

DOI: [10.46793/CIGRE37.D2.07](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.D2.07)**D2.07****ODRŽAVANJE SCADA/EMS SISTEMA S POSEBNIM OSVRTOM NA FAILOVER
SISTEMA****MAINTENANCE OF SCADA/EMS SYSTEMS WITH SPECIAL REFERENCE TO
SYSTEM FAILOVER****Miljan Jovović, Vuk Grujić, Krsto Radulović, Milan Josifović, Marko Tasić***

Kratak sadržaj: U ovom radu objasnićemo konfiguraciju SCADA/EMS sistema instaliranog u crnogorskom elektroprenosnom sistemu. Ovaj sistem je instaliran na dvije različite lokacije, obje u redundantnoj konfiguraciji. Prikazaćemo različite izazove održavanja ovakvog sistema. Tokom rada, sproveli smo različite testove za failover sistema kako na nivou aplikacija, kao i na nivou servera (uključujući prekid rada virtuelnih ali i fizičkih servera). Takođe, sproveli smo testove prelaska na rezervni sistem na mrežnim uređajima (svičevi i ruteri). Objasnićemo metodologiju testiranja, prezentovaćemo rezultate testova i pružiti sugestije za unapređenje sistema sa aspekta pouzdanijeg rada sistema u različitim konfiguracijama.

Ključne reči: SCADA/EMS sistem, arhitektura sistema, redundantna konfiguracija, failover testovi

Abstract: In this paper, we will explain the configuration of the SCADA/EMS system installed in the Montenegrin electricity transmission system. This system is installed in two different locations, both in a redundant configuration. We will present the various challenges of maintaining such a system. During operation, we conducted various tests for system failover both at the application level and at the server level (including virtual and physical server downtime). Also, we conducted tests of switching to a backup system on network devices (switches and routers). We will explain the testing methodology, present the test results and provide suggestions for improving the system in terms of more reliable system operation in different configurations.

Key words: SCADA/EMS system, system architecture, redundant configuration, failover tests

* Miljan Jovović, CGES - Crnogorski elektroprenosni sistem, Miljan.jovovic@cges.me
Vuk Grujić, CGES - Crnogorski elektroprenosni sistem, Vuk.Grujic@cges.me
Krsto Radulović, CGES - Crnogorski elektroprenosni sistem, Krsto.Radulovic@cges.me
Milan Josifović, Institut Mihajlo Pupin, milan.josifovic@pupin.rs
Marko Tasić, Institut Mihajlo Pupin, marko.tasic@pupin.rs

1 INSTALIRANI SCADA/EMS SISTEM

1.1 Uvod

U toku 2019 godine u CGES-u je instaliran i pušten u rad SCADA/EMS sistem proizvođača General Electric (GE) Digital Grid v3.1. Sistem je instaliran na dvije redundantne lokacije, a na obje lokacije su instalirani redundantni serveri.

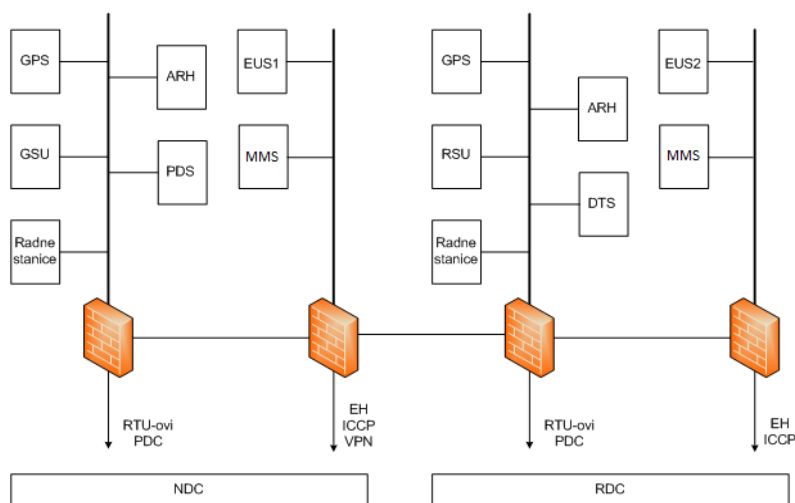
Ovo je prvo iskustvo sa SCADA/EMS sistemom ovog tipa u kompaniji, ali je uprkos dosta izazova sistem uspješno pušten u rad u veoma kratkom roku. Vremenom se sistem konstantno nadograđivao i povećavale su se njegove funkcionalnosti. Kako smo se detaljno upoznali sa sistemom odlučeno je da odradimo provjeru funkcionalnosti svih dijelova ovog sistema u različitim konfiguracijama. Ovaj test je odlična osnova za dalje unapređenje sistema, kao i za planiranu nadogradnju sistema na novu verziju softvera. .

