

ANALIZA ISPLATIVOSTI PRIMENE SOFTVERSKOG OGRANIČENJA SNAGE PRILIKOM PRIKLJUČENJA VETROELEKTRANE NA DISTRIBUTIVNI SISTEM

ANALYSIS OF THE COST-EFFECTIVENESS OF SOFTWARE POWER LIMITER'S APPLICATION FOR WIND POWER PLANT'S CONNECTION TO THE DISTRIBUTION SYSTEM

Vladan RISTIĆ, AD Elektromreža Srbije, Beograd, Srbija
Miljan ŽIKIĆ, AD Elektromreža Srbije, Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U skladu sa Zakonom o energetici Republike Srbije i odgovarajućim Tehničkim preporukama ODS „EPS Distribucija“, malim elektranama, čije se priključenje može razmatrati na distributivnom naponskom nivou, smatraju se elektrane čija instalisana snaga ne premašuje 10 MW. Kako bi se, na adekvatan način, sagledala i potencijalna ograničenja elemenata distributivnog sistema, u radu je pretpostavljeno da je investitor pokušao da prijavi projekat priključenja vetroelektrane instalisane snage jednake 10 MW, ali da je njegova prijava odbijena, uz obrazloženje da, na odabranoj lokaciji, zbog ograničenja samog sistema, snaga razmatranog generatorskog kapaciteta ne sme biti veća od 7 MW. Stoga, temu rada sačinjava energetska i ekonomska analiza, prilikom koje su razmatrane dve moguće odluke investitora, ukoliko isti ne bi odustao od projekta: da smanji instalisanu snagu elektrane na vrednost od 7 MW ili da u svoj projekat uvede izvesno softversko ograničenje pomoću koga bi se obezbedilo da snaga proizvodnje elektrane instalisane snage od 10 MW ni u jednom trenutku ne pređe iznos od 7 MW, što bi svakako zahtevalo veće početne investicije, ali bi takođe moglo garantovati i veće prihode nego prva navedena opcija. Da bi se analiza sprovela, proračuni su rađeni na vremenskom horizontu od godinu dana, pri čemu je snaga kojom vetroelektrana raspolaže u svakom satu definisana na osnovu merenih vrednosti brzine vetra, nakon čega je, za svaku od sagledanih varijanti, određena stvarna snaga proizvodnje elektrane u tom satu. Sumiranjem snaga na godišnjem nivou dobijena je ukupna energija koja se iz elektrane plasira u sistem, koja je, potom, kvantifikovana u novčana sredstva množenjem odgovarajućom jediničnom cenom. Pošto se ekonomski parametri smatraju ključnim za investitora u projekat, na samom kraju je, uz uvažavanje poznavanja početnih ulaganja u vetroelektranu, za svaku od razmatranih opcija određen i period otplate investicija, te je sprovedena i uporedna analiza rešenja bazirana na ovom kriterijumu i, zatim, izdvojena povoljnija opcija.

Ključne reči: integracija obnovljivih izvora, softversko ograničenje snage, period otplate investicije, priključenje vetroelektrane, smanjenje rizika od preopterećenja

ABSTRACT

In line with the Law on Energy of the Republic of Serbia and the appropriate Technical Recommendations of DSO „EPS Distribucija“, the power plant can be connected to the distributive voltage level if its installed capacity does not exceed 10 MW. In order for the potential limitations of the elements of the distribution network to be taken into account, it was presumed that the investor had attempted to apply for the connection of the wind power plant with the installed capacity equal to 10 MW, but that his application was denied, with the explanation that, due to the system limitations, power of the generation capacity on the chosen location cannot be greater than 7 MW. Therefore, the subject of this paper is the analysis that encompasses both technical and economical aspects, in which two possible decisions of the investor were included: that he could reduce the installed power of the plant to 7 MW or that he could use a certain type of software limiter that could guarantee that the generation power of the plant with the installed capacity of 10 MW would never go beyond 7 MW, which would require more expenses, but could also mean higher profit than the first option. In this analysis, the calculations were performed for the year-long time horizon, with the available power of the plant determined based on the measured wind speeds. After that, the generation power in each hour was specified for both scenarios, followed by the summing of these values to obtain yearly energy production, which was multiplied by the unit energy price to be converted to profit for the investor. In the end, the return of investment period, which is seen as the essential information for the plant's investor, was calculated for both options, allowing the possibility of their comparative analysis.

Key words: renewable sources integration, software power limiter, return of investment period, wind power plant connection, mitigation of overload risks

Kontakt informacije – Vladan Ristić, e-mail adresa: vladagenius.vr@gmail.com ili vladan.ristic@ems.rs
Miljan Žikić, e-mail adresa: miljan.zikic@ems.rs

