

Idejno rešenje regionalnog Data Centra kod Beograda napajanog iz obnovljivih izvora energije

Conceptual Solution of the Regional Data Centre near Belgrade That Is Powered from Renewable Energy Sources

Ivan Vujović*, Željko Đuršić**

* Ericsson AB Štokholm, dio stranog društva Podgorica

** Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Rezime - Trendovi centralizacije telekomunikacione i računarske opreme radi postizanja ekonomskih benefita, odnosno implementacije tehnoloških inovacija i novih tehničkih rešenja dovode do potrebe izgradnje sve većih Data Centara (DC-a). Povećanje veličine objekta DC-a, odnosno broja rekova sa opremom koji se implementiraju unutar DC-a, kao i broja uređaja koji omogućavaju pravilnu funkcionalnost te opreme, prati neminovno povećanje potrebne količine električne energije za napajanje. Za DC-e koji zahtijevaju veliku količinu električne energije isplativa je izgradnja sopstvenih, obično obnovljivih izvora energije (OIE). Tada su OIE primarni, a ElektroEnergetski Sistem (EES) služi kao sekundarni i redundantni izvor napajanja. U radu je predstavljena ideja za realizaciju DC-a koji se, preko EES-a, primarno napaja iz OIE. Generisana električna energija iz OIE se prenosi u EES upotrebom razvodnih postrojenja (RP-a) visokog napona, a DC napaja iz EES-a preko RP-a niskog, srednjeg i visokog napona. Za realizaciju jednog takvog objekta potrebno je obezbijediti adekvatne uslove koji se odnose na geografsku poziciju, dostupnost lokacije sa stanovišta pristupa, kao i mogućnosti elektroenergetskog, odnosno telekomunikacionog povezivanja. Na osnovu sprovedenih istraživanja potencijala OIE, raspoložive putne, elektroenergetske i telekomunikacione infrastrukture, u ovom radu su analizirani uslovi razvoja DC-a na lokaciji kod Beograda i to u blizini Transformatorske Stanice (TS) „Beograd 20“. Predloženo rešenje, sa aspekta napajanja DC-a, uključuje izgradnju vjetroelektrane, solarne elektrane i elektrane na deponijski gas, kao i pratećih RP-a. Predviđeno je telekomunikaciono povezivanje objekta sa mrežom EES-a i drugim važnim telekomunikacionim centrima. Ove konekcije se ostvaruju preko optičkih kablova, postavljenih uz elektroenergetske vodove i kablove, a gdje to nije moguće, postavljene samostalno. Prikazan je dizajn unutrašnjosti DC-a i urađeni proračuni potrebne količine električne energije za napajanje opreme i uređaja u objektu. Na osnovu toga je izvršen proračun potrebnog kapaciteta OIE, kao i proračun pripadajućih RP-a. Dato je i rešenje optičkog povezivanja unutar objekta DC-a. Na kraju rada izvršena je uopštena procjena investicionih i ekonomskih aspekata izgradnje ovakvog DC-a.

Abstract - Telecommunications and computer equipment centralisation trends for the purpose of achieving economic benefits, usage of technological innovations and new technical solutions implementation leads to the requirements for building bigger Data Centres (DCs). An increase in the size of the DC facility i.e. the number of racks inside occupied with equipment and the number of devices that enables the proper functioning of that equipment leads to necessarily power energy requirements increasing for power supply. For the DCs that require a large amount of energy, the building of their own, usually renewable energy sources (RES) is cost-effective. In such a case, RES are primary and Power System (PS) is secondary and redundant power source. A concept of a DC primary powered from RES is presented in this paper. Generated electrical energy in RES is transmitted in PS through high voltage switch-gears (SGs) while DC is power supplied from PS through low voltage, medium voltage and high voltage SG-s. For the purpose of realisation of such facility, it is necessary to enable adequate conditions related to geographical location, physical access to the facility, possibility of connecting to the PS and possibility of connecting to the telecommunications centres. Based on carried out researches related to RESs potential, available roads, power supply infrastructure and telecommunication infrastructure, development conditions for DC on location near to Belgrade, close to power transformer station „Belgrade 20“ are analysed in this paper. From the aspect of DC power supply, proposed solution includes wind farm, solar plant and landfill gas power plant, as well as related SGs. Telecommunication connections from DC to the PS and other important telecommunication centres are provided. These connections are realised through optical cables placed next to the electrical lines and cables, and, when that is not possible, placed independently in the ground. The design of the DC interior is given and calculations of the required electrical energy for the power supply of the equipment and devices in the facility are performed. Based on calculation results, capacity calculation of the RES and calculation of SGs are performed. Design of the interior optical connections inside DC is also given. A General assessment of the investment and economics of building such DC are given at the end of the paper.

Ključne reči - Data Centar, obnovljivi izvori energije, razvodno postrojenje, redundansa, telekomunikaciono povezivanje

Index Terms - Data Center, renewable energy sources, switch-gear, redundancy, telecommunication connections

poželjno postići i standard nivoa 5 opisanog u [3].

Prema [4], u DC-ima koji za hlađenje opreme i uređaja koriste čilere, potrošnja električne energije je okvirno raspoređena tako da na ICT opremu ide 50%, hlađenje 35%, UPS i ispravljače 11% i osvjetljenje 4%.

Prema proračunima i podacima predstavljenim u [5], a na osnovu trenda razvoja ICT rešenja i kompleksnosti dizajna DC-a, optimalno je u rekeve smjestiti opremu koja zahtijeva 5 – 8 kW Alternating Current (AC) električne snage. Kako bi se omogućilo smještanje opreme koja je trofazni potrošač, a s obzirom da je predviđena gornja granica konzumacije AC električne snage po reku 20 kW, pogodno je, u svakom reku, implementirati redundantni trofazni sistem napajanja koji čine dvije 3 x 16 A grane od kojih svaka može prenijeti po 11 kW AC električne snage.