1.2 Arhitektura SCADA/EMS sistema

Sistem daljinskog upravljanja CGES je distribuiran na dvije fizički razdvojene lokacije:

- Nacionalni Dispečerski Centar (NDC)
- Rezervni Dispečerski centar (RDC)

Struktura sistema na ove dvije lokacije je prikazana slikom dolje.



Slika 1: Arhitektura sistema CGES-a

Na lokaciji NDC se implementiraju podsistemi:

- Glavni sistem upravljanja (GSU)
- Sistem održavanja, arhiviranja i bekapovanja (ARH)
- Sistem za razvoj programa (Program Development System – PDS)
- Sistem za podršku spoljnim korisnicima (External User System – EUS I)
- Sistem upravljanja pomoćnim uslugama i publikaciju podataka (MMS)

Na lokaciji RDC se implementiraju podsistemi:

- Rezervni sistem upravljanja (RSU)
- Sistem održavanja, arhiviranja i bekapovanja (ARH)
- Simulator za obuku dispečera (Dispatcher Training Simulator – DTS)
- Sistem za podršku spoljnim korisnicima (External User System – EUS II)
- Sistem upravljanja pomoćnim uslugama i publikaciju podataka (MMS)

U normalnom radu, GSU je aktivni centar upravljanja, dok je RSU u pasivnom režimu. U bilo kom trenutku je moguće zamjeniti režime rada centara, u zavisnosti od operativnih potreba i potreba održavanja.

U cilju ujednačavanja hardverskih komponenti i obezbeđivanja veće fleksibilnosti pri održavanju sistema, odabrano je rešenje zasnovano na virtualizaciji podsistema za rad u realnom vremenu i podsistema za podršku. Koncept podrazumjeva realizaciju računarske mreže korišćenjem 2 para redundantnih svičeva po lokaciji i dva para redundantnih fajervolova. Ovakav koncept omogućava da se koristi manji broj različitih tipova hardverskih komponenti.

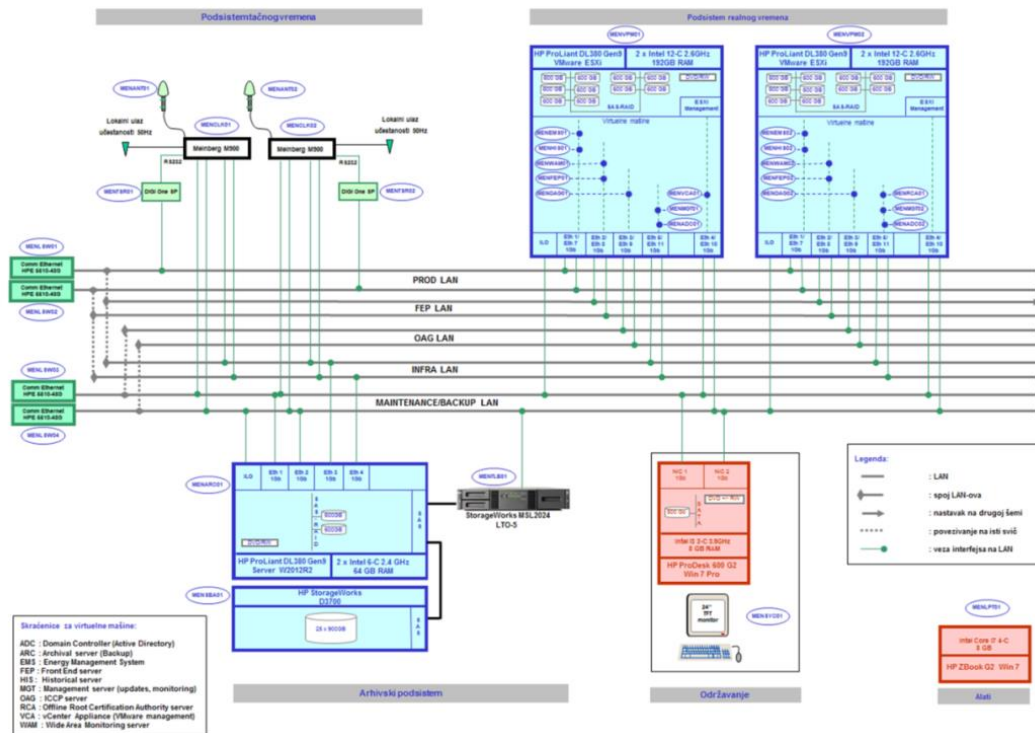
Svi serveri i mrežna oprema su smešteni u standardne ormane HP Rack 10 000 G2 serije. Svi serveri instalirani u ormanima poseduju iLO Advanced interfejs za daljinski pristup za potrebe održavanja.

