

# INTEGRIRANO ZRAKOM IZOLIRANO POSTROJENJE

Mr. sc. Borko Fr ü h w i r t h, Zagreb

UDK 621.311.426:626/628  
PREGLEDNI ČLANAK

U ovom preglednom članku prikazano je vrlo zanimljivo rješenje integracije pojedinih aparata klasičnog zrakom izoliranog postrojenja u jedinstveni multifunkcionalni aparat koji objedinjuje sabirničke rastavljače, prekidač, uzemljivač, a njihovom kombinacijom izlazni rastavljač u vodnom polju postaje praktični nepotreban što omogućava smanjenje prostora potrebnog za izgradnju postrojenja, smanjenje radova na izgradnji i održavanju, a ujedno smanjuje troškove održavanja i podiže raspoloživost postrojenja.

Na kraju je dano jedno idejno rješenje “mutacije” tipske transformatorske stanice primjenom razmatranog postrojenja.

**Ključne riječi:** zrakom izolirana postrojenja, TSM AIS®, AIS, IAIS, integrirano zrakom izolirano postrojenje, tipska transformatorska stanica.

## 1. UVOD

Visokonaponska elektroenergetska postrojenja se prema mediju za izolaciju općenito mogu podijeliti u tri grupe:

- Zrakom izolirana postrojenja (Air-Insulated Switchgear – AIS)
- Plinom izolirana postrojenja (Gas-Insulated Switchgear – GIS) i
- Mješovita plinom izolirana postrojenja (Hybrid type Gas-Insulated Switchgear – HGIS)

Zrakom izolirana postrojenja su pretežno, a u Hrvatskoj isključivo, klasična vanjska postrojenja. S obzirom na dugu tradiciju koncepcije takvih postrojenja, ali i zbog manjih troškova izgradnje vrlo su rasprostranjena. Negativne strane ovakve koncepcije su zbog utjecaja atmosferilija povećani troškovi održavanja, veliki prostor potreban za izgradnju, utjecaj na okolinu i dr.

Plinom SF<sub>6</sub> izolirana postrojenja omogućavaju veliku uštedu na prostoru i održavanju, ali su s druge strane vrlo skupa, te zahtijevaju velike investicije. Uobičajeno je da se ovakva postrojenja smještaju unutar zgrada ili čak ispod poslovnih objekata tako da su utjecaji na okolinu minimalni, a ukoliko su s elektroenergetskim sustavom takva postrojenja povezana kabelski, može se reći da utjecaja na okoliš i nema. Postoje vrlo uspješne interpolacije ovakvih postrojenja u sama središta mediteranskih gradskih jezgri u tradicionalnom stilu.

Kombinacijom ova dva koncepta mogu se prednosti svakog od navedenih postrojenja u određenoj mjeri prenijeti na rezultirajuće postrojenje, a to je mješovito

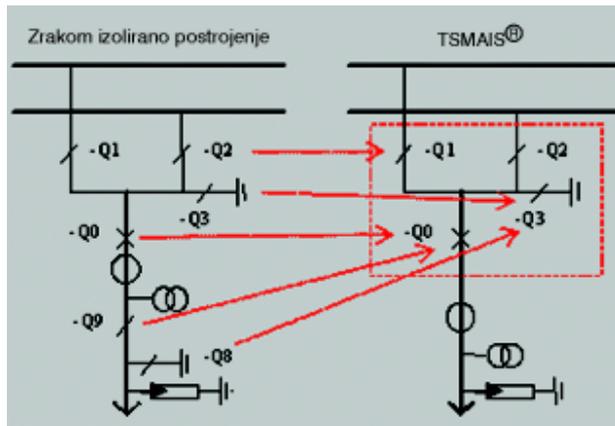
plinom izolirano postrojenje. Vodeći se idejom da se preuzmu pouzdane komponente koje ne zahtijevaju redovito i intenzivno održavanje iz zrakom izoliranih postrojenja, a da se komponente koje takvo održavanje zahtijevaju objedine na što je moguće manjem prostoru i zaštite od štetnog utjecaja okoline razvijene su razne inačice mješovitih plinom izoliranih postrojenja. Samom integracijom postignuto je smanjenje troškova održavanja, ali je smanjena i površina potrebna za izgradnju postrojenja. Premda smanjenje potrebne površine za izgradnju vanjskog postrojenja nije tako drastično kao kod plinom izoliranih postrojenja to u većini aplikacija i nije potrebno s obzirom na to da smanjenje dimenzija donekle limitiraju i dimenzije priključnih vodova – zračni priključak.

