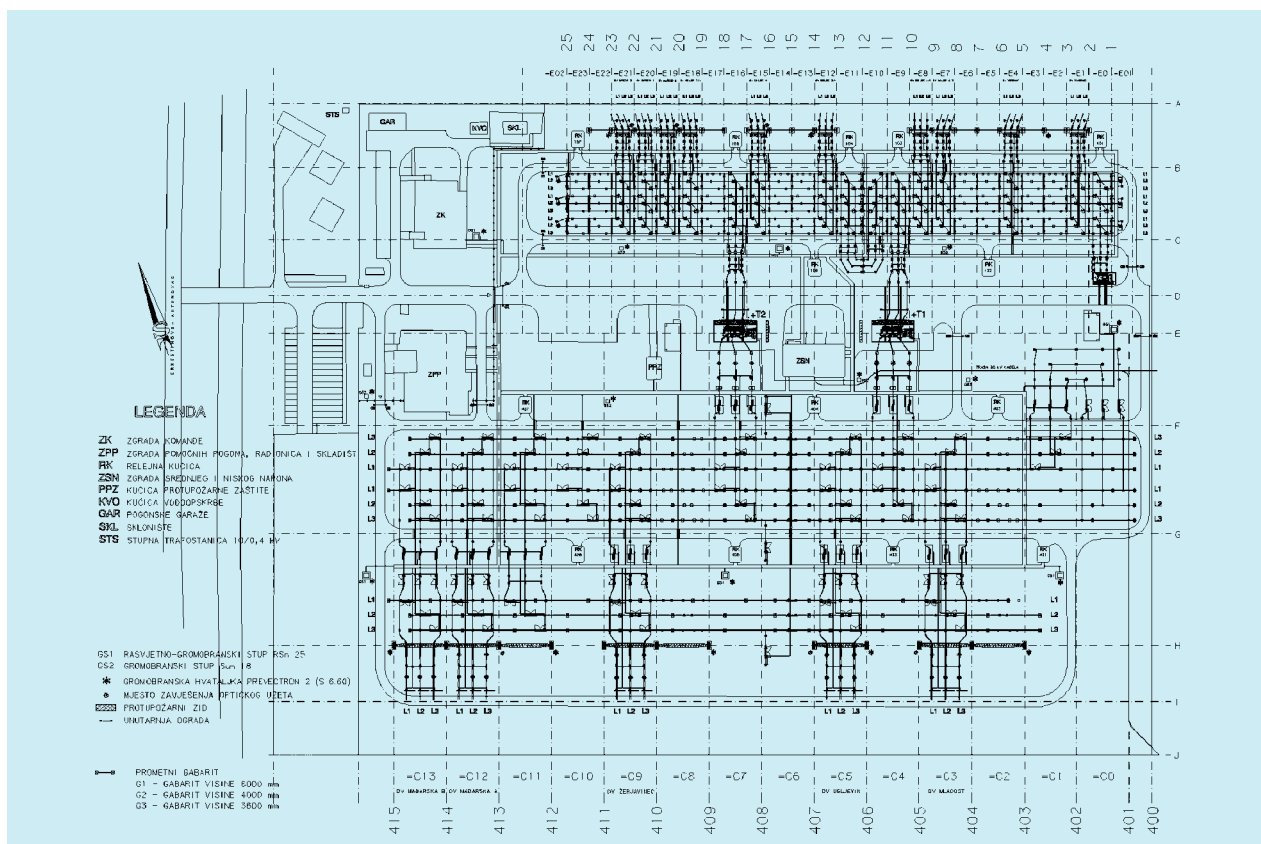
* Funkcionalno postoje dva spojna polja i to spojno polje glavnih sustava sabirnica i spojno polje glavnih sustava sabirnica s pomoćnim sabirnicama, no s obzirom da spojno polje glavnih sabirnica zauzima dvije širine polja, a kako bi broj polja odgovarao koraku od 21 m isto je deklarirano kao fizički dva polja.

postrojenja nalazi prometnica Vinkovci – Osijek dalje proširenje postrojenja nije bilo moguće.

Glavni i pomoćni sabirnički sustavi bili su cijevne izvedbe. Cijevi su bile postavljene preko više potpornih točaka, ali ne više od pet. Pri tome je srednja potporna točka uvijek bila čvrsta, međupotpore klizne, a krajnje točke elastične sa strujnom vezom. Budući da zbog ograničenja proizvodnje cijevnih vodiča i transporta do gradilišta potrebne dužine nije bilo moguće nabaviti, cijevi su bile spajane na gradilištu spojnicama na mjestima gdje su momenti naprezanja bili jednaki nuli.

U skladu s glavnim projektom iz 1974. svi krajevi cijevi bili su zatvoreni oblim kapama koje su imale mogućnost pričvršćenja antivibracionog užeta, ali ono prema projektu nije trebalo biti stavljeno, nego se napominje da ga je potrebno staviti ukoliko se pokaže da sabirnice značajno vibriraju. Kratki pregled opreme sabirnica prema glavnom projektu prikazan je u okviru 1.

U skladu s glavnim projektom, prema kojem se izvodi rekonstrukcija, TS 400/110 kV Ernestinovo OBNOVA; Knjiga: Raskloпно postrojenje 400 kV E3-C34.01.02-

**Slika 1. Pojednostavljena situacija rasklopnog postrojenja 400 kV u skladu s glavnim projektom**

E01.0; od: 20. prosinca 1998. (Usklađenje s tenderom “Ključ u ruke” od 11.2001.), koji je izradio: Elektroprojekt, projektiranje, konzalting i inženjering d.d., rasklopno postrojenje 400 kV je trebalo rekonstruirati tako da ukupan broj polja ostane trinaest. Od toga je opremljenih polja deset i to: pet vodnih polja, dva transformatorska polja i dva spojna polja. U tablici 1 je prikazan opseg rekonstrukcije rasklopnog postrojenja 400 kV.

U skladu s glavnim projektom sabirnički sustav se trebao sastojati od dva sustava sekcioniranih glavnih sabirnica i jednog sustava pomoćnih sabirnica koji je također bio predviđen sa sekcijom.