Sve hardverske komponente u ovakvoj arhitekturi su međusobno povezane na pouzdan način korišćenjem standardne mrežne opreme. Različiti podsistemi na svakoj od lokacija su međusobno umreženi preko odgovarajućih fajervola, koji omogućavaju definisanje pristupa između različitih komponenti na standardan i transparentan način. Relokacija pojedinačnih podsistema se svodi na migraciju odgovarajućih virtuelnih mašina na druge servere u zavisnosti od potreba poslovanja.

Jezgro Glavnog sistema upravljanja čine serveri realnog vremena tipa HP Proliant DL380 Gen9. Rezervni sistem upravljanja je implementiran na identičnom hardveru kao i GSU i sadrži isto virtualizovano softversko okruženje. Visoka raspoloživost sistema je postignuta udvajanjem svih kritičnih hardverskih komponenti. Glavni sistem upravljanja je implementiran na dva fizička servera na kojima se pokreću virtuelne mašine:

- EMS – osnovne SCADA i EMS funkcije
- HIS – server istorijskih podataka (Historical Information Server)
- ADC – kontroler domena (Domain Controller, Active Directory)
- WAMS - Wide Area Monitoring System
- FEP – komunikacioni server (Front End Processor) za komunikaciju sa RTU-ovima
- OAG – server za ICCP komunikaciju sa SCADA sistemima drugih kompanija (Open Access Gateway)

- MGT – održavanje, nadzor, ažuriranje
- VCA – vCenter Appliance (VMware management)
- RCA - Offline Root Certification Authority server



Slika 2: Arhitektura GSU

2 EKSPLOATACIJA SISTEMA

Praćenje u realnom vremenu je osnovna funkcija SCADA sistema, a redovne provjere performansi osiguravaju da svi komponente funkcionišu kako treba te se u CGES-u u tu svrhu vrše redovne provjere sistema:

- **Rutinske provjere hardvera:** Komponente treba redovno provjeravati zbog fizičkog habanja, uticaja vibracija, pregrijavanja ili bilo kakvih znakova kvara. Napajanje, rashladni sistemi i rezervna napajanja trebaju se održavati kako bi bili operativni u slučaju nestanka struje.
- **Redundansa:** SCADA/EMS sistemi često koriste redundantne hardverske postavke kako bi obezbijedili kontinuitet servisa u slučaju kvara. Redovno testiranje ovih redundantnih sistema je ključno kako bi se osigurala njihova spremnost tokom vanrednih situacija.
- **Integritet mreže:** Komunikacione mreže su osnova SCADA/EMS sistema. Održavanje sigurnih i pouzdanih komunikacionih kanala između centralnog kontrolnog sistema i uređaja u razvodnim postrojenjima je od presudne važnosti. Mrežni uređaji kao što su svičevi, ruteri i *firewall*-ovi trebaju se redovno provjeravati zbog kvarova ili sigurnosnih slabosti.