UVOD

Već je poznato da elektroenergetika predstavlja jednu od grana privrede koja je u proteklih nekoliko decenija, pod uticajem sve glasnijih apela za očuvanje životne sredine, prošla kroz značajne promene, od kojih se neke od najistaknutijih nesumnjivo odnose na proizvodne kapacitete iz kojih se električna energija, neophodna za zadovoljenje potreba sve zahtevnijih potrošača, dobija. Primat u ovoj oblasti, koji su, do pre dvadesetak godina, u elektroenergetskom sistemu Srbije suvereno držale termoelektrane, u međuvremenu ozloglašene kao jedan od glavnih izvora zagađenja vazduha i izazivača efekta staklene bašte, te, time, i globalnog zagrevanja, postepeno je počeo da pripada tipu izvora koji, pri svom radu, imaju daleko manje izražen štetni uticaj po okolinu – obnovljivim izvorima energije. Ukoliko bi se uzeo u obzir trenutni stadijum razvoja različitih vrsta obnovljivih izvora, došlo bi se do zaključka da su, uz neosporni rapidni napredak drugih metoda generisanja koje se uklapaju u definiciju obnovljivih izvora, vetroelektrane i solarne elektrane dostigle najveći stepen integracije u generatorski portfolio elektroenergetskih sistema današnjice, pa se, donekle, već mogu svrstati i u klasu konvencionalnih izvora energije. Pritom se mora naglasiti da je na teritoriji Srbije, u skladu sa raspoloživim potencijalima, daleko popularnija izgradnja vetroelektrana, nego što je to slučaj sa solarnim elektranama, gde treba napomenuti da je, prema Planu razvoja prenosnog sistema EMS AD (1), već izvršeno priključenje četiri vetroelektrane, zbirne instalisane snage koja prevazilazi 350 MW, na prenosni sistem (poimence, u pitanju su VE Čibuk 1, VE Kovačica, VE Košava i VE Alibunar), dok je broj vetroelektrana već priključenih na nekom od distributivnih naponskih nivoa još i veći. Važno je pomenuti i to da su procesi priključenja vetroelektrana u Srbiji još uvek u povoju, te da se prava ekspanzija ovakvih proizvodnih kapaciteta na ovim područjima tek očekuje u nastupajućem desetogodišnjem vremenskom intervalu. Kako se ne bi odstupalo od pomenute tendencije, i ovaj rad će se, prilikom iznetih praktičnih sagledavanja, fokusirati upravo na vetroelektrane.

Kao što je, kroz istoriju, i bio slučaj sa većinom tehnoloških inovacija, kreiranih sa ciljem izmene pređašnje ustaljene percepcije odgovarajuće oblasti, i obnovljivi izvori energije su morali da pređu trnovit put kako bi se dokazali kao adekvatna alternativa za termogeneratorske kapacitete, pri čemu je jedan od aspekata njihove integracije u sisteme koji je najčešće bio osporavan bila ekonomičnost, čije je ispitivanje, stoga, spadalo među najatraktivnije teme za relevantne naučne radove i članke u časopisima, za šta se primeri mogu naći u radu Burges i dr. (2), gde su autori, prema tada aktuelnim saznanjima, analizirali isplativost ulaganja u vetroelektrane postavljene na moru, ili u radu Karagiannis (3), u kome je razmatrana ekonomska strana priključenja značajnih vetrogeneratorskih kapaciteta u Grčkoj, kao i u nešto skorijim radovima, poput rada Yang i dr. (4), gde su izneti predlozi modela finansiranja potencijalnih projekata vezanih za kinesku vetroenergetiku, ili rada Zuobin i Yang (5), u kome je do detalja izložena problematika rizika ulaganja u vetroelektrane. Pored nezanemarljivog pojeftinjenja delova neophodnih za podizanje vetroelektrana nakon početka njihove serijske produkcije, način na koji su se vetroelektrane donekle izborile sa početnim skepticizmom svakako je predstavljalo i neprekidno usavršavanje načina njihovog rada, pri čemu je potrebno istaći dramatično povećanje efikasnosti rada ovih proizvodnih kapaciteta nakon implementacije specijalizovanih vidova upravljanja vetroturbinama, od kojih se na prvo mesto mora staviti kontrola proizvodnje promenom ugla lopatica turbine, i u našem jeziku poznatija pod anglicizmom „pitch kontrola“, praćena korišćenjem agregata sa mogućnošću variranja brzine obrtanja rotora turbine. Ovom temom se takođe bavio veliki broj naučnih radova, pri čemu je za nju karakteristično to što vremenom nije izgubila na privlačnosti za nove istraživače, o čemu svedoče godine objavljivanja pomenutih radova, koje variraju od početka dvadesetog i prvog veka (rad Ling i Qingding (6)), pa sve do današnjih dana (rad Dhar i dr. (7)). Takođe, primetno je i uparivanje ovog vida kontrole turbina sa nekim od modernijih naučnih dostignuća u cilju njegovog daljeg usavršavanja, gde se, primera radi, može istaći *fuzzy* logika, kao što je to, između ostalih, opisano u radu Van i dr. (8).

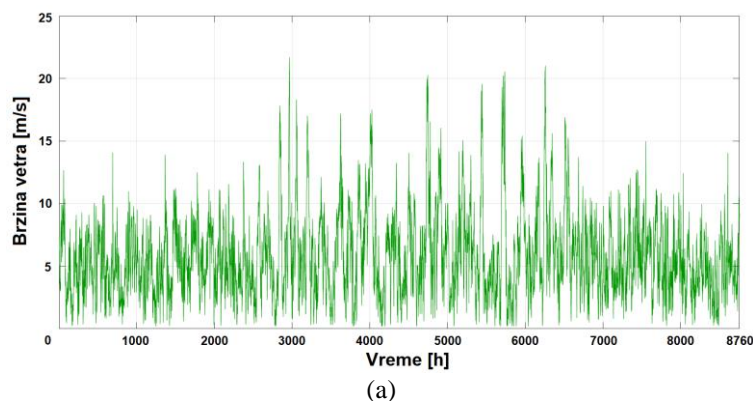
Nasuprot prethodno iznetoj logici o primeni upravljanja uglom zakretanja lopatica turbine kako bi se garantovala njena maksimalna efikasnost, temu ovog rada će predstavljati analiza isplativosti korišćenja identičnog mehanizma u cilju ograničavanja snage proizvodnje fiktivne vetroelektrane. Kako bi se ovo ispitivanje moglo sprovesti, na samom početku je uvedena pretpostavka da je investitor u vetroelektranu aplicirao za priključenje vetroelektrane instalisane snage od 10 MW na distributivni sistem, nakon čega je od operatora sistema dobio odgovor da sistem, na željenom mestu priključenja, može podneti najviše 7 MW snage proizvodnje