Vodeći se prethodno navedenim, razvijen je novi koncept zrakom izoliranih postrojenja – integrirano zrakom izolirano postrojenje (Integrated Air Insulated Switchgear – TSM AIS®). Ovo postrojenje, koje je po koncepciji vrlo slično mješovitom plinom izoliranom postrojenju, bit će prikazano detaljnije u nastavku članka.

## 2. KONCEPCIJA POSTROJENJA

Integrirano zrakom izolirano postrojenje je koncipirano na način da su pojedine komponente zrakom izoliranog postrojenja integrirane u jednu komponentu. U skladu s navedenim, sabirnički rastavljač(i), prekidač, linijski rastavljač te zemljospojnik integrirani su u jedan jedinstveni aparat TSM AIS® (TMT&D S M A R T Air Integrated Switchgear).

Prednosti ovakve koncepcije su:



Slika 1. Usporedne jednopolne sheme postrojenja s dva sustava sabirnice u klasičnoj zrakom izoliranoj izvedbi i u izvedbi s TMAIS®-om

Tablica 1. Primjer isključenja i uključenja vodnog polja s dvostrukim sabirničkim sustavom u klasičnoj zrakom izoliranoj izvedbi i u izvedbi postrojenja uporabom TMAIS®-a

Jednopolna shema	Isključenje polja	Uključenje polja
<b>Zrakom izolirano postrojenje</b>		
	-Q0 isključi	-Q8 isključi
	-Q9 isključi	-Q1/-Q2 uključi
	-Q1/-Q2 isključi	-Q9 uključi
	-Q8 uključi	-Q0 uključi
<b>TMAIS®</b>		
	-Q0 isključi	-Q0 isključi
	-Q1/-Q2 isključi	-Q3 isključi
	-Q3 uključi	-Q1/-Q2 uključi
	-Q0 uključi	-Q0 uključi

- **Integracija klasične zrakom izolirane opreme**  
TMAIS® se sastoji od prekidača sa svojstvom da između otvorenih kontakata postiže naponski razmak dovoljan da može obavljati i funkciju rastavljača, jednog (V tip) ili dva (W tip) sabirnička rastavljača, zemljospojnika i komandnog ormarića s pogonskim me-

hanizmom. S obzirom na to da prekidač ima ujedno i funkciju rastavljača klasičan izlazni rastavljač nije potreban te se može izbaciti. U tom slučaju za uzemljenje voda koristit će se zemljospojnik ugrađen u TMAIS® na način da će se prvo isključiti prekidač, nakon toga sabirnički rastavljači, a slijedit će uključivanje zemljospojnika i na kraju ponovno uključivanje prekidača. Ovakva kombinacija zemljospojnika i prekidača djeluje kao brzi zemljospojnik, te ukoliko, zbog pogreške, dođe do uzemljenja voda pod naponom, zaštita čisti kratki spoj i ne dolazi do havarijskih posljedica.

Na usporednim jednopolnim shemama na sl. 1 klasičnog vodnog polja u zrakom izoliranoj izvedbi i TMAIS® se najbolje vidi konceptijska razlika postrojenja, a u tablici 1 dan je usporedni prikaz postupka isključenja i uključenja vodnog polja za klasično postrojenje i postrojenje s TMAIS®-om.

#### • **Smanjeno redovito održavanje**

S obzirom da su kontakti rastavljača smješteni u plinu SF<sub>6</sub>, zaštićeni od utjecaja atmosferilija, redovito održavanje postrojenja je značajno smanjeno, te se može usporediti s održavanjem plinom izoliranih postrojenja.

#### • **Smanjen opseg građevinskih radova i montaže postrojenja**

Integracija postrojenja smanjuje opseg građevinskih radova, broj potrebnih čeličnih postolja, kabliranje, uzemljenje, gromobrnska zaštita, te opseg izrade projekta, montaže i ispitivanja postrojenja. Svime navedenim se smanjuje u vrijeme projektiranja i izgradnje postrojenja.