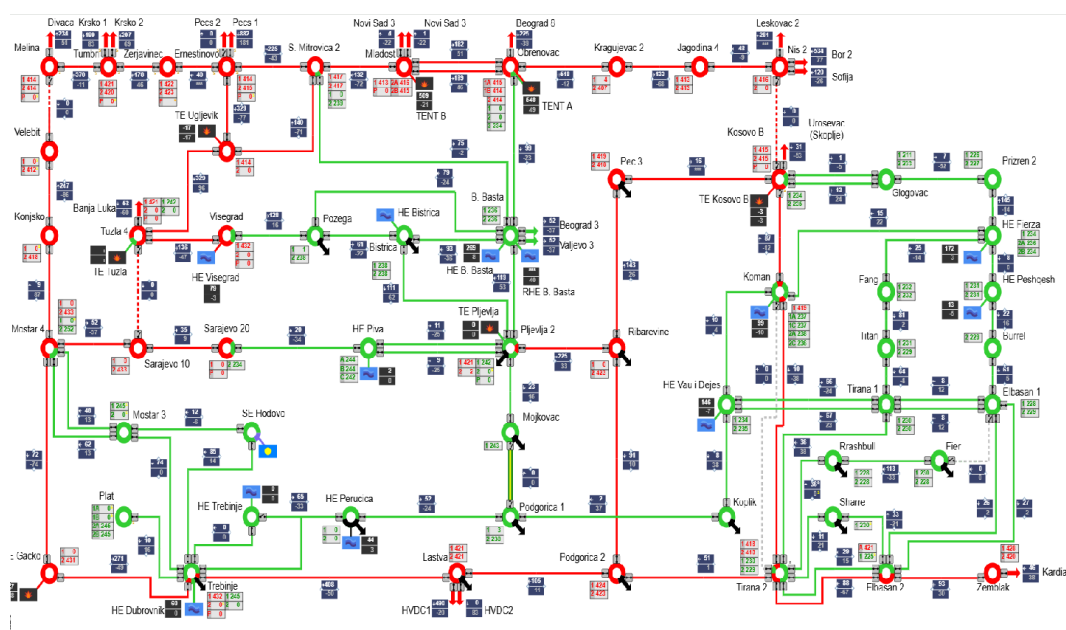
Kao što je rečeno u toku eksplatacije sistema sistem je konstantno unaprijeđivan u odnosu na prvobitno stanje te su vršene sljedeće ispravke.

Ustanovili smo da je za potrebe RDC-a potreban manji broj radnih stanica, a da je na lokaciji NDC-a potrebno njihov broj povećati. RDC služi samo za vanredne situacije, te je korišćen u toku COVID pandemije, u toku renoviranja zgrade NDC-a. U tom periodu sistem je funkcionisao bez problema, operativno osoblje je bilo u RDC-u, a osoblje koje se bavi administracijom je ostalo na svojim radnim mjestima, a samo po potrebi išlo u RDC.

U toku eksploatacije ovog sistema u CGES-u je završen projekat zamjene sistema upravljanja i zaštite u svim trafostanicama, te su sve trafostanice digitalizovane i svi potrebni signali uvedeni na SCADA/EMS sistem. Takođe počelo se sa primjenom daljinske komande iz NDC-a u objektima CGES-a. Navedene promjene su zahtjevale modelovanje velikog broja signala i izmjena na sistemu. Samom daljinskom komandom bilo je potrebno promijeniti rad alarmnog sistema, te su uvedene različite liste alarma sa različitim prioritetima, različitim zvučnim signalizacijama za radne mašine koje koriste operateri prenosnog sistema.

Modernizacija prenosne mreže i širenje observabilne zone dovelo je konstantnog povećavanja broja analognih i digitalnih vrijednosti koje dolaze preko IEC 104 i ICCP protokola na SCADA sistem. Nakon par godina korišćenja sistema dostignuti su aplikativni limiti alocirane memorije za više veličina SCADA modela (*analog, discrete, data item, address...*). Stoga je odrađena procedura *Resize*-a alocirane memorije baza SCADA modela kako bi se nastavio rad na modelu i vršile dalje nadogradnje.

Zbog različitih događaja i prilika u mreži, bilo je potrebno povećati opservabilnu zonu i poboljšati rad estimatora.



