

**9. savjetovanje HRO CIGRÉ**  
**Cavtat, 8. - 12. studenoga 2009.**

Mario Brčić, dipl. ing.  
KONČAR – Generatori i motori d.d.  
[mbrcic@koncar-gim.hr](mailto:mbrcic@koncar-gim.hr)

Mr. sc. Branko Tomičić, dipl. ing.  
KONČAR – Generatori i motori d.d.  
[btomicic@koncar-gim.hr](mailto:btomicic@koncar-gim.hr)

Edvin Havić, dipl. ing.  
KONČAR – Generatori i motori d.d.  
[dhavic@koncar-gim.hr](mailto:dhavic@koncar-gim.hr)

Dag Rodinis  
KONČAR – Generatori i motori d.d.  
[drodinis@koncar-gim.hr](mailto:drodinis@koncar-gim.hr)

Željko Horvatić, dipl. ing.  
KONČAR – Generatori i motori d.d.  
[zhorvatic@koncar-gim.hr](mailto:zhorvatic@koncar-gim.hr)

## **MOTOR-GENERATORSKI SET ZA OPREMANJE ISPITNE STANICE TVORNIČE TRANSFORMATORA**

### **SAŽETAK**

U članku je opisana oprema isporučena za modernizaciju ispitne stanice tvornice transformatora. Sastoji se od dva generator-motorska seta. Veći set se sastoji od sinkronog turbogeneratorske snage 40 MVA, frekvencije 50/60 Hz i asinkronog motora 5 MW, dok se manji set sastoji od generatora snage 5 MVA frekvencije 200 Hz i asinkronog motora 1,5 MW.

Turbogenerator 40 MVA je u biti kompenzator sa nazivnim faktorom snage  $\cos \varphi=0,1$ .

Generator-motorski setovi su tvornički izrađeni i ispitani kao cjelina te je transport izvršen u "jednom komadu" što znači da je cijeli set generator-motor transportiran na vlastitoj temeljnoj ploči.

**Ključne riječi:** sinkroni generator, kompenzator, asinkroni motor, opremanje ispitne stanice

## **MOTOR-GENERATOR SET FOR TESTING LABORATORY OF POWER TRANSFORMER FACTORY**

### **SUMMARY**

In this article is described equipment supplied for modernization one testing laboratory of power transformer factory. Its consist two generator-motor sets. The larger set consist synchronous turbo generator 40 MVA, frequencies of 50/60 Hz and asynchronous motor 5 MW. The smaller set consist synchronous generator 5 MVA, frequencies of 200 Hz and asynchronous motor 1,5 MW. Turbo generator 40 MVA is in fact compensator because its rated power factor is  $\cos \varphi=0,1$ .

Generator-motors sets are completed in factory and tested as one complete. The transport is made "in one piece", what means that whole sets generator-motor are transported whit own base plate.

**Key words:** synchronous generator, compensator, asynchronous motor, equipping test laboratory

## 1. UVOD

Gotovo svaka ispitna stanica tvornice transformatora opremljena je agregatima za napajanje transformatora prilikom ispitivanja.

Ovisno o potrebama tvornice, odnosno o veličini (snazi, naponu) transformatora koje tvornica proizvodi, odabire se potrebna snaga agregata za ispitivanje. Za uobičajena ispitivanja transformatora, poput praznoga hoda i kratkoga spoja, prvenstveno je potrebna velika jalova energija, te su stoga generatori preko kojih se napajaju ispitivani transformatori projektirani tako da imaju relativno veliku prividnu snagu uz mali faktor snage ( $\cos \varphi$ ). Takvi generatori se u praksi nazivaju kompenzatori. Oba seta agregata mogu napajati ispitnu stanicu električnom energijom podesivog napona i frekvencije. Generatori imaju mogućnost podešavanja izlaznog napona od minimalnog, određenog remanentnim magnetizmom, do nazivnog i mogućnost podešavanja frekvencije oko radnih točaka na 50 i 60 Hz.