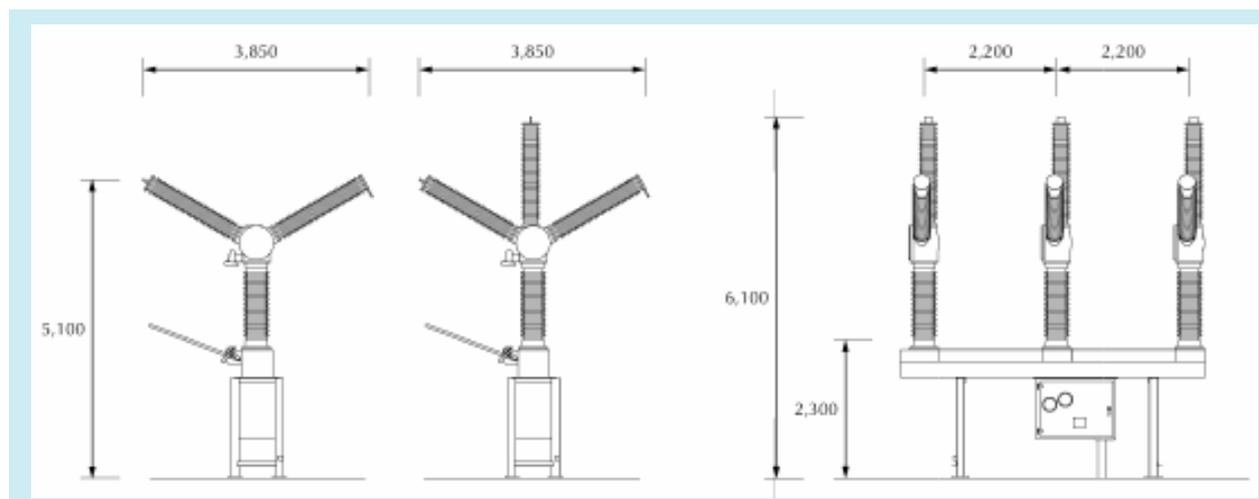
#### • **Povećana pouzdanost u odnosu na klasično zrakom izolirano postrojenje**

Pouzdanost postrojenja je na nivou mješovitih plinom izoliranih postrojenja. Plinske komore pojedinih aparata su odvojene kao i u plinom izoliranim postrojenjima, a kontakti su zaštićeni od vremenskih utjecaja.

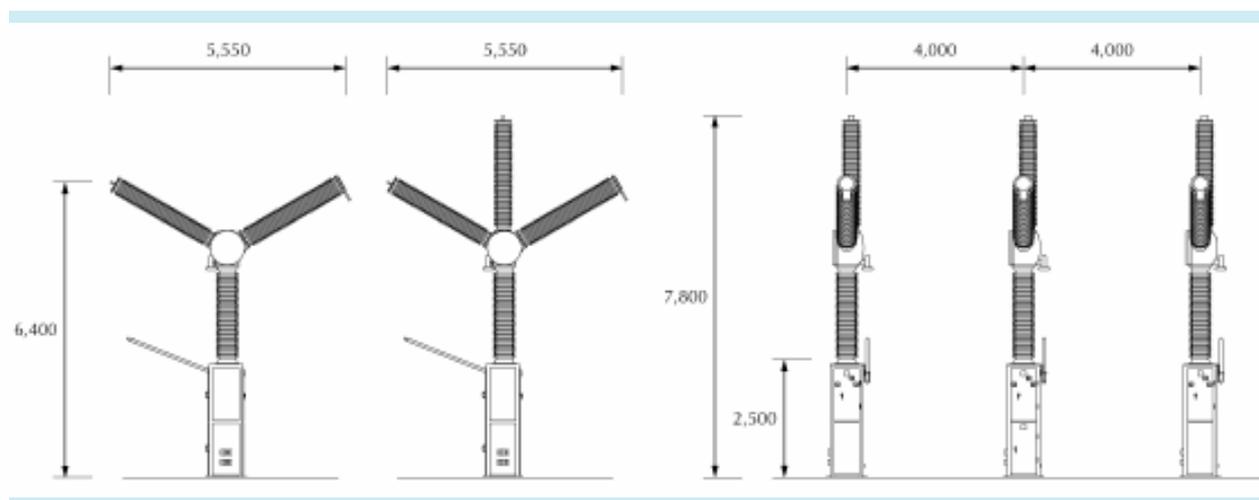
### 3. KONSTRUKCIJA TMAIS®-a

Na sl. 2 odnosno sl. 3 prikazane su pojednostavljene mjerne skice TMAIS®-a 145 kV odnosno 245 kV. Postrojenja su prikazana u izvedbi s jednim (V tip) i dva (W tip) sabirnička rastavljača.