Trendovi u proizvodnji ICT opreme sve više idu ka jednosmjernom (Direct Current - DC) napajanju, posebno većih potrošača. S tim u vezi, dio rekova treba opremiti sa -54 V DC redundantnim napajanjem. U tu svrhu se koriste ispravljački sistemi. Obično se rekovi napajaju ili sa AC ili sa DC izvora električne energije, mada se mogu pojaviti slučajevi kada je u istom reku potrebno smjestiti i AC i DC napajanu opremu, ali zbog relativno malog broja takvih slučajeva, nije opravdano svaki rek napajati i sa AC i sa DC redundantnih izvora već se, kada je to potrebno, u reku implementiraju posebni ispravljački, odnosno invertorski uređaji. Dio rekova za koje je predviđeno DC redundantno napajanje koristiće DC električnu snagu ekvivalentnu AC snazi tako da su proračuni ukupne potrebne snage vršeni kao da je svaki rek potrebno napajati iz AC izvora.

Optimalna električna snaga kojom treba napojiti svaki rek je 8 kW, pa je za 5.000 rekova potrebna ukupna snaga od 40 MW.

Konzumacija električne energije sistema za ventilaciju i klimatizaciju (Heating Ventilation and Air Conditioning - HVAC) varira zavisno od spoljašnje temperature, meteoroloških uslova, godišnjeg doba i td., ali se električna snaga uvijek projektuje za maksimalnu vrijednost tj., kako je navedeno u [4], za 70% snage predviđene za ICT opremu u rekovima. Ta vrijednost je, na nivou cijelog DC-a, 28 MW. Prema istom izvoru, za UPS i ispravljačke sisteme se koristi 22% tj. 8,8 MW, a za osvjetljenje 8% tj. 3,2 MW predviđene snage za ICT opremu DC-a. Ukupna snaga potrebna za sve navedene sisteme u DC-u je 80 MW.

Za potrebe ostvarivanja komunikacije između opreme u različitim rekovima i prema drugim komunikacionim centrima, za svaki rek je predviđena redundantna optička veza prema distributivnim rekovima i to preko 2 x 2 duplex singlmodna optička vlakna. Ukupan broj distributivnih rekova je 20, a po svakom reku se ostvaruje 1.008 optičkih konekcija (24 panela sa po 48 LC konektora).

Zbog efikasnosti hlađenja tj. odvođenja disipirane toplote koju generiše oprema [6], postavljanje rekova se vrši tako da se između dva niza rekova formira „hladna zona“ [7]. Svaka dva niza rekova jedne zone napajaju se trofazno AC (400/230 V), sa dva UPS sistema, ili DC (- 54 V) sa dva ispravljačka sistema. U jednom nizu se postavlja 10 ICT rekova tj. u zoni 20 ICT rekova. Kako je projektovana snaga po reku 8 kW, svaki UPS ili

ispravljački sistem treba da bude snage po 160 kW radi postizanja potpune redundanse u zoni. Ukupan broj UPS/ispravljačkih postrojenja u DC-u je 358. Kapacitet baterija koje su sastavni dio ovih sistema treba biti takav da omogućava samostalnost u radu opreme pri potpunom nestanku električne energije od najmanje jednog časa. S obzirom da je snaga svakog UPS ili ispravljačkog sistema 160 kW, a jednosmjerni izlazni napon baterija - 54 V DC, to struja koju daju baterije UPS-a/ispravljača treba da bude 2.963 A DC. Kapacitet baterija jednog UPS-a/ispravljača koji omogućava autonomnost u radu od jednog časa je 2.963 Ah tj. 3.000 Ah. Da bi se obezbijedio taj kapacitet, na svaki UPS/ispravljač redno, u dva niza, se povezuju po 27 baterija kapaciteta 1.500 Ah i napona 2 V (ukupan napon 27 redno vezanih baterija je: 54 V DC). Ukupan potreban broj baterija kapaciteta 1.500 Ah u DC-u je: $358 \times 2 \times 27 = 19.332$. U situaciji kada nisu funkcionalni ni primarni izvori napajanja (OIE) ni redundantno napajanje (EES), tj. kada se oprema u DC-u napaja iz baterija, potrebno je, po uspostavljanju primarnog, odnosno sekundarnog napajanja, omogućiti ponovno dopunjavanje ili punjenje baterija. Pretpostavljajući da su kapaciteti svih baterijskih nizova potpuno iskorišćeni, punjenje svakog niza od 27 baterija se vrši desetočasovno tj. strujom od 150 A. Ukupna DC snaga potrebna za punjenje jednog baterijskog niza je: $150A \cdot 54V = 8,1 \text{ kW}$. Za dva niza baterija koji se povezuju na svaki UPS/ispravljač potrebno: 16,2 kW DC, a to je adekvatno 3,804 kW AC snage, što znači da će u periodu punjenja baterija, za jedan niz rekova, snaga dostupna opremi u rekovima od 160 kW (Snaga svakog UPS-a/ispravljača) biti umanjena za 3,804 kW tj. svakom reku u nizu biće dostupno $8 - 3,804/10 = 7,62 \text{ kW}$. Za smještanje 2 x 27 baterijskih jedinica potrebna su tri reka, što, uz jedan UPS ili ispravljački rek, čini ukupno 4 reka za napajanje u svakom nizu tj. zajedno sa ICT rekovima, 14 rack-ova u nizu, odnosno 28 rekova u svakoj zoni. Navedena realizacija baterijskog sistema podrazumijeva upotrebu takozvanih „olovnih“ baterija i predstavlja standardno rešenje za sadašnje DC-e. Značajno bolje rešenje u smislu obezbjeđivanja mnogo veće autonomije rada uz, praktično, nultno zagađenje je upotreba vodoničnih gorivnih ćelija. Ova tehnologija se tek počinje široko koristiti.

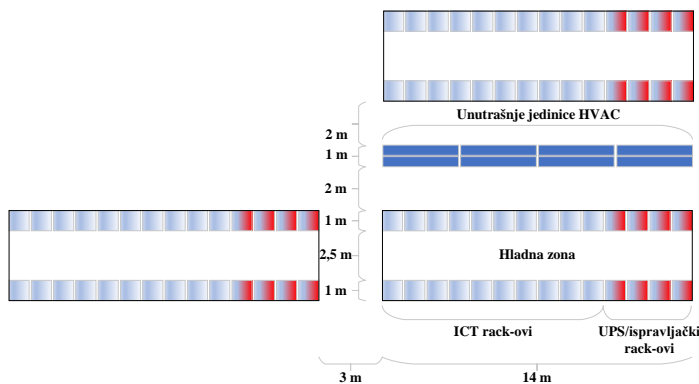
Sistem HVAC čine unutrašnje jedinice, spoljašnje jedinice, ventilatori i cijevi kroz koje cirkuliše voda. Unutrašnje jedinice se smještaju između zona sa rekovima i vrše uduvanje ohlađenog vazduha u „hladnu zonu“ između nizova rekova, odnosno usisavanje toplog vazduha sa zadnje strane rekova.

