

Integrirani sistem za monitoring i upravljanje Data Centra napajanog iz obnovljivih izvora energije

Integrated System for Monitoring and Management of the Data Centre Powered by Renewable Energy Sources

Ivan Vujović*, Darko Šošić**, Željko Đurišić**

*Ericsson AB Štokholm, dio stranog društva Podgorica

** Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Rezime - Izgradnjom sve većih Data Centara (DC-a) povećava se i kompleksnost sistema koji ih sačinjavaju, što dovodi do zahtjeva da se nadgledanje rada i upravljanje funkcionalnostima pojedinačnih sistema vrši upotrebom jednog, zajedničkog sistema za monitoring i upravljanje. U radu je dat pregled i opisane uloge sistema koji se implementiraju u DC-ima nivoa 5. Poseban naglasak je na sopstvenim obnovljivim izvorima energije (OIE) i postrojenjima koja ih povezuju sa Elektroenergetskim sistemom (EES-om), odnosno objektom DC-a. Za kvalitetno praćenje vrijednosti parametara pojedinačnih elemenata sistema i sistema uopšte, kao i cijelog DC-a, potrebno je dizajnirati jedinstvenu centralizovanu bazu podataka koja će se popunjavati podacima o mjerenjima definisanih parametara. Da bi takva baza vršila svoju funkciju neophodna je implementacija hardvera sa serverskim elementima i sistemima za skladištenje podataka kao osnove na kojoj se instalira virtuelna platforma. Podaci se, iz svih bitnih elemenata sistema, šalju do centralizovane baze podataka upotrebom računarske mreže. Sami elementi sistema treba da sadrže mrežne kartice, odnosno kontrolere čija je uloga prosljeđivanje rezultata mjerenja vrijednosti definisanih veličina u Internet Protokol (IP) paketskom formatu do centralne lokacije. Podaci se, u pogodnom obliku, prikazuju na sistemu za monitoring rada sistema. Isti podaci se šalju i sistemu za upravljanje koji, na osnovu vrijednosti pojedinih parametara, vrši upravljanje elementima sistema. Rad sadrži predlog proširenja funkcionalnosti postojećih sistema za monitoring i upravljanje na elemente OIE, kao i elemente elektroenergetskih razvodnih postrojenja (RP-a). U radu su dati primjeri upotrebe jednog nekomercijalnog sistema za monitoring i upravljanje.

Gljučne reči - Data Centar, baza podataka, monitoring, upravljanje, obnovljivi izvori energije

Abstract - By constructing bigger and bigger Data Centres (DCs), systems that make them become more complex. That leads to the requirement for the one common monitoring and management system that will monitor and manage functionalities for every individual element of the systems. In this paper, an overview of the systems that are implemented in tier 5 DC-s is given. Also, the roles of the systems are described. Special emphasis is on their own renewable energy sources (RES) and

distribution switchgears that connect sources with Power System (PS) and DC. For quality monitoring of individual system elements parameter values and system in general, as well as the whole DC, it's necessary to design a unique database that contains information about defined parameter measurements. To make such database works, it is necessary to implement hardware that contains servers and data storage systems as the foundation on which a virtual platform is built. From all important elements of the systems, information is sent to centralized data base using a computer network. The system elements should contain network cards or controllers which role is to send measured values of the defined parameters to the main building in the format of Internet Protocol (IP) packets. In a suitable format, the data is displayed on the monitoring system. The same data are sent to the management system that manages the elements based on measured parameter values. This paper contains a proposition for the extension of existing monitoring and management system functionalities to the RES and distribution switchgear elements (DSE). Examples of practical usage of one non-commercial monitoring and management system are also given in the paper.

Index Terms - Data Center, data base, monitoring, management, renewable energy sources

I UVOD

U velikim DC-ima, osim smještanja i povezivanja: Information and Communications Technology (ICT) opreme, što je primarna uloga ovakvih objekta, između ostalih, vrši se i implementacija naprednih sistema za napajanje i klimatizaciju koji omogućavaju neprekidan i stabilan rad ICT uređaja. Kao primarni izvor napajanja ovakvih DC-a predloženo je korišćenje sopstvenih OIE. Redundantni izvor napajanja je EES, odnosno gasna elektrana ili sistem dizel električnih agregata (DEA-a), a krajnji izvor napajanja ICT uređaja, ograničenog trajanja, je baterijski sistem. Međusobno povezivanje DC-a, OIE i EES-a vrši se preko RP-a.

Nadgledanje rada i mogućnost upravljanja sistemima realizovanim u okviru DC-a omogućava stalno praćenje stanja sistema, vitalnih parametara elemenata sistema, parametara na ulazima i izlazima sistema i pravovremeno automatsko, poluautomatsko ili manuelno reagovanje na nagovještaj ili

pojavu nepravilnih radnih stanja pojedinačnih elemenata ili sistema u cjelini. Ako se DC posmatra u širem smislu, kada ga čine ne samo objekat u kom je smještena oprema već i izvori napajanja, odnosno RP-a, onda se monitoring može proširiti i na te sisteme, odnosno sastavne elemente tih sistema. Međutim, svaki od pomenutih sistema, bilo unutar objekta DC-a, bilo van njega, obično biva zasebno realizovan pa se tako i nadgleda njegov rad, odnosno vrši upravljanje nad njim. Realizacija različitih načina monitoringa i upravljanja nad različitim sistemima unosi veliku kompleksnost, ako se svi sistemi posmatraju odjednom. Nameće se potreba za sveobuhvatnim rešenjem koje će uključivati najbitnije elemente i parametre svih sistema u DC-u kako bi se u realnom vremenu mogao nadgledati rad i vršiti upravljanje, pri čemu se pojedinačni monitoring i upravljanje nad sistemima ne isključuju. Integrisani monitoring svih sistema se može realizovati direktnim povezivanjem pojedinačnih elemenata sistema na računarsku mrežu ili preuzimanjem podataka o vrijednostima parametara elemenata sistema preko realizovanog rešenja nadzora svakog pojedinačnog sistema. Upravljanje elementima sistema se može ostvariti softverskom integracijom pojedinačnih sistema za upravljanje ili realizacijom centralizovanog rešenja. Upravljanje elektranama i RP-ma visokog i srednjeg napona vrši se upotrebom: Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) sistema EES-a.

