

dr. sc. Aco Šikanić, dipl. ing.
Brodarski institut d.o.o., Zagreb
aco.sikanic@hrbi.hr

Tripo Grgurević, dipl. ing.
Brodarski institut d.o.o., Zagreb
tripo.grgurevic@hrbi.hr

Nenad Dančević, dipl. ing.
Brodarski institut d.o.o., Zagreb
nenad.dancevic@hrbi.hr

ISKUSTVA U RAZVOJU I REALIZACIJI PROJEKTA VJETROELEKTRANE 42 MW

SAŽETAK

U radu je dan opis izrade idejnog, glavnog i izvedbenog projekta za vjetroeletktranu snage 42 MW na lokaciji Vrataruša iznad Senja. U izradu projekta je uključen niz stručnjaka različitih specijalnosti, koji su uz kvalitetno planiranje i dobru koordinaciju aktivnosti uspješno završili projekt, ishodili građevinsku dozvolu, te pratili realizaciju gradnje kao stručni nadzor na realizaciji projekta.

S obzirom na to da je odabran tip vjetroatregata inozemnog proizvođača, tijekom izrade glavnog projekta izvršena je nostrifikacija projekta tornja vjetroatregata s temeljem, te projekta kućišta s potrebnom opremom i zaštitom. Pritom je neovisno od izvorne dokumentacije napravljen kontrolni proračun tornja vjetroatregata s temeljem. Provjereno je i utvrđeno da su konstrukcija plašta tornja i temelj dimenzionirani u skladu s HRN EN 1992, HRN EN 1993 i HRN EN 1997. Izrađeni su geotehnički elaborat, elaborat o zaštiti od požara, zaštiti na radu, te zaštiti od buke, sukladno Zakonu o prostornom uređenju i gradnji i Pravilniku o kontroli projekata. Tijekom izvedbe projekta izrađen je i Operativni plan i program ispitivanja vjetroeletktrana sukladno Posebnim tehničkim uvjetima za prijem vjetroeletktrana izdanim od strane HEP-OPS-a, te se po njemu postupalo u pokusnom radu vjetroeletktrane.

Ključne riječi: vjetroeletktrana, vjetroatregat, razvoj, projekt, ispitivanje, probni rad.

EXPERIENCES IN DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A 42 MW WIND FARM PROJECT

SUMMARY

The process of creating the preliminary, main and detailed design of the 42 MW wind farm on the Vrataruša location near Senj is presented. A number of experts in various fields were involved in the project elaboration, which incorporated lots of high-quality planning and good coordination of activities in order to successfully finish the project, obtain the building permit, and monitor the construction as the technical supervisors on the project implementation.

Since the chosen wind turbine is produced by a foreign manufacturer, during the project elaboration it was necessary to conduct nostrification of the wind turbine tower and foundation design documentation, as well as of the wind turbine nacelle with equipment and lightning protection project documentation. In so doing, the control calculations for the tower and foundation were made independently of the original documentation. After verification, it was determined that tower structure and foundation were dimensioned according to HRN EN 1992, HRN EN 1993 i HRN EN 1997. Geotechnical report, as well as the reports on fire protection, safety at work, and noise protection was made according to the Building Law and Project Control Regulation. During the course of the project, the Operative Plan

and Programme for Wind Farm Testing' was made, according to the "Specific Technical Requirements for Wind Farm Acceptance", issued by the HEP-OPS, regarding to which the trial operation was performed.

Key words: wind farm, wind turbine, development, project, testing, trial operation

1. UVOD

Stručnjaci Brodarskog instituta su u okviru Odjela za obnovljive izvore energije i ekološki inženjering uključeni u projekt planiranja i izgradnje vjetroelektrane Vrataruša. Dosad su u Hrvatskoj izgrađene tri manje vjetroelektrane snage 5,6 MW, 11,2 MW i 9,6 MW, što čini vjetroelekttranu Vrataruša za sada najveću u Hrvatskoj. Brodarski institut uključio se u projekt sudjelujući u postupku planiranja idejnog projekta, te dobivanja lokacijske i građevinske dozvole kao nositelj izrade glavnog projekta. U realizaciji projekta Brodarski institut je vršio i stručni nadzor izgradnje i realizacije projekta koji je u fazi pokusnog rada, odnosno pred dobivanjem uporabne dozvole.

