

ANALIZA USLOVA RAZVOJA PROJEKTA VETROELEKTRANE ZLATIBOR**ANALYSIS OF DEVELOPMENT CONDITIONS OF THE ZLATIBOR WIND FARM PROJECT**

Tamara ĐURIĆ, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Tina BJEKIĆ, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Željko ĐURIŠIĆ, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U poslednjih nekoliko godina u elektroenergetski sistem Srbije ušli su u pogon značajni proizvodni kapaciteti vetroelektrana, koje su locirane na relativno malom prostoru južnog Banata. U ovom regionu se razvija trenutno još preko 2000 MW projekata vetroelektrana čije se potencijalno priključenje planira do kraja 2030. godine. S obzirom da sve vetroelektrane u ovom regionu imaju sličan vremenski profil proizvodnje, jer se nalaze u istom klimatskom regionu u pogledu vetra, problem balansiranja snage ovih vetroelektrana predstavlja jedan od glavnih problema integracije ovih izvora u perspektivni elektroenergetski sistem. Dalji razvoj projekata vetroelektrana zahteva njihovu disperzivnost u prostornom smislu čime se stiču povoljniji uslovi rada elektroenergetskog sistema i smanjenje potreba za regulacionim kapacitetima. U ovom radu analizirani su osnovni tehnički preduslovi razvoja projekta vetroelektrane na teritoriji Zlatibora. Na osnovu raspoloživih podataka o potencijalu energije vetra, urbanističkim uslovima gradnje, razvijenoj putnoj infrastrukturi i elektroenergetskoj mreži biće definisana potencijalna lokacija vetroelektrane Zlatibor. Na osnovu procenjenih parametara vetra biće izvršen preliminarni izbor vetroagregata, definisan prostorni raspored i procenjena očekivana godišnja proizvodnja. Biće dato i idejno rešenje priključenja ove elektrane na elektroenergetski sistem.

Ključne reči: vetroenergetski potencijal, vetroelektrana, idejno rešenje integracija u elektroenergetski sistem

ABSTRACT

In the last couple of years, in the electric power system of Serbia, there have been installed significant capacities of wind farms, which are all located in a relatively small area of southern Banat. In this region, currently there are more than 2000 MW of wind farms, that are yet to be installed, potentially by the end of 2030. Because of their location in the same climatic region, and therefore dependence on the same wind profile, one of the main problem of their integration into the future power system is power balancing. Further development of wind farm projects requires their spatial dispersion, which would improve operating conditions of the power system and reduce the need for regulatory capacities. In this paper, the basic technical preconditions for development of possible wind farm project on mountain Zlatibor will be analyzed. Based on available data of wind energy potential, urban planning conditions, existing road infrastructure and power grid, the potential location of future wind farm Zlatibor will be defined. Preliminary choice of wind turbine, its spatial arrangement and annual estimated production (AEP) will be given according to assessed parameters of the wind. The conceptual design of connection of this power plant to the power system will be given.

Key words: wind energy potential, wind farm, conceptual design, integration to power system

Kontakt informacije o autorima – Tamara Đurić, djurictamara30@gmail.com i Tina Bjekic, tina.bjekic@gmail.com, studenti drugog ciklusa akademskih studija na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu

UVOD

Poput drugih evropskih zemalja, i Srbija teži da poveća stepen učešća obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije. Jedan od dominantnih resursa predstavlja vetar, koji bi u perspektivi mogao da obezbedi oko 15% potrebne električne energije, ali je za sada instalisani kapacitet vetroelektrana znatno manji. Takođe, svi dosadašnji projekti su realizovani, ili se planiraju, na relativno malom prostoru južnog Banata, kao oblasti sa dobro istraženim vetroenergetskim potencijalom i pogodnim preduslovima za razvoj projekata vetroelektrana. Negativna strana koncentrisanja proizvodnje iz vetroelektrana na relativno malom prostoru jeste to što je proizvodnja iz postojećih i planiranih vetroelektrana podređena jednom te istom vetru, samim tim i vremenski veoma slična. To bi značilo da kada vetra ima, postoji proizvodnja koju možda nemamo gde da plasiramo, dok kada ga nema, sve elektrane staju sa radom što može pokrenuti značajna pitanja vezana za balansiranje snage. Iz ovih razloga se javlja ideja o prostornoj disperzivnosti vetroelektrana, odnosno njihovom razvoju u oblastima koje nisu istražene u pogledu pogodnosti razvoja projekata vetroelektrana.

