

## **OPTIMIZACIJA EFIKASNOSTI INVESTIRANJA U VETROGENERATORE U SRBIJI**

*R. Nedić, Global Substation Solutions d.o.o, Srbija  
D. Ćuković, Global Substation Solutions d.o.o, Srbija  
B.Vuković, Global Substation Solutions d.o.o, Srbija*

### **UVOD:**

*Cene i struktura investicija vetrogeneratorskih elektrana se uglavnom sadrže iz sledećih elemenata:*

*Cena investicija izgradnje kompletnog objekta i veza na postojeći dalekovod, cena rada i održavanja, proizvodnja energije/ brzina vetra, životni vek turbine i amortizacija postrojenja (radni vek 25 godina).*

*Najznačajniji element, od prethodno pomenutih, je cena investicija i ovaj članak ima za cilj da sagleda moguće puteve kontrole tj. ograničenja cene investicija na lokalnom tržištu Srbije.*

### **RAD:**

*Struktura cene investicija za srednje veličine vetrogeneratorskih postrojenja na kopnu, kakva se mogu graditi u Srbiji u sledećim zemljama (Italija, UK, Holandija, Portugal, Nemačka, Japan, Grčka, Španija, Kanada, Danaska, US, Norveška), varira, ali se može prikazati na sledeći način:*

	<i>Udeo u ceni koštanja (%) vetrogeneratora od 2 MW</i>
<i>Turbine</i>	<i>75.4 %</i>
<i>Temelji</i>	<i>6.5%</i>
<i>Električne instalacije</i>	<i>1.5%</i>
<i>Veza na postojeći elektroenergetski sistem</i>	<i>9%</i>
<i>Control sistem</i>	<i>0.3%</i>
<i>Nadzor/ konsultant</i>	<i>1.2%</i>
<i>Zemljište</i>	<i>3.9%</i>
<i>Cena finansiranja</i>	<i>1.2%</i>
<i>Prilazna putna mreža</i>	<i>1%</i>
<i>Ukupno:</i>	<i>100%</i>
<i>Totalna cena</i>	<i>1,227 miliona evra /MW</i>

*Generalno, cena investicija u vetrogeneratorima na kopnu u gore pomenutim zemljama se stabilizovala i može se reći da iznosi između 1.1 - 1.4 miliona evra/MW.*

*Lokalni uslovi Srbije mogli bi da utiču na povećanje pojedinih faktora iz gornje tabele:*

*Prilazna mreža puteva bi mogla biti duža i nešto skuplja, cena kredita je nešto veća na našim prostorima i u nekim slučajevima, cena veznih dalekovoda do prekida postojećih i izvođenja ulaz/izlaz novih dalekovoda mogla bi biti veća od gore navedenih srednjih cena.*

*Cena eventualnih urbanističkih i ostalih dozvola ne treba značajno da promeni pomenuti troškovnik odnosno i ako ga menja trebala bi se korigovati u Evropske okivre.*

*Znajući da će investicije u vetrofarme uglavnom biti private, malo je verovatno da cene primarne i sekundarne opreme, kao i ostalih servisa, mogu biti značajno iznad nivoa cena u Evropi.*

*Za očekivati je da će investitori uložiti maksimalne napore na obaranju predviđenih cena.*

*Evidentno je da su rezultati studija pokazali da Vojvodina poseduje kvalitetne vetrove, naročito na visinama preko 50 i 100 m iznad tla, što odgovara savremenim vetrogeneratorima snaga 2- 5 MW. Prethodno rečeno navodi na činjenicu da nije logična već "usvojena" cena 1.6-1.8 miliona evra/MW, koja se odmaćila u Srbiji kao cena vetro investicija. Visoka cena destimulativno utiče na investiture, jer automatski prolongira vreme otplate investicija, odnosno period vraćanje kredita, a istovremeno odlaže period ubiranja profita.*

*Optimizirajući dizajn vetrogeneratorskih elektrana i izbor opreme koja će se koristiti, očekivani investicioni troškovi za vetrogeneratorске elektrane mogu se kontrolisati i približiti Evropskim okvirima.*