Centralizovano i integrisano rešenje monitoringa i upravljanja zahtijeva hardverske i softverske resurse koji omogućavaju prikupljanje, skladištenje i obradu podataka.

II FUNKCIONALNI SISTEMI DATA CENTRA

Korišćenje sopstvenih OIE za napajanje objekta DC-a je opravdano samo ako se radi o velikim objektima tj. objektima u kojima će biti smješten veliki broj rekova i opreme u njima. Tada, u užem smislu, DC predstavlja sami objekat, dok su u širem smislu, osim objekta, u DC uključeni OIE i pripadajuća RP-a tj. sve ono što je na bilo koji način direktno vezano za napajanje DC-a.

Ne uzimajući u obzir građevinski dio, objekat DC-a čine sledeći sistemi [1]:

- informaciono komunikacioni sistem;
- energetsko napajanje;
- klimatizacija;
- sigurnosni sistemi;
- monitoring i upravljanje.

Pasivni dio ICT sistema čine rekovi, kablovski razvodi, paneli, optički i bakarni kablovi, dok se aktivni dio odnosi na računarsku mrežnu, serversku i drugu opremu koja se smješta u rekovima. Sistem napajanja objekta DC-a uključuje: Uninterruptible Power Supply (UPS) i ispravljačke uređaje sa baterijskim podsistemima, kablovski razvod i sisteme automatike. Klimatizacija sa ventilacijom (Heating Ventilation and Air Conditioning - HVAC) obuhvata unutrašnje rashladne jedinice, havarijsku ventilaciju, sistem za ovlaživanje, sistem besplatnog hlađenja (free cooling), hladnjake (chiller-e) i spoljašnje jedinice sa ventilatorima. U sigurnosne sisteme se ubrajaju: sistem za dojavu i gašenje požara, sistem kontrole pristupa, protivprovalni sistem, sistem video nadzora i sistem perimetarske zaštite. Monitoring i upravljanje svim navedenim sistemima obuhvata kako

pojedinačne sisteme prilagođene svakom od nabrojanih sistema ponaosob tako i integrisani sistem.

Osim sistema u objektu i neposredno oko njega, DC čine i:

- sopstveni OIE;
- gasna elektrana;
- DEA-ski sistemi;
- RP-a visokog i srednjeg napona;
- RP-a niskog napona.

Pod OIE se podrazumijevaju vjetro i solarne elektrane. Zavisno od lokacije objekta DC-a, uslova u njegovoj okolini i dostupne površine, izgrađuju se pojedinačno jedna ili druga, odnosno obje navedene elektrane. Radi osiguranja stabilnosti napajanja DC-a u slučaju ispada svih drugih izvora električne energije kao i EES-a, ako je moguće, izgrađuje se gasna elektrana. Kod manjih i DC-a srednje veličine, ulogu gasne elektrane vrše DEA-ski sistemi. Povezivanje objekta DC-a i izvora električne energije sa EES-om vrši se preko RP-a srednjeg i visokog napona, dok se napajanje opreme unutar DC-a obezbjeđuje preko RP-a niskog napona.

III KOMUNIKACIONA I SERVISNA INFRASTRUKTURA

Osnovni preduslov realizacije integrisanog sistema za monitoring i upravljanje DC-a je implementacija hardverske i softverske infrastrukture virtuelne platforme sa centralizovanom bazom podataka i računarske mreže koja će, sa tom infrastrukturom, povezati sve sisteme, odnosno elemente sistema čiji se monitoring i upravljanje zahtijeva. Na slici 1 je data principijelna šema hardverske realizacije integrisanog sistema za monitoring i upravljanje.

Podaci o mjerenjima parametara bitnih za funkcionisanje pojedinačnih elemenata i sistema iz uređaja čiji se nadzor i upravljanje nad njima vrši (uređaji tipa 1 i 2) šalju se, poželjno preko optičke konekcije, do najbližeg uređaja računarske mreže. Uređaji tipa 1 se smještaju unutar objekta DC-a, pa je povezivanje na računarsku mrežu relativno jednostavno, dok se uređaji tipa 2 implementiraju van objekta DC-a što iziskuje dodatne telekomunikacione uređaje, prije svega zbog zaštite podataka.

Podaci se, dalje, preko jezgra (core) mreže prenose do centralne baze podataka gdje se obrađuju i, sa jedne strane smještaju na diskove storidž sistema, a sa druge strane šalju monitorima i računarima koji prikazuju stanje parametara elemenata i sistema DC-a.