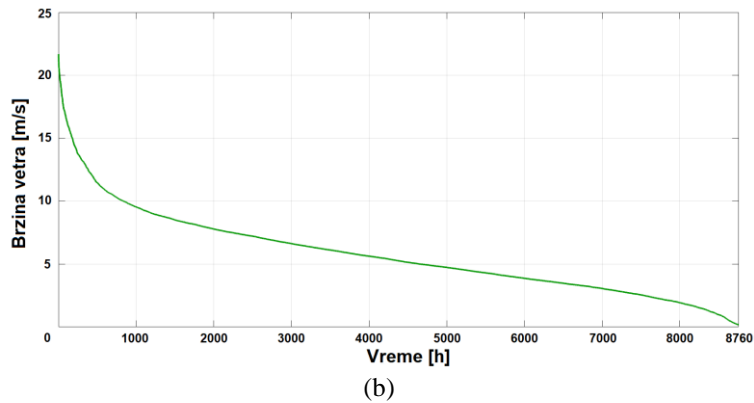
vetroelektrane, čime su investitoru ostavljena dva moguća izbora – da nastavi projekat sa vetroelektranom instalisane snage 10 MW, uz softversko ograničenje maksimalne snage elektrane postavljeno na 7 MW, ili da smanji instalisanu snagu objekta na 7 MW, čime bi smanjio inicijalna ulaganja, ali bi, potencijalno, redukovao i sopstveni profit. U cilju obuhvatanja svih bitnih tačaka gledišta, u ovom radu će biti predstavljena i energetska analiza, bazirana isključivo na količini generisane električne energije na godišnjem nivou, i ekonomska analiza, zasnovana na tri osnovna kriterijuma – godišnjim prihodima koje ulagač u elektranu može očekivati, periodu otplate početne investicije i ukupnim prihodima od proizvedene energije iz elektrane u toku njenog životnog veka, posle čega će, prema dobijenim rezultatima, biti obavljeno okvirno poređenje navedene dve varijante.

U skladu sa svime prethodno iznetim, Poglavlje 2 će pružiti osnovni uvid u teorijska razmatranja neophodna za pravilno razumevanje rezultata izvršenim proračuna, kao i u skup usvojenih pretpostavki, potrebnih kako bi se proračuni mogli praktično realizovati, dok će srž Poglavlja 3 činiti prezentacija istih tih rezultata, posle koje će uslediti napomene i komentari, kojima će se svaki od njih detaljnije objasniti, da bi sam kraj Poglavlja 3 bio posvećen uporednoj analizi dve varijante od interesa po investitora, praćenoj zaključkom vezanim za benefite i probleme, uzrokovane potencijalnim odabirom neke od ovih varijanti. Na samom kraju rada se nalazi Zaključak, u kome se, pored ponavljanja i isticanja najznačajnijih tačaka do kojih se u prethodnim poglavljima došlo, takođe i napominje potencijalna primenljivost analiza sličnih ovoj u elektroenergetskim sistemima budućnosti.

TEORIJSKA OSNOVA

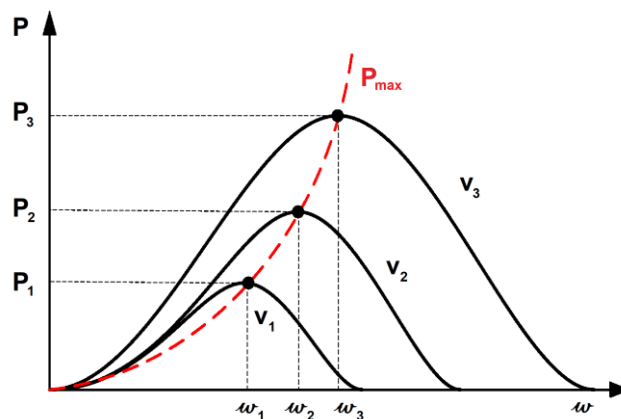
Pre pružanja bilo kakvih teorijskih razmatranja vezanih za analizirani način upravljanja vetroturbinama, čija će se delimična modifikacija, u izvesnoj meri, nalaziti u fokusu praktičnog dela ovog rada, bilo je neophodno definisati podatke vezane za brzinu vetra na osnovu koje će se, potom, analizirati mogućnosti proizvodnje električne energije iz podignutih turbina. Kako bi ovaj skup vrednosti uopšte postao dostupan, potrebno je bilo odrediti lokaciju na kojoj bi fiktivna elektrana, priključena na distributivni sistem, bila postavljena, u koje svrhe je odabrana površina opštine Sečanj, u regionu Centralnog Banata, u blizini državne granice Srbije i Rumunije. Ova lokacija, koja se može svrstati u jednu od onih sa najvećom perspektivom za generisanje energije korišćenjem vetrova, nije odabrana nasumično, već zbog toga što su na njoj, od jula 2012. godine do juna 2013. godine, vršena precizna merenja brzine vetra, i to sa desetominutnim razmacima između dva susedna merenja, čime je garantovana upotrebljivost pribavljenih podataka prilikom analiza potencijala vetra u predmetnoj oblasti. Kao što je već precizirano, međutim, osnovna vremenska jedinica koja je korišćena prilikom izrade proračuna, čiji će rezultati biti prikazani u ovom radu, bila je jednaka jednom satu, te je, pre svega, bilo važno prilagoditi podatke vezane za brzinu vetra željenoj rezoluciji ulaznih podataka, što je urađeno postupkom nalaženja prosečne vrednosti brzine vetra za svaki od sati u analiziranoj godini. Dobijene uprosečene brzine vetra su, u ilustrativne svrhe, grafičkim putem predstavljene na dijagramu datom na Sl. 1, čija gornja polovina, obeležena slovom (a), predstavlja hronološku promenu ovih brzina, dok donja polovina, označena slovom (b), daje dužine trajanja duvanja vetra odgovarajućih brzina u sagledanom jednogodišnjem intervalu. Prema prethodnom opisu, jasno je da se sa donjeg dela ove slike može utvrditi i tačan broj sati u godini u kojima bi se mogao očekivati vetar čija će brzina duvanja biti jednaka odabranoj vrednosti ili veća od nje, što je podatak koji može biti esencijalan prilikom inicijalnih razmatranja vezanih za mogućnosti proizvodnje energije iz vetroelektrana podignutih na lokaciji na kojoj se merenja sprovode.