*Najpouzdaniji pristup bi bio slediti već usvojenu praksu i koristiti dokazanu opremu i iskustva kompanija, koje se već nekoliko decenija bave iskorišćavanjem energije vetra, uz eventualna prilagođenja našim specifičnim uslovima. Naravno neophodan je dodatni rad inženjera na razbijanju predubedenja o neminovnosti većih troškova zarad naših posebnosti.*

### **Optimalan dizajn**

*Analiza prednosti pojedinih rešenja i izbora opreme, trebala bi biti uvod za svaki od delova projekta:*

- 1. Elektoroenergetski,*
- 2. Građevinski,*
- 3. Mašinski i*
- 4. Telekomunikacioni deo.*

*Verifikacija projekata stranih proizvođača treba da obezbedi jasne zahteve i potvrdu o postizanju visoke kompatibilnosti svih ugrađenih komponenata i opreme.*

*Usaglašavanje svih "interface" panela između opreme različitih isporučilaca, odnosno kompletne veze između svih delova opreme je neophodno uraditi u fazi projektovanja.*

*Aktivno učesće u reviziji projekata i neophodna korespondencija sa klijentom je imperativ. Prisustvo fabričkim ispitivanjima opreme i evidentnost ispunjavanja postavljenih tehničkih zahteva, uz prisusvo projektanata i ispitivača, vrlo je poželjna.*

*Omogućavanje da isti aktivno učestvuju i u ispitivanju opreme na gradilištu, ili bar vrše nadzor nad istim, rezultira bržim i kvalitetnijim ispitivanjem, odnosno adekvatnije podešavanje opreme i potpunu potvrdu postojanja svih osmišljenih funkcija. Neophodno je insistirati na unapred napisanim procedurama svih važnijih ispitivanja i njihovim overama*

od nadzornog organa. Eventualne izmene na crtežima na gradilištu unositi dnevno, uz obaveznu povratnu potvrdu od projektanata.

Izrada Projekta izvedenog stanja, na osnovu podloga dobijenih od izvođača, i puštanja postrojenja u pogon pozitivno će uticati na cenu održavanja, a o tome treba voditi računa još u ranoj fazi planiranja.

**Vetro Turbine/ Generatori:** Najskuplji i najvažniji deo i zaslužuje najviše pažnje pri izboru. S obzirom da su Vestas, Gamesa, Siemens, GE, Norex itd, već prisutni na tržištu, stanovišta smo da izbor ne treba širiti van kruga dokazanih proizvođača, odnosno improvizacije nisu opravdane. Potrebno je ugovarati kompletnu opremu uključujući njihovu projektnu dokumentaciju sa kompletnim tehničkim rešenjem, noseće stubove, transformator, srednjenaponski deo postrojenja, eventualno i same mobilne srednjenaponske trafostanice, ako su tipskim rešenjem proizvođača predviđene u podnožju ili u okolini podnožja stuba. Ekonomski balans između opreme i cene električnih gubitaka u radu opreme, pri izboru naponskog nivoa vodi nas, suprotno od prakse u Srbiji, predlogu, da se za srednji napon izabere 36 kV naponski nivo.

Naravno da je tip i snagu turbine potrebno prilagoditi brzini i broju sati adekvatnog vetra godišnje na predmetnoj lokaciji.

Nove vetro elektrane u zoni južnog Banata ili u drugim oblastima bogatim vetrom treba da se povežu na postojeće dalekovode Elektromreža Srbije od 110 kV.

Projekat će sadržati različit broj vetro turbinskih generatora (WTG), nominalne snage od 2 do 3 MW (Najverovatniji izbor, sudeći po rezultatima studija o vetrovskim kapacitetima). Vetro elektrana bi trebala biti konfigurisana od dve nezavisne sabirničke sekcije na 33 kV tako da će se u jednom delu preuzimati energija od polovine vetrogeneratora.

Vetroturbinski generatori će biti vezani 33 kV kablovima na trafostanicu 33/110 kV, koja sadrži 33/110 kV step transformatore, 33 kV i 110 kV postrojenje i pripadajuću opremu za upravljanje, merenje, kao i opremu za sopstvenu potrošnju.