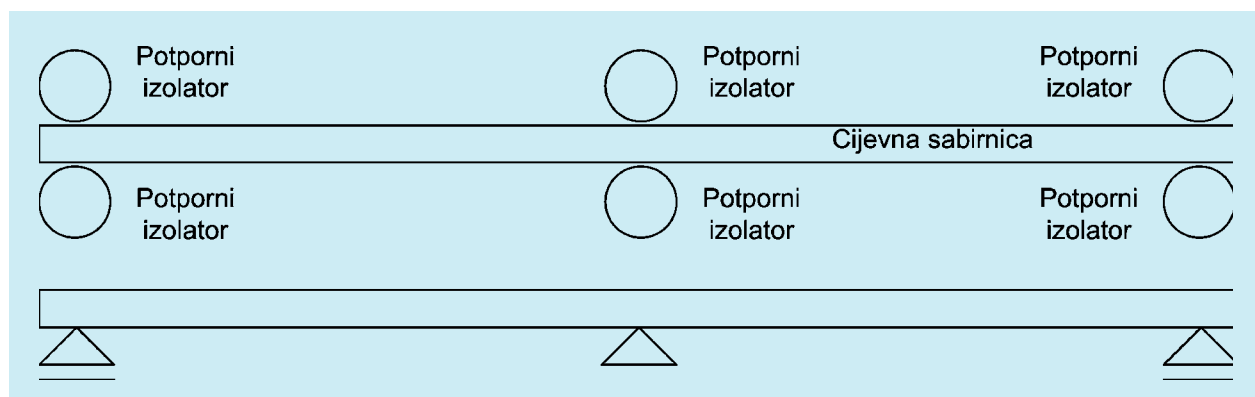
Pojednostavljena situacija rasklopnog postrojenja 400 kV u skladu s glavnim projektom prikazana je na slici 1. Kao što se iz situacije na slici 1 vidi sabirnički sustav glavnih sabirnica se proteže kroz 14 polja, a njegovo proširenje je omogućeno prema istoku rekonstrukcijom spojnog polja glavnih sabirnica koje je zauzima dvije širine polja. Sustav pomoćnih sabirnica se kao i prije pruža preko vodnih polja. Sva tri sustava sabirnica trebala su u skladu s glavnim projektom biti sekcionirana u polju =C6. Sabirnički sustavi izvedeni su u skladu s navedenim osim što nije izvedeno njihovo sekcioniranje. Tijekom izrade izvedbenog projekta koji je izradio KONČAR – Inženjering za energetiku i transport ocijenjeno je u suradnji sa stručnim službama Investitora da sekcioniranje postrojenja nije potrebno s obzirom

na potrebe vođenja postrojenja. Izbacivanje sekcije sabirničkih sustava riješeno je na način da je umjesto sekcijskog rastavljača s dva noža za uzemljenje postavljen zemljospojnik s time da je prilagodba izvedena na čeličnoj konstrukciji postolja, a u sabirnički sustav je dodan jedan raspon dužine 16,8 m. Time se postiglo i skraćivanje maksimalnog segmenta cijevi sabirničkog sustava s 23,6 m na 21 m.

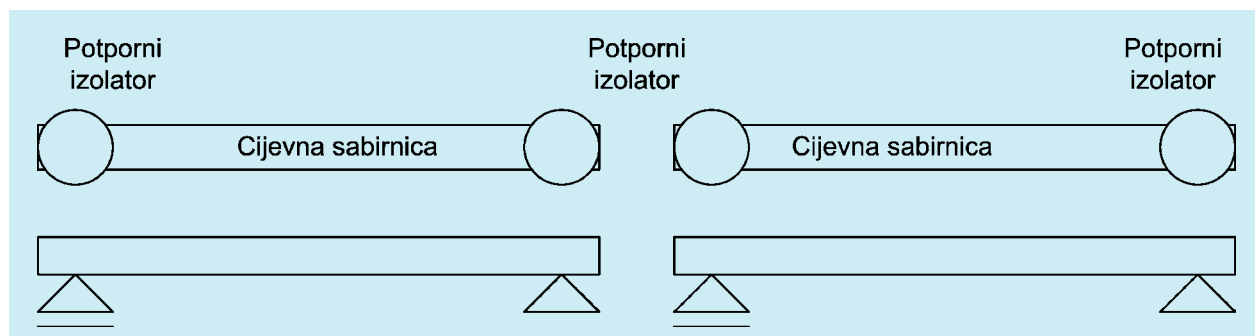
2. IZVEDBA SABIRNIČKOG SUSTAVA

Sabirnički sustavi su izvedeni cijevnim vodičima vanjskog promjera 220 mm i debljine stjenke 8 mm iz aluminijske legure E-ALMgSi 0,5 F22. Nazivna struja sabirničkog sustava je 4000 A. Ukupna visina osi cijevnih vodiča sabirničkih sustava s obzirom na kotu terena je 12,28 m. Razmak između pojedinih faza istog sustava je 6 m, a razmak između dva glavna sustava sabirnica je 8,5 m. Ukupna dužina cijevi sabirničkog sustava je oko 2,5 km.

Svaki raspon (segment) cijevnih sabirnica ovješeno je na dva potporna izolatora. Susjedni rasponi spojeni su pomoću strujnih mostova, a potporni izolatori im se nalaze na zajedničkom čeličnom postolju kao što je prikazano na slikama 2 i 3. Na ovaj način su na najmanju moguću mjeru svedeni međusobni utjecaji pojedinih razvoda i prenošenje titranja s jednog na drugi raspon.



Slika 2. Način pričvršćenja cijevnih vodiča na oslonce – izvedba prije rekonstrukcije (do 5 raspona)



Slika 3. Shema načina pričvršćenja cijevnih vodiča na oslonce – izvedba prema glavnom i izvedbenom projektu

U skladu s glavnim projektom odabrani su porculanski potporni izolatori tvrtke CERAM maksimalne prijelomne sile 6 kN.

Za ograničavanje titranja cijevnih sabirnica u slučaju vjetra malih brzina u cijevne sabirnice je obostrano položeno aluminijsko uže presjeka 500 mm² u dužini 2/3 raspona. Uže je pričvršćeno na kape koje zatvaraju cijevi. Na krajevima sabirnica postavljene su kape s antikoronarnim prstenom kako bi se dodatno smanjila izbijanja na krajevima sabirnica.

Na slici 9 je pogled na glavne sabirnice snimljen nakon izgradnje postrojenja s rasvjetnog stupa visine 25 m.

Pogled obuhvaća sva polja rasklopnog postrojenja 400 kV, osim spojnog polja.

3. PRIPREMA ZA MONTAŽU SABIRNIČKOG SUSTAVA

Montažu sabirničkog sustava koji se sastoji od čeličnih postolja izolatora, potpornih izolatora, montaže zglobnih nosača, montaže cijevnih vodiča i montaže strujnih mostova izvele su dvije tvrtke: DALEKOVOD d.d. i KONČAR – Montažni inženjering d.d. koji je montirao potporne izolatore.