Generatori su prvenstveno terećeni simetričnim trofaznim teretom i nesimetričnim dvofaznim teretom. Frekvencija seta 40 MVA je 50 i 60 Hz što znači da se generator i motor mogu vrtjeti na  $3000 \text{ min}^{-1}$  i na  $3600 \text{ min}^{-1}$ . Frekvencija manjeg seta (5 MVA) je 200 Hz i on se vrti na  $1500 \text{ min}^{-1}$ . Oba pogonska motora se napajaju preko jednog zajedničkog pretvarača frekvencije za napajanje i regulaciju brzine vrtnje. Napajanje preko pretvarača frekvencije omogućuje lagano pokretanje generator-motorskog seta, tj. struje pokretanja motora su relativno male i bez udaraca na mrežu a ujedno je omogućeno podešavanje frekvencije generatora unutar uskih tolerancija.

## 2. OPIS AGREGATA

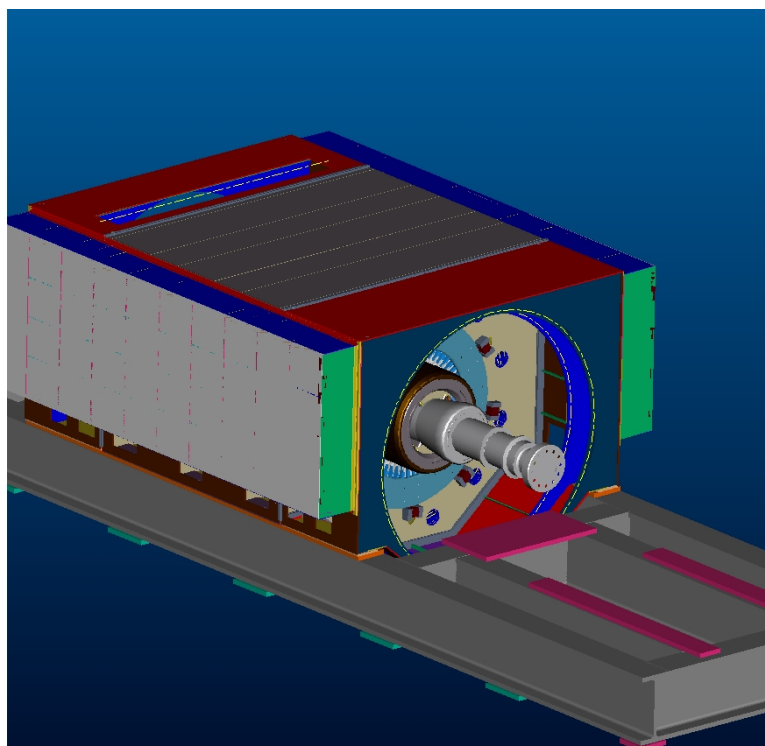
Kao što je već spomenuto veći agregat se sastoji od turbogeneratora snage 40 MVA, frekvencije 50/60 Hz i motora 5 MW, dok se manji agregat sastoji od generatora snage 5 MVA frekvencije 200 Hz i motora 1,5 MW. U tablicama 1 i 2 dani su osnovni podaci obaju agregata.

**Tablica 1.** Osnovni podaci agregata 40 MVA

AGREGAT 40 MVA - TURBOGENERATOR	
Tip	SB 1726-2
Primjenjeni propisi i standardi	IEC, VDE, DIN
Prividna snaga	40MVA
Nazivni napon	10 KV
Regulacija napona	+/- 5%
Nazivna struja	2309 A
Regulacija struje	-/+ 5%
Spoj faza statora	Zvijezda
Nazivni faktor snage	$\cos \varphi=0.1$
Nazivna frekvencija	50/60 Hz
Nazivna brzina vrtnje	3000/3600 rpm
Brzina pobjega	4320 rpm
Uzbuda	Beskontaktna
Početno uzbuđivanje	PMG
Nazivna snaga sa 3 opterećene faze statora	40000 kVA
Nazivna snaga sa 2 opterećene faze statora	7200 kVA
Tip hlađenja	IC7A1W7
Razina buke generatora	90 dBA
Mehanička zaštita	IP54
Dopustivo kratkotrajno preopterećenje	1.5 p.u.
- trajanje	30 sec
Maksimalna distorzija napona	1 %
Klasa izolacije	F

Zagrijavanje	U klasi B
AGREGAT 40 MVA - MOTOR	
Tip	6AJV3 710S2-2
Nazivna snaga	5000 kW
Nazivni napon	3.3 kV
Nazivna frekvencija	50/60 Hz

Za izradu kompleta radioničkih nacrtā prema kojima su izrađeni agregati korišten je 3D program za modeliranje. Svi sklopovi su „sastavljeni“ u modelu i provjerena je njihova mehanička kompatibilnost. Na slici 1. je prikazan model turbogeneratora 40 MVA.