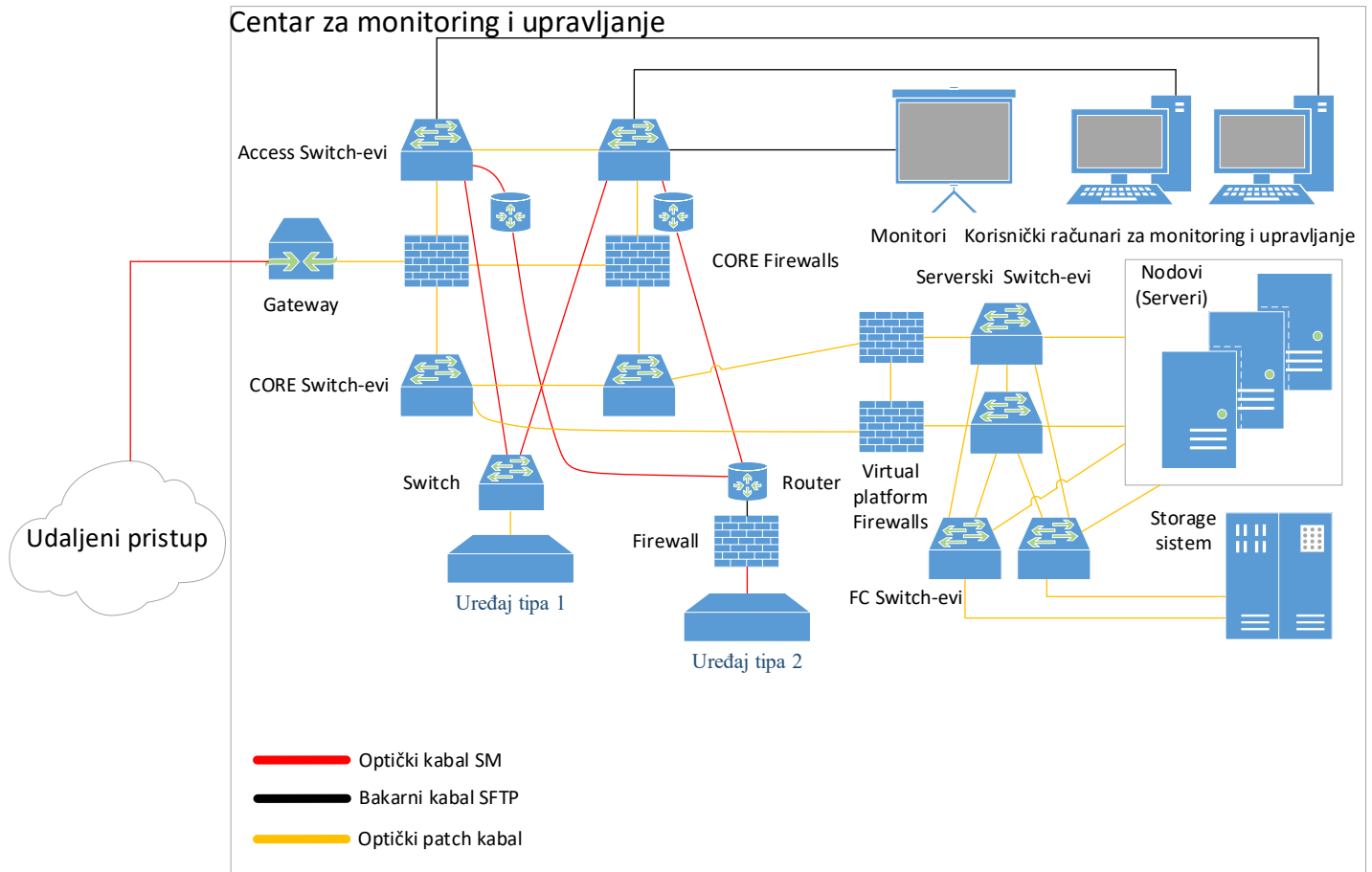
Upravljanje se vrši:

- lokalno – manuelno ili konektovanjem preko servisnog interfejsa uređaja;
- centralizovano – sa korisničkih računara unutar centra za monitoring i upravljanje ili udaljenim pristupom, preko računara ovlašćenih službenika;
- automatski – izvršavanjem komandi od strane kontrolera pojedinačnog uređaja ili sistema unutar kog uređaj funkcioniše na osnovu ulaznih podataka i predefinisanih naredbi ili izvršavanjem naredbi zadatih od strane integrisanog sistema za upravljanje;
- iz SCADA sistema EES-a.

Proces monitoringa podrazumijeva da svaki zaseban uređaj ili

uređaj na koji se konektuje više drugih uređaja, čiji se rad nadgleda, ima mrežnu karticu (Network Interface Card – NIC). Osnovna provjera je dostupnost IP adrese [2], odnosno NIC kartice uređaja, a ostvaruje se upotrebom: Packet InterNet Groper (PING) servisa preko: Internet Control Message Protocol (ICMP) [3] korišćenjem eho i povratnih eho poruka. Podaci o

mjerenjima parametara i stanju uređaja dobijaju se upotrebom: Simple Network Management Protocol (SNMP) [4] preko SNMP i SNMP “trap” poruka čiji se sadržaj tumači primjenom prethodno implementirane: Management Information Base (MIB) [5] u okviru baze podataka za svaki uređaj tj. element čiji se monitoring zahtijeva.



Slika 1. Principijelna šema integrisanog sistema za monitoring i upravljanje Data Centrom

U primjeni su rešenja tzv. “otvorenog koda” (“open source”) i komercijalna rešenja za integrisani monitoring različitih sistema i uređaja koji, u najvećem broju, objedinjavaju ICT, sigurnosne, energetske, termotehničke i sve druge sisteme. Međutim, zbog velike različitosti vrste podataka, njihove sadržine, značenja i prikazivanja, praktično je opravdano razdvojiti sisteme monitoringa na ICT, sigurnosne i ostale. Ovaj rad se odnosi na ICT i ostale sisteme, odnosno, prije svega, na elektroenergetske i termotehničke sisteme.

Proces upravljanja je kompleksniji nego proces monitoringa. Još uvijek nije dostupno funkcionalno rešenje koje omogućava upravljanje svim uređajima tj. elementima u okviru DC-a upotrebom jedinstvenog sistema. Jedan od načina realizacije ovakvog upravljanja podrazumijeva integraciju SCADA sistema prilagođenih različitim sistemima i uređajima u jedinstveni sistem za upravljanje, uz korišćenje podataka dobijenih iz sistema za monitoring. Drugi način je osmišljavanje potpuno novog rešenja koje će biti integrisano sa postojećim rešenjem otvorenog koda ili komercijalnim sistemom za monitoring, a u

isto vrijeme imati interfejs prema svim uređajima i sistemima čiji je rad potrebno kontrolisati. Moguće je realizovati integraciju sistema za upravljanje obnovljivim i drugim izvorima napajanja, odnosno postrojenjima visokog i srednjeg nivoa napona u centralizovani sistem upravljanja DC-a. Međutim, kako se ovi izvori, odnosno RP-a direktno povezuju na EES, a snage generatora i transformatora u njima i tek kako mogu uticati na stabilnost sistema, to se upravljanje vrši isključivo preko SCADA sistema elektroenergetske mreže.