Aluminijska cijev Ø 220/204 mm, izrađena od AlMgSi 0.5 F22

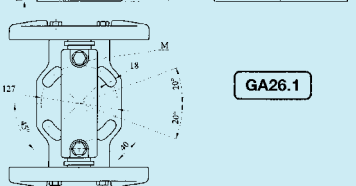
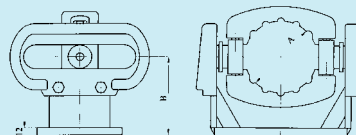
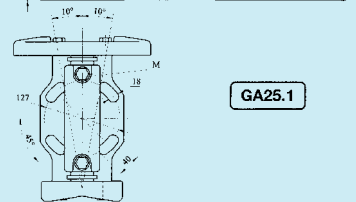
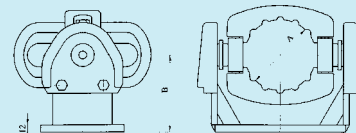
Vanjski/unutarnji promjer	220/204 mm
Debljina stijenke	8 mm
Površina presjeka	5328 mm ²
Specifična masa	2700 kg/m ³
Masa po jedinici dužine	14,4 kg/m
Modul elastičnosti	7x10 ¹⁰ N/m ²
Termički koeficijent rastezanja	23x10 ⁻⁶ 1/°C
Moment inercije	29,976x10 ⁻⁶ m ⁴
Moment otpora	27,251x10 ⁻⁵ m ³

Al 500 mm² uže

Vanjski promjer	29,1 mm
Površina presjeka	499,83 mm ²
Masa po jedinici dužine	1,379 kg/m
Modul elastičnosti	5,5x10 ¹⁰ N/m ²
Termički koeficijent rastezanja	23x10 ⁻⁶ 1/°C
Računska prekidna sila	75,06 kN

Potporni izolator, tehničkih karakteristika:

Smještaj	za vanjsku ugradnju
Primijenjeni standardi	IEC 60237, 60168, 61462
Nazivni napon	420 kV
Nazivni radni napon	400 kV
Nazivni podnosivi napon 1 min., 50 Hz (pod kišom)	520 kV
Nazivni podnosivi udarni napon 1,2/50 µs	1550 kV
Minimalna klizna staza	8500 mm
Minimalna prijelomna sila	6 kN
Minimalni prijelomni moment torzije	3 kNm
Materijal	porculan
Tip: C6-1550 II mod., "Ceram"	
Mjerna skica	SO 2999 B



Klizni zglojni nosač 400 kV, za montažu Al cijevi Ø220/204 mm na potporni izolator, klizanje ležaja od 140 mm (±70 mm).

Tip GA26.220.127, "Dalekovod"

Čvrsti zglojni nosač 400 kV, za montažu Al cijevi Ø220/204 mm na potporni izolator

Tip GA25.220.127, "Dalekovod"

Ravna dilatacijska stezaljka 400 kV, 4000 A, za spoj dvije Al cijevi Ø220/204 mm (strujna veza).

Tip EGA10.220.220.20, "Dalekovod"

Kapa 400 kV za Al cijev Ø220/204 mm s držačem za Al uže 500 mm² promjera 29,1 mm

Tip K1.220.10, "Dalekovod"

Kapa 400 kV s antikoronarnim prstenom, za Al cijev Ø220/204 mm s držačem za Al uže 500 mm² promjera 29,1 mm

Tip K1.220.470.10, "Dalekovod"

Okvir 2. Pregled opreme sabirničkog sustava nakon rekonstrukcije

Montaža sabirničkog sustava izvodi se u šest koraka:

- montaža čeličnih postolja, poravnanje i dovođenje u vertikalni položaj
- montaža potpornih izolatora, poravnanje i dovođenje u vertikalni položaj
- montaža stezaljki
- montaža cijevnih vodiča
- montaža strujnih mostova
- bušenje rupa za odvođenje kondenzata.

Svaki od navedenih koraka je više ili manje složena operacija koja zahtijeva određenu stručnost i opremljenost, ali jedan od najzahtjevnijih dijelova je samo postavljanje cijevnih vodiča čemu će u ovom članku biti posvećena najveća pozornost.

Prije početka postavljanja cijevnih sabirnica bilo je potrebno izraditi proračune koji u glavnom projektu nisu provedeni, a koji su bitni za samu izvedbu polaganja cijevnih sabirnica i određivanje dužine rezanja istih. U glavnom projektu su provedeni sljedeći proračuni sabirničkog sustava:

1. Proračun termičkih naprezanja
2. Proračun mehaničkih naprezanja (opterećenje od: vlastite težine, leda, vjetrova, kratkog spoja, kritične

brzine vjetrova (vjetar malih brzina), te kombinacije pojedinih navedenih opterećenja).

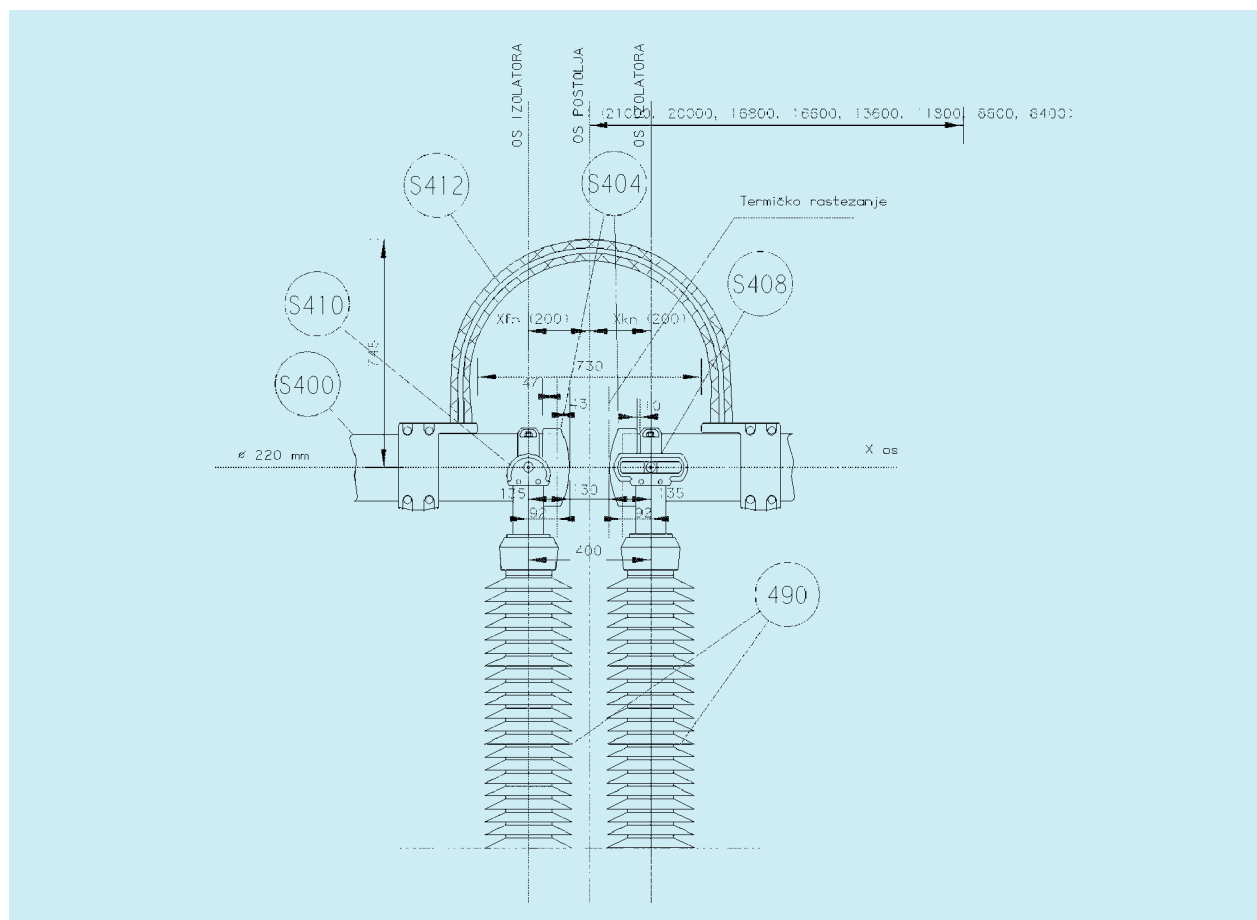
3. Kontrola rastezanja cijevi.