Ciljni region koji se razmatra u ovom radu nalazi se u jugozapadnom delu Srbije, tačnije na planini Zlatibor, na teritoriji opštine Čajetina. Područje ove opštine geografski obuhvata talasastu visoravan između reke Sušice i Uvca i planina Tare i Murtenice, prosečne nadmorske visine oko 1000 m. Ovaj prostor karakteriše umereno-kontinentalna klima, sa jakim uticajem planinske klime, te su zime umereno hladne, a leta bez tropskih vrućina. Ova regija nije namenski istraživana u pogledu pogodnosti izgradnje vetroelektrana pre svega zbog toga što postojeći merni podaci iz hidrometeorološke stanice na Zlatiboru ne ukazuju da je ovaj region vetrovit. Osim toga, pristupni putevi ovom regionu ne mogu obezbediti transport gabaritne opreme zbog postojanja tunela i složenih krivina. Takođe prostor nacionalnog parka Zlatibor u velikoj meri sužava mogućnost gradnje energetskih objekata. Na povoljan položaj ove regije utiču i magistralni putevi za Crnu Goru i Republiku Srpsku, a preko teritorije opštine prolazi pruga Beograd – Bar, a u neposrednoj blizini je i civilni aerodrom Ponikve.

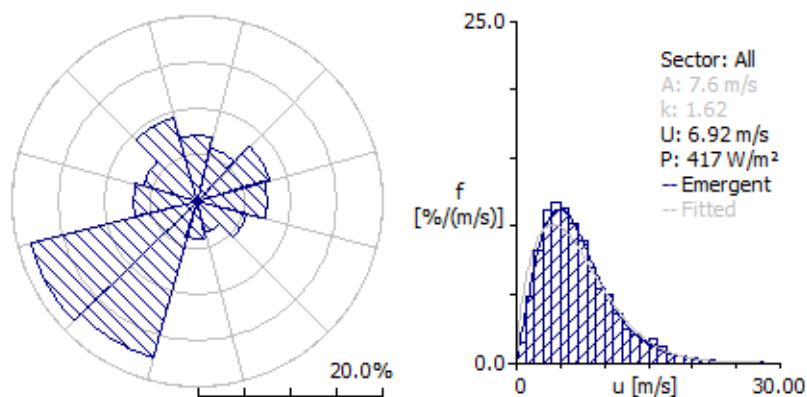
Na osnovu dostupnih globalnih podataka za ciljni region Zlatibora, iako globalno manje vetrovite oblasti, pokazalo se da postoje mikrolokacije koje poseduju tehnički iskoristiv potencijal energije vetra i koje mogu biti pogodne za razvoj vetroelektrane u budućnosti. Osim toga, planirana izgradnja auto-puta koji prolazi kroz ovu oblast će omogućiti povoljne uslove transporta gabaritne opreme, tako da se potencijalno iskorišćenje energije vetra može planirati sa modernim multimegavatskim snagama vetroagregata. Sa aspekta priključenja na mrežu, ciljni region se može okarakteristati kao povoljan s obzirom na blizinu 110 i 220 kV dalekovoda. Takođe, blizina reverzibilne hidroelektrane Bajina Bašta može biti povoljna sa aspekta balansiranja snaga perspektivne proizvodnje u analiziranoj vetroelektrani. Uvažavajući ove pogodne preduslove, u ovom radu će biti razmatrana potencijalna lokacija vetroelektrane, preliminarni izbor agregata, njihov prostorni raspored, idejno rešenje interne kablovske mreže, kao i priključenje na elektroenergetski sistem.

ANALIZA RESURSA VETRA CILJNOG REGIONA

U početnoj fazi razvoja projekta vetroelektrane najčešće su dostupni samo meteorološki parametri neke oblasti, pa se pre svega na osnovu poznavanja brzine vetra i njegovog pravca vrši preliminarni izbor mikrolokacije na kojoj bi se mogla realizovati izgradnja.

Globalnim razvojem vetroenergetike u svetu, uporedo su bitno unapređene globalne baze klimatoloških podataka u pogledu energije vetra. U ovom radu korišćeni su podaci sa virtuelnog stuba koji je pozicioniran na lokaciji 43.73814°N, 19.74695°E. Za ovu lokaciju utvrđene su srednje desetominutne brzine vetra sa satnom rezolucijom odabiranja na osnovu globalnih meteooroloških i topografskih modela korišćenjem baze ERA 5 za period 01.01.2016, do 31.12.2016. na visinama 90 m, 120 m i 130 m. Pored brzine vetra, bili su dostupni i podaci o smeru vetra kao i ostali hidrometeorološki podaci.