Spoljašnje jedinice su čileri i jedinice za disipaciju toplote sa ventilatorima koje se postavljaju pored objekta DC-a. Odvođenje toplote koju usisavaju unutrašnje jedinice vrši se preko cijevi kroz koje cirkuliše voda do spoljašnjih jedinica, gdje se, posredstvom ventilatora, toplota odaje u okolinu.

Regulacijom HVAC sistema, temperatura unutar „hladnih zona“ održava se na približno 21°C koliko je sobna temperatura koja je optimalna za funkcionisanje ICT opreme smještene u rekovima. Dozvoljena varijacija temperature unutar „hladne zone“ je $\pm 2^\circ\text{C}$. Takođe, održava se i vlažnost vazduha unutar DC-a i to na optimalnih 55% uz dozvoljene varijacije $\pm 5\%$.

Dimenzije svakog reka (ICT i UPS/ispravljačkog, odnosno baterijskog) su: 1 m x 1 m x 2 m. Unutrašnje jedinice HVAC

sistema su dimenzija: 3,5 m x 0,5 m x 2 m. Na ulazima u „hladnu zonu“, sa obje strane, su postavljena klizna vrata, a u duplom podu između rekova rešetke kroz koje se udvava rashlađeni vazduh. Dizajn unutrašnjeg prostora DC-a predstavljen je na slici 2.



Slika 2. Dizajn unutrašnjosti DC-a

IV TEHNIČKO REŠENJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Prethodno navedeni OIE (vjetroelektrana, solarna elektrana) predviđeni su za primarno napajanje DC-a preko EES-a. Kao primarni izvor napajanja predviđena je i elektrana na deponijski gas. Sekundarni i redundantni izvor napajanja je EES.

A. Vjetroelektrana

Na osnovu izmjerenih vrijednosti brzine vjetra i smjera vjetra, odnosno temperature u periodu od jedne godine tj. na osnovu poznavanja vjetropotencijala lokacije na kojoj je predviđena izgradnja vjetroelektrane, kao i karakteristika izabranog vjetroagregata i visine na kojoj se postavlja osovina, vrši se procjena prosječne godišnje proizvodnje električne energije jednog vjetrogeneratora, a na osnovu izračunatih potreba za električnom energijom objekta DC-a i broj vjetrogeneratora koji će činiti vjetroelektanu. Za lokaciju vjetroelektrane se određuje „ruža vjetrova“, odnosno dominantan smjer vjetra na osnovu kog se vjetrogeneratori postavljaju tako da se minimizuje efekat zavjetrine. Snaga vjetra koji struji normalno na površinu A opisanu vrhovima lopatica vjetroturbine izračunava se prema izrazu datom u [8] kao:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

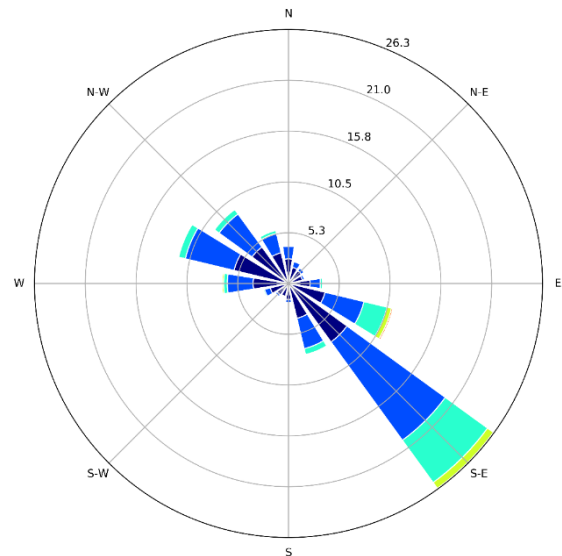
gdje su:

P [W] – prosječna vrijednost snage vjetra na visini h iznad tla,
 ρ [Kg/m^3] – prosječna gustina vazduha na nadmorskoj visini H ,
 A [m^2] – površina koju opisuju vrhovi lopatica vjetroturbine,
 v [m/s] – brzina vjetra na visini h iznad tla.

Iz relacije (1) je uočljiva linearna zavisnost snage vjetra od gustine vazduha i površine koju opisuju vrhovi lopatica vjetroturbine, dok je dominantna zavisnost od brzine vjetra i to sa trećim stepenom.

Mjerenje brzine i smjera vjetra na lokaciji: „Bavanište“ vršeno je u jednogodišnjem intervalu sa desetominutnom rezolucijom zapisa podataka, na visinama 10 m, 40 m, 50 m i 60 m od tla, dok je mjerenje temperature vršeno na visini od 5 m iznad tla. Na

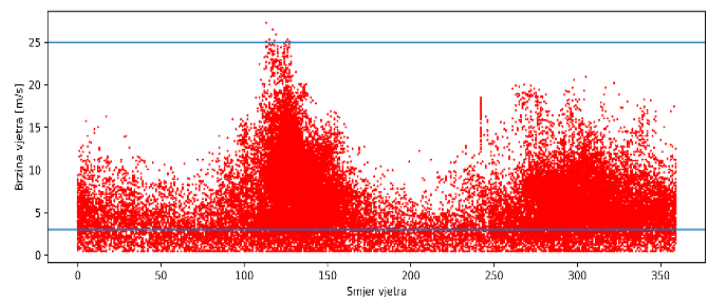
osnovu sprovedene statističke analize utvrđeno je da su srednje godišnje brzine vjetra, za navedenu lokaciju, na 10 m, 40 m, 50 m i 60 m jednake: 3,73 m/s, 5,28 m/s, 5,37 m/s i 5,72 m/s respektivno. Procijenjena brzina vjetra na 135 m iznad tla, tj. na visini osovine vjetroturbine, koja odgovara karakteristikama vjetrogeneratora specificiranog u [9] je proračunata na osnovu stepenog zakona i iznosi: 6,62 m/s. Obradom podataka dobijenih mjerenjima i rezultata proračuna, za navedenu lokaciju i visinu od 135 m dobija se „ruža vjetrova“ prikazana na slici 3.