Slika 1. Model turbogeneratora 40 MVA na vlastitoj temeljnoj ploči

**Tablica 2.** Osnovni podaci agregata 5 MVA

AGREGAT 5 MVA - GENERATOR	
Tip	
Primjenjeni propisi i standardi	IEC, VDE, DIN
Prividna snaga	5 MVA
Nazivni napon	6 KV
Regulacija napona	+/- 5%
Nazivna struja	481 A
Regulacija struje	-/+ 5%
Spoj faza statora	Trokut / Zvijezda
Nazivni faktor snage	$\cos \varphi=0$
Nazivna brzina vrtnje	1500 rpm
Nazivna frekvencija	200 Hz

Uzbuda	Beskontaktna
Početno uzbuđivanje	PMG
Nazivna snaga sa 3 opterećene faze statora	5000 kVA
Nazivna snaga sa 2 opterećene faze statora	1300 kVA
Tip hlađenja	IC 81W
Razina buke generatora	85 dBA
Mehanička zaštita	IP54
Maksimalna distorzija napona	1 %
Klasa izolacije	F
Zagrijavanje	U klasi B
AGREGAT 5 MVA - MOTOR	
Tip	6AJV3 500S2-4
Nazivna snaga	1500 kW
Nazivni napon	3.3 kV
Nazivna frekvencija	50 Hz

## 2.1. Turbogenerator 40 MVA

Generator tip SB 1726-2 je trofazni sinkroni zrakom hlađeni turbogenerator s cilindričnim dvopolnim rotorom projektiran i konstruiran za rad na mrežama frekvencije 50 i 60 Hz, te spoj s motorom 6AJV3 710S2-2. Brzina vrtnje generatora je 3000 o/min i 3600 o/min. Generator je projektiran da može raditi sa jednofaznim, dvofaznim i trofaznim opterećenjem.

Nazivna prividna snaga generatora je 40 MVA, uz nazivni faktor snage  $\cos\varphi = 0.1$  induktivno i nazivni napon 10 kV u spoju zvijezda, te 5.77 kV u spoju trokut. Nazivna aktivna snaga je 4 MW. Uzbudni sustav je bezkontaktnog tipa s uzbuđnikom 21SU 450-6. Generator je projektiran i izrađen u skladu s preporukama IEC 60034.

Oblik stroja je IM 7115 prema preporukama IEC 60034-7. Generator je horizontalne izvedbe, a rotor je kruto spojen, adekvatno dimenzioniranom prirubnicom, s motorom. Generator i motor su postavljeni na zasebnu temeljnu ploču, koja je ugrađena u pod strojarnice. Kućište statora generatora je upušteno u temeljnoj ploči.

Kućište statora generatora je jednodjelno, izvedeno u zavarenoj konstrukciji od valjanih čeličnih limova i profila, ukručeno uzdužnim i poprečnim rebrima, te cijevnim kanalima. U kućište statora preko elastičnih letvi ugrađen je statorski paket s namotom. Konstrukcija kućišta je izvedena tako da osigurava kompaktnost i krutost, te zadovoljava opterećenja trajnog rada pri nazivnim pogonskim uvjetima. Kućište je dimenzionirano tako da naprezanja nastala prilikom udarnih kratkih spojeva na izvodima generatora ne izazivaju deformacije. Ovakva konstrukcija osigurava miran rad generatora s niskom bukom i malim vibracijama. S gornje strane kućišta na strani uzbuđnika, suprotno pogonskoj strani, smješteno je šest izvoda statorskog namota koji su spojeni na priključnu ploču izrađenu od izolacijskog materijala.