U prilogu je data skica tipične vetro farme iz Engleske, kao ilustracije nekih od pomenutih korišćenih rešenja.

**Trafostanica 110/33 kV sastoji se od sledeće opreme:** Dva energetska transformatora 110/33 kV snage, adekvatne potrebnoj snagi koju prenosi, sa regulacijom napona pod opterećenjem i mogućnosti paralelnog rada, 110 kV i 33 kV primarne i sekundarne opreme uključujući zaštitu, upravljanje, SCADU, 33 kV kablove i 110 kV dalekovode, višezilne niskonaponske kablove, kao i svu telekomunikacionu opremu neophodnu za vezu sa upravljačkim sistemom Elektromreža Srbije. 110 kV postrojenje je vazdušno izolovano postrojenje AIS tipa, ali korišćenje GIS opreme na 110 kV treba analizirati izvan ovog rada sa aspekta razvoja i interesa proizvođačkih kapaciteta Srbije, u skladu sa celokupnim potrebama zemlje u narednih pedeset godina.

**Izbor energetskih transformatora vrši se na sledeći način:** Prividna snaga u režimu rada OFAF treba da bude oko 10 % veća od maksimalnog kapaciteta odgovarajuće sabirničke sekcije, dok u režimu ONAN prividna snaga svakog trafoa treba da bude oko 60 – 70 % od kapaciteta sabirnica sa kojih “iznosi” energiju.

*Sugerisana snaga energetske transformatora ne omogućava prenos celog kapaciteta vetroelektrane, u slučaju da je jedan transformator van pogona iz bilo kog razloga. Isto se može postići izborom veće snage transformatora, što će teško zadovoljiti parametre ekonomske optimizacije. Ukoliko su predviđanja da se neće koristiti puni kapacitet vetrogeneratora, snaga trafosa može dodatno varirati.*

**Srednje naponsko postrojenje:** *Može biti smešteno, u cilju smanjenja troškova, a po vrlo čestoj praksi na zapadu, u kompaktno metalne mobilne kontejnere, sa već instalisanom srednjenaponskom opremom u fabrici isporučioaca. Ovde ne postoje ograničenja s obzirom da istu opremu može isporučiti veliki broj proizvođača.*

*Kako je uobičajena sprega energetskog transformatora YNd koristi se trofazni transformator za formiranje veštačke neutralne tačke na 33 kV, nominalnog napona 36 kV, 50 Hz, spregu Z kako bi ograničili struju zemljospoja odnosno redukovali prenapone kvarova.*

*Vredno pažnje, odnosno ušede, bila bi detaljnija analiza rešenja sa američkog kontinenta, gde u zadnje vreme sve češće izbegavaju upotrebu transformatora za uzemljenje. U to smislu ugrađuju kombinovani vakumski prekidač sa visokobrzinskim uzemljivačem, mehanički spregnuti (mehanički blokirani). Otvaranjem prekidača usled kvara uzemljivač se zatvara u narednih 12 - 16 milisekundi, što ograničava napon kvara na podnosivi nivo, a izbegavaju se permanentni gubici praznog hoda, koje transformator za uzemljenje uzrokuje kontinualno dok je u servisu.*

*Ostatak opreme, kao što su paneli zaštite 110 kV postrojenja, LVAC, 110 Vdc i 50 Vdc sistemi, UPSovi, SCADA, uključujući kompletan menadžment sistema, mogu biti instalisani na gradilištu s obzirom da će isporučilac oprema najverovatnije biti različit.*

*Priključak energetskih transformatora na srednjenaponsko postrojenje je kablovski. Izbegavanje klasične komandne zgrade, koja je u svakom slučaju bez kontinualnog prisustva operatera, snižava cenu investicije, ubrzava rad na gradilištu, a ne smanjuje pogonsku pouzdanost niti životni vek postrojenja. Svi neophodni unutrašnji servisi u trafostanici postoje i u tom slučaju, poštujući neophodne zahteve adekvatno klasičnoj zgradi.*