Slika 3: Opservabilna zona CGES-a

U toku rada eksploatacije sistema unaprijeđen je rad INOM sistema. Rad sekundarne regulacije je poboljšan uvođenjem HE Piva u sistem. Zbog različitih problema u komunikaciji odlučeno je da se komunikacija za potrebe sekundarne regulacije odvija po IEC 104 protokolu, iako je zbog potreba prvobitnog sistema, kada je samo HE Perućica vršila usluge sekundarne regulacije, komunikacija išla preko ICCP protokola. Takođe u narednom periodu je predviđen prelazak sa delta set pointa, na apsolutni set point.

Sistem je preko servera za podršku spoljnim korisnicima povezan sa poslovnom mrežom CGES-a. Kako se javila potreba da zaposleni iz drugih službi imaju nadzor nad sistemom u nekim kritičnim situacijama napravljena je veza sa poslovnom mrežom, odnosno SCADA sistemom preko Intra Web SCADA aplikacije na EUS serverima. Na ovaj način omogućen je monitoring i pristup svim prikazima SCADA sistema bez potrebe za dodavanjem radnih stanica i bez mogućnosti komandovanja na jednopolnim šemama sistema.

Sistem posjeduje aplikaciju za automatski unos planova rada – voznog reda. Aplikacija je povezana sa ESS-om (ENTSO-e Scheduling System) i redovno ažurira planirani „total“ sistema korigujući ga nakon svake obavljene transakcije. Aplikacija za automatski unos planova (FORCON) generiše fajl sa planovi u formatu koji odgovara RTSMGR aplikaciji koja dalje prosleđuje trenutne vrednosti planova SCADA/EMS sistemu za potrebe rada sekundarne regulacije.

3 TEST FAILOVER SISTEMA

Testovi su izvršeni na lokacijama RDC-a i NDC-a uz provjere hardverske i softverske redudanse za sve module SCADA/EMS sistema.

3.1 Grupa testova u hardverske redudanse - raskidanje veze između NDC-a i RDC-a

Procedura testa u RDC-u:

Iz svičeva MERLSW01 i MERLSW02 - Izvučen je optički kabl koji povezuje NDC i RDC sisteme.

Failover je praćen iz RDC-a, sa MEROPC01 radne stanice i sesije zakačene direktno na MEREMS01 mašinu. Stanje u NDC je praćeno preko VPN-a.

Uočeni nedostatak: Ne postoji VPN konekcija ka RDC-u u ovom slučaju.

Test 1 : Stanje nakon raskidanja veze

1. NDC - stanje

- Produkcioni server MENEMS01 je ostao u statusu *“Enabled”* u NDC-u i NDC sistem je nesmetano nastavio da radi (FEP, OAG, EMS, AGC (Automatic Generation Control), Mrežne aplikacije...).