IV ELEMENTI SISTEMA NAD KOJIMA SE VRŠI MONITORING I UPRAVLJANJE

Svaki od sistema navedenih u poglavlju II sastavljen je od elemenata čija funkcionalnost direktno utiče na vrijednosti parametara tih sistema.

A. Elementi sistema objekta Data Centra

Elementi ICT sistema su svi uređaji koji se smještaju u rekovima, a zbog kojih se i izgrađuje DC. Nadgledanje rada ovih uređaja u

integriranom sistemu za monitoring odnosi se, prije svega, na brzine prenosa podataka po pojedinim linkovima mrežnih uređaja, opterećenje procesora, procenat iskorišćenja: Random Access Memory (RAM), zauzetost diskova kod serverskih i storidž sistema i funkcionalnost servisa kod virtuelnih platformi. Osim toga, važni parametri su i: snaga koju koristi napajajući blok uređaja, temperature procesora (Central Processing Unit - CPU) i drugih djelova uređaja, kao i funkcionalnost ventilatora.

Vrijednosti napona i struja na ulazima ispravljačkih modula UPS-a [6] i ulazima ispravljačkih postrojenja su osnovni pokazatelji prisutnosti i kvaliteta električne energije koju ovi sistemi dobijaju iz RP-a niskog napona. Kako obje vrste sistema koriste baterijski bekap to je potrebno imati informacije o trenutnom kapacitetu baterija koji se obično izražava u vremenskom periodu tokom kog baterijski sistem omogućava napajanje potrošača pri trenutnoj potrošnji, bez dopune kapaciteta. Ovaj parametar se ažurira u kratkim vremenskim intervalima. Pri dopuni kapaciteta baterija, važan parametar je struja punjenja koja se podešava prema preporukama proizvođača, a obično je takve vrijednosti da potpuno ispražnjene baterije dostignu puni kapacitet poslije 10 sati punjenja. Vremenom kapacitet baterija slabi, a pri istoj struji punjenja kao na početku upotrebe povećava se temperatura što može dovesti do oštećenja pojedinačnih ćelija. Zato je mjerenje temperature baterija takođe važan parametar. Kod invertorskih modula koji su posljednji elementi UPS-a prema potrošačima važni parametri su: ulazni DC napon i izlazni AC napon čije vrijednosti i oblik definišu kvalitet potrošačkog napona. Osim navedenih, primarnih, parametara elemenata UPS i ispravljačkih sistema, bitni su i: temperatura ispravljačkih i invertorskih modula i stanja ulaznih, izlaznih (potrošačkih) i bajpas prekidača.

Od UPS i ispravljačkih sistema do rekova u kojima se smješta ICT oprema, nadgledanje i upravljanje se vrši nad: prekidačima razvodnih tabli UPS i ispravljačkih sistema, kontrolerima snage koja se isporučuje potrošačima i distribuiranim napojnim jedinicama (Power Distribution Unit - PDU) u rekovima kao krajnjih tačaka sistema napajanja opreme. Osnovna funkcija HVAC sistema i sistema besplatnog hlađenja je održavanje vrijednosti najbitnijih parametara: temperature i vlažnosti vazduha unutar objekta DC-a u preciziranim granicama. Za obezbjeđivanje adekvatnih uslova po pitanju vrijednosti ovih parametara direktnu ulogu imaju: Computer Room Air Conditioning/Handling (CRAC/CRAH) tj. unutrašnje rashladne jedinice [7]. Ispravan rad ovih elemenata uslovljen je sledećim parametrima: napon i struja na ulazu kompresora/pumpe, izlazna rashladna snaga uređaja, temperatura vazduha iz "tople zone" koji biva usisan, pritisak i temperatura vazduha koji se uduvava u "hladnu zonu" [8] i brzina ventilatora od koje zavisi brzina uduvavanja rashlađenog vazduha. Osim temperature i vlažnosti vazduha unutar objekta, za sistem besplatnog hlađenja su važni i temperatura i vlažnost vazduha van objekta. Zavisno od načina realizacije ovog sistema [9] posmatraju se i drugi parametri. Svakako je bitna brzina okretanja ventilatora koji ubacuje vazduh iz spoljašnje sredine.

Za praćenje vrijednosti temperature i vlažnosti vazduha u rekovima zaduženi su senzori koji se postavljaju sa strane gdje se uduvava rashlađeni vazduh (prednja strana) i gdje izlazi zagrijani

vazduh (zadnja strana).

Djelovi HVAC i sistema besplatnog hlađenja koji se smještaju neposredno pored objekta su hladnjaci i spoljašnje rashladne jedinice. Parametri koji određuju funkcionalnosti hladnjaka su: pritisak i temperatura u svim djelovima sistema, stanje ventila i snaga kompresora, dok su za spoljašnje rashladne jedinice od važnosti: snaga rashladne pumpe, nivo kondenzovane vode i brzina ventilatora.

Upravljanje uređajima vrši se, zbog osjetljivosti na promjene koje mogu izazvati greške u konfiguraciji, manuelno ili, posredno, poluautomatski.

Sigurnosni sistemi se obično posmatraju odvojeno od svih drugih sistema u DC-u. Moguća je njihova integracija u jedinstveni sistem za monitoring i upravljanje, ali standardi sigurnosti za DC-e koji su sve restriktivniji takvu integraciju ne propisuju [10].

B. Elementi sistema van objekta Data Centra

Od OIE, sa stanovišta snabdijevanja električnom energijom DC-a interesantni su vjetro i solarne elektrane.