Statorski paket je sastavljen iz segmenata hladno valjanog, orijentiranog, silicijem legiranog lima M270-50A debljine 0.5 mm sa specijalnim magnetskim i tehnološkim karakteristikama. Površina lima je obostrano zaštićena izolacijskim lakom. Magnetske i tehnološke karakteristike lima definirane su preporukama IEC 600404-8-4 i IEC 600404-1, odnosno EN10106. Segmenti limova su iz traka izrezani laserskom tehnologijom, koja osigurava minimalni srh, te dalje u tehnološkom postupku obostrano premazani dodatnim slojem izolacijskog laka temperaturne otpornosti prema preporukama IEC 60085 čija tipska vrijednost dostiže toplinsku klasu H. Gotovi segmenti su ispitani prema preporukama IEC 600404-11, a otpor izolacije svakog segmenta je u pravilu veći od  $3000 \Omega\text{cm}^2$ . Na oba kraja paketa trapezne letve su električki kratko spojene prstenima, koji se sastoje od segmentnih aluminijskih limova. Ovim "statorskim prigušnim kavezom" osigurava se smanjenje vibracija koje su posljedica elektromagnetskih prilika u generatoru, odnosno utječe se na mirniji i tiši rad turbogeneratora, te se smanjuju gubici rasipnih tokova u konstrukcijskim dijelovima.

Statorski namot je izveden kao dvoslojni štapni petljasti namot s jednom paralelnom granom. Glave namota imaju oblik evolvente koji je karakterističan za turbogeneratore. Štap statorskog namota sastavljen je od dionih vodiča. Dionih vodiči su od profilnog elektrolitskog bakra visoke električne vodljivosti, izolirani izolacijom od staklenih niti lakiranih modificiranim poliester lakom (oznake LGGL-F-0.3 ECu 58 F20). Na ravnom dijelu štapa izveden je preplet dionih vodiča, odnosno transpozicija vodiča po

visini utora za 360° na dva štapa u petlji (tzv. "ROEBEL štap"). Izolacijski sustav kojim su izolirani štapovi statorskog namota je na bazi predimpregnirane tinčeve vrpce (RESIN RICH SYSTEM) tvorničkog naziva "KG-RR" prema tvorničkoj normi. Izolacijski sustav "KG-RR" se primjenjuje kod generatora nazivnih napona  $U_n \leq 24\text{kV}$  u toplinskoj klasi F (155°C). Svi ugrađeni izolacijski materijali su klase F, dok je generator projektiran za nazivni rad s dopuštenim porastom temperatura u okviru klase B definirane preporukama IEC60034-1.

Rotor generatora se oslanja na dva klizna samostojeća ležaja pričvršćena na temeljnu ploču. Tijelo rotora je jednodijelni masivni komad, iskovan od visoko kvalitetnog legiranog nikal-krom-molibden čelika pažljivo poboljšanog radi postizanja mehaničkih svojstava. Kakvoća tijela rotora utvrđena je najmodernijim metodama kod proizvođača prilikom preuzimanja. Na specificiranim mjestima iz otkova su uzeti uzorci za radijalne, aksijalne i tangencijalne probe. Na uzorcima se utvrđuju magnetska svojstva, vlačna čvrstoća, granica tečenja, istezanje i žilavost, te se radi rendgenska slika. Izvodi se velik broj kemijskih i metalografskih ispitivanja, kojima se utvrđuje kvaliteta tijela rotora. Mjesta s najvećim specifičnim opterećenjima, dno utora, utorski zub, rukavci ležajeva proračunati su za sile i momente maksimalnih naprezanja koja nastaju u vrtnji na brzini pobjega, odnosno uslijed dvopolnog kratkog spoja generatora.