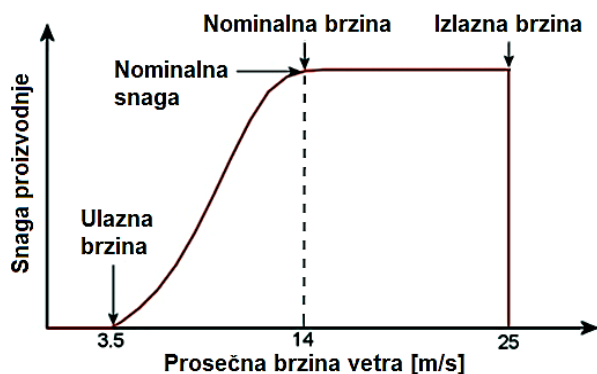
SLIKA 1 – BRZINE VETRA NA LOKACIJI ODABRANOJ ZA ANALIZE

U cilju formiranja adekvatnog teorijskog uvoda za proračune čiji će rezultati biti izneti kasnije, na ovom mestu će se pažnja posvetiti karakteristici tipične vetroturbine, to jest, dijagramu na kome se može uočiti međusobna zavisnost tri veličine – brzine vetra na mestu podizanja turbine, ugaone brzine okretanja rotora turbine i snage proizvodnje električne energije pomoću te turbine. Pošto bi davanje ovakvog dijagrama u trodimenzionalnom prostoru, u kome bi svaka osa odgovarala jednoj od nabrojanih veličina, bilo nepregledno i, makar sa praktične tačke gledišta, relativno neupotrebljivo, ovakva karakteristika se uobičajeno prikazuje u formi većeg broja krivih, pri čemu svaka od tih krivih odgovara jednoj brzini duvanja vetra na predmetnoj mikrolokaciji, dok su x i y osa, tim redom, posvećene promenama ugaone brzine okretanja rotora i snage proizvodnje električne energije pomoću turbine. Ovakav prikaz može se videti na Sl. 2, na kojoj su brzine vetra kojima odgovaraju pojedine krive obeležene simbolima v_1 , v_2 i v_3 , od kojih v_3 predstavlja najveću, a v_1 najmanju brzinu vetra.



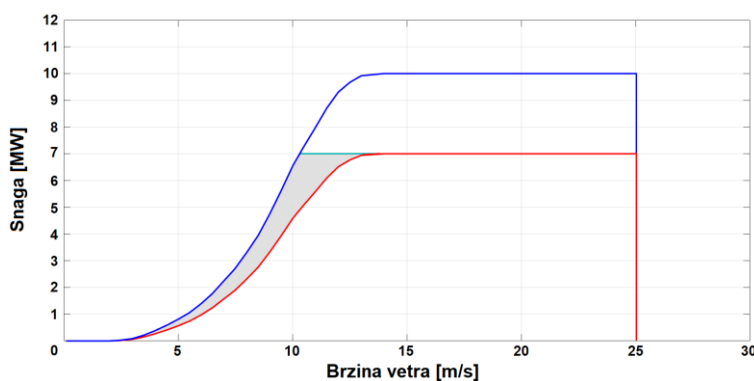
SLIKA 2 – TIPIČNA KARAKTERISTIKA VETROTURBINE

Sa prikazane slike je evidentno da, za svaku brzinu duvanja vetra na lokaciji od interesa, postoji brzina obrtanja rotora turbine, na gornjem dijagramu označena grčkim slovom ω , pri kojoj je efikasnost pretvaranja kinetičke energije vetra u električnu energiju maksimalna, te je i snaga kojom turbina na svojim izlaznim priključcima daje električnu energiju, na predstavljenom dijagramu označena slovom P , najveća moguća. Povezivanjem radnih tačaka koje odlikuje maksimalna moguća snaga generisanja električne energije dobija se idealna kriva snage vetroturbine, na grafiku naznačena isprekidanom crvenom linijom, pri čemu je, u najvećem broju prethodnih razmatranja na ovu temu, obrađivano pitanje načina na koji bi se moglo obezbediti da se vetroturbina automatski prilagođava brzini vetra i, variranjem brzine obrtanja rotora, postiže maksimalnu efikasnost pri proizvodnji električne energije. Odgovor na ovo pitanje dat je kroz koncept upravljanja turbinom promenom zakretanja ugla njenih lopatica, odnosno, koncept *pitch* kontrole, koji se praktično realizuje pomoću odgovarajućih motora, montiranih u korenu svake od lopatica elise, a, pored maksimalnog iskorišćenja raspoložive energije vetra, takođe garantuje i efikasnu amortizaciju mehaničkih naprezanja elemenata turbine prilikom udara olujnih vetrova. Karakteristika snage vetroturbine koja se ovakvim tipom upravljanja može postići data je na Sl. 3, na kojoj je podrazumevano da se brzina obrtanja lopatica turbine menja u skladu sa zabeleženom brzinom vetra, te je na prikazanom dijagramu data zavisnost snage generisanja turbine od trenutne vrednosti brzine duvanja vetra.