Vjetroelektranu čini više vjetrogeneratora raspoređenih u prostoru tako da iz dostupne snage vjetra generišu što više električne energije. Sam vjetrogenerator je mehanički i električno složen element. Osnovni parametri na osnovu kojih se predviđa koliko će električne energije biti isporučeno u mrežu su: brzina vjetra na visini osovine vjetroturbine koja se praktično kontinualno mijenja i gustina vazduha koja se mijenja u zavisnosti od promjene atmosferskog pritiska i temperature. S tim u vezi, za estimaciju proizvodnje električne energije vjetrogeneratora je bitno pratiti vrijednosti brzine, temperature okoline i atmosferskog pritiska na visini osovine vjetroturbine.

Sa stanovišta funkcionisanja vjetrogeneratora, posmatraju se mehanički i električni parametri pojedinih elemenata sistema.

Za monitoring mehaničkih elemenata vjetrogeneratora koristi se više različitih tehnika, odnosno metoda [11]. Izdvojene su dvije. Upotrebom odgovarajućih senzora: davača položaja, senzora brzine, akcelerometara, sprekratnih senzora energije za različite frekvencije i primjenom tehnike mjerenja vibracija vrši se nadgledanje rada rotacione opreme vjetrogeneratora u koju spadaju: osovine, ležajevi, zupčanici prenosnici snage i lopatice vjetroturbine. Monitoring lopatica, upotrebom fiber-optičke metode, vrši se na način što se optički senzori ugrađuju u strukturu lopatica čime se omogućava praćenje pet parametara i to: mehaničkog naprezanja, temperature, ubrzanja, otkrivanje pukotina, strmina i amplituda udarne struje groma, odnosno specifične energije pražnjenja.

Monitoring električnih elemenata vjetroagregata tj. njihovih parametara podrazumijeva, prije svega, praćenje vrijednosti izlaznog napona i struje: generatora, AC-DC i DC-AC konvertora i transformatora.

Solarna elektrana je sastavljena od solarnih panela, koncentratorkih polja i invertorskih postrojenja. Paneli su tako raspoređeni i postavljeni pod određenim uglom da insolacija na njima bude što veća. Parametri potrebni za predviđanje proizvodnje električne energije iz solarnog panela su: insolacija na lokaciji panela i temperatura okoline panela. Vrijednosti oba

parametra se kontinualno mijenjaju.

Praćenje položaja solarnih panela i zaprljanosti površine su osnovni mehanički parametri čije vrijednosti se dobijaju od senzora položaja i propustljivosti sunčevog zračenja [12].

Kod solarnih panela i koncentratorskih polja nadgledaju se sledeći električni parametri: izlazna DC struja i napon, odnosno ulazna DC struja, dok je kod invertorskog postrojenja potrebno pratiti vrijednosti izlaznih AC struja i napona.

Upravljanje vjetroelektranama i solarnim elektranama vrši se preko SCADA sistema.

Kako je snaga potrebna za napajanje velikih DC-a reda veličine nekoliko desetina MW, to je pored osnovnih izvora električne energije koje predstavljaju OIE i EES, potrebno obezbijediti i redundantno napajanje u slučaju ispada svih primarnih izvora. U tu svrhu se obično koriste gasne elektrane ili više DEA-a.

Nadgledanje rada i upravljanje gasnom elektranom je previše komplikovano da bi se moglo ostvariti sa jedinstvenim sistemom za monitoring i upravljanje DC-a. S obzirom da su ove elektrane praktično uvijek u funkciji, pod pretpostavkom da je uvijek dostupna dovoljna količina gasa i da se ne vrše popravke ili remont, monitoring i upravljanje se realizuje preko SCADA sistema. Ako je potrebna snaga DC-a do 20 MW, kao redundantno napajanje je opravdano koristiti DEA-e koji se izrađuju do snaga od 5 MVA po jedinici [13]. Najvažniji parametri čije vrijednosti je potrebno pratiti kod ovih uređaja su: broj radnih sati, količina dostupnog goriva u rezervoarima, kapacitet akumulatorskih baterija, napon na izlaznim priključcima i generisana električna energija. Upravljanje DEA-ima vrši se lokalno tako da se mogu integrisati u jedinstveni sistem za monitoring i upravljanje.

Navedena RP-a svih naponskih nivoa sastavljena su od mnoštva elemenata. Centralni elementi su energetske i mjerni transformatori. Monitoring energetskih transformatora visokog i srednjeg napona odnosi se na veliki broj mehaničkih, hemijskih i električnih parametara [14]. Praćenje regulacione sklopke podrazumijeva mjerenje momenta i snage pogonskog motora, kao i mjerenje temperature ulja u kotlu regulacione sklopke. Stanje uključenosti pumpi i ventilatora rashladnog sistema je bitno zbog praćenja zagrijavanja transformatora. U tu svrhu, često, se prati i temperatura ulja na ulazima i izlazima iz hladnjaka. Praćenje temperature namotaja vrši se ugradnjom posebnog termometra u jednoj tački ili duž čitavog namotaja tokom izrade transformatora. Monitoring rastvorenih gasova u sudu za ulje i vlažnosti ulja je metoda pomoću koje se preventivno otkriva mogućnost kvara transformatora. Veća količina vodonika u smješi ili vode u ulju je signal za mogućnost pojave parcijalnih pražnjenja. Parcijalna pražnjenja mogu dovesti do proboja izolacije, a efikasno se detektuju razmještanjem akustičnih senzora na zidovima suda u kojem je smješteno ulje, a posredstvom kojih se detektuje izvor zvuka nastalog prilikom pražnjenja. Time se određuje tačna lokacija nastanka pražnjenja. Mjerenje napona se vrši na izlazu naponskog transformatora, a mjerenje struje na izlazu strujnog transformatora. Za ostale elemente visokonaponskih i srednjenaponskih RP-a, osnovni parametri se odnose na: stanje uključenosti prekidača i rastavljača, temperaturu i strujnu opterećenost vodova i

sabirnica, kapacitet provodnih i potpornih izolatora i broj pražnjenja preko odvodnika prenapona.