Slika 3. Ruža vjetrova za visinu od 135 metara

Sa slike je očigledan dominantan smjer vjetra South East (SE) što je i očekivano jer se lokacija nalazi uz rijeku Dunav duž koje, u zimskim mjesecima, kada su brzine vjetra najveće, duva jugoistočni vjetar „Košava“.

Slika 4 prikazuje zavisnost brzine od smjera vjetra na visini od 135 metara.



Slika 4. Zavisnost brzine od smjera vjetra na visini od 135 m

Gustina vazduha se može odrediti na osnovu relacije date u [8]:

$$\rho = \rho_0 \cdot k_a \cdot k_t \quad (2)$$

gdje su:

$$k_a = \frac{p}{p_0} = e^{-0,000118 \cdot H} \text{ - korekcioni faktor pritiska,}$$

$$k_t = \frac{273,15 + 15,04}{273,15 + t \text{ [}^\circ\text{C]}} \text{ - korekcioni faktor temperature.}$$

Visina H predstavlja nadmorsku visinu osovine turbine. Kako je nadmorska visina mjesta gdje je predviđeno postavljanje vjetroagregata 164 m, a visina osovine turbine vjetroagregata iznad tla 135 m to je vrijednost $H = 299$ m pa je $k_a = 0,965$. Temperatura se, sa porastom visine, na srednjoj geografskoj širini, mijenja približno prema gradijentu $\Delta T = -0,0066$ K/m [8], a na osnovu relacije:

$$T_{135} = T_5 + \Delta T \cdot (135 - 5) \quad (3)$$

Kako je prosječna izmjerena vrijednost temperature u toku godine, na visini od 5 metara iznad tla, $T_5 = 13,9$ °C to je $T_{135} = 13,0$ °C, što znači da je $k_t = 1,007$, odnosno, na osnovu relacije (2), uz poznato $\rho_0 = 1,225$ kg/m³, izračunato je: $\rho = 1,19$ kg/m³. Ova vrijednost gustine vazduha koristi se za korekciju krive snage vjetroturbine koja je data za ρ_0 [9].

Intenzitet turbulencnosti vjetra, za homogene ravne terene, računa se prema poluempirijskoj relaciji:

$$I(h) \approx \frac{1}{\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)} \quad (4)$$

datoj u [8], gdje su: h_0 – jedinstvena dužina hrapavosti (za izabrani teren je $h_0 = 0,03$), h - visina na kojoj se procjenjuje intezitet turbulencnosti.

Upotrebom relacije (4) dobija se intezitet turbulencnosti od $I(135) = 12$ %.

Ekstremne brzine vjetra koje se mogu pojaviti na lokaciji predviđenoj za postavljanje vjetroagregata mjerodavne su za izbor tipa turbine, projektovanje temelja stuba, kao i za analizu naprezanja materijala pojedinih djelova agregata. Prema [8], veza između ekstremne i srednje godišnje brzine vjetra na određenoj lokaciji i određenoj visini data je relacijom:

$$v_{50god} = 5 \cdot v_{1god} \quad (5)$$

gdje su:

v_{50god} – srednja desetominutna vrijednost ekstremne brzine vjetra koja se javlja, u prosjeku, jednom u 50 godina,

v_{1god} – srednja godišnja brzina vjetra na visini osovine vjetroturbine.

Kako je, na visini od 135 m, $v_{1god} = 6,62$ m/s, to je $v_{50god} = 33,1$ m/s. Ekstremni udar vjetra, odnosno srednja trosekundna vrijednost brzine vjetra koja se pojavljuje, u prosjeku, jednom u 50 godina računa se upotrebom faktora udarnosti G čija je standardna pretpostavljena vrijednost $G = 1,4$ prema relaciji:

$$v_{max50god} = G \cdot v_{50god} \quad (6)$$

Na osnovu (6) i izračunate vrijednosti v_{50god} dobija se:

$$v_{max50god} = 46,34 \text{ m/s.}$$

Ukupni rezultati izvršenih proračuna su sledeći:

- srednja godišnja vrijednost brzine vjetra na visini od 135 m je: $v = 6,62$ m/s;
- minimalna i maksimalna izmjerena vrijednost temperature u toku godine su: $T_{min} = -18,8$ °C i $T_{max} = 36,9$ °C;
- gustina vazduha na visini od 135 m je: $\rho = 1,19$ kg/m³;
- vrijednost intenziteta turbulencnosti na visini od 135 m je: $I=12\%$;

- srednja desetominutna vrijednost ekstremne brzine vjetra koja se javlja, u prosjeku, jednom u 50 godina je: $v_{50god} = 33,1$ m/s;
- srednja trosekundna vrijednost brzine vjetra koja se pojavljuje, u prosjeku, jednom u 50 godina je: $v_{max50god} = 46,34$ m/s.

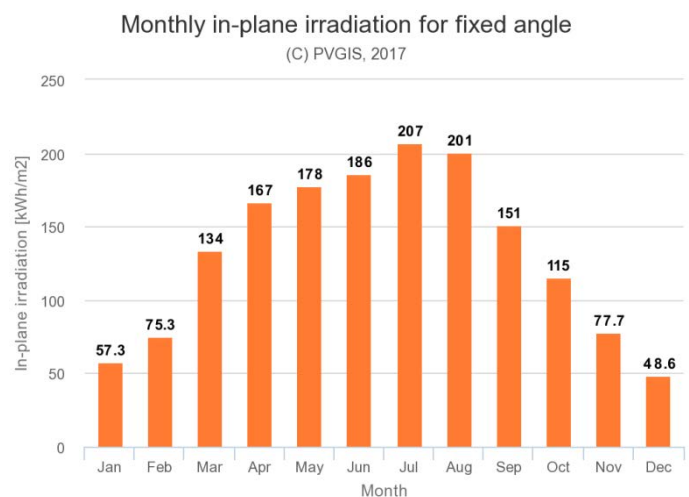
Izabrani vjetroagregat: General Electric GE 6.0 – 164 [9] zadovoljava po svakom parametru lokacije na kojoj je planirana izgradnja vjetroelektrane.