Pomoću softverskog paketa WAsP, a na osnovu merenja na visini od 130 m, dobijena je srednja godišnja brzina vetra 6.92 m/s, kao i srednja gustina snage od 464 W/m², uz napomenu da je u proračunu uzeta gustina vazduha 1.1 kg/m³ koja odgovara realnim merenjima na ovoj lokaciji. Pored toga, dobijena je i ruža vetrova, kao i normalizovani dijagram trajanja brzine vetra, i odgovarajuća Weibull-ova funkcija gustine raspodele verovatnoće učestanosti javljanja vetra na visini 130 m, koje se mogu videti na slici 1.

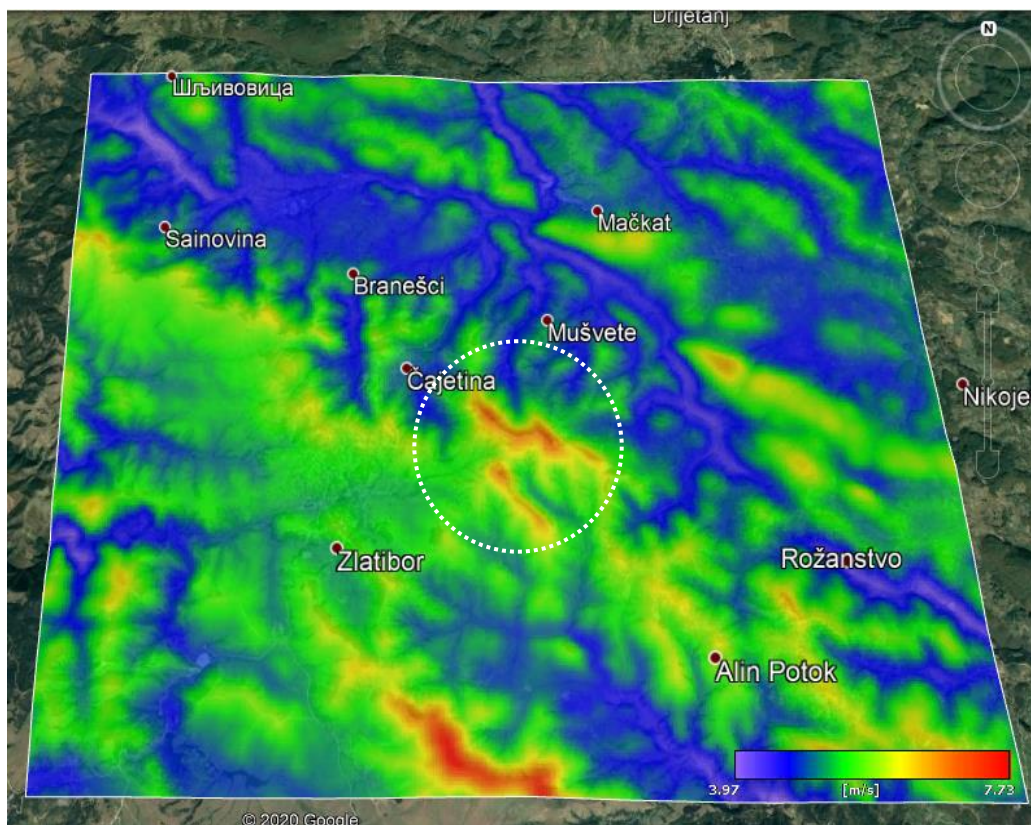


SLIKA 1. RUŽA VETROVA I FUNKCIJA GUSTINE RASPODELE VEROVATNOĆE BRZINE VETRA NA VISINI 130 M

Kao što je i očekivano, normalizovani dijagram trajanja brzine vetra odgovara Weibull-ovoj funkciji gustine raspodele verovatnoće sa faktorom skaliranja 7.6 m/s, i faktorom oblika 1.62, procenjene gustine snage 417 W/m². Analizom ruže vetrova, možemo uočiti da je dominantan smer vetra jugozapadni, u sektorima 7 i 8, u kojima je vetar duvao 17.5 %, odnosno 18.5 % vremena u analiziranom periodu, prosečnom brzinom 10.85 m/s, i 7.91 m/s, dok su gustine snage 1191 W/m² i 466 W/m². Dakle, kako bi se maksimalno iskoristio potencijal vetra, potrebno je u skladu sa prethodno iznetim podacima planirati i prostorni raspored vetroagregata.

U pogledu ekstremnih brzina vetra, maksimalna srednja desetominutna estimirana vrednost brzine vetra u analiziranom jednogodišnjem periodu iznosi 27.5 m/s na visini 130 m i zabeležena je 11.07.2016. godine u 2:00 h.

Korišćenjem SRTM baze podataka formirana je vektorska mapa orografije terena šireg ciljnog regiona. Na osnovu satelitskih snimaka terena i baze ESA Globcover 2009 formirana je vektorska mapa hrapavosti terena. Na osnovu formiranih topografskih podloga i raspoloživih mernih podataka sa virtuelnog stuba estimirana je mapa vetroenergetskog potencijala šireg ciljnog regiona korišćenjem softvera WASP 11. Na slici 2 prikazana je mapa potencijala vetra na širem prostoru planine Zlatibor, na kojoj je naznačena lokacija perspektivne vetroelektrane koja je analizirana u ovom radu.