Kod transformatora niskog napona (10 kV/0,4 kV) koji ne koriste ulje kao izolaciono i rashladno sredstvo (suvi transformatori), vrši se nadgledanje temperature namotaja i mjerenje napona, odnosno struja na primarnoj strani, preko naponskog, odnosno strujnog transformatora, a na sekundarnoj strani direktno na provodnicima. Na niskonaponskoj strani 10 kV/0,4 kV RP-a prati se stanje uključenosti sklopki i prekidača preko kojih su direktno povezani potrošači, stanje uključenosti prekidača za povezivanje potrošača na DEA-ski sistem napajanja i stanje prekidača spojnog polja mreža-agregat. Upravljanje visokonaponskim i srednjenaponskim RP-a vrši se preko SCADA sistema EES-a, dok se upravljanje niskonaponskim dijelom RP-a 10 kV/0,4 kV može integrisati u centralizovani sistem za monitoring i upravljanje DC-a.

V PRIMJER UPOTREBE INTEGRISANOG SISTEMA ZA MONITORING DATA CENTRA

Proširenjem sistema za monitoring ICT uređaja na uređaje za napajanje i klimatizaciju, odnosno OIE, nekoliko rešenja otvorenog koda i komercijalnih rešenja postaje široko primijenjeni softver za monitoring DC-a. Nadogradnjom ovih rešenja na već opisan način mogu se realizovati i funkcije upravljanja navedenim sistemima. Jedan od integrisanih sistema za monitoring je: "Zabbix" [15]. Prikazivanje vrijednosti parametara je najefikasnije u formi grafika. Na slici 2 dat je primjer upotrebe pomenutog rešenja za UPS.

Na jednom grafiku se prikazuju promjene vrijednosti svih važnih parametara UPS-a i to na dnevnom nivou.

Slika 3 predstavlja polumjesečni grafik promjene ambijentalne temperature, pritiska i vlažnosti.

Na grafiku je prikazan i prag vlažnosti vazduha čijim dostizanjem se generiše alarm.

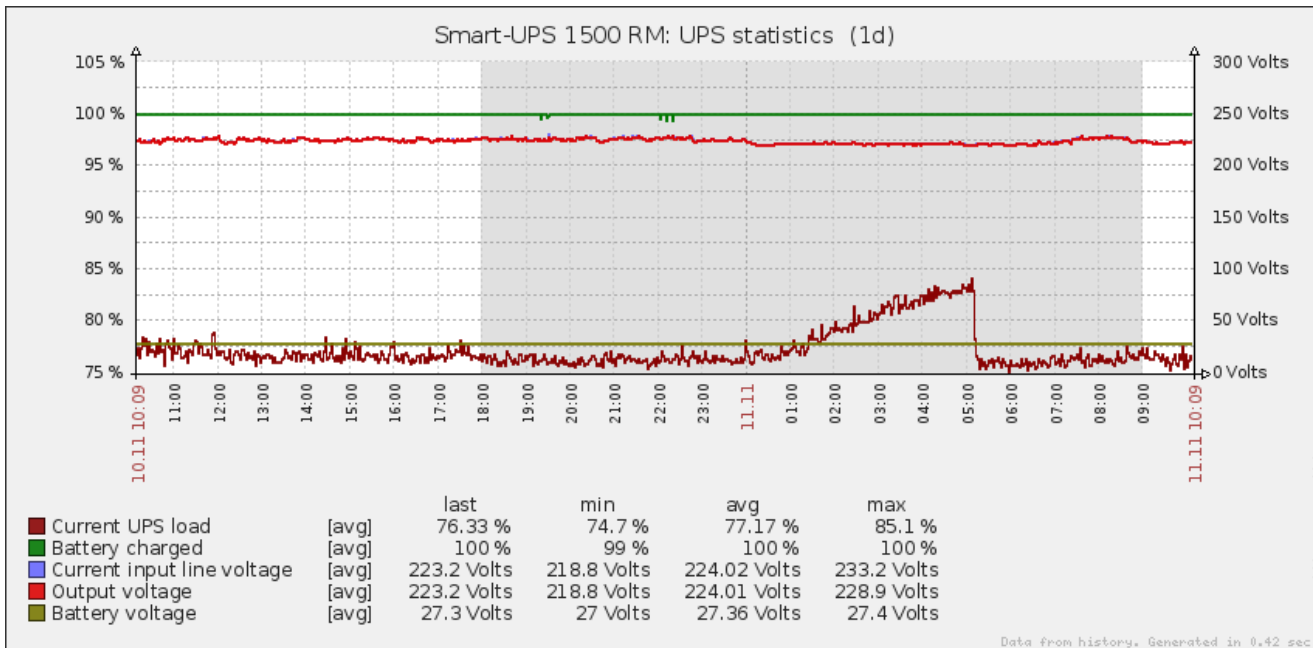
Mrežu ICT uređaja je pogodno predstaviti mapom tako da je vidljiva funkcionalnost svakog elementa. Primjer takve mape je dat na slici 4.

Signalizacija postojanja problema vrši se na svakom uređaju ponaosob. Odabiranjem uređaja ulazi se u meni koji prikazuje stanje parametara samo tog uređaja.