Za napajanje DC-a potrebna je konstantna snaga od 80 MW. Na nivou godine to je električna energija od 701,280 GWh. Predviđeno je da vjetroelektrana proizvede upravo toliko električne energije na nivou godine. Za ostvarivanje navedene proizvodnje potrebno je izgraditi vjetroelektranu koja bi se sastojala od 40 vjetroagregata naznačenog tipa, čija je ukupna instalisana snaga 240 MW, što je utvrđeno na osnovu proračuna, korišćenjem softvera WAsP 11.

B. Solarna elektrana

Kapacitet solarne elektrane se računa na osnovu dostupne površine za izgradnju od 473.108 m². Podaci o insolaciji i temperaturi su dobijeni na osnovu Photo Voltaic Geographical Information System (PVGIS) Satellite Application Facility (SAF) Climate online baze podataka [10].

Izračunati optimalni nagibni ugao pod kojim treba postaviti solarni panel u odnosu na tlo je: $\Sigma = 34$ °. Za ovaj ugao, insolacija na jednom kvadratnom metru solarnog panela po mjesecima u toku godine predstavljena je grafikom na slici 5.



Slika 5. Insolacija po kvadratnom metru solarnog panela postavljenog pod nagibnim uglom od 34°

Na osnovu proračuna dobijeni su sledeći podaci:

- optimalni nagibni ugao panela je: $\Sigma = 34$ °;
- optimalni azimutni ugao je: $\phi = 0$ °;
- godišnja insolacija na površinu solarnog panela je: 1.600 kWh/m².

Izabrani solarni moduli *Jinkosolar Eagle JKM340PP-72* [11] je sledećih karakteristika:

- maksimalna izlazna DC snaga pri Standard Test Conditions (STC) je: $P_{max} = 340 \text{ Wp}$;
- izlazni DC napon pri maksimalnoj snazi za STC je: $V_{mp} = 38,2 \text{ V}$;
- izlazna DC struja pri maksimalnoj snazi za STC je: $I_{mp} = 8,91 \text{ A}$;
- temperaturni opseg modula (ćelija) je: od $T_{min} = -40^\circ\text{C}$ do $T_{max} = +85^\circ\text{C}$;
- Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) je: $45 \pm 2^\circ\text{C}$;
- koeficijent vazdušne mase za STC i NOCT je: $m=1,5$.

Solarni paneli se grupišu na koncentratorskim poljima. Izabrano koncentratorsko polje je: *Electric 1000V Array box AB16-300* [12].

Koncentratorska polja se povezuju sa ulazima invertorskog postrojenja. Izabrano invertorsko postrojenje je: *Schneider Electric PV Box ST 2720* [13].

Proizvodnja električne energije jednog solarnog panela zavisi, prije svega, od insolacije na njemu i temperature okoline. Nazivna snaga izabranog panela je: $P_{DC,STC} = 340 \text{ Wp}$. U realnim eksploatacionim uslovima, snaga kojom solarni panel generiše električnu energiju na pragu invertora (P_{AC}) je manja od snage na DC priključcima panela pri standardnim uslovima tj. nazivne snage panela $P_{DC,STC}$ zbog gubitaka, odnosno efikasnosti konverzije η na koju utiču: temperaturne razlike u ambijentalnim uslovima u odnosu na standardne, zaprljanost modula (panela), neuparenost karakteristika modula u okviru panela i stepen efikasnosti invertora [14]. Usvaja se da su gubici usled zaprljanja 4% ($\eta_Z=0,96$), a gubici usled neuparenosti modula 3% ($\eta_N=0,97$), dok je, od strane proizvođača invertora, naveden stepen efikasnosti $\eta_{inv} = 0,986$ [14]. Efikasnost solarnog panela usled povećanja temperature okoline izračunava se prema relaciji datoj u [14]:

$$\eta_T = [1 - TC_P \cdot (T_{cell} - 25^\circ\text{C})] \quad (7)$$

gdje su:

TC_P – temperaturni koeficijent smanjenja snage solarnog panela usled povećanja temperature modula iznad NOCT ($TC_P = -0.40\%/^\circ\text{C}$ [11]),

T_{cell} [$^\circ\text{C}$] – srednja dnevna temperatura modula koja se izračunava upotrebom relacije date u [14]:

$$T_{cell} = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20}{0,8} \right) \cdot I \quad (8)$$

gdje su:

T_{amb} [$^\circ\text{C}$] – temperatura okoline panela ($T_{amb} = 20^\circ\text{C}$),

I [Wh/m^2] – insolacija na panelu ($I=1$).

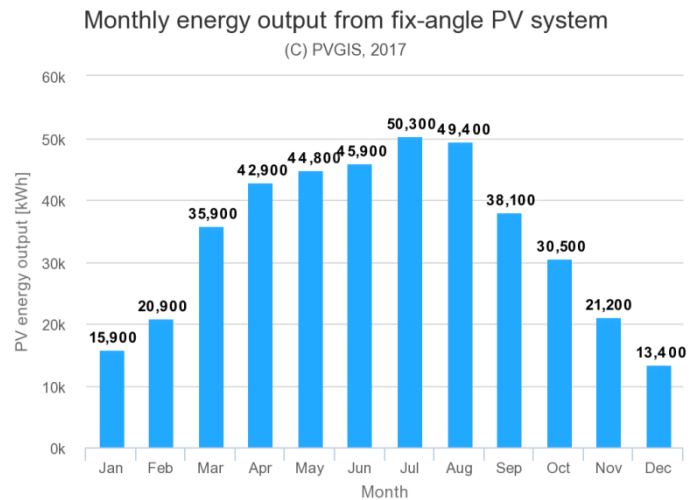
Iz (8) $T_{cell} = 51,25^\circ\text{C}$. Zatim je, iz (7) $\eta_T = 0,895$.