Uzdruž tijela rotora, simetrično s obje strane, izgledani su utori za smještaj uzbudnog rotorskog namota. Uzbudni namot je izveden od prostorno raspoređenih koncentričnih uložnih svitaka serijski spojenih tako da čine dvopolni elektromagnet. Vodiči uzbudnog namota su izrađeni od profiliranog srebrom legiranog bakra (CuAg0.1P F25, DIN 17666, DIN 46433). Ugradnjom ovog materijala poboljšavaju se mehanička svojstva namota, a osobito otpornost prema puzanju. Vodič rotorskog namota je izrađen iz dva dijela tj diona vodiča kako bi se omogućilo efikasno hlađenje glava namota. Namot se direktno hladi zrakom. U dijelu namota koji se nalazi u utoru izrađeni su radijalni rashladni kanali između dva diona vodiča, dok su u većem dionom vodiču, u glavama namota izvedeni poprečni koncentrični rashladni kanali na lukovima glava namota. Glavna utorska izolacija rotorskog namota izrađena je od staklenog tvrdog tkiva s epoksidnom smolom, pojačana u sredini s Nomex-om. U dnu utora je izolacija u obliku "L" profila pojačana debljom stijenkom koja osigurava potrebne razmake za sprečavanje nastanka puznih staza. S donje strane svakog vodiča postavljena je međuzavojna izolacija. Vodiči uzbudnog i prigušnog namota čvrsto su zaklinjeni u utoru nemagnetskim klinovima, koji osiguravaju namot pri djelovanju centrifugalne sile. Klinovi po svojoj aksijalnoj duljini imaju izbušene radijalne otvore, koji omogućavaju prolaz zraka iz radijalnih rashladnih kanala rotorskog namota u zračni raspor.

Prigušni namot je dimenzioniran tako da osigura rad generatora s dvije i jednom opterećenom fazom, prema tehničkim specifikacijama. Prigušni namot također je dimenzioniran za trajno, nesimetrično opterećenje (sve tri faze opterećene)  $I_2/I_N=0.2$  prema važećim preporukama IEC 60034-1 i za maksimalno nesimetrično opterećenje u uvjetima kvara  $(I_2/I_N)^2 t = 20$  prema istom propisu.

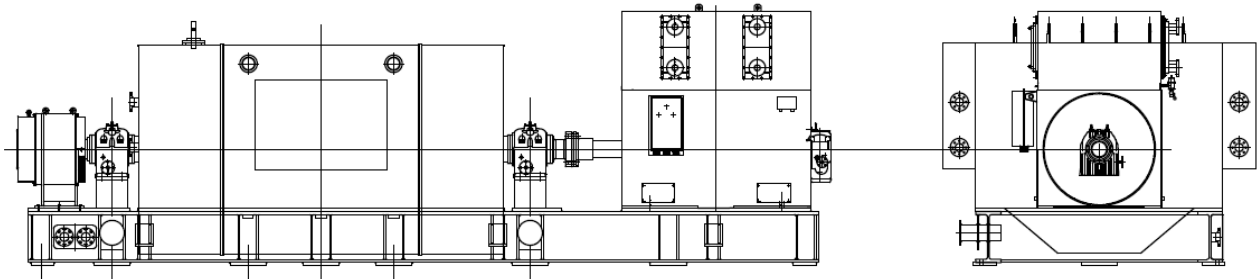
Rotorske kape su mehanički najopterećeniji dio generatora. One moraju izdržati centrifugalne sile nastale u vrtnji uslijed masa glava rotorskog namota, sile vlastitih težina i sile nastale kao posljedica zagrijavanja. Rotorske kape su izrađene od kovanog nemagnetskog nehrđajućeg čelika velike čvrstoće. Svojstvo materijala za rotorske kape je velika otpornost prema napetostnoj koroziji i visoka pukotinska žilavost, odnosno vrlo niska brzina propagiranja pukotina. Kape su lebdećeg tipa s jednim steznim dosjedom na tijelu rotora. Takva konstrukcija omogućava rotorskoj kapi da u radu prati dilatacije tijela rotora, sa kojim čini cjelinu.

Sustav uzbuđe generatora izveden je kao beskontaktni tip ubude, dizajniran i testiran prema tvorničkim standardima. Sastoji se sinkronog uzbudnika, rotirajućeg ispravljača s diodama i nelinearnim otpornicima, sistema za brzo uzbuđivanje i razbuđivanje, prekidača uzbuđe, automatskog regulatora napona i ostale opreme. Sinkroni uzbudnik, rotirajući ispravljač i rotirajući nelinearni otpornici smješteni su u zasebnom kućištu na slobodnoj strani rotorske osovine i ventilirani su vlastitim ventilatorom u zasebnom otvorenom krugu. Uzbudnik je sinkroni trofazni generator, hlađen zrakom, sa 6 polova na statoru i rotirajućim armaturnim namotom. Uzbuda za uzbudnik napajana je iz mreže. Namot uzbudnika izveden je u F klasi izolacije. Rotirajući ispravljač je trofazni diodni most spojen na armaturu sinkronog uzbudnika. U njegovom sklopu nalazi se i zaštitni uređaj (nelinearni otpornici - varistori) kao zaštita od prenapona i tranzijentnih napona u krugu ispravljača.