SLIKA 3 – KRIVA SNAGE VETROTURBINЕ DOBIJENA POMOĆU *PITCH* KONTROLE

Kao što se sa ove slike može primetiti, rast snage kojom se u vetroturbinі proizvodi energija sa porastom brzine vetra nastavlja se samo do dostizanja snage nazvane nominalnom, pri čemu se najniža brzina vetra pri kojoj se nominalna snaga vetroturbinе može dostići naziva nominalnom brzinom vetra. Ako bi se porast snage generisanja energije nastavio i preko nominalne vrednosti, rizikovalo bi se potencijalno oštećenje nekih od osetljivijih mehaničkih elemenata turbine, tako da se, ukoliko se brzina vetra poveća preko nominalnog iznosa, pristupa drugačijoj logici upravljanja, pri kojoj se lopatice turbine zakreću tako da se efikasnost konverzije energije svesno smanji, u cilju održavanja snage generisanja energije na nominalnoj vrednosti, ne bi li se izbegla moguća havarija na turbini. Ako bi se sada razmotrila definisana tema ovog rada, moglo bi se doći do zaključka da bi, za slučaj u kome je instalisana snaga elektrane jednaka 7 MW, kriva snage turbina odgovarala onoj prikazanoj na Sl. 3, dok bi, u situaciji u kojoj instalisana snaga iznosi 10 MW, bilo neophodno početi sa redukcijom efikasnosti konverzije i, samim tim, snage generisanja pri brzini vetra nešto manjoj od nominalne, i to tako da se ni pri jednoj brzini vetra ne dostigne snaga generisanja energije veća od 70% nominalne vrednosti. Dijagram na kome su prikazane krive snage vetroelektrana kapaciteta 7 MW i 10 MW, opremljenih tehnologijom neophodnom za implementaciju upravljanja zakretanjem lopatica, može se videti na Sl. 4, na kojoj je crvena kriva linija iskorišćena za obeležavanje podataka vezanih za vetroelektranu manje instalisane snage, plava kriva linija za obeležavanje podataka vezanih za vetroelektranu veće instalisane snage, dok tirkizna prava linija označava softverski uneto ograničenje, postavljeno na vetroelektrani instalisanog kapaciteta od 10 MW.



SLIKA 4 – UPPREDNI PRIKAZ KARAKTERISTIKA RAZMATRANIH VETROELEKTRANA

Ako bi se priloženi dijagram posmatrao sa većom pažnjom, moglo bi se uočiti da na njemu postoji zona osenčena sivom bojom, oivičena plavom linijom sa leve strane, crvenom linijom sa desne strane i tirkiznom linijom sa gornje strane. Ovu površinu na grafiku je bilo veoma važno istaći, pošto upravo ona markira oblast u kojoj bi snaga proizvodnje vetroelektrane od 10 MW, uz uvaženo softversko ograničenje, bila veća od snage proizvodnje vetroelektrane instalisanog kapaciteta od 7 MW, te, samim tim, označava i brzine vetra pri kojima bi novčani prinosi od proizvedene energije bili veći za slučaj podizanja veće vetroelektrane. Za sve brzine vetra koje prevazilaze onu određenu projekcijom krajnje desne tačke osenčene oblasti na x -osu, snage proizvodnje bi bile identične u obe razmatrane varijante, tako da bi investitoru, makar u slučaju takvih brzina vetra, bilo isplativije da uloži u vetroelektranu manje instalisane snage, jer bi mu ostvareni prihodi bili potpuno istovetni.

Jasno je da ovakva analiza već dobroano zadire u finansijske aspekte rada predmetnih agregata. Kako bi se sve potrebne veličine mogle uvrstiti u razmatranje, bilo je neophodno, za početak, definisati kako će se izračunavati godišnji priliv novca od vetroelektrane, pri čemu se došlo do sledeće formule:

$$P_{god} = W_{god} \cdot (c_{f-i} - c_{odr})$$

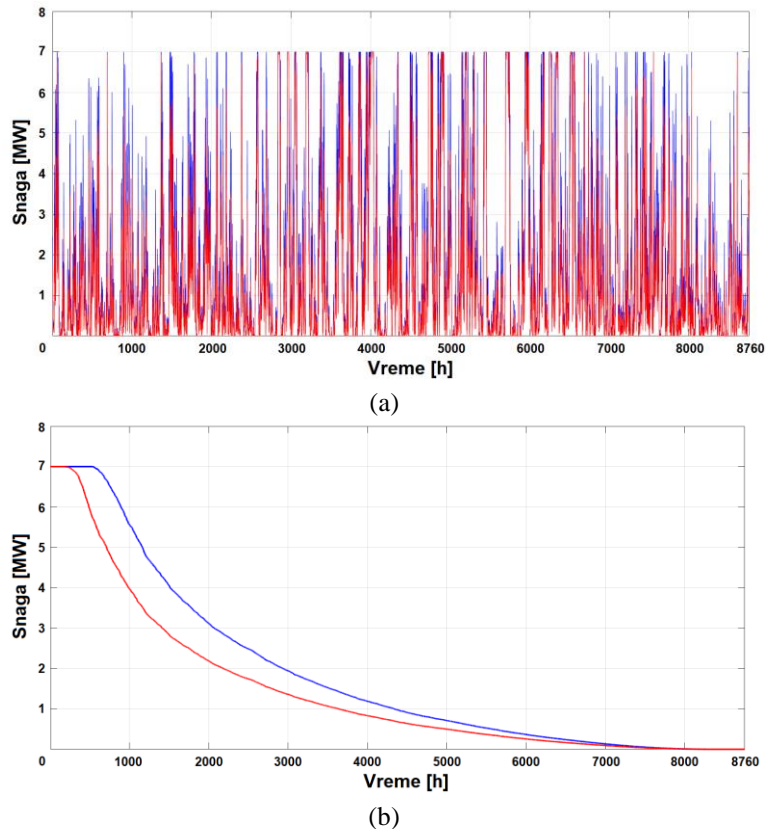
U ovoj formuli su sa P_{god} obeleženi ukupni godišnji prihodi na koje bi vlasnik vetroelektrane mogao računati, sa W_{god} električna energija koja bi se, prema izmerenim vrednostima brzine vetra, mogla proizvesti u podignutim turbinama, sa c_{f-i} jedinična cena električne energije koja se iz vetroelektrane plasira u sistem, a za koju je, u skladu sa odredbama povlašćene *feed-in* tarife na teritoriji Republike Srbije, usvojena vrednost od 92 €/MWh (9), dok je sa c_{odr} označena cena održavanja elektrane po jedinici generisane električne energije, za koju je, prema informacijama dostupnim u Krohn i dr. (10), uzeto da je jednaka 12 €/MWh. Kao što je u uvodnom delu ovog rada i naglašeno, među ekonomskim pokazateljima na osnovu kojih će se vršiti procena se nalaze i ukupne vrednosti prihoda koje se od razmatranih vetroelektrana mogu očekivati u toku čitavog njihovog životnog veka, za koji je, u skladu sa tvrdnjama iznetim u Jacobson (11), smatrano da je jednak 25 godina. Međutim, bilo je jasno i da je nemoguće na identičan način posmatrati prihode ostvarene u prvoj godini nakon puštanja elektrane u rad i one na koje se može računati tek dvadeset ili više godina kasnije. U cilju otklanjanja ovog problema, te svođenja svih ostvarenih novčanih benefita na isti trenutak, primenjen je princip aktuelizacije prihoda, kojim je bilo moguće svesti ukupne prihode ostvarene u prvih n godina rada elektrane, što je veličina koja će nadalje biti označavana sa P_n , na prvu godinu njene eksploatacije, za šta je korišćen obrazac dat na početku naredne stranice.

$$P_n = P_{god} \cdot \frac{(1 + p_n)^n - 1}{p_n \cdot (1 + p_n)^n}$$

U ovoj formuli je sa p_n obeležena stopa aktuelizacije, za koju je, u sprovedenim proračunima, usvajana vrednost od 0,05. Ako bi postojala želja da se izračunaju ukupni prihodi koje bi od elektrane bilo moguće očekivati pre njenog izlaska iz pogona, tada bi bilo potrebno u gornju jednačinu uvrstiti vrednost n od 25, nakon čega bi se tražena vrednost jednostavno mogla izračunati. Što se tiče perioda otplate investicije, on bi se, ukoliko bi se poštovao način označavanja promenljivih iskorišćen u prethodnim formulama, mogao definisati kao najmanji broj godina, to jest, najmanji iznos n , za koji bi važno da zbir aktuelizovanih prihoda nadmašuje početnu investiciju u samu vetroelektranu. Naravno, da bi se ovaj proces mogao realizovati prema datom opisu, bilo je neophodno precizirati i kolika su to ulaganja na koja bi investitor morao računati ne bi li podigao vetropark odgovarajućeg kapaciteta, gde je, uvažavajući prognoze za 2020. godinu prikazane u Totaro (12), smatrano da je ta vrednost jednaka 1.000.000 € po jednom MW instalisane snage elektrane.

REZULTATI PRORAČUNA

Ako bi se razmotrila lista parametara prema kojima će se poređenje dva predložena rešenja vršiti, predstavljena u uvodnom delu ovog rada, došlo bi se do toga da će isti biti podeljeni u dve osnovne grupe, od kojih će se prva fokusirati na energetske, a druga na ekonomsku tačku gledišta. Osnovnim pokazateljem rada vetroelektrane, iz čisto energetske perspektive, mogla bi se smatrati količina električne energije koja se u elektrani proizvede u vremenskom intervalu od godinu dana, pri čemu je, da bi bilo moguće izračunati ovu vrednost, prvo bilo potrebno definisati, na osnovu promena brzine vetra (datih na Sl. 1-a) i dve krive snage (predstavljene na Sl. 4), snage kojima se, u svakoj od razmatranih vetroelektrana, energija generiše u svakom satu posmatranog perioda. Iznosi snaga koji su dobijeni primenom pomenutih dijagrama se mogu videti na Sl. 5, na kojoj je crvena boja korišćena za označavanje snaga proizvodnje elektrane instalisane snage jednake 7 MW, dok su plavom bojom ucrtavane snage proizvodnje elektrane instalisanog kapaciteta od 10 MW, uz uzimanje u obzir softverski postavljenog ograničenja snage. Na gornjoj polovini ove slike (to jest, na Sl. 5-a), vrednosti snaga su prikazane hronološki, pri čemu se, već na prvi pogled, može zapaziti stohastičnost promene ovih snaga u skladu sa nepredvidivim varijacijama u brzini vetra, dok je donja polovina iste slike (označena sa Sl. 5-b), preglednosti radi, posvećena prikazu izračunatih snaga proizvodnje obe vetroelektrane, sortiranih po opadajućem redosledu.