Realna snaga jednog solarnog panela na pragu invertora dobija se upotrebom relacije date u [14]:

$$P_{AC} = P_{DC,STC} \cdot \eta_Z \cdot \eta_N \cdot \eta_T \cdot \eta_{inv} \quad (9)$$

Zamjenom brojnih vrijednosti, dobija se: $P_{AC} = 279,4 \text{ W}$, što znači da su gubici u odnosu na instalisanu snagu panela: $P_{DC,STC} = 340 \text{ W}$ ukupno: 17,8%.

Iz *PVGIS SAF Climate online* baze podataka dobija se procjena vrijednosti proizvodnje električne energije na nivou invertora za godinu dana: $E_{AC} = 409 \text{ kWh}$. Procijenjena proizvodnja solarnog panela po mjesecima u godini data je na slici 6.



Slika 6. Procijenjena proizvodnja električne energije jednog solarnog panela po mjesecima u toku godine

Izbjegavanje sijenke sa jednog na drugi red solarnih panela postiže se postavljanjem redova panela na horizontalnom rastojanju od 4,5 m. Širina solarnog panela je: 0,992 m (zbog nesavršenosti izrade i pripajanja panela biće uzeto 1 m), a visina je: 1,956 m. Horizontalna površina koja je opredijeljena za smještanje jednog solarnog panela, uzimajući u obzir potrebno rastojanje između redova panela, je: 4,5 m². Odbijajući od dostupne površine za solarnu elektranu (473.108 m²) površinu potrebnu za smještanje invertorskih postrojenja, koncentratorskih polja i prilazne puteve od 23.108 m², za smještanje panela ostaje površina od: 450.000 m² na kojoj se postavlja 100.000 panela.

Instalisana DC snaga solarne elektrane je:

$$P_{DCE} = P_{DC,STC} \cdot n = 340 \text{ W} \cdot 100.000 = 34 \text{ MW}$$

Instalisana AC snaga na nivou invertora je:

$$P_{ACE} = P_{AC} \cdot n = 279,4 \text{ W} \cdot 100.000 = 27,94 \text{ MW}$$

Procijenjena proizvodnja solarne elektrane za godinu dana je:

$$E_{ACE} = E_{AC} \cdot n = 409 \text{ kWh} \cdot 100.000 = 40,9 \text{ GWh}$$

V TEHNIČKO REŠENJE ELEKTRANE NA DEPONIJSKI GAS

Proizvodnja električne energije u ovom tipu elektrane se vrši preko gasnog motora koji pogoni električni generator. Uobičajeni sastav deponijskog gasa koji se dobija truljenjem otpada je: 50-55% metan, 40-45% ugljen dioksid, i u mnogo manjem procentu nemetanska jedinjenja [15]. Primarna funkcija ove elektrane je da obezbijedi napajanje prioritetnih rekova u slučaju ispada svih OIE, EES-a i potpuno ispražnjenih baterijskih kapaciteta. Na osnovu definisanih uslova izgradnje kogeneracijskog postrojenja za generisanje električne i toplotne energije iz otpada na lokaciji „Vinča“ navedenih u [16], očekivana godišnja proizvodna električne energije je 192 GWh. Pretpostavljajući da je na raspolaganju uvijek dovoljna količina otpada tj. deponijskog gasa, odnosno da je proizvodnja električne energije

konstantna, izuzimajući vrijeme remonta, prekida rada zbog mogućih kvarova, opravki i drugih intervencija, elektrana će raditi sa snagom: $P=192 \text{ GWh}/8766 \text{ h} = 21,9 \text{ MW}$. Ova snaga je dovoljna za redundantno napajanje 1.368 rekova koji se mogu smatrati prioritarnim. U normalnom režimu rada OIE i EES-a, ova elektrana će proizvedenu električnu energiju plasirati direktno u mrežu.

VI ELEKTRIČNO I KOMUNIKACIONO POVEZIVANJE

A. Povezivanje Data Centra na EES

Postrojenje DC-a, na slici 1 označeno sa: „Razvodno postrojenje 1“, povezuje se sa EES-om preko RP-a „Beograd 20“ sa 2 nadzemna 110 kV voda. Kako je za rad DC-a potrebna snaga od 80 MW, to se RP 1 napaja sa tri 31,5 MVA transformatora 110 kV/10 kV ukupne snage 94,5 MVA, dok je jedan 31,5 MVA transformator u rezervi.

B. Povezivanje vjetroelektrane na EES

Postrojenje vjetroelektrane, na slici 1 označeno sa: „Razvodno postrojenje 2“, povezuje se na EES preko dva nazemna 400 kV voda „Pančevo 2“ - „Beograd 20“. Kako je instalirana snaga vjetroelektrane 240 MW to se električna energija isporučuje EES-u preko dva 120 MVA transformatora 33 kV/400 kV.

C. Povezivanje solarne elektrane na EES

Postrojenje solarne elektrane i elektrane na deponijski gas, na slici 1 označeno sa: „Razvodno postrojenje 3“, povezuje se na EES preko RP-a „Beograd 20“ sa dva nadzemna 110 kV voda. Kako je instalirana snaga solarne elektrane 27,94 MW to se električna energija koju generiše isporučuje EES-u preko dva 20 MVA transformatora 35 kV/110 kV ukupne snage 40 MVA.

D. Povezivanje elektrane na deponijski gas na EES

Kako je instalirana snaga elektrane na deponijski gas 21,9 MW, to se električna energija koju ova elektrana generiše isporučuje EES-u preko dva 31,5 MVA transformatora 35 kV/110 kV, ukupne snage 63 MVA.

E. Komunikaciono povezivanje

Postavljanje optičkih kablova vrši se uz elektroenergetske vodove (Optical Ground Wire - OPGW) ili kablove (podzemni optički kabal), a u slučajevima gdje se optičko povezivanje implementira nezavisno od elektroenergetskog postavljanja se samo podzemni optički kablovi. Objekat DC-a treba biti povezan preko 2 x 144 singlmodna optička vlakna i RP-a „Beograd 20“ u 400 kV prsten: „Beograd 20“, „Pančevo“, „Kostolac“, „Požarevac“, „Beograd 20“. Preko ovog prstena ostvaruje se optička povezanost i sa većim gradovima u Srbiji i sa susjednim zemljama. Unutar objekta DC-a, terminacija optičkih vlakana vrši se u zasebnim rekovima.