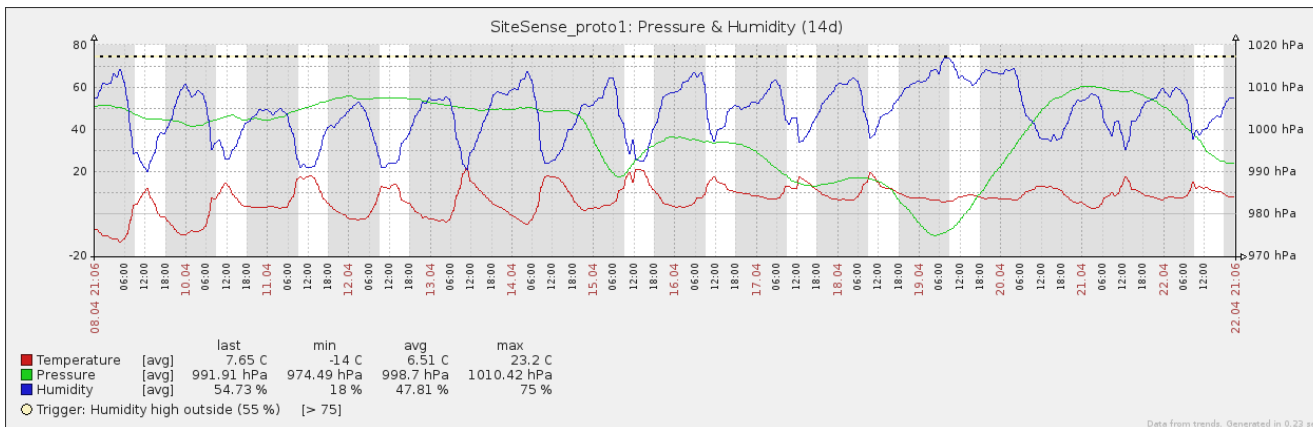
Kako je "Zabbix" u osnovi softver otvorenog koda moguće je izvršiti integraciju sa drugim rešenjima za monitoring i upravljanje. Na slici 5 je prikazano Z-SCADA rešenje za monitoring vjetrogeneratora [16].

Ovaj sistem za monitoring je nastao prilagođenjem Zabbix-a SCADA sistemu razvijenom za vjetrogeneratore. U datom primjeru nadzire se rad vjetroelektrane koju čine 9 vjetrogeneratora, pri čemu se prikazuju i brzina vjetra, temperatura okoline i ukupna generisana električna snaga tokom jednog dana.

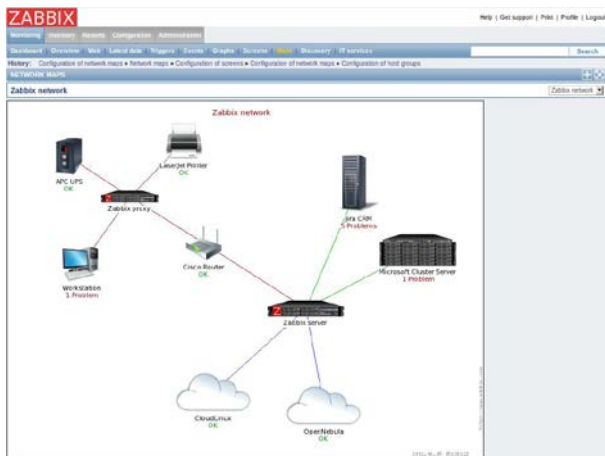
Grafik dnevne proizvodnje električne energije jednog solarnog panela predstavljen je na slici 6. Sa stanovišta preglednosti dešavanja na svim sistemima DC-a, čija se funkcionalnost nadgleda upotrebom sistema za monitoring najjednostavnije je posmatrati listu događaja (slika 7).



Slika 2. Monitoring parametara UPS-a



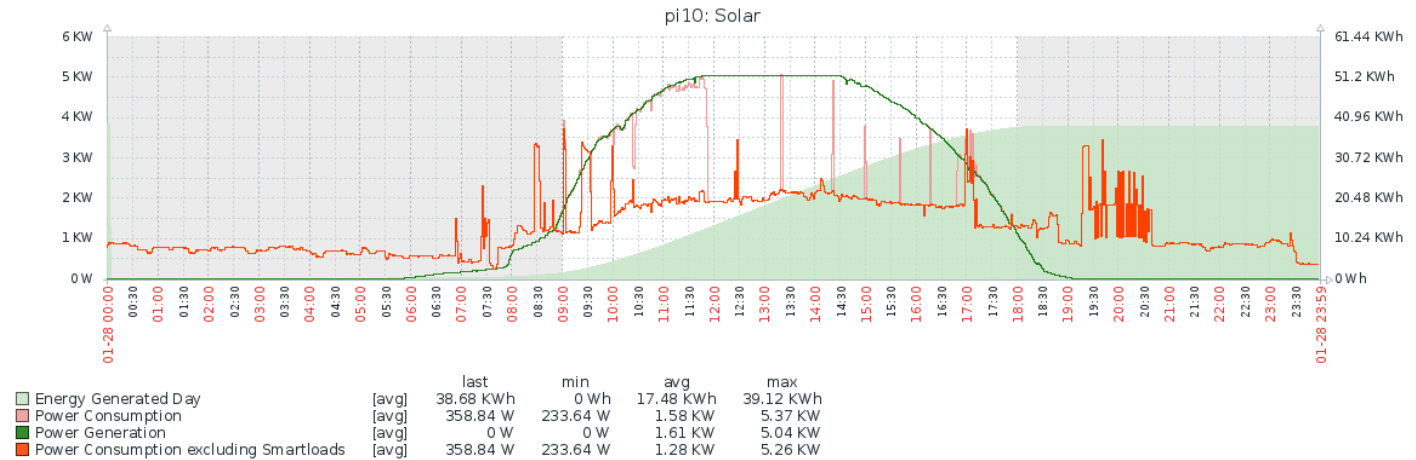
Slika 3. Promjena ambijentalnih uslova



Slika 4. Mapa mreže ICT uređaja



Slika 5. Z-SCADA monitoring sistem za vjetrogeneratore



Slika 6. Dnevna proizvodnja električne energije jednog solarnog panela

Time	Host	Description	Status	Severity	Duration	Ack	Actions
11 Jun 2012 15:43:30	Zabbix server	Zabbix agent on Zabbix server is unreachable for 5 minutes	PROBLEM	Average	12s	No	In progress
11 Jun 2012 15:40:52	New host	Processor load is too high on New host	PROBLEM	Warning	2m 50s	No	Ok
11 Jun 2012 15:18:33	Zabbix server	Zabbix server has just been restarted	OK	Information	25m 9s	No	-
11 Jun 2012 15:16:32	ProCurve J4900B Switch 2626	#OperStatus.16 on ProCurve J4900B Switch 2626 has changed	OK	Not classified	27m 10s	No	-
11 Jun 2012 15:15:32	ProCurve J4900B Switch 2626	#OperStatus.16 on ProCurve J4900B Switch 2626 has changed	PROBLEM	Not classified	1m	No	-
11 Jun 2012 15:08:33	Zabbix server	Zabbix server has just been restarted	PROBLEM	Information	10m	No	-
11 Jun 2012 15:02:07	Zabbix server	Zabbix agent on Zabbix server is unreachable for 5 minutes	OK	Average	41m 23s	No	-
11 Jun 2012 14:40:56	ProCurve J4900B Switch 2626	#OperStatus.10 on ProCurve J4900B Switch 2626 has changed	OK	Not classified	1h 2m 46s	No	-
11 Jun 2012 14:39:26	ProCurve J4900B Switch 2626	#OperStatus.10 on ProCurve J4900B Switch 2626 has changed	PROBLEM	Not classified	1m 30s	No	Failed