SLIKA 5 – SATNE VREDNOSTI SNAGA PROIZVODNJE VETROELEKTRANA

Već se sa prikazanog dijagrama može videti u kojoj bi meri podizanje vetroelektrane veće instalisane snage, pa makar i uz pomenuto softversko ograničenje, moglo doprineti većim snagama proizvodnje električne energije u toku godine i, shodno tome, povećati ukupnu količinu električne energije koja bi se u razmatranoj vetroelektrani mogla proizvesti u toku godine. U cilju kvantifikacije ovog uticaja, izvršen je i proračun godišnje generisane energije u slučaju usvajanja svakog od dva analizirana rešenja, pri čemu je, u situaciji u kojoj je smatrano da je instalisana snaga vetroparka jednaka 7 MW, dobijena vrednost od 12,798 GWh, dok je, prilikom vršenja kalkulacija pri kojima je podrazumevano da je instalisana snaga elektrane jednaka 10 MW, uz ograničenje maksimalne snage postavljeno na 7 MW, zabeležena vrednost od 16,665 GWh. Kako bi se na još ilustrativniji način prikazao red veličine primećenog porasta, izračunat je i njegov relativni iznos:

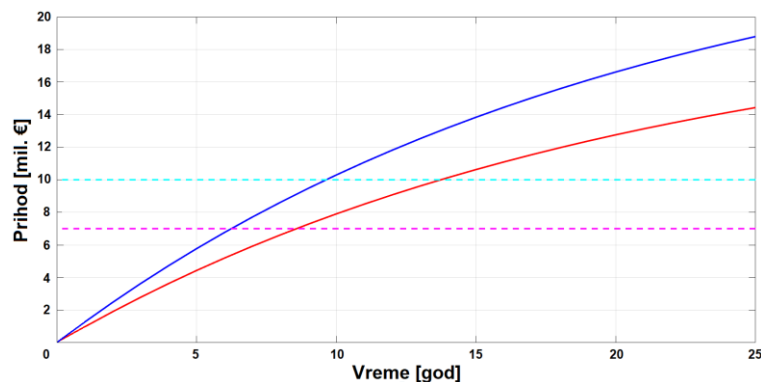
$$\Delta W_{god} = \frac{W_{10} - W_7}{W_7} \cdot 100\% = 30,22\%$$

Kao što je očigledno iz jedne od formula prikazanih na prethodnim stranicama, godišnji iznos prihoda koje bi investitor ostvario se, za potrebe sprovedenih proračuna, mogao smatrati direktno srazmernim godišnjoj proizvodnji električne energije, te je tako, nakon što se sa energetske prešlo na ekonomske aspekte rada predmetnih generatorskih kapaciteta, izračunato i koliki bi, u novčanim jedinicama, bili pomenuti prihodi za svako od navedenih varijantnih rešenja. Time je dobijeno da bi godišnji prihod na koji bi investitor mogao računati u slučaju u kome je instalisana snaga vetroelektrane 7 MW jednak 1,02 miliona evra, dok bi, ukoliko bi se ulagač odlučio za drugu razmatranu opciju, ovaj iznos bio povećan na 1,33 miliona evra. Što se tiče procentualne vrednosti ovog porasta, ona nije eksplicitno izračunavana, jer je, usled već naglašene uzajamne zavisnosti, uzeta kao identična onoj određenoj u proračunima koji su za temu imali proizvedenu električnu energiju na godišnjem nivou, te je podrazumevano da iznosi 30,22%.

Narednim pokazateljem isplativosti rada elektrana bi se, bez ikakve sumnje, mogla smatrati veličina ukupnih prihoda koji bi se u toku njihove eksploatacije mogli ostvariti, svedena na prvu godinu od puštanja turbina u pogon, pri čemu je za izračunavanje željenih vrednosti, prema već ranije definisanom principu, korišćena formula data na početku prethodne stranice, uz pretpostavku da je posmatrani broj godina jednak predviđenom periodu u kome bi se moglo očekivati da se vetroelektrane nalaze u pogonu, to jest, da je n jednako 25. Nakon što su u ovaj obrazac unete predviđene veličine godišnjih prihoda, izračunato je da bi se od elektrane manje

instalirane snage, u toku čitavog njenog rada, mogli očekivati prihodi čija vrednost, svedena na prvu godinu proizvodnje, iznosi 14,43 miliona evra, dok bi elektrana veće instalirane snage, i pored specificiranog ograničenja, mogla, ukoliko bi se sve odvijalo u skladu sa podacima uzetim u obzir u ovom radu, garantovati sveukupnu svedenu vrednost prihoda od 18,79 miliona evra.

U cilju određivanja perioda otplate investicije pri eventualnom prihvatanju svakog od predloženih rešenja, izračunate su i svedene vrednosti zbirnih prihoda koji bi se od elektrana mogli očekivati ukoliko bi se svaka od godina u toku trajanja njihovog životnog veka uzela kao presečna, čime je dobijen dijagram prikazan na Sl. 6, na kome je plava boja, još jedanput, iskorišćena za prihode vezane za rad elektrane instalisanog kapaciteta od 10 MW sa postavljenim limitom snage proizvodnje, dok su crvenom bojom obeležene vrednosti prihoda proračunate za slučaj kada se u pogonu nalazi manja vetroelektrana. Kako bi se ovi prihodi mogli uporediti sa odgovarajućim vrednostima početnih investicija, i ti iznosi su ucrtani na istom grafiku, ali isprekidanim linijama, gde je inicijalno ulaganje u vetroelektranu manje instalirane snage (prema prikazanoj jediničnoj ceni, uzeto je da iznosi 7 miliona evra) prikazano ružičastom bojom, a početna investicija namenjena izgradnji veće elektrane (smatrano je da je, zbog iste jedinične cene, jednaka 10 miliona evra) tirkiznom bojom.