Primarno, DC treba biti povezan u optičke prstenove provajdera telekomunikacionih usluga. Kod svih većih provajdera u Srbiji su izgrađena tri redundantna prstena: Novi Sad – Beograd, Beograd – Kragujevac i Kragujevac – Niš. Mreže provajdera su optički povezane i sa optičkim mrežama provajdera u susjednim zemljama. Kapacitet optičkih konekcija procjenjuje se prema potrebama provajdera. Terminacija optičkih vlakana se vrši u zasebnim rekovima koji trebaju biti redundantno napajani zbog

mogućnosti instaliranja aktivne ICT opreme provajdera.

VII PROCJENA VRIJEDNOSTI INVESTICIJE I EKONOMSKE ISPLATIVOSTI PROJEKTA

Realizacija objekta DC-a podrazumijeva završetak svih faza izgradnje, kao i implementaciju prethodno navedenih uređaja i opreme. Na osnovu cijene izgradnje pomenutog DC-a u Kragujevcu [1] nivoa 4 sa 1.080 rekova i instalisanom snagom: 14 MW od 30 miliona €, skaliranjem se dobija da je cijena izgradnje DC-a kod Beograda nivoa 4 (u nekim segmentima i nivoa 5) sa 5.000 rekova, instalisane snage: 80 MW, oko 170 miliona €

Cijene izgradnje OIE, na osnovu [17] su sledeće:

- Vjetroelektrana: 1.661 \$/kW, što je oko 400 miliona \$ tj. 342 miliona € za 240 MW instalisane snage;
- Solarne elektrane: 2.291 \$/kW, što je oko 78 miliona \$ tj. 67 miliona € za 34 MW instalisane snage.

Cijena elektrane na deponijski gas instalisane snage 21,9 MW, na osnovu [18] i poslije skaliranja je oko 16,5 miliona €

Na osnovu uporedne analize i skaliranja podataka iz [19], ukupni procijenjeni troškovi izgradnje svih RP-a sa definisanim vodovima i kablovima su oko 60 miliona €

Cijena realizacije telekomunikacionog povezivanja DC-a sa mrežom EES-a i drugim telekomunikacionim centrima je značajno manja (minimalno za red veličine) od navedenih procijenjenih troškova izgradnje elektroenergetskih postrojenja tako da će biti zanemarena.

Dakle, ukupni procijenjeni troškovi realizacije DC-a u širem smislu (sa OIE i RP-a) su: 655,5 miliona € Cijena izrade idejnog i glavnog projekta sa razradom rešenja za sve sisteme DC-a je 10% investicije izgradnje tj. 65,55 miliona € tako da je ukupan trošak od ideje do realizacije: 721,05 miliona € Izvršeni proračun je vrlo uopšten i realna cijena investicije može značajno varirati u zavisnosti od mnogih faktora.

Pod pretpostavkom da će cijena električne energije u narednom periodu biti stabilizovana na 60 €/MWh [20], solarne elektrane bi od prodaje generisane električne energije godišnje prihodovale približno: 2,5 miliona €, a elektrane na deponijski gas: 11,5 miliona € Ukupan prihod na nivou godine iz ovih izvora je: 14 miliona €

Servisi koje može pružiti DC su veoma različiti. Radi mjerljivosti profita, svi servisi su svedeni na iznajmljivanje jednog reka po cijeni od minimalno 500 €/mesečno što je, za 5.000 rekova, 30 miliona € godišnje, ako su svi rekovi upotrijebljeni. Imajući u vidu da će u prvih nekoliko godina rada DC-a broj rekova koji su iznajmljeni, a što predstavlja realizovane servise za klijente, biti značajno manji od maksimalnog broja i da u toku dalje eksploatacije DC-a broj iznajmljenih rekova neće dostići maksimalni broj (5.000), u najgorem slučaju, tokom radnog vijeka DC-a biće prosječno realizovano iznajmljivanje makar 50% kapaciteta što donosi prihod od 15 miliona € godišnje. Operativni troškovi održavanja objekta DC-a i plate zaposlenih na nivou godine procijenjeni su na 3 miliona €

Vjetroelektrana je projektovana tako da obezbijedi približno

nultu cijenu potrošnje električne energije iz EES-a na nivou godine. Ukupan prihod DC-a na nivou godine je 14 miliona € za prodatu električnu energiju i 15 miliona € za realizovane servise iznajmljene klijentima tj., ukupno: 29 miliona €. Od toga se oduzimaju operativni troškovi od 3 miliona € i dobija: 26 miliona €. Ukupno vrijeme za ROI je: $721/26 \approx 28$ godina.

U prethodnoj analizi je pretpostavljeno da država omogućava zemljište za sve objekte i da su svi administrativni troškovi izuzeti. Takođe je uvedena pretpostavka da svi OIE, odnosno elektrana na deponijski gas neprekidno funkcionišu, što nije realno, ali je vrijeme nefunkcionalnosti ovih objekata svakako veoma kratko u odnosu na period funkcionalnosti. Takođe su uzeti najlošiji slučajevi ostvarivanja profita, što omogućava značajnu marginu u procjeni zarade. Interes za izgradnju ovakvih DC-a sa OIE ima, prije svega, država, a potom i velike kompanije u oblastima servisa i komunikacija. U svijetu je već izgrađen značajan broj sličnih objekata različitog broja rekova i različitih nivoa. U [21] je data mapa sertifikovanih DC-a nivoa 3 i 4 u svijetu.

VIII ZAKLJUČAK

Odabrana lokacija za izgradnju DC-a je optimalna sa više aspekata. Prije svega, nalazi se blizu glavnog grada koji je najveće elektroenergetsko i komunikaciono čvorište Srbije. U isto vrijeme, područje je ruralno, što omogućava nesmetanu izgradnju objekta DC-a i svih ostalih planiranih objekata. Šire područje oko lokacije je pogodno za izgradnju sopstvenih OIE zbog resursa vjetra i sunca, odnosno izgradnje elektrane na deponijski gas zbog blizine glavne gradske deponije. Blizu lokacije DC-a i predviđenih za izgradnju OIE i elektrane na deponijski gas, odnosno pripadajućih RP-a, nalaze se postojeća RP-a koja funkcionišu na 110 kV i 400 kV naponskim nivoima.