Na sl. 4 prikazana je konstrukcija 145 kV postrojenja. 145 kV TMAIS® je koncipiran kao trolpolni aparat te su na zajedničkom postolju smještena sva tri pola i ormarić za upravljanje s pogonom. Za razliku od njega, 245 kV TMAIS® je koncipiran kao jednopolni aparat, te tako svaki pol ima svoje postolje sa svojim ormarićem za upravljanje i pogonom. Svaki pol aparata sastoji se od šupljeg potpornog izolatora koji može biti od porculana ili od kompozitnog materijala, a kroz koji su provedene izolirajuće pogonske motke. Unutrašnjost



Slika 2. Mjerna skica 145 kV TSM AIS®-a

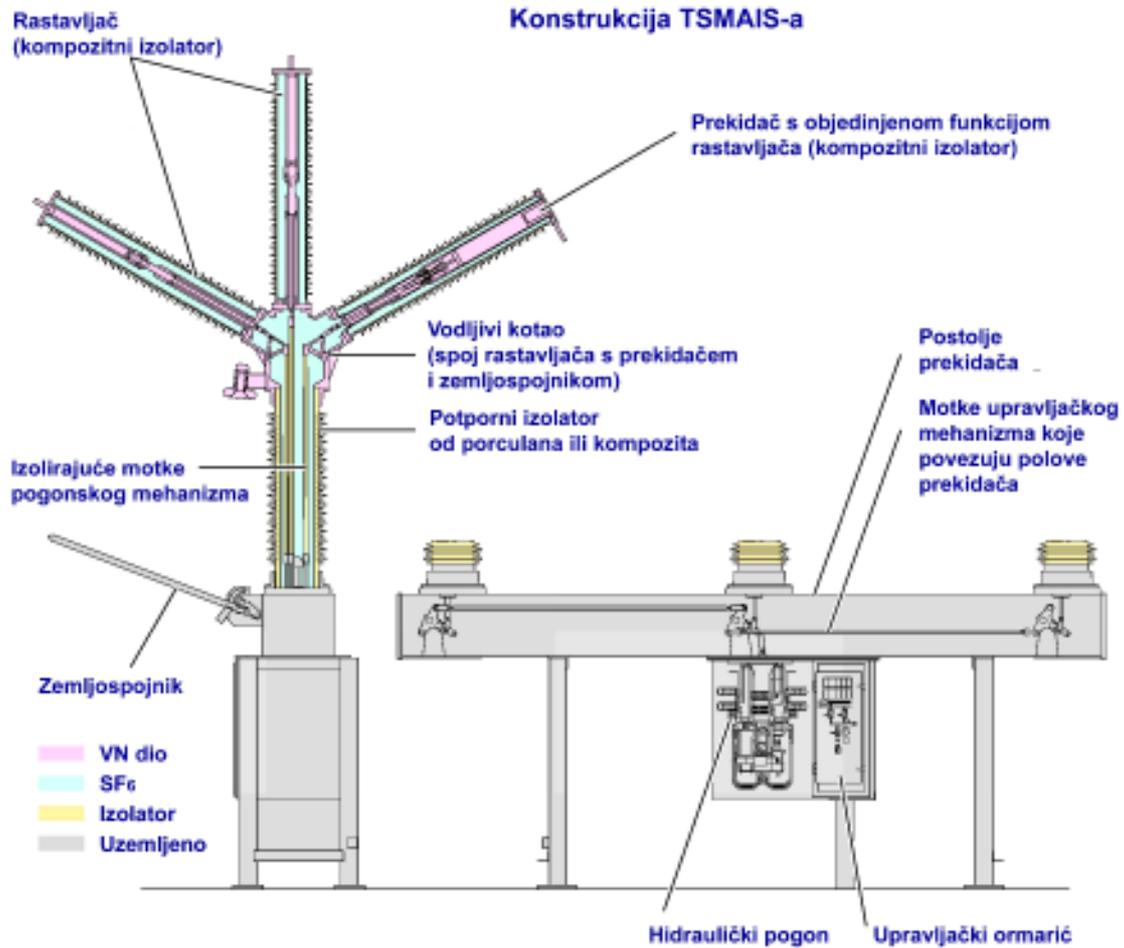


Slika 3. Mjerna skica 245 kV TSM AIS®-a

izolatora je napunjena plinom SF<sub>6</sub>. Konstrukcija potpornog izolatora je takva da izdrži nazivne ispitne naponne i pri atmosferskom tlaku plina SF<sub>6</sub>.