Vjetroelektrana Vrataruša, ukupne snage 42 MW, sastoji se od 14 vjetroagregata snage 3,0 MW. Značaj ove vjetroelektrane prelazi lokalne okvire, te se ona svrstava u projekte od državnog interesa, u skladu sa Strategijom i Programom prostornog uređenja Republike Hrvatske, te Uredbom o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije čija se proizvodnja potiče.

Prije početka rada na glavnom projektu, vršena je priprema za izradu idejnog projekta, mjerenje vjetropotencijala, obrada dobivenih podataka, odabir vjetroagregata, te je dobivena lokacijska dozvola. U postupku njezinog dobivanja, izrađene su stručne podloge, te su prikupljeni svi potrebni zahtjevi, potvrde i mišljenja nadležnih tijela i pravnih osoba, u skladu s kojima se pristupilo izradi glavnog projekta u cilju dobivanja građevinske dozvole.

Također je izvršena valorizacija zatečenog stanja na lokaciji, pri čemu su izrađene sljedeće studije:

- a) Studija o utjecaju na okoliš za vjetroelekttranu,
- b) Studija utjecaja vjetroelektrane na ornitofaunu,
- c) Konzervatorska studija utjecaja na kulturno-povijesnu baštinu za područje izgradnje vjetroelektrane.

Prilikom izrade projekta, osobita pozornost je dana zaštiti okoliša, uz zahtjev vraćanja cijele zone zahvata u prvobitno stanje nakon završetka radova (osim servisnih površina, pristupnih i servisnih putova). Također se pazilo i na zaštitu rijetkih biljnih vrsta, čija su staništa ograđena i zaštićena tijekom izvođenja radova.

2. PRIPREMA IDEJNOG PROJEKTA

Priprema projekta obuhvaća nekoliko faza koje su od najvećeg značaja za uspješnost projekta.

Prvo se preliminarno odredi potencijalna lokacija. Na bazi atlasa vjetra (nacionalnog, regionalnog ili lokalnog) odabiru se lokacije s najvećom prosječnom brzinom vjetra. Procjena iskoristivog vjetropotencijala uz brzinu i smjer vjetra obuhvaća i različita ograničenja same lokacije. Obično se vjetropotencijal određen bez uzimanja u obzir različitih lokacijskih ograničenja naziva 'teorijski'. Vjetropotencijal dobiven razmatranjem tehničkih ograničenja (npr. strm i nehomogen teren, visoka hrapavost, teren na kojem dolazi do većih turbulencija i separacije strujanja, ili nemogućnost priključenja na mrežu), naziva se „tehnički“ vjetropotencijal, dok se uzimanjem u obzir prostornih planova, ekoloških kulturnih i socijalnih faktora (npr. mišljenje lokalne zajednice) dobiva tzv. „praktični“ vjetropotencijal.

Za izradu atlasa vjetra koriste se razni softveri (npr. WasP), međutim, u RH još nije izrađen detaljan nacionalni atlas vjetra.

Iterativnim postupkom se od nekoliko lokacija bira jedna, uzimajući u obzir gore navedene kriterije (teorijski vjetropotencijal lokacije, te tehnička i praktična ograničenja). U ovom postupku se rade i detaljne mape vjetropotencijala na lokaciji (obično od 10x10 km do 20x20 km).

Nakon odabira lokacije, na osnovi prikupljenih podataka potrebno je napraviti preliminarnu procjenu godišnje proizvodnje, te preliminarnu analizu isplativosti. Ukoliko su rezultati zadovoljavajući, nositelj projekta donosi odluku o postavljanju mjernih stupova i započinjanju mjerenja vjetropotencijala.