Hlađenje generatora je tipa IC7 A1 W7 prema preporukama IEC 60034-6, što znači da je ostvareno cirkulacijom zraka u primarnom krugu, a toplina preuzeta zrakom se odvodi preko hladnjaka zraka koji kao rashladni medij u svom sekundarnom krugu koristi vodu. Hladnjaci zraka smješteni su na bočnim stranicama kućišta statora i zatvoreni su odgovarajućim pokrovom. Cirkulacija rashladnog zraka u generatoru ostvarena je aksijalnim ventilatorima koji su smješteni s obje strane rotora, te ventilacijskim djelovanjem samog rotora. Aksijalni ventilatori se sastoje od ventilatorskih lopatica montiranih na proširenju tijela rotora, u prikladnim utorima. Lopatice su izrađene od aluminijske legure.

Da bi se kondenzacija vlage iz rashladnog zraka u generatoru svela na najmanju mjeru, rashladni sustav je tako izveden da osigurava stabilne toplinske uvjete pri promjenama temperature rashladne vode. Sprječavanje kondenzacije vlage iz zraka u režimu mirovanja generatora osigurano je ugradnjom grijača zraka koji se uključuju u rad u tim slučajevima.

Generator je izveden u mehaničkoj zaštiti IP 54 prema preporukama IEC 60034-5. Vibracije generatora su u klasi GOOD prema preporukama ISO 2372 grupa T.



Slika 2. Skica agregata 40 MVA

Temeljna ploča se na radilištu zalijeva sekundarnim betonom na primarni temelj agregata.

## 2.2. Generator 5 MVA

Trofazni 16-polni sinkroni generator tipne oznake SB 1259-16 namjenjen je za rad na vlastitoj mreži promjenjivog iznosa napona i frekvencije. Generator je mehanički spojen s 4-polnim asinkronim motorom tipe oznake 6AJV3 500S2-4 koji se napaja iz frekvencijskog pretvarača. Agregat je horizontalne izvedbe, a oba stroja su postavljena na zasebnu temeljnu ploču, koja je ugrađena u pod strojarnice.

Kućište statora generatora je jednodjelno, izvedeno u zavarenoj konstrukciji od valjanih čeličnih limova i profila, ukrućeno uzdužnim i poprečnim rebrima, te cijevnim kanalima. U kućište statora ugrađen je statorski paket s namotom. Konstrukcija kućišta je izvedena tako da osigurava kompaktnost i krutost, te zadovoljava opterećenja trajnog rada pri nazivnim pogonskim uvjetima. Kućište je dimenzionirano tako da naprezanja nastala prilikom udarnih kratkih spojeva na izvodima generatora ne izazivaju deformacije. Ovakvom konstrukcijom osiguran je miran rad uz nisku razinu buke i male vibracije.

Zbog frekvencije okretnog polja, koja u slučaju ovoga stroja višestruko premašuje uobičajene iznose, za izvedbu statorskog paketa odabran je hladno valjani, neorijentirani, dinamo lim kvalitete M250-35A. Debljina svakoga lima iznosi 0,35 mm, a njegova površina je obostrano zaštićena izolacijskim lakom. Na statoru se nalaze ravnomjerno raspoređeni utori u koje je smješten armaturni namot. Utori su pravokutnoga oblika, a zatvoreni su klinovima načinjenim od tvrdog staklenog tkiva. Statorski paket je izveden od 19 dionih paketa između kojih je razmak od 6 mm radi hlađenja. Paket je izveden sa skošenjem utora za jedan utorski korak kako bi se postigao povoljniji valni oblik napona na stezaljkama.

Armaturni namot načinjen je od pravokutnih bakrenih vodiča izoliranih staklom i lakom. Zbog velikog napona između zavoja, svaki je zavoj dodatno izoliran materijalom na bazi tinjca i smole kako bi se poboljšala kvaliteta stroja i pogonska sigurnost. Glavna izolacija također je načinjena od materijala na bazi tinjca i smole u diskontinuiranoj izvedbi čime je osigurana zamjenjivost svitaka u slučaju kvara. Namot svake faze je izveden s dvije paralelne grane. Spoj namota za nazivni rad s trofaznim simetričnim opterećenjem je trokut. Svi počeci i krajevi namota izvedeni su u priključnu kutiju, te se na zahvaljujući tomu mogu realizirati i drugi spojevi potrebni za jednofazno i dvofazno opterećenje.