SLIKA 6 – PRIHODI OD VETROELEKTRANA U TOKU NJIHOVOG ŽIVOTNOG VEKA

Ako bi se tačke u kojima krive svedenih prihoda presecaju odgovarajuće prave linije kojima su predstavljena početna ulaganja projektovala na x-osu prikazanog dijagrama, moglo bi se doći do broja godina koji mora proteći od trenutka puštanja elektrana u rad do momenta u kome bi inicijalna ulaganja bila isplaćena. Ovaj vremenski interval, nazvan još i period otplate investicije, jednak je 9 godina za slučaj u kome bi se projektom sagledala vetroelektrana instalirane snage od 7 MW, dok je za vetroelektranu instaliranog kapaciteta od 10 MW, sa implementiranim softverskim ograničenjem snage generisanja, nešto duži i iznosi 10 godina, što je, pre svega, posledica nezanemarljive razlike u početnim sredstvima koje treba obezbediti u toku izgradnje ovih elektrana.

Iz prikazanih rezultata je očigledno da, barem u situaciji koja odgovara opisanoj, nema rešenja koje bi se moglo jednoglasno proglasiti povoljnijim po investitora u vetroelektranu, već bi odabir zavisio isključivo od budžeta kojim bi on raspolagao na početku procesa izgradnje i pokazatelja rada koje bi postavio kao primarne, pri čemu bi elektrana od 10 MW sa limitacijom snage bila bolja solucija ukoliko bi se gledala količina proizvedene energije, visina godišnjih prihoda koji bi se mogli očekivati od elektrane i ukupan profit koji bi investitor ostvario u toku trajanja eksploatacije elektrane, dok bi elektrana od 7 MW instalirane snage dobila prednost ako bi se kao kriterijum po kome će se odlučivanje vršiti istakla kako sama početna ulaganja, tako i period nakon koga bi se mogla predvideti njihova otplata. U skladu sa navedenim, može se doći do toga da bi se, za svaki pojedinačni projekat izgradnje vetroelektrane koji podleže ograničenju snage proizvodnje, postavljenom na osnovu mogućnosti mreže, morala raditi analiza slična onoj prikazanoj u ovom radu, i to na osnovu vrednosti merenih na izabranoj lokaciji, nakon čega bi bilo moguće proračunati predstavljene parametre i doneti odluku.

ZAKLJUČAK

U sklopu ovog rada, za koji je osnovna zamisao pronađena u realnim problemima sa kojima bi se mogli suočiti kako investitori u vetroelektrane, tako i operator distributivnog sistema, analizirana je isplativost rešenja koje bi podrazumevalo implementaciju softverskog ograničenja snage proizvodnje vetroelektrane, pri čemu je vršeno poređenje performansi takve elektrane sa radom elektrane čija je instalirana snaga jednaka vrednosti na koju je snaga generisanja u elektrani predloženoj prvim rešenjem limitirana. Uprkos tome što se u radu nije došlo do rešenja koje bi se univerzalno moglo proglasiti boljim, predstavljeni postupak se može smatrati osnovom koju je moguće, u skladu sa potrebama svakog potencijalnog investitora u buduće proizvodne kapacitete, modifikovati

tako da odgovori zahtevima konkretnog slučaja postavljenog pred njega, te bi se, čak i na osnovu provizornih proračuna, predstavljenih u ovom radu, mogao naslutiti značaj koji bi ovakve analize u budućnosti mogle imati.

LITERATURA

1. AD Elektromreža Srbije, 2019, "Pravila o radu prenosnog sistema", preuzeto sa http://www.ems.rs/media/uploads/Plan_razvoja_prenosnog_sistema_R.pdf
2. Burges K, Broad D, van Zuylen E.J i Folkerts L, 2001, "Cost-effective connection of offshore wind farms using output prediction and control", "2001 Power Engineering Society Summer Meeting", pp. 16-19
3. Karagiannis F.E, 2000, "Wind energy investments in Greece-an economical approach", "2000 10th Mediterranean Electrotechnical Conference on Information Technology and Electrotechnology for the Mediterranean Countries", pp. 1141-1144
4. Yang X, Qian Z i Wang Z, 2010, "The research of investment and financing of wind power", "2010 World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference", pp. 1-4
5. Zuobin W i Yang T, 2010, "The study on risk evaluation of wind power investment", "2010 IEEE International Conference on Advanced Management Science", pp. 362-366
6. Lin Z i Qingding G, 2003, "Adjustable-pitch and variable-speed control of wind turbines using nonlinear algorithm", "Sixth International Conference on Electrical Machines and Systems", pp. 270-273
7. Dhar M.K, Thasfiqzaman M, Dhar R.K, Ahmed M.T i Mohsin A.A, 2017, "Study on pitch angle control of a variable speed wind turbine using different control strategies", "2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering", pp. 285-290
8. Van T.L, Dang N.K, Doan X.N, Truong T.H i Minh H.N, 2018, "Adaptive Fuzzy Logic Control to Enhance Pitch Angle Controller for Variable-Speed Wind Turbines", "2018 10th International Conference on Knowledge and Systems Engineering", pp. 225-229
9. "Fid-in tarife", preuzeto sa <https://www.energetskiportal.rs/ministarstvo/fid-in-tarife/>
10. Krohn S, Morthorst P.E i Awerbuch S, 2009, "The Economics of Wind Energy", preuzeto sa http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Economics_of_Wind_Energy.pdf
11. Jacobson R, 2016, "Renewable Energy – Where Do Wind Turbines Go To Die?", preuzeto sa <http://insideenergy.org/2016/09/09/where-do-wind-turbines-go-to-die/>
12. Totaro P, 2019, "Analysis – Wind turbine prices to recover 5% in next 2 years", preuzeto sa <https://renewablesnow.com/news/analysis-wind-turbine-prices-to-recover-5-in-next-2-years-673526/>