*Pri izboru vetrogeneratora vodi se računa o njihovom kapacitetu u pogledu reaktivne energije (energija polja generatora). S obzirom da su 33 kV kablovi po prirodi kapacitivno opterećenje to će najverovatnije uzrokovati da se na trafostanici predvidi reaktor sa ciljem da se kompenzuje kapacitivna energija. Reaktor bi trebalo predvideti sa regulacijom pod opterećenjem, jer bi se istim mogla menjati reaktivna energija što bi imalo pozitivnog uticaja na vetroturbinske generatore, pogotovu u periodima visokih potreba za prenosom aktivne snage ka sistemu.*

*Reaktivna energija i harmonici su vrlo važni EMSu, a opseg frekvencije i fluktuacija napona je posebno važna za kontinualan rad turbine. Ukupni gubici su od posebnog značaja investitorima. Sve to je verovatno najlakše optimizovati preko srednjenaponske opreme, tako da su sem pomenutih reaktora često neophodne i kondenzatorske ćelije i automatska regulacija faktora snage.*

*Iznad svega je neminovno predvideti kontrolu vetroturbinskih generatora u skladu sa TSU "EMS" (TSU – tehnički sistem upravljanja).*

**Osnove idejnog projekta kablovskih veze između vetrogeneratora i trafostanice:** *Izbor kablova je neophodno optimizirati, uzimajući u obzir investicione troškove i tehničke parametre (termički kapacitet, padove napona i sposobnost podnošenja struja kratkog spoja).*

*Optimalni dizajn sabirnog kablovskog sistema vetro elektrana uzima u obzir krivu snage generatora (kW versus wind speed) i krivu verovatnoće vetra (broj sati očekivanih za svaku brzinu vetra).*

*Parametar izbora sredjenaponskih kablova su i dozvoljeni gubici. Različito opterećenje i očekivano trajanje istog mogu uticati na izbor kablova većih preseka nego što to zahteva proračun u saglasnosti sa opterećenjem i strujama kratkog spoja.*

*Vetrogeneratori su grupisani u više grupa vezanih serijski, po mogućstvu sa istim ili približno istim brojem vetrogeneratora..*

*Glavni kablovi od sabirne tačke generatorske grupe su najčešće tri jednožilna kabla adekvatnih preseka . Sabirni kablovi između prvog i drugog generatora u grupi, kao i drugog i trećeg, biće istog preseka. Kablovi između trećeg vetrogeneratora i četvrtog, kao i ostali do eventualnog većeg broja vetrogeneratora, mogu biti i manjih preseka.*

*Mogućnost povezivanja grupa sa tri jednožilna kabla i rastavljačem sa motornim pogonom je potrebno posebno analizirati. U redovnom servisu grupe su odvojene, ali usled potreba periodičnog servisa i u vreme kvarova, ovo rešenje daje veću fleksibilnosti za korišćenje raspoloživih kapaciteta.*

*Većina modernih vetrogeneratora daje 690 Vac, pa se napon najčešće podiže trofaznim transformatorima do 33 kV. Snaga tih transformatora bi bila za gubitke veća od snage generatora, recimo za vetrogeneratore snage 3 MW snaga transformatora bi bila 3.14 MVA. Većina proizvođača koristi suve epoksi transformatore, ali je moguće i rešenje sa uljnim transformatorima, specijalno dizajniranim za ove namene širine svega 770 m.*

*Transformatori imaju snižene gubitke, a otporni su prema višim harmonicima i preopterećenju.*

*S obzirom na delimično poznavanje domaćih proizvodnih kapaciteta distributivnih transformatora, mislimo da bi eventualno domaće rešenje trebao biti uljni transformator sa biljnim uljima.*

*Raznovrsna su rešenja prekidača vetrogeneratora i zaštite istog. Uglavnom svi proizvođači imaju ugrađenu prekostrujnu i zemljospojnu zaštitu opreme u okviru main ring unit prekidača. Kvar na kablovima je pokriven usmerenom prekostrujnom zaštitom ugrađenom u dovodu grupe kablova 33/110 kV . Zavisno od izbora isporučioaca turbine, biće definisan način vezivanja kablova unutar stuba turbine ili u spoljašnjem ormanu.*