Da bi se mjerni stupovi mogli postaviti, mora se MINGORP-u predati zahtjev za prethodno energetska odobrenje (PEO) za izgradnju postrojenja. Odobrenjem ovog zahtjeva nositelj projekta se može upisati u registar projekata i postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača (OIEKPP), te dobiva pravo postaviti mjerne stupove i započeti s mjerenjem vjetropotencijala, te urediti imovinsko pravne odnose, ako je zemljište u vlasništvu RH.

Nositelj projekta s mjerenjem mora započeti u roku od 6 mjeseci nakon dobivanja PEO, a zahtjev za izdavanjem lokacijske dozvole mora predati u roku od 36 mjeseci.

Sve što treba priložiti zahtjevu za PEO je propisano pravilnikom, kao i mjerilo mapa koje se prilažu.

Nakon dobivanja PEO i postavljanja mjernih stupova započinje se s mjerenjem koje mora trajati barem jednu godinu kako bi se dobili reprezentativni podaci. Prikupljeni podaci se statistički obrađuju, a zatim je potrebno napraviti korelaciju tih podataka s podacima iz referentne meteorološke postaje, kako bi se napravila procjena dugoročnog režima vjetra na poziciji mjernog stupa.

Potrebno je naglasiti da se u fazi mjerenja najčešće događaju najveće pogreške, obično zbog neadekvatne i nekalibrirane opreme.

S dugoročnom procjenom režima vjetra i digitalnom topografskom mapom terena na lokaciji, pristupa se izradi mapa vjetropotencijala. Ovo je često iterativno, jer se model strujanja vjetra mora više puta korigirati.

Nakon dobivanja mapa vjetropotencijala određuje se veličina, tip i broj vjetroatregata, te se vrši optimizacija njihovog položaja na lokaciji. Pritom se uračunavaju gubici zbog efekata terena kao i zbog međusobne zaklonjenosti samih agregata. I ovo je također često iterativno a radi se u jednom od softvera za projektiranje i optimizaciju vjetroelektrana (npr. WindFarmer).

S izračunatim optimalnim položajem vjetroagregata procjenjuje se godišnja proizvodnja vjetroelektrane. Također je potrebno napraviti i analizu nesigurnosti procijenjene godišnje proizvodnje koja se može provesti Monte Carlo metodom [1]. Analiza nesigurnosti je vrlo važna, jer ako je npr. 'za tipičnu lokaciju izračunat iznos godišnje proizvodnje s 90% vjerojatnosti da taj iznos bude premašen (P_{90}), može biti i dobrih 15% manji od srednjeg izračunatog iznosa ($P_{50\%}$). Drugim riječima, može se očekivati da jedan od 10 analiziranih projekata ima 15% manji dugoročni iznos godišnje proizvodnje od srednje procijenjene vrijednosti' [2].

Po dobivenoj procjeni godišnje proizvodnje, može se pristupiti pregovorima s dobavljačem vjetroagregata, te izradi idejnog projekta, koji se uz ostalu dokumentaciju prilaže zahtjevu za izdavanje lokacijske dozvole.

3. PRIPREMA GLAVNOG PROJEKTA

Glavni projekt vjetroelektrane sastoji se iz pet cjelina:

- a) opći dio,
- b) toranj vjetroagregata s temeljem,
- c) kućište vjetroagregata s potrebnom opremom i gromobranskom zaštitom,
- d) servisni putovi i površine, te
- e) situacija građevine.

3.1. Nostrifikacija

Dokumentaciju tornja, kućišta i opreme vjetroagregata s temeljem isporučio je inozemni proizvođač, stoga je bilo potrebno izvršiti njenu nostrifikaciju. Postupak nostrifikacije je zasnovan na utvrđivanju usklađenosti projekta izrađenog u inozemstvu s uredbama Zakona o prostornom uređenju i gradnji, tehničkim propisima i hrvatskim normama.