U glavnom projektu nije dan položaj polaganja kliznog ležaja cijevne sabirnice s obzirom na temperaturu prilikom montaže, kao ni način i dužina rezanja cijevi, te je stoga prije montaže trebalo izraditi montažne tablice koje će uzeti u obzir uvijete montaže i eksploatacije. Osim izrade tablica bilo je potrebno s montažerom dogovoriti detalje montaže kako bi se osigurala sigurna i kvalitetna montaža u danim vremenskim uvjetima. Montažne tablice su izrađene uzimajući u obzir produljenje cijevne sabirnice zbog promjene temperature za vrijeme normalnog rada i kratkog spoja, te progibe za vrijeme najtežih radnih uvjeta kao što je nastanak kratkog spoja prilikom naleta vjetrova.

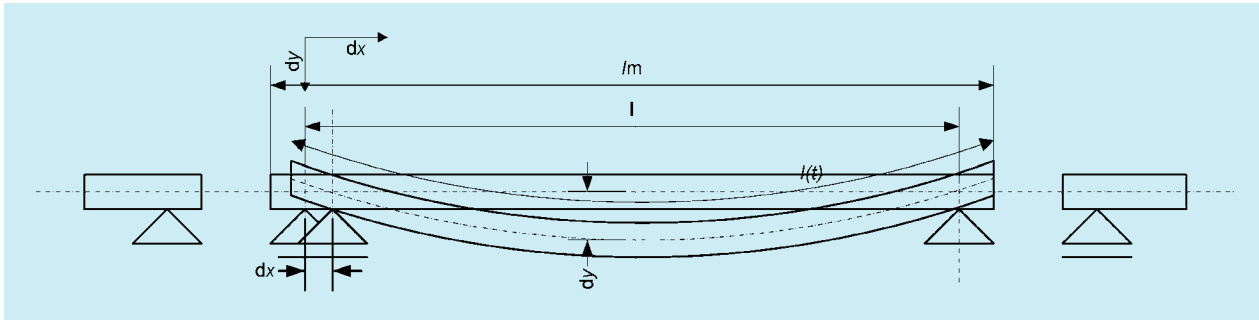
Produljenje cijevi zbog razlike temperature izračunava se prema jednadžbi:

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

gdje je: Δl – produljenje cijevi; l – dužina cijevi; α – koeficijent linearnog rastezanja; ΔT – maksimalna razlika temperature.



Slika 4. Detalj montažnog nacrtu sabirničkog sustava



Slika 5. Shematski prikaz progiba cijevne sabirnice

Maksimalna razlika temperature je razlika između maksimalne temperature sabirnice i minimalne temperature okoline za lokaciju objekta. S obzirom na presjek cijevne sabirnice njeno zagrijavanje zbog kratkog spoja je zanemarivo ($< 1^\circ\text{C}$), te se kao maksimalna temperatura sabirnice uzima maksimalna radna temperatura cijevne sabirnice u skladu s glavnim projektom odnosno $+80^\circ\text{C}$. U stvarnosti ova temperatura vjerojatno neće biti postignuta uz nazivnu struju cijevnih sabirnica od 4000 A i očekivanu temperaturu okoline. Minimalna temperatura okoline za lokaciju objekta u skladu s glavnim projektom je -25°C i uzima se kao minimalna temperatura cijevne sabirnice.

Zbog progiba cijevnih sabirnica dolazi do pomaka kliznog ležaja u smjeru polja. S obzirom da je progib cijevi najveći za vrijeme kratkog spoja s istodobnim udarom vjetra namah postoji mogućnost udara klizača ležaja u graničnik za vrijeme takvog događaja. Ovakav udar bio bi dodatno udarno naprezanje za potporni izolator koje je moguće i potrebno izbjeći pravilnim dimenzioniranjem kliznog hoda i montažom cijevi tako da ni u kojem slučaju klizač ležaja ne može doći do graničnika. Proračun pomaka klizača ležaja izvršen je na način da je progib cijevi aproksimiran trokutom kojem su katete jednake polovici dužine cijevi između hvatišta ležaja, a hipotenuza razmaku između hvatišta ležaja.

$$\Delta x = \sqrt{l_m^2 \cdot [1 + \alpha \cdot (t - t_m)]^2 - 4 \cdot \Delta y^2} - l \quad (2)$$

gdje je: Δx – pomak klizača ležaja u odnosu na nulti (srednji) položaj; l_m – dužina između oslonaca prilikom rezanja cijevi (na temperaturi montaže); α – koeficijent linearnog rastezanja; t – temperatura cijevi pri kojoj se računa Δx ; t_m – temperatura cijevi pri montaži cijevne sabirnice; Δy – progib cijevi; l – dužina između simetrala (srednjih položaja) ležaja stezaljki.