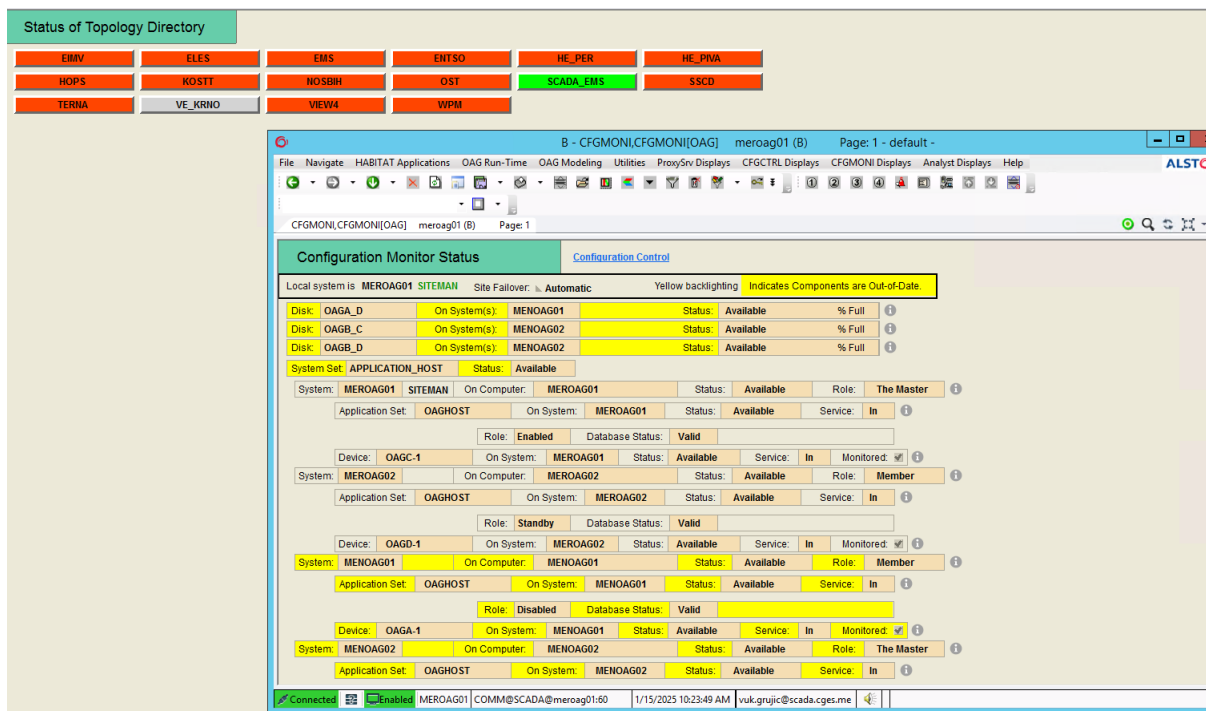
2. RDC – stanje

- Rezervni produkioni server MEREMS01 je postao *“Enabled”*, dok je MEREMS02 dobio status *“Standby”* kao na slici 4.

Komunkacija sa rezervnim serverom kojim se primaju podaci preko IEC 60870–5-104 – FEPR u RDC-u radi u potpunosti. ISD (Inter-Site Domain) veza ka aktivnom OAG (Open Access Gateway) serveru radi, ali ne postoji ni jedna aktivna ICCP veza ka udaljenim centrima – svi udaljeni centri su konfigurisali vezu za 2 servera (MENOAG01 i MENOAG02) slika 3. Mrežne aplikacije su takođe nesmetano radile, kao i RTSMGR (Real Time Schedule Manager) aplikacija za uvoz planova rada – voznog reda u manuelnom režimu rada RTSMGR uvozi planove iz fajla koji ili kreira FORCON (automatski unos) ili definisanog fajla koji edituju dispečeri.. Takođe je ispravno radio i Intra Web SCADA sistem odnosno EUS serveri.



Slika 4: Stanje arhitekture SCADA sistema nakon raskidanja veze između NDC-a i RDC-a.



Slika 5: Prikaz stanja ICCP servera i veza sa okolnim TSO-vima iz lokacije RDC.

Od aplikacija i servera koji nisu nastavili regularan rad nakon raskidanja NDC/RDC veze uočeno je da:

- RDC arhivski server – HIS – sve baze diskonektovane sa mreže
- RDC WAMS (Wide Area Monitoring System)– ne radi
- Dispečerski dnevnik – ne radi

Test 2: Isključen prvi fizički server u RDC-u - MERVPM01

MEREMS02 server je dobio status “Enabled”

Uočeno je da je na MERVPM02 serveru pokretanje aplikacija na svim virtuelnim mašinama usporeno kao i da:

- Komunikacija sa MERFEP02 ne radi
- ISD veza sa MEROAG02 radi

Test 3: Uključen fizički server MERVPM01, isključen fizički server MERVPM02

Uočeno je da je MEREMS01 server je dobio status “Enabled” kao i da:

- Komunikacija sa MERFEP01 radi
- ISD veza sa MEROAG01 radi
- HIS ne radi

Test 4: Uključen fizički server MERVPM02

Nakon vraćanja MERVPM02 mašine, MEREMS01 je dobio status “Disabled”. Stanje konfiguracije MEREMS02 i MEROAG02 servera je bilo „Unknown“. Prikaz “Site Overview” sa MEREMS01 mašine je na slici 4 ispod.



Slika 6: Stanje ahitekture sistema nakon vraćanja MERVPM02 fizičkog servera u pogon.

Za oporavak sistema i konfuguracije bilo je potrebno resetovati procese na MEREMS01 mašini.