Vjetroelektrana omogućava snabdijevanje EES-a električnom energijom tako da je preuzeta električna energija iz EES-a od strane objekta DC-a, na nivou godine, jednaka predatoj od strane vjetroelektrane. Solarna elektrana omogućava plasiranje električne energije u EES u periodima kada vjetroelektrana proizvodi manju količinu električne energije (ljetnji mjeseci). Elektrana na deponijski gas u normalnom režimu rada proizvodi električnu energiju koja se predaje EES-u, a u slučaju potpune nefunkcionalnosti vjetroelektrane, solarne elektrane, EES-a i ispražnjenog kapaciteta baterija, ostrvski napaja prioriternih 1.368 rack-ova.

Predstavljeni DC se optički povezuje sa provajderima telekomunikacionih usluga, odnosno prenosnom mrežom Elektroprivrede Srbije (EPS). Infrastruktura DC-a omogućava veliki stepen pouzdanosti i sigurnosti napajanja opreme u rekovima, održavanje optimalne temperature i vlažnosti unutar objekta, kao i komunikaciono povezivanje na bazi potpune redundanse sa kraja na kraj. Troškovi investicije za sve objekte tj. za DC u širem smislu pretpostavljaju učešće države i velikih telekomunikacionih, odnosno provajderskih kompanija. U najgorem slučaju, prema uopštenom proračunu, ROI period ne bi trebalo da bude duži od približno 28 godina.

LITERATURA

- [1] DATA Centar, <https://www.ite.gov.rs/vest/sr/5448/otvoren-drzavni-data-centar-u-kragujevcu.php> [pristupljeno 15.03.2021]
- [2] Alevar, V. Guidelines for Specifying Data Center Criticality/Tier Levels, Revision 2, ABB White Paper 122, 2007. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-6PHPBU_EN [pristupljeno 15.03.2021]
- [3] <https://www.switch.com/tier-5/> [pristupljeno 15.03.2020]
- [4] Sawyer, R.L. Calculating Total Power Requirements for Data Centers, Revision 1, *Schneider electric white paper 3*, 2011. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-5TDTEF_EN [pristupljeno 15.03.2021]
- [5] Brown, K., Torell, W., Avelar, V. Choosing the Optimal Data Center Power Density, Revision 0, *Schneider electric White Paper 156*, 2014. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-8B3VJQ_EN [pristupljeno 15.03.2020]
- [6] Rasmussen, N. Calculating Total Cooling Requirements for Data Centers, Revision 3, *Schneider electric White Paper 25*, 2011. <https://www.apcdistributors.com/white-papers/Cooling/WP-25%20Calculating%20Total%20Cooling%20Requirements%20for%20Data%20Centers.pdf> [pristupljeno 15.03.2020]
- [7] Niemann, J., Brown, K., Avelar, V. Impact of Hot and Cold Aisle Containment on Data Center Temperature and Efficiency, Revision 5, *Schneider electric White Paper 135*, 2017. http://www.facilitiesnet.com/whitepapers/pdfs/APC_011112.pdf [pristupljeno 15.03.2020]
- [8] Đurišić, Ž.R. *Vjetroelektrane*, Akademski misao, Beograd, 2019.
- [9] General Electric, *GE 6.0 – 164 Cypress wind turbine platform*, General Electric Renewable Energy, 2020.
- [10] Climate online baze podataka, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP [pristupljeno 15.03.2021]
- [11] Jinkosolar, *Eagle 72P 320-240 Watt Poly Crystalline Module specifications*, Document: EN-JKM-340PP-72_rev2017, Jinkosolar, 2017.
- [12] Schneider Electric, *1000V Array box AB24-300*, Document: DC20161115_1000VArrayBox, Schneider Electric, 2016.
- [13] Schneider Electric, *PV Box ST 2720*, Document: DS20160202_PVBoxST+2720, Schneider Electric, 2016.
- [14] Mikulović, J., Đurišić, Ž. *Solarna energetika*, Akademski misao, Beograd, 2019.
- [15] Lalović, Č. *Mogućnosti iskorišćenja deponijskog gasa za proizvodnju električne energije sa deponija u opštinama centralne Srbije*, in Proc. 7 Međunarodna konferencija o obnovljivim izvorima električne energije, MKOIEE, Beograd, Vol. 7, Br. 1, pp. 193-203, 2019.
- [16] Procena uticaja na životnu sredinu i socijalna pitanja: Postrojenje Vinča za proizvodnju energije iz otpada, izgradnja nove deponije i remedijacija postojeće deponije. Netehnički rezime, verzija 6, Beo čista energija D.O.O, Beograd 2018.
- [17] Power Plant Construction: How Much Does it Cost? <https://proest.com/construction/cost-estimates/power-plants/> [pristupljeno 15.03.2021]
- [18] Istanbul Completes First Phase of World's Biggest Landfill Gas Power Plant, <https://balkangreenenergynews.com/istanbul-completes-first-phase-of-worlds-biggest-landfill-gas-power-plant/> [pristupljeno 15.03.2020]
- [19] M.B, Elektromreža Srbije, "EMS – list Elektromreže Srbije", godina 10, broj 77, januar 2016.
- [20] Cena struje na berzama za dan povećana 80 odsto, sa 180 skočila na 320 evra za MWh, <https://balkangreenenergynews.com/rs/cena-struje-na-berzama-za-dan-povecana-80-odsto-sa-180-skocila-na-320-evra-za-mwh/> [pristupljeno 15.03.2020]
- [21] Uptime Institute Issued Awards, <https://uptimeinstitute.com/uptime-institute-awards> [pristupljeno 15.03.2021]

AUTORI

Ivan Vujović, MScEE, Ericsson AB Štokholm, dio stranog društva Podgorica, ivanvu@t-com.me
dr Željko Đurišić - vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, djurisic@etf.rs