U skladu s glavnim projektom očekivani progibi cijevnih sabirnica su bili:

- Zbog vlastite težine: 90 mm
- Zbog vlastite težine i leda: 122 mm
- Zbog vjetra velikih brzina na zaleđenu cijev: 318 mm
- Zbog kratkog spoja: 187 mm

Prilikom izrade tablice za određivanje montaže ustanovljeno je da su očekivani progibi nešto veći od navedenih u glavnom projektu i to:

- Vlastita težina: 158 mm
- Težina leda: 73 mm
- Težina antivibracijskog užeta: 20 mm
- Konstantni vjetar: 113 mm
- Vjetar na mahove: 341 mm
- Kratki spoj: 103 mm

Mjerenjem nakon postavljanja cijevnih sabirnica ustanovljeno je da su progibi zbog vlastite težine i težine antivibracijskog užeta približno jednaki onima iz montažnih tablica. Nakon montaže sabirničkog sustava izvršeno je mjerenje ukupno 24 segmenta sabirničkog sustava, svaki duljine 21 m, a dobiveni su rezultati obrađeni, te sumarno možemo navesti:

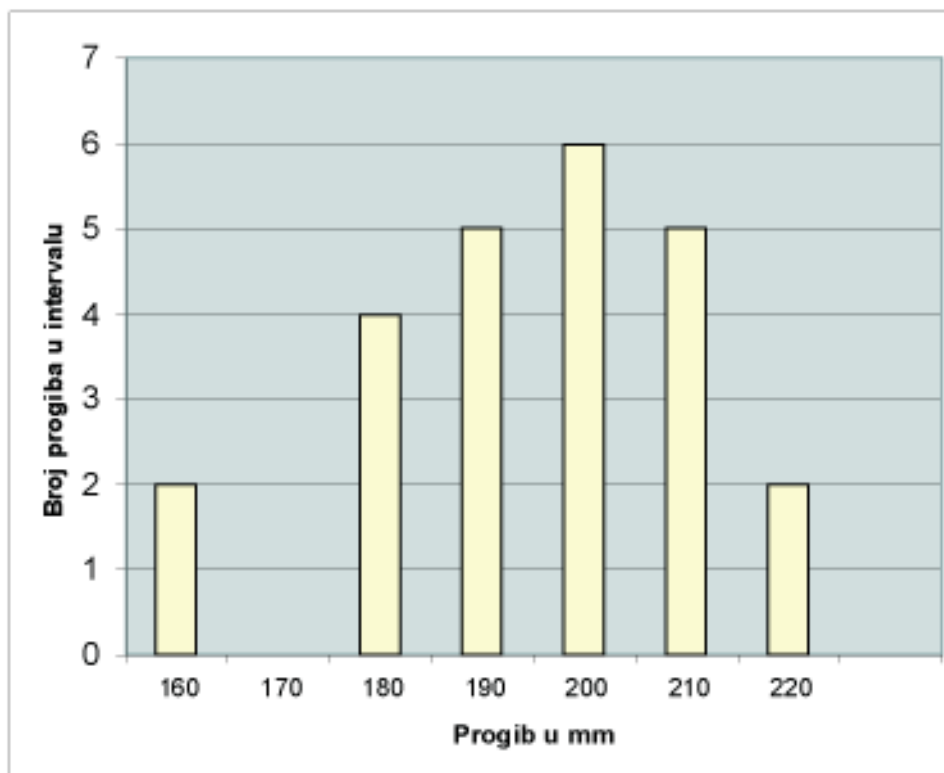
- Broj segmenata: 24
- Srednja vrijednost progiba: 190,2 mm
- Minimalna vrijednost progiba: 141 mm
- Maksimalna vrijednost progiba: 218 mm
- Srednja vrijednost progiba bez ekstrema: 191,2 mm
- Standardna devijacija: 18,1 mm

Zanimljivo je promotriti i frekvenciju pojavljivanja pojedinih vrijednosti progiba koja je prikazana u tablici 2 i na slici 6. Vidljivo je da su maksimalna odstupanja mjerenja progiba relativno velika i prelaze 20% izračunatog progiba, a da je srednja vrijednost progiba oko 7% veća od izračunatog. S obzirom na to da je mjerenje izvršeno metodom “trigonometrijskih mjerenja visina”, te da je prema analizi mjerenja zaključeno da je točnost mjerenja $\pm 1-2$ cm zbog nemogućnosti određivanja točne projekcije sabirnica, možemo zaključiti da progib odgovara očekivanom, te da bi preciznija metoda mjerenja vjerojatno pokazala i manja odstupanja od izračunatih vrijednosti. Ostaje ipak konstatacija da je rasipanje progiba relativno veliko.

S obzirom na to da klizna stezaljka **GA26.220.127** dozvoljava klizanje ležaja od 140 mm (± 70 mm), a da je maksimalno temperaturno produljenje cijevi za temperaturni raspon od -25°C do $+80^\circ\text{C}$ i duljinu 21 m 50,7 mm, odlučeno je da se uzmu sljedeći rubni uvjeti

Tablica 2. Frekvencija pojavljivanja pojedinih vrijednosti progiba segmenata

mm		mm	Broj segmenata	
	manje od	160	2	
od	160	do	170	0
od	170	do	180	4
od	180	do	190	5
od	190	do	200	6
od	200	do	210	5
od	210	do	220	2
veće od	220		0	



Slika 6. Grafički prikaz frekvencije pojavljivanja pojedinih vrijednosti progiba segmenata

pri kojima će udaljenosti klizača ležaja od nultog položaja biti isti:

- Najveći negativni pomak Δx_{\min} :
 - o temperatura cijevi t_{\min} : -40°C
 - o progib cijevi Δy_{\max} : $0,6\text{ m}$
- Najveći pozitivni pomak Δx_{\max} :
 - o temperatura cijevi t_{\max} : $+85^{\circ}\text{C}$
 - o progib cijevi Δy_{\min} : $0,0\text{ m}$

Kao što se iz navedenog vidi rubni uvjeti su uzeti s određenom rezervom što proračun stavlja na sigurnu stranu. Iz rezultata proračuna se vidi da točnije definiranje rubnih uvjeta nije potrebno s obzirom na odabranu kliznu stezaljku. Treba međutim napomenuti da je u prospektom materijalu tvrtke DALEKOVOD d.d. navedeno da je mogući pomak klizne stezaljke samo

80 mm (± 40 mm) što ne bi zadovoljilo potrebe na mjestu ugradnje.