*Kablovi koji povezuju turbine su vezani u istom postrojenju na rastavljače. Rastavljači su opremljeni motornim pogonom i njima se može upravljati lokalno i SCADAom, to jest daljinski.*

*Izbor tipa kablova može se usaglašavati, ali je Francuski Nexans najdalje otišao u razvoju kablova u vetro industriji.*

*Generalno XLPE kablovi su se pokazali zadovoljavajućim i mogu se koristiti i od drugih isporučioaca, dok je konačna odluka predmet dogovora i ekonomske analize.*

*Način polaganja kablova kao i optičkih vlakana usaglašava se sa vrstom tla u oblasti polaganja kablova, pri tom se vodi računa da bude što manje ukrštanja, da razvod bude najkraći mogući, i to najverovatnije u armirano betonskim kablovskim kanalima sa montažnim pločama. Dizajn kanala mora biti usaglašen sa vrstom i podvodnošću tla.*

*Optička vlakna se predlažu za komunikaciju sa SCADA-om, to jest da bi se omogućilo kontinualno monitorisanje i upravljanje elementima i električnim parametrima vetro elektrane. Optička vlakna bi bila položena paralelno sa kablovima. Komunikacioni putevi prema regionalnim centrima usklađuju se sa postojećim uređajima i podržanim komunikacionim standardima.*

*Transformatorska stanica TS 110/33 kV je bez posade, sa mogućnošću potpunog daljinskog upravljanja iz merodavnih centara daljinskog upravljanja: Postrojenjem 110 kV i energetske transformatorom upravljaće se iz nadređenog regionalnog centra EMS-a (Regionalni Dispečerski centar i Nacionalni Dispečerski Centar-Beograd); Postrojenje 33 kV će biti u nadležnosti elektro službe privatnih investitora ili firme koju investitor ovlasti.*

## **ZAKLJUČAK:**

*Elektroenergetika je značajno polje investicija u svim zemljama na svetu. Poseban značaj iste grane je u zemljama kao što je Srbija, gde je nažalost stepen investicija vrlo nizak. Ne želeći da se upustimo u analizu složenosti uzroka prednjeg, pokušali smo da predložimo da su vrednosti investicija u vetrogeneratora postrojenja u Evropi i svetu niža od predviđenog u Srbiji. Inženjerska strana ne vidi razlog i želja nam je da visina investicionog ulaganja na našim prostorima bude slična kao u Evropskom okruženju.*

*Bilo čija želja da istakne posebnost našeg tržišta nema nijednog valjanog razloga i samo predstavlja ostatke netržišne privrede, kojih se zbog našeg mesta u Evropskoj uniji moramo odreći.*

*Krajnje je vreme da proizvodi iz uvoza u Srbiji koštaju isto kao i u Evropi, kao i da naši domaći proizvođački i servisni kapaciteti budu subvencionisani u fazi razvoja, ali samo u okvirima cena svetske konkurencije.*

*Investicije u vetar su privatne i svim investitorima je interes da sa što manje ulaganja što pre dođu do svojih proizvodnih energetske kapaciteta. Uključimo domaće kapacitete, ali u konkurentnim okvirima tamo gde smo sposobni i ekpeditivni.*

*Verujemo da bi formiranje stručnog tela, od tehnički kompetentnih ljudi na nivou Srbije u oblasti korišćenja vetrovskih kapaciteta, dalo priliku da pojedinačni investitori imaju mesto gde mogu dobiti eventualne stručne pomoći.*

*Vetar je jedinstvena prilika da se naši interni stručni kapaciteti dokažu na delu, a Srbija evidentno nije u poziciji da elektroenergetska postrojenja i električnu energiju plaća više od drugih.*

## **LITERATURA**

- 1. The Economics of wind power, Wind Energy – The Facts, produced by the European Wind Energy Association (EWEA) and supported by the European Commission in the framework of the Intelligent Energy Europe programme at the European Union (EU) level,*
- 2. Wind farm Electrical design, ABB utility consulting*
- 3. Grounding Switch, Electro Mecanica, katalog*
- 4. On shore wind Farm Solutions, AREVA katalog*