Slika 7. Lista događaja na sistemima DC-a

VI ZAKLJUČAK

Opisani DC-i su opremljeni velikim brojem sistema. Osnovna funkcija svih sistema je da obezbijede neprekidan i stabilan rad implementirane ICT opreme u rekovima. Nadzor vrijednosti parametara elemenata ovih sistema omogućava generisanje podataka u realnom vremenu koji služe sistemima za monitoring i upravljanje u svrhu prikazivanja stanja, odnosno preduzimanja određenih akcija. Sistemi objekta DC-a i izvori električne energije, odnosno RP-a preko kojih se ti izvori i DC povezuju na EES su, obično, nezavisno realizovani pa su i prateći monitoring, odnosno upravljanje tim sistemima, realizovani na bazi SCADA-e, nezavisni za svaki sistem. Zbog pojednostavljena funkcionalnosti i smanjenja kompleksnosti, pogodno je najbitnije parametre elemenata svih sistema, za koje je to moguće, nadgledati i kontrolisati preko integrisanog sistema za monitoring i upravljanje. Već su u upotrebi sistemi otvorenog koda i komercijalna rešenja za integrisani monitoring, dok su rešenja za funkcionalno upravljanje još uvijek u fazi razvoja. Upravljanje OIE i RP-a visokog i srednjeg napona je u

nadležnosti EES-a, prije svega zbog održavanja stabilnosti cijelog sistema. Niskonaponskim postrojenjima i sistemima DC-a može se upravljati integracijom lokalnih SCADA ili drugih rešenja sa centralizovanim sistemom za upravljanje.

Razvoj softvera i sve veća upotreba vještačke inteligencije rezultiraju mogućnošću integracije bilo kog sistema u postojeći sistem za monitoring i upravljanje samo na osnovu MIB fajla vezanog za taj sistem ili elemente tog sistema. Osim podataka bitnih za monitoring, taj fajl treba da sadrži i podatke o naredbama i funkcijama koje se mogu obavljati nad elementom, a komunikacija mora postati dvosmjerna tj. od elementa do integrisanog sistema za monitoring i upravljanje, kao i u obratnom smjeru.

LITERATURA

- [1] Geng, H. *Data Center Handbook*, Amica Association, Palo Alto, CA, USA, John Wiley & Sons, New Jersey, 2015.
- [2] Postel, J. *Request for Comments: 791 - Internet Protocol*, Network Working Group, IETF, 1981.

- [3] Postel, J. *Request for Comments: 792 - Internet Control Message Protocol*, Network Working Group, IETF, 1981.
- [4] Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M., Davin, J. *Request for Comments: 1157 - A Simple Network Management Protocol (SNMP)*, Network Working Group, IETF, 1990.
- [5] Presuhn, R., McCloghrie, K., Rose, M., Waldbusser, S. *Request for Comments: 3418 - Management Information Base (MIB) for the Simple Network Management Protocol (SNMP)*, Network Working Group, IETF, 2002.
- [6] Beaudet, et al., *Uninterruptible Power Supplies – European Guide*, European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (CEMEP), 2008.
- [7] Dai, J., Ohadi, M., Das, D., Pecht, M. *Optimum Cooling of Data Centers - Application of risk assessment and mitigation techniques*, Springer, New York, 2014.
- [8] Niemann, J., Brown, K., Avelar, V. *Impact of Hot and Cold Aisle Containment on Data Center Temperature and Efficiency*, Revision 2, *Schneider Electric Data Center Science Center, White Paper, 135*, pp 1-14, 2011. http://www.facilitiesnet.com/whitepapers/pdfs/APC_011112.pdf [pristupljeno 15.03.2020]
- [9] Zhang, H., Shao S., Xu, H., Zou, H., Tian, C. Free cooling of data centers: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 35, pp. 171-182, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.017> [pristupljeno 18.03.2020]
- [10] Switch Offers the World's Only Tier 5® Platinum Data Centers, <https://www.switch.com/tier-5/> [pristupljeno 18.03.2020]
- [11] Đurišić, Ž. *Vjetroelektrane*, Akademska misao, Beograd, 2019.
- [12] Mikulović, J., Đurišić, Ž. *Solarna energetika*, Akademska misao, Beograd, 2019.
- [13] Stankov, S., Arsić, S. Karakteristike dizel električnih agregata, primena, izbor, održavanje, in Proc. 25. *Međunarodni kongres o procesnoj industriji - Procesing '12*, SMEITS 2012, Beograd, Vol. 25, No. 1, 2012.
- [14] Stojković, Z. *Monitoring i dijagnostika visokonaponskih postrojenja - Predavanja*, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2019.
- [15] Zabbix Manual, <https://www.zabbix.com/documentation/current/manual> [pristupljeno 18.03.2020]
- [16] GRVEP wind turbine monitoring, <http://www.grvcp.lv/en/wind-turbine-monitoring-z-scada/> [pristupljeno 18.03.2020]

AUTORI

Ivan Vujović, MScEE, Ericsson AB Štokholm, dio stranog društva Podgorica, ivanvu@t-com.me

dr Darko Šošić - docent, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, sasic@etf.rs

dr Željko Đurišić - vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, djurisic@etf.rs