Paralelno navedenom izolatoru smješten je nož za uzemljenje u klasičnoj izvedbi kojim se može uzemljiti vodljivi kotao smješten na vrhu potpornog izolatora. Ovaj kotao ima dvostruku funkciju. Jedna je mehanička, odnosno funkcija nošenja dvije, odnosno tri komore TSM AIS®-a, a druga je njihovo galvansko povezivanje. Kotao je u stvari čvorna točka koja povezuje sabirničke rastavljače s prekidačem i koja se zemljospojnikom može uzemljiti. Ovisno o broju sabirničkih rastavljača na vodljivi kotao su montirane dvije ili tri komore od kompozitnog materijala u kojima su smješteni plinom izolirani sabirnički rastavljači i prekidač koji ima ujedno i funkciju izlaznog rastavljača, a u kombinaciji sa zemljospojnikom i funkciju brzog zemljospojnika. Sabirnički rastavljači i prekidač su smješteni u

šupljim izolatorima od kompozitnog materijala kako bi se prije svega spriječila opasnost i štete nastale eventualnom eksplozijom istih, ali i kako bi se smanjila ukupna masa aparata. Treba napomenuti da su sabirnički rastavljači u stanju prekinuti struju prilikom prijelaza s jednog na drugi sabirnički sustav 100 puta (nakon čega je potreban njihov detaljni pregled (vidjeti poglavlje 4. Održavanje). Pogon rastavljača i prekidača je hidraulički, a uzemljivač je pogonjen elektromotorom. Hidraulički pogon je integriran u sklopu upravljačkog ormarića. Sastoji se od odvojenog pogonskog cilindra za svaki uređaj i zajedničkog tlačnog spremnika, uređaja za kontrolu tlaka i pumpe ulja. U slučaju problema s nekim dijelom hidrauličkog mehanizma svaki je pogonski cilindar moguće odvojiti od glavnog sustava i s vanjskim, pomoćnim sustavom vršiti isklapanja i uklapanja. Ovako riješen integrirani hidraulički mehanizam je manjih dimenzija nego što bi bio ekvivalentni

Slika 4. Konstrukcija 145 kV TSMAS<sup>®</sup>-a

opružni mehanizam. Konstrukcija 245 kV TSMAS<sup>®</sup>-a je, uz prethodno navedenu razliku, konceptijski u potpunosti ista.

S obzirom da su sabirnički rastavljači i prekidač smješteni u odvojenim komorama (svaki uređaj u svojoj komori) u slučaju nekih tipova kvarova na jednom sabirničkom rastavljaču moguće je nastaviti pogon na drugom sustavu sabirnica.

Prekidač je konstruiran tako da preko otvorenih kontakata izdrži 15% više napone nego klasičan prekidač i dodatno ima višu izolacijsku razinu za napone industrijskih frekvencija i atmosferske prenapone čak i nakon prekidanja nazivne struje kratkog spoja. Ove karakteristike premašuju specifikacije dane u IEC 62271 dio 100, dio 102 i IEC 60694, te odgovaraju radnoj verziji IEC SC17A WG31 koja je trenutačno na razmatranju. Na prekidač je moguće ugraditi i rogovski svitak za mjerenje struje, te ga optičkom niti povezati s upravljačkim ormarićem.

S obzirom da su kontakti rastavljača u komorama punjenim plinom te da njihov položaj nije moguće direktno utvrditi, alternativno se položaj prikazuje pokazivači-

ma položaja na pogonskom ormariću koji su u skladu s preporukama IEC-a. Prilikom testiranja provedene su dvije serije od 10,000 operacija kako bi se dokazala mehanička pouzdanost pokazivača položaja. S takvim tipom indikatora položaja postoji dugogodišnje iskustvo na plinom izoliranim postrojenjima u Japanu.

U tablici 2 prikazane su osnovne karakteristike postrojenja TSMAS<sup>®</sup> za naponske nivoe 145, 245 i 300 kV.

#### 4. ODRŽAVANJE

Održavanje kontakata rastavljača i prekidača nije potrebno, hidraulički mehanizam i uzemljivač je potrebno održavati jednom u 6 godina. Ovime se smanjuje potreba za redovnim održavanjem i isključenjem postrojenja, te se povećava raspoloživost postrojenja.

Detaljni pregledi su potrebni u slučaju:

- Prekidač:
  - a. Prekidanje nazivne struje kratkog spoja 20 puta
  - b. Prekidanje nazivne struje ili bez tereta 3,000 puta