SLIKA 2. MAPA SREDNJIH GODIŠNJIH BRZINA VETRA POSMATRANOG REGIONA ESTIMIRANA ZA VISINU 120 M

IDEJNO REŠENJE VETROELEKTRANE

Osim poznavanja meteoroloških podataka, kako bi se projekat realizovao potrebno je poznavati i orografiju terena, putnu infrastrukturu, urbanističke planove (pitanje vlasništva zemljišta na kome se planira izgradnja), kao i već postojeći elektroenergetski sistem te oblasti.

Oblast sa najvećim vetroenergetskim potencijalom u ciljnom regionu se nalazi u obuhvatu nacionalnog parka Zlatibor, te nije bila prihvatljiva za izgradnju vetroelektrane. Oblast koja je naznačena na slici 2 se nalazi u blizini naselja Rudine na nadmorskoj visini od oko 1100 m. Izgradnja vetroelektrane je planirana na parceli koja je u vlasništvu države (1), te se sa urbanističkog aspekta može smatrati povoljnom. Imajući u vidu i da u neposrednoj blizini lokacije od interesa prolaze magistralni putevi E-763 i E-761, kao i perspektivnu izgradnju auto-puta kojim će ova lokacija biti povezana sa lukama na Dunavu i u Crnoj Gori, a takođe i planove razvoja opštine Čajetina koji podrazumevaju rekonstrukcije postojećih i izgradnju novih deonica drumskih saobraćajnica, vidi se da je ovo region koji se razvija, te je to još jedan indikator da posmatrani region može predstavljati atraktivnu lokaciju za perspektivnu vetroelektranu. (2)

U ovom radu se, na osnovu poznavanja podataka o brzini vetra, a u skladu sa IEC 61400-1 standardom, predlaže upotreba turbina (3), nominalne snage 5.3 MW, sa horizontalnom osovinom i tri lopatice, prečnika rotora 158m.

Kada je u pitanju stub, proizvođač nudi čelične stubove visina 101 m, i 120.9 m, kao i hibridne betonske stubove visina 150 m, i 161 m, od kojih je izabran stub visine 120.9 m. Pored toga, ova turbina ima mogućnost zakretanja gondole, u zavisnosti od pravca vetra, aktivnu *pitch* regulaciju zakretanja lopatica, kao i prilagodljivu brzinu obrtanja rotora. Generator koji se koristi je dvostano napajani indukcion generator.

U katalogu proizvođača definisana je kriva snage, koju karakterišu sledeće brzine od interesa:

- $V_{cutin} = 3 \text{ m/s}$
- $V_n = 13 \text{ m/s}$
- $V_{cutout} = 22 \text{ m/s}$.

Ono što bi još moglo biti značajno, s obzirom na planinsku lokaciju, jesu operativni uslovi rada koji definišu normalan rad u širokom opsegu temperatura, u kojem je definisana i opcija za hladne vremenske uslove (-30°C do $+40^{\circ}\text{C}$). (3)