Pregledom projektne dokumentacije utvrđeno je da je projekt načinjen u skladu s tehničkim propisima i normama navedenim u:

- a) Izvješću o nostrifikaciji građevinskog dijela projekta
- b) Izvješću o nostrifikaciji elektrostrojarskog dijela projekta
- c) Zakonu o prostornom uređenju i gradnji
- d) Zakonu o zaštiti na radu
- e) Zakonu o zaštiti od požara
- f) Pravilniku o nostrifikaciji projekata

U građevinskom dijelu projekta nostrificirani su tehnički opis konstrukcije, tehnički uvjeti izvedbe, provjera mehaničke otpornosti i stabilnosti, troškovnik, program kontrole i osiguranja kvalitete, te izvršena revizija projekta.

Također je napravljen kontrolni proračun konstrukcije tornja vjetroagregata s temeljem za opterećenja vjetrom i potresom prema uvjetima okoliša određenih u nacionalnim dokumentima hrvatskih normi. Kontrolni proračun je napravljen u potpunosti neovisno o proračunima provedenim u izvornoj dokumentaciji, a za cilj je imao usporedbu reznih sila koje rezultiraju mjerodavnim kombinacijama opterećenja. Proračun je proveden prema HRN EN 1991 [3], HRN EN 1992 [4] i HRN EN 1998 [5]. Djelovanja obuhvaćena kontrolnim proračunom su: kontinuirano opterećenje vlastitom težinom tornja, vjetroagregata i turbine, vjetrom i potresom. Zaključeno je da je izvorni proračun prema ICE IA u potpunosti transparentan, te da su konstrukcija plašta tornja i temelj dimenzionirani u skladu s HRN EN 1992, HRN EN 1993 [6] i HRN EN 1997 [7].

Izvješćem o nostrifikaciji građevinskog dijela projekta potvrđena je usklađenost glavnog projekta s odredbama zakona o prostorno uređenju i gradnji, odgovarajućih propisa i normi.

Izvršena je revizija izvorne provjere mehaničke otpornosti i stabilnosti tornja vjetroagregata, te je utvrđeno da proračun i pripadajući nacrti odgovaraju DIBt-ovim (Deutsches Institut für Bautechnik) smjernicama za vjetroelektrane, cjeloviti su i ispravni. Granična stanja nosivosti i uporabivosti nisu ugrožena uz pretpostavku da su se izvršila sva dimenzioniranja unesena u nacрте i proračune, da se pazilo na kvalitetu materijala i da su se uzela u obzir sljedeća izdanja kao i sva izdanja i primjedbe ispitivanja pripadajućih izvješća i stručnih mišljenja.

U elektrostrojarskom dijelu projekta nostrificirani su opća specifikacija opreme, električni podaci, sustav gromobranske zaštite, te program kontrole i osiguranja kvalitete. Izvorni projekt izrađena je prema relevantnim europskim i svjetskim normama, koje u Hrvatskoj još nisu važeće, ali su u postupku usvajanja.

Izvješćem o nostrifikaciji elektrostrojarskog projekta potvrđena je usklađenost glavnog projekta s odredbama zakona o gradnji, zakona o zaštiti od požara, odgovarajućih propisa i normi.

3.2. Elaborati i programi

U sklopu projekta izrađeni su:

- a) - geotehnički elaborat
- b) - elaborat o zaštiti od buke
- c) - elaborat zaštite na radu,
- d) - elaborat zaštite od požara,
- e) - program kontrole i osiguranja kvalitete.

U okviru geotehničkog elaborata izvršena su potrebna geotehnička istraživanja i mjerenja otpornosti tla prije i nakon kopanja jama za temelje.

U okviru elaborata o zaštiti od buke utvrđeno je da naselja u okolici planirane lokacije, ulaze u zonu intenziteta buke od 40 dB(A) do 45 dB(A), koja je u okviru zakonom dozvoljene buke za prostore na kojima ljudi rade i borave. Unutar područja u kojemu se očekuje razina buke polja vjetroagregata veća ili jednaka 40 dB(A) nema naseljenih kuća. Prognozirana buka vjetroagregata na udaljenosti od 350 m pri brzini vjetra od 15 m/s iznosi 37 dB(A), što je manje od propisane dopuštene razine buke 45 dB(A) u zoni 2. Buka vjetroelektrane biti će maskirana pozadinskom bukom na udaljenostima većim od 350 m. Naseljena mjesta u okolici vjetroelektrane nalaze se na udaljenosti većoj od 400 m, pa buka vjetroelektrane neće utjecati na povećanje buke u naseljima.