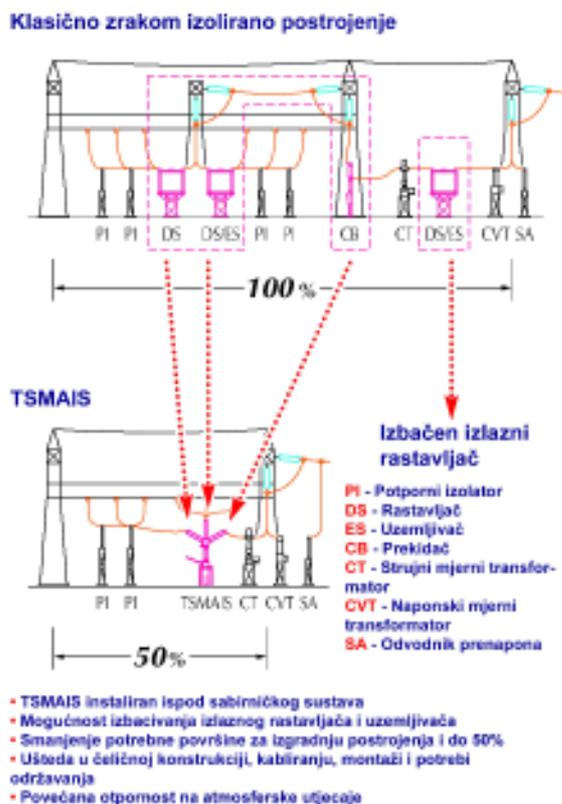
Tablica 2. Tehničke karakteristike postrojenja TSMAIS® za naponske nivoe 145, 245 i 300 kV

Nazivni napon (kV)		145	245	300
Nazivna frekvencija (Hz)		50 (60)		
Nazivna struja (A)		3150		
Struja kratkog spoja (kA)		40 (31,5)	50 (40)	40
Nazivni kratkotrajni podnosivi napon industrijske frekvencije (kV)	Prema zemlji	275	460	380
	Između kontakata	315	530	435
Nazivni podnosivi atmosferski udarni prenapon (kV)	Prema zemlji	650	1050	
	Između kontakata	750	1200	1050+(170) <sup>1</sup>
Nazivni podnosivi sklopni udarni prenapon (kV)	Prema zemlji	--		850
	Između kontakata	--		700+(245) <sup>2</sup>
Temperatura okoline (°C)		od -30 do 40		
Klizna staza (mm/kV)		19-25-(31) <sup>3</sup>		
Pogonski mehanizam	Prekidač	Hidraulički		
	Rastavljač	Hidraulički		
	Zemljospojnik	Motor		

<sup>1</sup> Vršna vrijednost

<sup>2</sup> Vršna vrijednost

<sup>3</sup> Opcija



Slika 5. Objedinjavanje pojedinih aparata promatrano na presjeku polja

- Rastavljač:
  - Prekidanje struje prilikom prijelaza s jednog na drugi sabirnički sustav 100 puta
  - Prekidanje bez tereta 3,000 puta

- Uzemljivač:

- Prekidanje bez tereta 2,000 puta.

Za potrebe detaljne kontrole i pregleda TSMAIS®-a potrebno ga je fizički isključiti iz primarnog strujnog kruga i uzemljiti što s obzirom na relativno rijetku potrebu za ovakvim održavanjem uz primjenu odgovarajućih vijčanih stezaljki ne predstavlja nikakav problem.

## 5. PRIMJENA TSMAIS® U RASKLOPNIM POSTROJENJIMA

Primjena ovako integriranog aparata u rasklopnim postrojenjima potpuno se intuitivno nameće kao dobro rješenje. Smanjen broj elemenata postrojenja, količina čelične konstrukcije, ožičenje, uzemljenje, potreban prostor, nema otvorenih rastavnih mjesta izloženih utjecaju atmosferilija. Samo smanjenje potrebnog prostora prvenstveno ovisi o jednopolnoj shemi i koncepciji postrojenja. Na sl. 5 prikazano je rješenje vodnog polja s dva sustava sabirnica u klasičnoj izvedbi i u izvedbi s TSMAIS®-om. Ovakav izgled postrojenja vrlo se često sreće i transformatorskim stanicama u Japanu, ali i drugdje na dalekom istoku. Na slici je prikazano kako objedinjavanje pojedinih elemenata zrakom izoliranog postrojenja pojednostavljuje izvedbu postrojenja i omogućava njegovo smanjenje. Ne treba posebno napominjati smanjenje vremena izgradnje i održavanja, a kako posljedicu smanjenog broja elemenata postrojenja.

### 5.1. Primjena TSMAIS® u rasklopnom postrojenju tipske TS 110/20 kV

Jednopolna shema rasklopnog postrojenja tipske transformatorske stanice je H shema sa sekcioniranim sabirnicama i mogućnosti proširenja za još dva vodna polja. Za smještaj postrojenja, računajući prometnice unutar rasklopnog postrojenja, potrebna je površina dimenzija od oko 60x45 m (TS 110/20 kV Dunat).