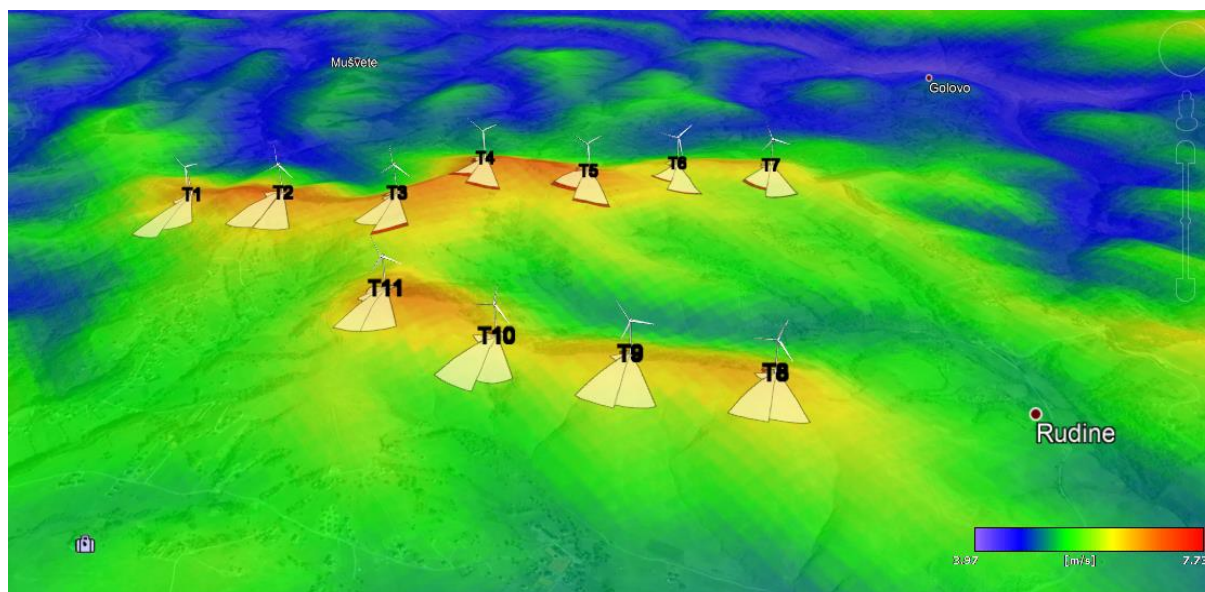
Na bazi dostupnih merenja, blizine 110 kV dalekovoda 134/5 i odgovarajućih tehničkih preporuka (npr. da najbliža turbina bude udaljena za visinu *tip height* od dalekovoda), za realizaciju projekta se predlaže rešenje sa 11 agregata, koji se nalaze na međusobnom rastojanju od oko 500 m, ukupne instalisane snage elektrane je 58.3 MW, sa rasporedom koji je ilustrovan na slici 3.



SLIKA 3. PROSTORNI RASPORED VETROAGREGATA

Do idejnog rešenja došlo se vođenjem računa i o uticaju terena na vetar, i efektu zavetrine (posmatranjem ruže vetrova na planiranim lokacijama prikazanim na slici 4.), pri čemu su analize izvršene u WAsP-u. Dakle,

potrebno je obratiti pažnju na moguće prepreke koje bi uticale na protok vazduha ka turbini, kao i o međusobnom uticaju turbina. Takođe, pri formiranju prostornog rasporeda vođeno je računa da udaljenost tubina od stambenih objekata bude na prihvatljivoj udaljenosti zbog negativnog uticaja u pogledu buke, kao i potencijalne ugroženosti objekata od projektila leda koji se mogu otkinuti sa lopatica turbine. (4)