Uzimajući navedene rubne uvjete u obzir može se postaviti jednačba 3.

$$\Delta x_{\max} + \Delta x_{\min} = 0 \quad (3)$$

$$\Delta x_{\max} + \Delta x_{\min} = \sqrt{l_m^2 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_{\max} - t_m)]^2 - 4 \cdot \Delta y_{\min}^2} - l + \sqrt{l_m^2 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_{\min} - t_m)]^2 - 4 \cdot \Delta y_{\max}^2} + l$$

$$\Delta x_{\max} + \Delta x_{\min} = \sqrt{l_m^2 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_{\max} - t_m)]^2} + \sqrt{l_m^2 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_{\min} - t_m)]^2} - 4 \cdot \Delta y_{\max}^2 = 0$$

Rješavanjem jednačbe 3 numeričkim metodama uz pomoć nekog programskog alata kao što je na primjer EXCEL, Mathematica ili MathCAD mogu se izračunati potrebni parametri montaže sabirnice u ovisnosti od uvjeta montaže. Za TS Ernestinovo proračun je proveden pomoću EXCEL-a, a rezultati su prikazani u obliku niza tablica na kojima je označeno bijelo odnosno radno područje, žuto područje u kojem se klizač

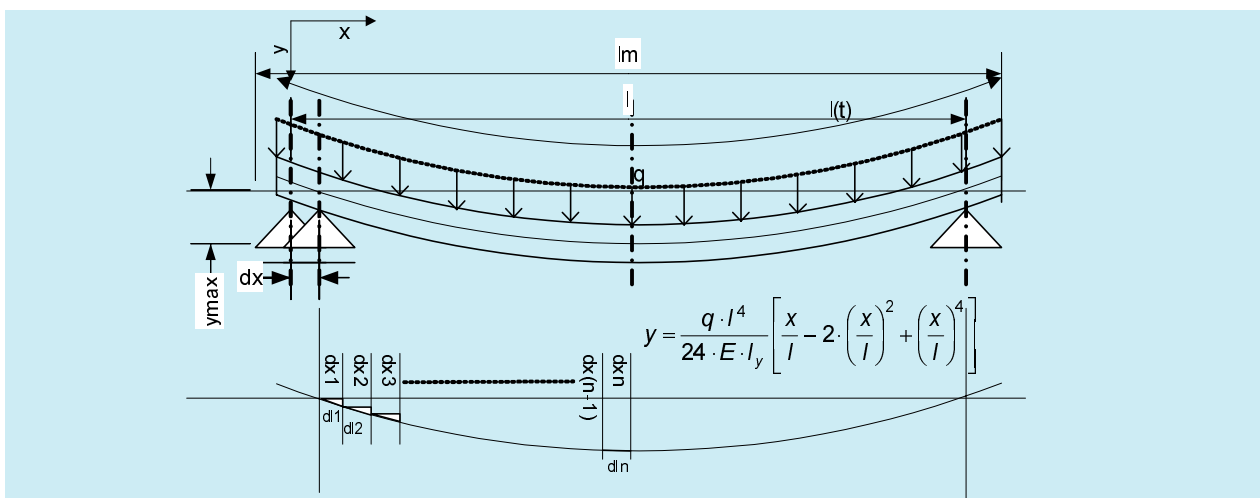
Slika 7. Primjer montažne tablice u EXCEL-u s označenim graničnim pogonskim stanjima

ležaja nalazi na manje od 10 mm od krajnje točke i crveno područje koje je izvan područja mogućnosti klizanja klizača po ležaju. Iz priložene tablice je vidljivo da je radno područje za navedenu konfiguraciju vrlo veliko te da omogućava montažu cijevi s vrlo visokom tolerancijom. Na slici 7 prikazana je montažna tablica za temperaturu montaže 0°C u kojoj se vidi da je potreban pomak montaže 3,3 mm. Vidljivo je da za manje progibe pomak klizača pri konstantnoj temperaturi nije značajan iz čega slijedi da je moguće mjerenje cijevi i u ravnom, ali i u provješenoj položaju što je znatno lakše za ostvariti. Maksimalna korekcija za progib od 0,3 m bi bila manja od 10 mm. Pomoću tablica ista se može i napraviti, ali s obzirom na veličinu radnog prostora klizača nije neophodno.

4. TOČNOST PROVEDENOG PRORAČUNA POMAKA KLIZAČA LEŽAJA

Prilikom proračuna pomaka klizača kliznog ležaja izvršena je radi pojednostavljenja aproksimacija elastične linije progiba sabirnice pomoću dva trokuta kojima je jedna kateta progib, druga pola udaljenosti između ležaja, a hipotenuza pola dužine sabirnice. Elastična linija nosača opterećenog vlastitom težinom, odnosno kontinuiranom silom, definirana je jednadžbom 4 i prikazana na slici 8.

$$y = \frac{q \cdot l^4}{24 \cdot E \cdot I_y} \left[\frac{x}{l} - 2 \cdot \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \left(\frac{x}{l} \right)^4 \right] \tag{4}$$



Slika 8. Elastična linija statički određenog nosača

gdje je: x – udaljenost od ležaja; l – udaljenost između ležaja; q – sila koja djeluje na nosač; $E \cdot I_y$ – krutost grede.

Numeričkom metodom pomoću programskog paketa EXCEL određen je pomak dx aproksimirajući elastičnu liniju statički određenog nosača opterećenog silom q (N/m). U slučaju raspona od 20,6 m i progiba od 100 do 600 mm pogreška koja se pojavljuje između ovakvog proračuna i aproksimacijom sa dva trokuta je između 23 i 25%, odnosno točnijim proračunom se dobivaju 23-25% veći pomaci nego što se dobiju približnim proračunom s dva trokuta. Navedeno vrijedi za interval progiba od 50 mm do više od 600 mm. Iz toga se može zaključiti da uz sigurnosnu granicu (žuto područje) od 10 mm i dobivene rezultate proračuna koji pokazuju da klizač ne dolazi blizu tog područja neće doći do udara klizača u graničnik zbog pojednostavljenja proračuna. Zanimljivo je da je za ovakvu konfiguraciju i tip opterećenja grede, odstupanje pogreške pojednostavljenog proračuna relativno malo u promatranom intervalu opterećenja za određenu dužinu cijevi i da iznosi između 23 i 25%. Iz toga proizlazi da se rezultat dobiven aproksimacijom s dva trokuta može pomnožiti faktorom 1,25 i na taj način se dobiva točniji rezultat koji je još k tome i na sigurnoj strani proračuna. Treba napomenuti da sve navedeno vrijedi za dužinu cijevi od 20,6 m.

5. MONTAŽA SABIRNIČKOG SUSTAVA

S obzirom na složenost izgradnje sabirničkog sustava te na to da svaka od prethodno navedenih faza ima određenu točnost izvođenja koja se može postići ekonomski isplativim postupcima izgradnje vrlo je bitno prilikom određivanja dužine cijevi za rezanje izvršiti precizno mjerenje razmaka između srednjeg položaja stezaljki, odnosno u slučaju korištenja stezaljki GA26.220.127 simetrala potpornih izolatora. S obzirom na visinu sabirničkog sustava i tolerancije pojedinih faza radova te mogućnosti regulacije, najbolje je da se prije rezanja izvrši probna montaža cijevi te da se na samoj cijevi označi mjesto rezanja cijevi.