Rotor ima istaknute polove, a zračni raspored je oblikovan tako da se njegov iznos povećava od sredine pola prema krajevima po zakonu kosinusne funkcije. Ovakvom izvedbom se postigao najpovoljniji valni oblik napona na stezaljkama armature, a zahtjev za odstupanjem valnoga oblika od sinusnog je u slučaju ovoga generatora vrlo strog, te ne smije premašiti iznos od 1,5 %. Na svakom polnom stopalu nalazi se 5 rupa za smještaj prigušnog namota. Polovi rotora načinjeni su od čeličnih limova debljine 5 mm. Učvršćenje polova na glavinu je u obliku lastina repa pomoću klinova.

Rotorski namot je načinjen od plosnatih bakrenih vodiča između kojih se nalazi izolacija na bazi smole. Svici rotorskog namota oblikovani su namatanjem vodiča na kalupe te su naknadno navučeni na polove. Između rotorskog paketa i namota nalazi se izolacija debljine 3 mm na bazi tvrdog staklenog tkiva. Zbog velikih mehaničkih naprezanja uzrokovanih velikom brzinom vrtnje, na sredini rotora, između

polova, postavljena je potpora radi učvršćenja cijeloga sklopa. Čeone strane namota učvršćene su pomoću krajnjih polnih ploča načinjenih od čelika.

Prigušni namot je načinjen od okruglih bakrenih vodiča koji su na krajevima kratko spojeni. Zbog zahtjeva za nesimetričnim opterećenjem (jednofazno i dvofazno) prigušni je namot dimenzioniran izdašnije nego se to radi kod generatora uobičajene izvedbe. Prsten za kratko spajanje je načinjen od segmenata tvrdoga bakra, koji su međusobno spojeni pomoću spojnica na gotovom rotoru. Time je ostavljena mogućnost zamjene pola u slučaju kvara.

Uzbudni sustav je bezkontaktnog tipa s izmjeničnim uzбудnikom tipne oznake 21SU 450-6. Između armature uzбудnika i uzbuđene generatora nalazi se rotirajući ispravljač načinjen od dioda. Za zaštitu rotorskog namota, u slučaju kvarnih režima rada, ugrađeni su nelinearni otpornici, te spojeni paralelno s namotom uzbuđene. Za regulaciju napona služi automatski digitalni regulator sa svom potrebnom opremom.

Hlađenje generatora je ostvareno strujanjem zraka u zatvorenom krugu generatora. Hlađenje unutrašnjeg zraka obavlja se preko hladnjaka zraka koji kao rashladni medij u svom sekundarnom krugu koriste vodu. Ukupno se nalaze dva hladnjaka zraka koji su smješteni na gornjoj strani kućišta. Cirkulacija rashladnog zraka u generatoru ostvarena je aksijalnim ventilatorima koji su smješteni s obje strane rotora, te ventilacijskim djelovanjem samoga rotora.

### 3. MONTAŽA I ISPITIVANJE AGREGATA

#### 3.1. Montaža i ispitivanje agregata 40 MVA

Montaža u tvornici je izvršena u siječnju 2005. godine. Montaža je izvršena po definiranom programu uz stalne kontrole. Ispitivanja na montiranom generator-motorskom agregatu izvršena su prema unaprijed definiranom planu kontrole kvalitete koji je bio sastavni dio ugovora. Sva su ispitivanja obavljena prema IEC propisima [1], [2]. U tablici 3 je prikazana usporedba ugovorenih, projektiranih i ispitanih podataka. Iz tablice se može vidjeti da su podaci turbogeneratora (zagrijavanja, reaktancije, otpori, vremenske konstante) u skladu s ugovorenim ili bolje od ugovorenih vrijednosti (zagrijavanja, tg  $\delta$ , parcijalna izbijanja, otpor izolacije). Ukupni gubici su manji od ugovorenih vrijednosti tj. korisnost je veća od ugovorene.