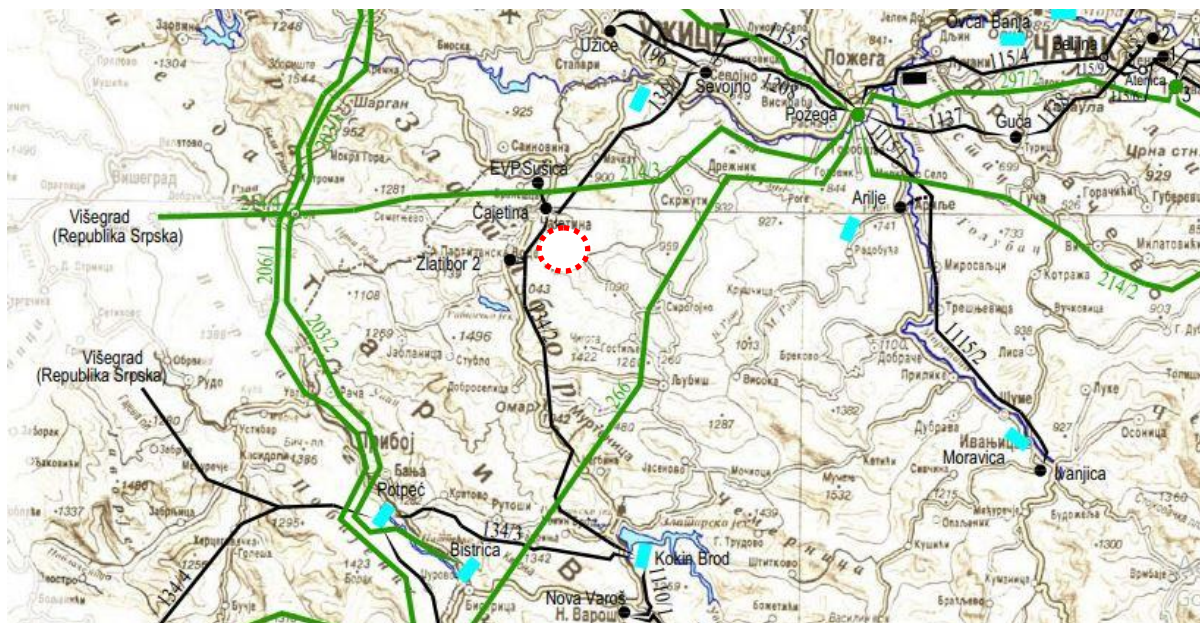


SLIKA 4. RASPORED VETROAGREGATA SA RUŽAMA VETRA I NAZNAČENI GUBICI ENERGIJE USLED EFEKTA ZAVETRINE

IDEJNO REŠENJE PRIKLJUČENJA NA EES

Kao što je već spomenuto, pored ciljne lokacije prolazi 110 kV dalekovod koji povezuje TS “Zlatibor 2” i TS “Čajetina”. Pomenuta TS “Zlatibor 2” (110 kV/35 kV/10 kV) je veoma bitna jer je njenom izgradnjom obezbeđeno pouzdano napajanje konzuma Zlatibora. Međutim, sa očekivanim porastom potrošnje (sa dosadašnjim trendom od oko 6.5 % godišnje), se očekuje da postojeće transformatorske stanice neće zadovoljiti rastuće potrebe potrošača. Iz tog razloga je na prostoru opštine Čajetina, kojoj pripada i ciljna lokacija, do 2030. godine planirana rekonstrukcija i modernizacija postojećih, kao i izgradnja novih TS 35/10 kV/kV, TS 10/0.4 kV/kV, kablovskih i nadzemnih vodova, kao i prelazak sa nadzemne na kablovsku mrežu u domenu distributivnih napona. (2)

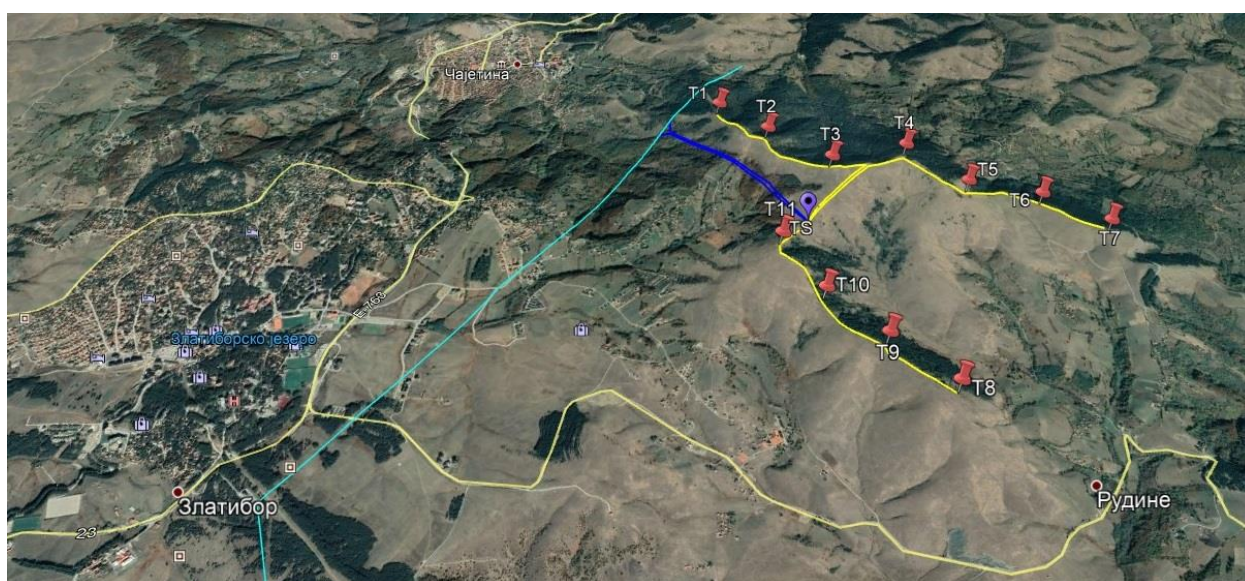
Na osnovu navedenog može se zaključiti da ovaj region ima perspektivu za razvoj i elektroenergetske infrastrukture i porast potrošnje. U takvim uslovima, izgradnja vetroelektrane bi mogla imati pozitivan uticaj na smanjenje gubitaka u prenosnoj mreži jer bi njen priključak bio između dve potrošačke transformatorske stanice. Deo prenosne mreže koji je od interesa za priključenje perspektivne vetroelektrane, zajedno sa najbližim proizvodnim kapacitetima prikazan je na slici 5, na kojoj je naznačena pozicija vetroelektrane.