Test 5: Vraćanje veze između NDC-a i RDC-a

Nakon vraćanja veze između NDC-a i RDC-a server MEREMS01 na “Site Overview” prikazu je imao dobro stanje, ali prilikom povezivanja na MEREMS01 server status virtuelne mašine je „Not Connected“. Takođe evidentiralo se da:

- Mrežne aplikacije rade
- Dispečerski dnevnik je proradio

- Komunikacija sa FEP i OAG serverima radi
- RTSMGR aplikacija i planovi rada radi (ručni unos)
- Na nekim mašinama je došlo do „pucanja aplikacije“, npr. video zid error 404, bilo je potrebno ponovo pokrenuti APF

Napomena: Komunikacioni logovi koji se kreiraju na MENEMS01 mašini se nisu kreirali i na MEREMS mašinama, kada su one bile “Enabled” tokom testova.

3.2 Grupa testova redudanse na aplikativnom nivou

Procedura testa:

Testovi su obuhvatali provjeru redudanse u okviru NDC-a (isključivanje MENVPM02 fizičkog servera) i provjera redudanse nakon ažuriranja baza sistema - DBSEQ-a (Database Update Sequence) pomoću CFGMONI aplikacije (aplikativno isključivanje mašina).

Test 1: Prelazak – failover sa MENEMS01 servera na MENEMS02 kao glavni server (isto za ostale servera MENOAG01 na MENOAG02)

Prilikom ovog testa uočeno je da:

- Komunikacija sa FEP serverima radi kako treba
- Komunikacija sa OAG serverima radi (ISD i ICCP)
- RTSMGR i planovi rade (ručni unos)

Test 2: Isključen MENVPM02 fizički server

Prilikom ovog testa uočeno je da:

- Sve funkcionalnosti su preuzete od strane MENXXX01 mašina (MENEMS01, MENOAG01...)
- HIS sistem je prestao da radi – problem je do „Witness“ servera koji je treći server u *mirroring* konfiguraciji.
- Mrežne aplikacije rade

Nakon ovih testova predloženo je da se uradi DBSEQ kako bi se uklonila sumnja da je problem do baza na postojećem sistemu. Vraćen je MENVPM02 i odrađen DBSEQ.

Test 3: Provjera redudantnosti nakon DBSEQ-a

Redudantnost je provjerena isključivanjem servera preko CFGMONI aplikacije.

U ovom testu provjerena je konfiguracija “svako sa svakim”, odnosno veza svakog EMS servera sa svim OAG i FEP serverima.

Test je pokazao da sve aplikacije rade uključujući i AGC, komunikacija radi na svim mašinama osim na MEREMS02 gdje ne postoji komunikacija sa FEP mašinama.

U toku testiranja pronađena je greška i izvršena je korekcija u konfiguraciji Windows Server Task Scheduler-a na mašinama gdje postoje automatizovani taskovi (MENEMS/MEREMS, MENHIS01/02, MENRDS01, MENPDS02, MERHIS01/02, MERDTS01), usljed promjene administratorske šifre.

3.3 Grupa testova – ponavljanje testova raskida veze NDC-RDC

Nakon inicijalnog testiranja i vršenja korektivnih akcija izvršeno je ponavljanje testova raskida veze NDC-RDC po istoj proceduri. U nastavku su navedeni testovi sa rezultatima.

Test 1: Prekid veze NDC-RDC:

- Nakon prekida veze NDC je nesmetano nastavio da radi.
- U RDC-u MEREMS01 server je preuzeo ulogu “*Enabled*” mašine
 - Komunikacija sa FEP serverom radi
 - ISD komunikacija sa OAG serverom radi
 - RTSMGR i planovi rade (ručno)

Test 2: Prelazak sa MEREMS01 na MEREMS02 mašinu:

U CFGMONI aplikaciji, MEREMS01 server je stavljen u „Out“.

Uočen je problem u radu MEREMS02 mašine. Nakon restarta mašine svi relevantni taskovi se ne podižu. Potrebno je ručno podići taskove.

- Komunikacija sa FEP serverima ne radi
- ISD komunikacija sa OAG-om radi
- RTSMGR i planovi rade (ručno)

Test 3: Vraćanje veze NDC-RDC.