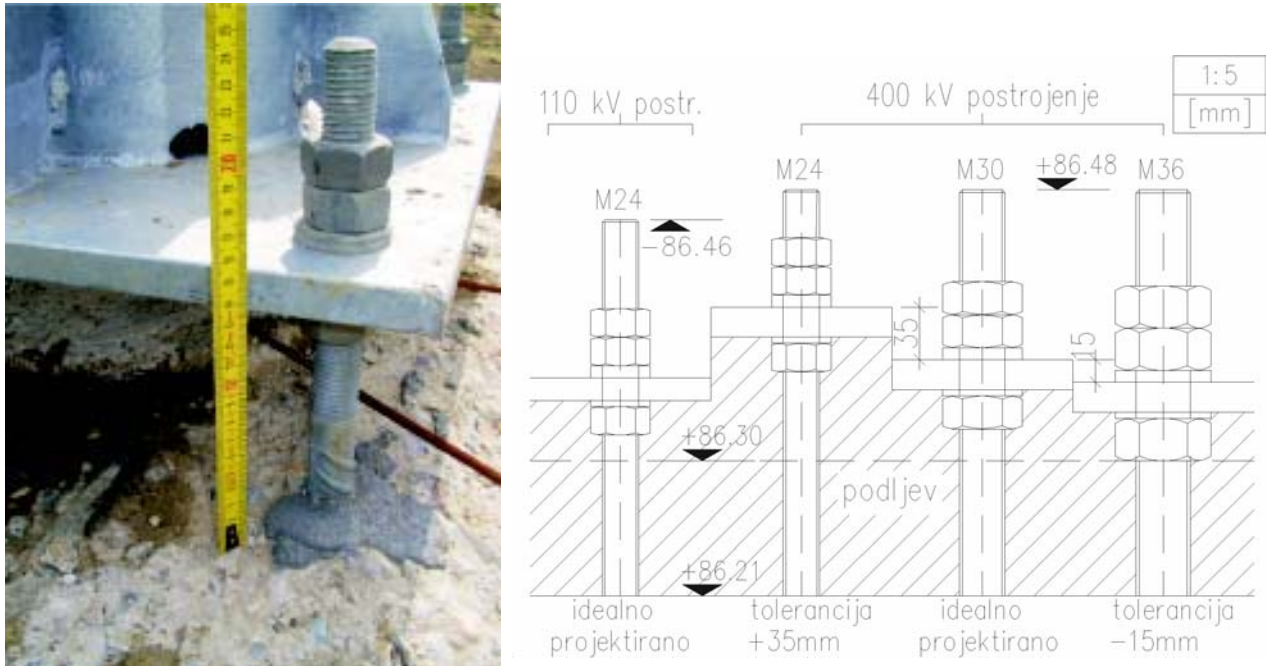
Prilikom probne montaže treba voditi računa o:

- Temperaturi montaže (temperatura cijevi prilikom mjerenja, a koja se može ovisno o vremenskim prilikama i načinu skladištenja istih znatno razlikovati od temperature okoline)
- Mjesto postavljanja klizača ležaja.

Mjesto postavljanja klizača treba odrediti na osnovi temperature montaže i uvjeta probne montaže kod čega je bitan progib cijevi sabirnice i dodatni tereti s kojima je opterećena. Naime prije probne montaže moguće se zatvoriti jednu stranu cijevi i postaviti antivibracijsko užje i kapu, ali to nije nužno napraviti.



Slika 9. Pogled na sabirnički sustav 400 kV u TS Ernestinovo



Slika 10. Princip regulacije montaže čelične konstrukcije na temelje

S obzirom na temperature koje su bile za vrijeme montaže oko 0°C i na veliku dužinu ležaja upotrijebljene klizne stezaljke dogovoreno je da će se montaža cijevi obavljati na sljedeći način:

- U cijev će se s jedne strane postaviti aluminijsko antivibracijsko uže presjeka 500 mm² koje će se prije toga izravnati tako da ravnomjerno padne uzduž 2/3 dužine cijevi. Uže će se pričvrstiti na kapu koja će se montirati na cijev.
- Cijev se diže autodizalicom i postavlja na stezaljke te se obavlja montaža cijevi u stezaljku na strani čvrste zglobne stezaljke GA25.220.127 u skladu s nacrtom na slici 4.
- Obavlja se osiguranje cijevi u drugom ležaju (stezaljci) kako ne bi došlo do njenog eventualnog pada te se cijev spušta da postigne normalan progib. Navedeno je ustvari probna montaža cijevne sabirnice na osnovi koje se određuje dužina cijevi, a iz čega slijedi mjesto rezanja cijevi.
- U prethodno postignutom položaju se klizač postavlja u dogovoreni položaj za određenu temperaturu montaže, te se obavlja stezanje klizne stezaljke. Navedeno se obavlja korekcijom probne montaže, a ponavljanjem postupka iste dok se ne postigne zahtijevani položaj kliznog ležaja.
- Nakon provjere ispravnosti montaže označava se mjesto rezanja cijevi.
- Cijev se demontira i spušta, te se obavlja njeno rezanje koje ovisi o tehnologiji montažera.
- Nakon rezanja postavlja se drugo antivibracijsko uže presjeka 500 mm² koje će se prije toga izravnati tako

da ravnomjerno padne uzduž 2/3 dužine cijevi. Uže će se pričvrstiti na kapu koja će se montirati na cijev.

- Cijev se ponovno diže i montira na stezaljke te priteže moment ključem.
- Nakon montaže sabirničkog sustava potrebno je pojedine segmente povezati strujnim mostovima, montirati ocijepa te na najnižim točkama pojedinih raspona, obično na sredini raspona, probušiti rupu promjera cca 10 mm kako bi se osiguralo istjecanje kondenzata. Na TS Ernestinovu je u dogovoru s investitorom i glavnim projektantom glavnog projekta odlučeno da promjer rupe bude 8 mm.

Kvalitetu izgradnje sabirničkog sustava određuje kvaliteta svake pojedine faze izgradnje počevši od izgradnje temelja, izrade i montaže čelične konstrukcije, potpornih izolatora i dr., no s obzirom na mogućnost izvođenja najbitnije je izborom projektnog rješenja osigurati određenu mogućnost regulacije kako bi se moglo izvršiti poravnanje postolja i izolatora po visini i vertikalnosti. Bez obzira na mogućnosti regulacije povoljno je odabrati izvedbu sabirničkog sustava s pojedinačnim rasponima i to stoga što takav način izvođenja dopušta i veće nepreciznosti prilikom izgradnje sabirničkog sustava. Ukoliko se cijev prekida na svakom rasponu, kao što je to na TS Ernestinovu, moguća je manja promjena smjera za svaki raspon što bi u slučaju korištenja kontinuirane cijevi za više raspona rezultiralo nepredviđenim naprezanjima cijevi i potpornih izolatora, te promjenom vlastite frekvencije sabirničkog sustava.