SLIKA 5. DEO PRENOSNE MREŽE U OKOLINI PLANIRANE LOKACIJE VE ZLATIBOR ČIJA JE PLANIRANA LOKACIJA NAZNAČENA NA SLICI

Što se tiče međusobnog povezivanja vetroagregata ono se ostvaruje putem interne kablovske mreže, a s obzirom na usvojeni raspored vetoragregata, predlaže se idejno rešenje prikazano na slici 6, gde se za realizaciju koriste 3 kablovska fidera naponskog nivoa 33 ili 35kV, pri čemu jednom fideru pripadaju turbine T1 – T3, drugom T4 – T7, a trećem T8 – T11. Kablovski fideri su označeni žutim linijama na slici 6. S obzirom na postojanje lokalnih puteva u blizini razmatrane lokacije vetroelektrane, moguće je jednim delom iskoristiti njihove trase za vođenje kablova.

Radi minimizovanja dužine kablovske mreže, a samim tim i smanjenja ukupnih gubitaka u isporučenoj električnoj energiji, predlaže se lokacija transformatorske stanice prikazana na slici 6, koja je odabrana vodeći računa i o konfiguraciji terena (nalazi se na ravnom terenu) kao i blizini puteva kojim bi se planirao pristup transformatorskoj stanici. U sklopu transformatorske stanice 110/35 kV/kV bila bi smeštena dva regulaciona transformatora nazivne snage po 31.5 MVA. Dok je za priključenje vetroelektrane na mrežu (dalekovod 134/5) neophodno izgraditi priključni 110 kV dalekovod, koji je dvostruki na zasebnim stubovima, dužine 1.3 km, na slici 6. označen tamno plavom bojom. Svetlo plavom bojom je označen postojeći dalekovod 110 kV br. 134/5 na koji bi se priključila vetroelektrana po principu ulaz-izlaz, čime bi bio obezbeđen n-1 kriterijum sigurnosti.



SLIKA 6. IDEJNO REŠENJE INTERNE KABLOVSKE MREŽE I PRIKLJUČENJA VE ZLATIBOR NA EES

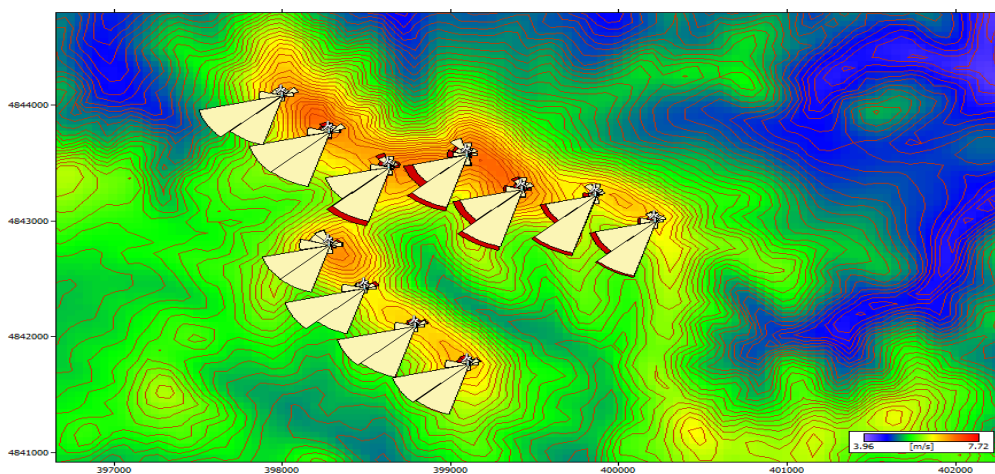
ANALIZA PROIZVODNJE

Na osnovu krive snage iz kataloga proizvođača (3), za odabrani model vetroturbine izvršene su procene godišnje proizvodnje električne energije u WAsP softverskom paketu po pojedinačnim turbinama (TABELA 1), odnosno za celokupnu vetroelektranu (TABELA 2). S obzirom na to da su korišćeni podaci za visinu stuba 130m, bilo je potrebno ekstrapolirati podatke na visinu osovine turbine, kao i izvršiti prostornu ekstrapolaciju.

TABELA 1 - PREGLED PROIZVODNJE ZA SVE LOKACIJE VETROTRUBINA

Turbina	Lokacija (UTM WGS 84) [m]	Neto godišnja proizvodnja [GWh]	Gubici usled <i>wake</i> efekta [%]
T1	(398005, 4844084)	15.267	1.28
T2	(398285, 4843769)	15.433	4.69
T3	(398643, 4843465)	14.292	9.32
T4	(399103, 4843572)	14.713	9.91
T5	(399431, 4843274)	14.321	10.05
T6	(399869, 4843222)	13.008	8.11
T7	(400221, 4842998)	13.346	6.89
T8	(399111, 4841762)	14.056	5.35
T9	(398795, 4842092)	13.718	6.01
T10	(398497, 4842419)	13.480	5.86
T11	(398287, 4842791)	15.358	4.31

Poznato je da usled efekta zavetrine dolazi do smanjenja proizvodnje vetroturbina u zavisnosti od njihovog položaja. U kojoj meri su ti gubici izraženi, može se videti i na slici 7, gde su na lokacijama vetroturbina prikazane odgovarajuće ruže vetrova, pri čemu crveno obojeni delovi segmenata ruže vetrova predstavljaju relativne gubitke proizvodnje električne energije na godišnjem nivou usled *wake* efekta.