MENEMS01 server je preuzeo ulogu “*Enabled*” servera. Komunikacija i aplikacije uredno rade.

4 ZAKLJUČAK

U radu je opisana arhitektura sistema, te su ukratko navedene neke od izmjena na samom sistemu koje su zahtjevale prepravke same baze sistema, takođe navedene izmjene koje su urađene kako bi se sistem efikasnije koristio. Navedene izmjene su zahtjevale promjene kako na aplikativnom tako i na hardverskom nivou.

Zaključci samog failover testa su omogućili bolje sagledavanje rada samog sistema, te kako ga unaprijediti. Sami failover test je omogućio bolju osnovu za planiranu nadogradnju sistema:

1. MEREMS02 mašina ima problema sa startovanjem procesa i sa komunikacijom sa FEP-ovima. Potrebna je provjera rada same mašine.

2. MEROAG01/02 mašine nemaju ICCP vezu ka udaljenim centrima. Udaljeni centri su u konfiguraciju ubacivali samo prva dva servera (OAG mašine u NDC-u). Za nadogradnju sistema potrebno je izmijeniti konfiguraciju sistema, tako da redundantni komunikacioni serveri budu u NDC-u i RDC-u.
3. Dispečerski dnevnik ne radi nakon raskida veze NDC-RDC. Potrebna je korekcija aplikacije.
4. AGC aplikacija ne radi pravilno prilikom promjene aktivnog produkcionog servera. Potrebno je „spustiti“ bazu GENMOM na živi sistem, te ponovo pokrenuti proces. Kontaktiran je proizodač kako bi se otklonio nedostatak.
5. Kada se isključe mašine na kojima se nalazi treći server mirroring-a (Witness), u ovakvoj konfiguraciji dolazi do prekida rada HIS-a. Javili su se problemi u radu MERHIS04-a u RDC-u nakon raskida veze NDC-RDC. Takođe, javio se problem u radu HIS-a nakon gašenja MERVPM02 mašine. Potrebno je promijeniti konfiguraciju redundantse HIS servera kako bi mogli nesmetano nastaviti rad u bilo kojoj konfiguraciji produkcionih servera.
6. WAMS ne radi u RDC-u. Razlog je nemogućnost PMU uređaja da šalje strimove na više servera. Predlog za unaprijeđenje je instalacija PROXY servera.
7. Komunikacioni logovi koji se kreiraju na MENEMS01 mašini se nisu kreirali i na MEREMS mašinama, kada su one bile sa statusom “*Enabled*” tokom testova. Potrebna je provjera rada generisanja logova na mašinama.
8. Ne postoji VPN konekcija ka RDC serverima direktno. Bilo bi dobro da se uvede VPN konekcija ka RDC serverima.
9. Potrebno je provjeriti konfiguraciju i mrežu MERVPM02 servera.
10. Provjeriti da li je iskonfigurisana veza iz poslovne mreže RDC-a ka serveru za web SCADA-u.

Kroz navedene testove provjerena je funkcionalnost SCADA/EMS sistema u različitim konfiguracijama aktivnih servera. Uočeni su neki problemi u radu, ali je ustanovljeno da svi navedeni problemi ne predstavljaju prepreku da sistem izvršava svoju osnovnu funkciju alata za vođenje elektroenergetskog sistema Crne Gore, te da uz manje intervencije osoblja koje administrira SCADA/EMS sistem bez većeg prekida nastavlja rad.

5 LITERATURA

- [1] S. Šarić, N. Stojanović, M. Josifović, A. Car, Đ. Jovanović, M. Tasić, P. Mizdraković „**IMPLEMENTACIJA SCADA/EMS SISTEMA U NDC/RDC CRNE GORE**“, 34. savjetovanje CIGRE Srbija, Vrnjačka Banja 2-6. jun 2019
- [2] M. Jovović, V. Grujić, M. Josifović “**UVOĐENJE GENERATORA HE PIVA I HE PERUĆICA U RAD SEKUNDARNE REGULACIJE CGES-A U SKLOPU GE SCADA/EMS SISTEMA**”, VIII savjetovanje Cigre Crna Gora, Budva, 9-12 maj 2023
- [3] „e-terracomm – Student Workbook“, General Electric, 2018.