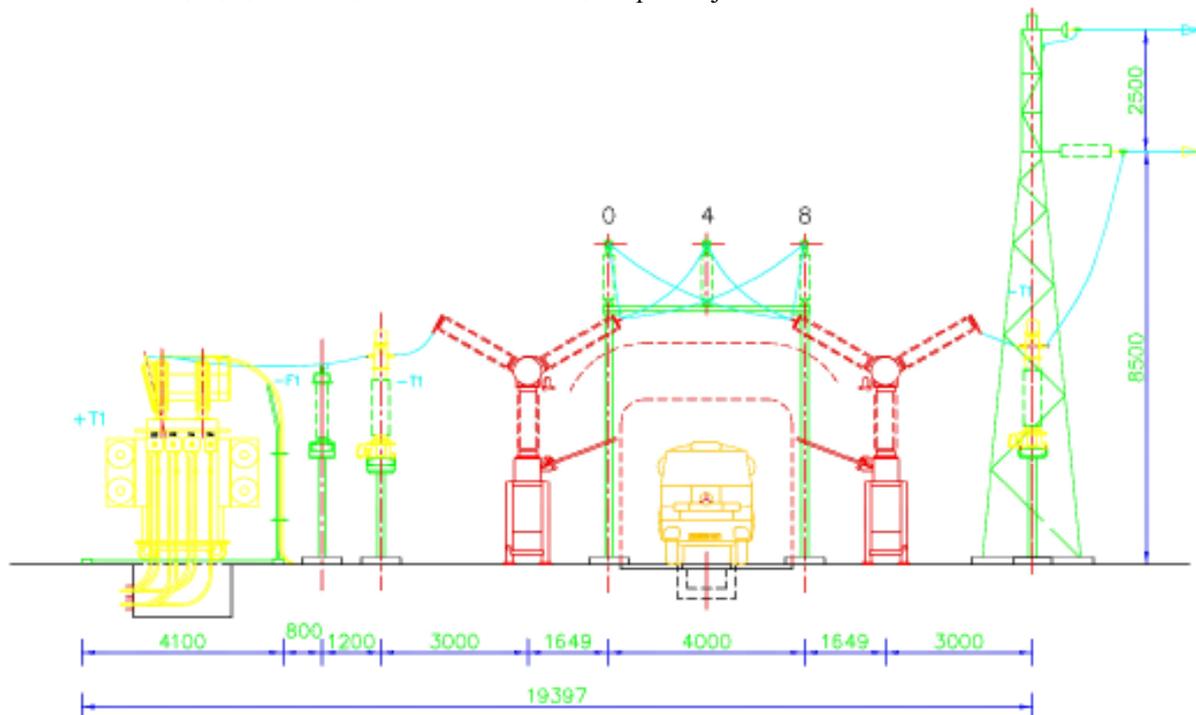
Navedena površina ne obuhvaća zgradu sredjonaponskog postrojenja i pomoćnih pogona. Širina vodnih i transformatorskih polja je 9 m, a dužina 14,3 m, odnosno 17,8 m, mjereno od simetrale sabirničkog sustava do simetrale izlaznog portala, odnosno uključujući uljni lijevak energetskog transformatora. I u vodnom polju i u transformatorskom polju između strujnog transformatora i prekidača prolazi cesta širine 3,5 m što čini oko 25% vodnog polja i oko 20% transformatorskog polja s uljnim lijevkom transformatora.

Ukoliko se izvrši zamjena sabirničkih rastavljača, prekidača i ukoliko se ne insistira na dodatnom linijskom rastavljaču nego njegovu funkciju preuzima prekidač s mogućnošću razdvajanja unutar TSMAIS®-u, dobivamo u vodnom polju shemu kao što je prikazana na sl. 1 (TSMAIS®) s time da je samo jedan sabirnički sustav pa tako i samo jedan sabirnički rastavljač. Premda se zamjenom tri aparata na jednopolnoj shemi može očekivati i znatan dobitak na prostoru to u stvarnosti nije tako. Na prethodno opisanom postrojenju tipske transformatorske stanice ne može se očekivati znatno smanjenje prostora za postrojenje ovakvom integracijom iz razloga što veliki postotak polja otpada na servisnu prometnicu između strujnog transformatora i prekidača. S druge strane postavlja se pitanje da li su smanjenjem potrebe održavanja aparata ove prometnice uopće potrebne. Za redovan nadzor i održavanje u ovako malim rasklopištima servisne ceste uz prekidače vjerojatno nisu potrebne, a ukoliko dođe do neke veće havarije i potrebe za promjenom cijelog aparata, s obzirom na veličinu postrojenja, zamjena se može izvršiti postavljanjem autodizalice na rub postrojenja. Ukoliko razmotrimo takvu koncepciju postrojenja dolazimo do značaj-

nog smanjenja potrebnog prostora te do veće integracije što nas vodi do prednosti navedenih u okviru:

- TSMAIS® instaliran djelomično ispod sabirničkog sustava
- Mogućnost izbacivanja izlaznog rastavljača i uzemljivača
- Smanjenje potrebne površine za izgradnju postrojenja
- Ušteda u čeličnoj konstrukciji, uzemljenju, gromobranskoj zaštiti, kabliranju, montaži i potrebi održavanja
- Skraćeno vrijeme izgradnje postrojenja
- Povećana otpornost na atmosferske utjecaje

Na sl. 6 se vidi idejno rješenje presjeka transformatorskog i vodnog polja s mogućnošću kolnog prilaza ispod sabirnica što bi omogućilo dopremu opreme i alata manjih gabarita vozilom u centar rasklopišta, ali naravno ne i rad s autodizalicom. Ovakav je pristup neobičajan i može izazvati nelagodu za onoga tko održava postrojenje. Dodatno se može ispod sabirnica postaviti i uzemljena mreža kako bi se smanjili elektromagnetski utjecaji ispod istih, ali i mehanički zaštitio prostor ispod sabirnica te spriječili ugrožavanje naponskih razmaka. Prometnice bi trebalo zadržati naravno sa strane postrojenja i ispred transformatora, a postoji i mogućnost predviđanja platoa između energetskih transformatora na kojem bi se omogućio smještaj autodizalice za potrebe pristupa središnjem dijelu postrojenja. Navedeno bi zahtijevalo izmicanje protupožarnog zida prema jednom od transformatora.



Slika 6. Idejno rješenje transformatorskog i vodnog polja

Naravno treba napomenuti dvije stvari. Prva je da je ovdje promatrani TSMAS izrađen za viši naponski nivo nego što je tipska transformatorska stanica, te da je zbog toga i nešto većih dimenzija nego što bi bio da je za odgovarajući naponski nivo. Druga je da bi se trebalo razmotriti i eventualno smanjenje širine poja, a s obzirom na primjenu opreme i smanjene potrebe održavanja.

## 6. ZAKLJUČAK

Nova koncepcija opreme sa sobom ne donosi samo promjenu jednopolne sheme i upravljanja nego potpuno novi način razmišljanja o opremanju i održavanju postrojenja. Sama primjena opreme ne znači mnogo ukoliko se ujedno ne radi i na promjeni koncepcije upravljanja i održavanja, a najbolji rezultati se postižu sinergijom svih faktora.

## LITERATURA

- [1] TMT&D Corporation: "145 kV Integrated Air Insulated Switchgear"
- [2] TMT&D Corporation: "245/300 kV Integrated Air Insulated Switchgear"
- [3] H. TAKAGI, A. KOBAYASHI, H. KANETA, E. MATSUMOTO, H. FURUTA and K. BANNAI: "145/245kV New Concept Integrated Air Insulated Switchgear", TMT&D Review Vol. 1, No.4, 2003.
- [4] Končar – Inženjering za energetiku i transport: "Glavni projekt TS 110/20 kV Dunat"

## INTEGRATED AIR INSULATED STATION

In this review paper a very interesting solution of some classical air insulated apparatus integration into a multifunctional apparatus is given that unites busbar dis-

connectors, circuit-breaker, grounding, and by its combination the outgoing disconnector in the switching substation becomes unnecessary. That enables decrease in space needed for substation construction, less work on construction and maintenance, as well as lower costs of maintenance and increase in substation availability. Finally, a prefeasibility solution of a typical transformer station "mutation" by the described method is given.

## LUFTISOLIERTE ANLAGE IN GEDRUNGENER BAUWEISE

In diesem Übersichtsartikel wird die Verknüpfung der Apparate klassischer, luftisolierter Anlage: Sammelschienenentrennschalter, Leistungsschalter und Erder in einen kompakten Mehrzweck-Bausatz dargestellt. Eine sehr interessante Lösung, bei welcher sich durch eine entsprechende Kombination im Fernleitungsfeld der Ausgangstrennschalter erübrigt. Dadurch wird die Raumersparung beim Bau der Anlagen, die Herabsetzung notwendiger Bau- und Instandhaltungsarbeiten und der darauf entfallenden Kosten erzielt, sowie die Verfügbarkeit der Anlage erhöht.

Zum Schluss ist ein Entwurf der Umwandlung eines in Betracht gezogenen typisierten Umspannerwerkes in einen kompakten gegeben.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Borko Frühwirth, dipl. ing.**  
**Končar – Inženjering za energetiku**  
**i transport d.d. Zagreb**  
**Fallerovo šetalište 22**  
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
 2004 – 04 – 30.