SLIKA 7. MAPA LOKACIJA VETROTRUBINA SA PRIDRUŽENIM RUŽAMA VETROVA UZ UVEŽENE EFEKTE ZAVETRINE U UTM KOORDINATAMA

Kao što se da primetiti iz tabele 1, najveći gubici u proizvedenoj električnoj energiji koji su rezultat efekta zavetrine javljaju se na turbinama T4 i T5, i iznose 9.91 % i 10.05 % respektivno, dok su najmanji na turbini T1, a ukupni procentualni gubici usled pomenutog efekta iznose 6.54%. U tabeli 2 date su procene ukupne godišnje proizvodnje VE Zlatibor. Treba napomenuti da su pri proračunu neto godišnje proizvodnje uvaženi samo gubici usled zavetrine, ostali gubici nisu analizirani u ovom radu, ali se ne očekuje da oni budu veći od 10%.

TABELA 2 - PROCENA GODIŠNJE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Parametar	Ukupna	Prosečna po vetroagregatu
Neto godišnja proizvodnja [GWh]	156.993	14.272
Bruto godišnja proizvodnja [GWh]	167.975	15.270
Neto faktor kapaciteta [%]	30.74	-
Ukupni gubici usled <i>wake</i> efekta [%]	6.54	-

ZAKLJUČAK

U ovom radu analiziran je region Zlatibora kao potencijalna lokacija za izgradnju vetroelektrane. Na osnovu merenja došlo se do zaključka da postoji nekoliko mikrolokacija sa dobrim vetroenergetskim potencijalom. Naime, srednja godišnja brzina vetra na visini od 130 m je 6.92 m/s, a odgovarajuća gustina snage 417 W/m².

Takođe, uzimajući u obzir reljef (planinska oblast visine od 1030 – 1150 m), mogućnost priključenja na postojeći sistem (postojanje 110 kV dalekovoda u neposrednoj blizini), urbanističke planove (razmatrano zemljište je u vlasništvu države), kao i putnu infrastrukturu (blizina magistralnih i lokalnih puteva) došlo se do zaključka da bi se na ovoj lokaciji mogao realizovati projekat. Predloženo je idejno rešenje koje se sastoji od 11 vetroagregata, ukupne instalisane snage 58.5 MW, kao i idejno rešenje za priključenje na postojeći EES. Osim toga, izvršena je i procena godišnje proizvodnje ove vetroelektrane, koja bi iznosila oko 157 GWh godišnje, sa faktorom kapaciteta od 30.4%. Još jedan pozitivan aspekt izgradnje ove vetroelektrane, bilo bi i zadovoljenje potreba rastućeg konzuma na području Zlatibora, uz smanjenje gubitaka, s obzirom na približavanje mesta proizvodnje centru potrošnje.

Ovde je samo predloženo jedno od mogućih idejnih rešenja i analize koje su vršene pokazale su da postoje uslovi za razvoj projekta vetroelektrane na Zlatiboru, tako da se u budućnosti može očekivati i realizacija nekog sličnog projekta. U tom slučaju, neophodno je instalirati namenski merni stub sa profesionalnom opremom za merenje parametara vetra, kako bi se dobili pouzdaniji i kvalitetniji podaci u pogledu vetroenergetskog potencijala. Pored toga, potrebno je izvršiti monitoring ptica i slepih miševa, kako bi se utvrdila prihvatljivost izgradnje ovakvog objekta sa aspekta uticaja na životnu sredinu.

LITERATURA

1. <https://a3.geosrbija.rs/>
2. <http://www.cajetina.org.rs/sites/default/files/dokumenta/01-2020/tekst.pdf>
3. <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/onshore-wind/4-5-mw-platform-cypress>
4. Đurišić Ž, 2019, "Vjetroelektrane", "Akademska misao"
5. I. Troen. E.L. Petersen. European Wind Atlas. Risø DTU. Roskilde. Denmark. 1990.
6. MEASNET: Power Performance Measurement Procedure. 3rd Edition. 2000.
7. WAsP best practices and checklist. The WAsP Team @ Risø DTU; September. 2010.
8. N. G. Mortensen. O. Rathmann. M. Nielsen. WAsP 9 course notes. Roskilde. Denmark. September 2008.
9. IEC 61400-12.1. "Power Performance Measurements of Electricity Producing Wind Turbines". 2005.