Na slici 10 prikazan je način regulacije prilikom montaže čeličnog postolja na temelje. Ovaj se način



Slika 11. Detalj sabirničkog sustava



Slika 12. Slike sa montaže cijevnih sabirnica

regulacije koristi kako bi se čelična postolja dovela u vertikalnost i visinski poravnala. Mogućnosti ovakve regulacije su relativno male. Na TS Ernestinovu je ova regulacija od -15 do +35 mm od projektirane kote postrojenja, kao što se vidi iz slike 10. Ova se regulacija tretirala kao zadnja rezerva te se nije koristila kako bi se unificirali pojedini dijelovi čelične konstrukcije što je rezultiralo velikim brojem čeličnih postolja koji se minimalno razlikuju po visini. Prilikom projektiranja bilo je potrebno voditi računa i o tolerancijama izrade pojedinih konstrukcija s obzirom na način obrade iste



Slika 13. Pogled na dio sabirničkog sustava u TS Ernestinovo nakon izgradnje postrojenja

jer na primjer i mala zakrivljenost ploče na koju se montira potporni izolator može uzrokovati njegov pomak na vrhu od nekoliko centimetara.

Na slikama 11 i 12 prikazani su detalji sabirničkog sustava, odnosno probna montaža cijevne sabirnice.

6. VREMENSKI TIJEK MONTAŽE

Bez obzira na relativno niske temperature koje su se kretale oko 0°C i zimsko vrijeme montaže sabirnica na TS Ernestinovu je jedna ekipa s jednom autodizalicom i dvije košare obavljala montažu 6 raspona glavnih sabirnica dnevno. Naravno, tome treba pribrojiti vrijeme potrebno za pripremu radova i organizaciju gradilišta te montažu strujnih mostova, odcjepa i bušenje rupa za odvodnju kondenzata. Na slici 10 prikazani su detalji probne montaže jednog segmenta (raspona) sabirničkog sustava, a na slici 11 pogled na dio sabirničkog sustava nakon izgradnje i opremanja postrojenja. Progibi koji su vidljivi na slici su oko 200 mm i u granicama su očekivanih prilikom montaže sabirničkog sustava.

7. ZAKLJUČAK

Sabirnički sustav na TS Ernestinovu u rasklopnom postrojenju 400 kV izveden je u skladu s glavnim projektom. Ovakav način izvođenja sabirničkog sustava povoljan je za izvođenje, osigurava mogućnost kvalitetnog izvođenja i zadržavanje karakteristika na osnovi kojih je izvršen njegov proračun.

Prije montaže sabirničkog sustava potrebno je odrediti rubne uvijete eksploatacije sabirničkog sustava za vrijeme normalnog pogona, ali i za vrijeme kratkog spoja i slučaja havarije te na temelju toga odrediti način i parametre montaže sabirnica. Posebnu pozornost treba posvetiti montaži cijevnih sabirnica prilikom visokih temperatura montaže te je potrebno odrediti stvarnu temperaturu cijevi koja može, a ovisno od uvjeta skladištenja, znatno odstupati od temperature zraka. Prije montaže svakog pojedinog raspona potrebno je obaviti mjerenje raspona i na temelju toga rezati cijevi.

Montaža sabirničkog sustava protekla je bez problema, a izmjereni progibi su u skladu s izračunatima prije montaže sabirnica ostaje pitanje relativno velikog odstupanja progiba od srednje vrijednosti.

LITERATURA

- [1] Prof. dr. Z. JANKOVIĆ: "Teorijska mehanika", Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1966.
- [2] Prof. dr. D. BAZJANAC: "Tehnička mehanika", Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1974.
- [3] Prof. dr. I. ALFIREVIĆ: "Nauka o čvrstoći", Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1978.
- [4] IEC 60865-1 Short-circuit currents – Calculation of effects Part 1, 1993-09
- [5] IEC 60865-2 Short-circuit currents – Calculation of effects Part 2, 1994-06
- [6] K. BEGOVIĆ: "Rasklopna postrojenja 400 kV u cijevnoj izvedbi"; Energija 1972, br. 3-4
- [7] "Elektroprojekt" Zagreb: TS 380/110 kV Ernestinovo, Glavni projekt električnog dijela, Rasklopno postrojenje 380 kV, Zagreb 1974.
- [8] "Elektroprojekt" Zagreb: TS 400/110 kV Ernestinovo, Obnova, Glavni projekt električnog dijela, Rasklopno postrojenje 400 kV, Zagreb 1998.
- [9] "Končar – inženjering za energetiku i transport" Zagreb: TS 400/110 kV Ernestinovo, Izvedebeni projekt, Rasklopno postrojenje 400 kV, Zagreb 2002.
- [10] M. KALEA: "TS 400/110 kV Ernestinovo – Jučer, danas, sutra", Percent, Zagreb 2001.
- [11] Mr. sc. B. FRÜHWIRTH: "The Role of Busbar Self-Frequency When Calculating Line Strain and Force to Insulators in High-Voltage Stations According to IEC 60865" (Professional paper); Energija; year 51; no. 6; December, 2002; page 497...511
- [12] B. FRÜHWIRTH, Z. IVANIŠEVIĆ, L. BERČ, Z. POGLEDIĆ: "Subsequent Building in of Anchoring Bolts in S/S 400/110 kV Ernestinovo"; "CIGRÉ – Sixth Symposium"; Cavtat 10th –13th November, 2003.
- [13] B. FRÜHWIRTH, B. KRAMARIĆ, D. ZORIĆ: "Transformer Station 400/110 kV Ernestinovo – Reconstruction Of the 400 kV Switchyard"; "CIGRÉ – Sixth Symposium"; Cavtat 10th –13th November, 2003.
- [14] "Inženjerski priručnik"; Školska knjiga Zagreb

INSTALLATION OF A BUSBAR SYSTEM IN 400 kV SUBSTATION IN TS 400/110kV ERNESTINOVO

The paper gives a review of calculations and resulting pipe busbars from the main project, calculations that were made for the preparation of busbar installation, installation details and description of the installation procedure as well as measured gap after installation including their comparison with calculated data.

AUFSTELLUNG DES SAMMELSCHIENENSYSTEMS IN DER 400 kV SCHALTANLAGE DES 400/110 kV UMSpannerwerkes „ERNESTINOVO“

In dieser Arbeit wird eine Übersicht der Berechnung und der Ausführung der Rohrsammelschienen laut dem Hauptprojekt gegeben. Die Vorausberechnung ist als Vorbereitung der Aufstellung durchgeführt worden. Ausführungseinzelheiten und die Beschreibung des Aufstellungsvorganges sowie ein Überblick der gemessenen Durchbiegungen nach der Aufstellung, und deren Vergleich mit den vorausberechneten Werten sind auch ein Teil dieses Artikels.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Borko Frühwirth, dipl. ing.
Končar - Inženjering za energetiku i
transport d.d.
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2004 – 06 – 16.