**Tablica 3.** Usporedba ugovorenih i izmjerenih podataka agregata 40 MVA

Veličina	Ugovor	Projekt	Ispitivanje
Armaturni namot - $\theta_{\Delta sn}$ (K)	80	-	56,9
Statorski paket - $\theta_{\Delta sp}$ (K)	80	-	30
Uzbudni namot - $\theta_{\Delta rn}$ (K)	90	-	-
PS strana - ležaj (temperatura - °C)	75	-	37,7
BS strana - ležaj (temperatura - °C)	65	-	30,4
Korisnost kod nazivnog opterećenja (%) – 50 / 60 Hz	84,57/ 83,42	84,62/ 83,11	85,07/ 82,25
Sinkrona uzdužna reaktancija $X_{dn}$ (%) – 50 / 60 Hz	-	205,3/ 246,4	206,7/ 253,2
Inverzna reaktancija $X_2$ – 50 / 60 Hz	-	21,7/-	28/ 31,9
tg $\delta$ sta. namota – završno ispitiv. na $U_n$ (%)		< 3	2,0

#### 3.2. Montaža i ispitivanje agregata 5 MVA

Montaža ovoga agregata je načinjena u tvornici u siječnju 2005. godine prema definiranom programu uz stalne kontrole. U istom mjesecu su obavljena i ispitivanja prema planu kontrole kvalitete

koji je bio sastavni dio ugovora. Na slici 3. je prikazan u tvornici montirani agregat 5 MVA spreman za tvornička ispitivanja koja su obavljena prema IEC propisima [1], [2].



Slika 3. Montirani agregat 5 MVA u tvornici

#### 4. OTPREMA I INSTALACIJA AGREGATA

Agregati su u potpunosti montirani u tvornici. Zbog ograničenja mase i gabarita transport agregata 40 MVA je izvršen tako da je turbogenerator transportiran zajedno s temeljnom pločom bez motora i hladnjaka, dok je agregat 5 MVA transportiran u jednom komadu. Na slici 4. prikazan je agregat 40 MVA prilikom transporta na mjesto ugradnje.



Slika 4. Transport turbogeneratora 40 MVA zajedno s temeljnom pločom



Po dolasku agregata na radilište započeta je konačna instalacija agregata. Prvo je bilo potrebno centrirati temeljnu ploču u odnosu na glavni temelj. Na pripremljena mjesta na donjoj strani temeljne ploče pričvršćeni su izdanci koji su zaliveni sekundarnim betonom nakon centriranja. Time je temeljna ploča dobila čvrstu vezu sa betonskom pločom kao primarnim temeljem agregata. Cijela temeljna struktura agregata je elastično vezana za zgradu (amortizerima) da se izbjegne prijenos vibracija s agregata na okolinu zgrade.

Nakon centriranja agregata spojena su priključna mjesta agregata: električni priključci, ulje, rashladna voda.

Prije prve mehaničke vrtnje izvršena je kompletna provjera montaže agregata. Uz prvu mehaničku vrtnju i prvo opterećenje agregata izvršena su završna ispitivanja agregata određena ugovorom, odnosno planom kontrole kvalitete.



Slika 5. Ugradnja agregata 40 MVA

## 5. ZAKLJUČAK

Zahtjev naručitelja za izradu dvaju agregata za opremanje ispitne stanice transformatora u vrlo kratkom roku, pogotovo s obzirom na specifičnosti generatora predstavljala je veliki izazov. Isporučeni generatori spadaju u podvrstu rotacijskih strojeva koji se nazivaju kompenzatori tj. „proizvođači“ jalove energije). Agregati su pušteni u pogon svega 8 mjeseci od potpisa ugovora, što je izuzetno kratak rok s obzirom na rokove nabave ključnih materijala, potrebno vrijeme za izradu dokumentacije i potrebno vrijeme proizvodnje. Nakon provedene instalacije na terenu, stroj radi pod ugovorenim uvjetima i karakteristikama.

## 6. LITERATURA

- [1] IEC 60034-2: Rotating electrical machines. Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles) Measurement of losses by the calorimetric method
- [2] IEC 60034-4: Rotating electrical machines. Methods for determining synchronous machine quantities from tests.