Elaboratom zaštite na radu propisani su postupci koji se trebaju poduzeti kako bi djelatnici zaposleni na vjetroelektranama omogućili sebi i drugima brzu i učinkovitu pomoć u slučaju da dođe do nezgode. Svi načini postupanja su jasno definirani za službe spašavanja – vatrogasce i hitnu pomoć.

Elaborat zaštite od požara propisuje odabrani koncept i sustav zaštite od požara, mjere zaštite elektroinstalacija, te građevinske mjere zaštite od požara. Pri projektiranju vjetroelektrane primijenjene su smjernice MBO (Musterbauordnung) koje se u danom slučaju primjenjuju kao priznato pravilo tehničke prakse. Prema tim smjernicama vjetroelektrane trebaju biti opremljene opremom za vatrodojavu, opremom za gašenje požara te opremom za označavanje i spašavanje. Elaboratom su propisani postupci i organizacijske mjere koje treba poduzeti u slučaju izbijanja požara u strojarnici/rotoru vjetroagregata, kao i slučaju požara u blizini vjetroagregata.

Program kontrole i osiguranja kvalitete se sastoji iz dva dijela koji se odnose na kontrolu i osiguranje kvalitete betonske konstrukcije, te vjetroatregata. Ovim programom su propisane metode kontrole i osiguranja kvalitete materijala, opreme, izvršenog rada, mjernih instrumenata, sigurnosnih uređaja, te puštanje sustava u probni rad i ispitivanje uz regulaciju radnih parametara u skladu s vrijednostima propisanim projektom. Program je usklađen s hrvatskim propisima, tehničkim propisima i pravilima struke. Za tehničku problematiku koja nije obuhvaćena hrvatskim propisima, upotrijebljena su priznata pravila tehničke prakse temeljena na renomiranim inozemnim propisima.

3.3. Projekt servisnih putova i površina

Projekt servisnih putova napravljen je tako da su jednim dijelom iskorišteni postojeći protupožarni putovi, dok su ostali novoizgrađeni. Na svim servisnim putovima predviđena je širina 4,5 m kao i radijusi dovoljno veliki kako bi se mogao obaviti transport segmenata stupova vjetroatregata, lopatica i dijelova vjetroatregata. Servisne površine uz svaki vjetroatregat su dimenzija 25 m x 45 m, zbog omogućavanja postavljanja kрана i lakšeg pristupa vozilima.

4. IZVEDBENI PROJEKTI

Nakon dobivanja građevinske dozvole ili potvrde glavnog projekta, slijedila je izrada izvedbenih projekata i pojedinih detaljnih tehnologija gradnje i montaže, na osnovu predviđenog u glavnom projektu

U ovom konkretnom projektu je rađena posebna dokumentacija glavnog i izvedbenog projekta trafostanice 30/110 kV.

5. REALIZACIJA PROJEKTA

U realizaciji projekta Brodarski institut je vršio i stručni nadzor izgradnje i realizacije projekta koji je u fazi pokusnog rada, odnosno pred dobivanjem uporabne dozvole.

Tijekom izvedbe projekta izrađen je i Operativni plan i program ispitivanja vjetroelektrana sukladno Posebnim tehničkim uvjetima za prijem vjetroelektrana izdanim od strane od strane HEP-OPS-a, te je po njemu rađeno ispitivanje i testiranje u pokusnom radu vjetroelektrane.

6. ZAKLJUČAK

Stručnjaci u razvojno-istraživačkim timovima različitih profila i struka su prije više godina započeli sa proučavanjem novih područja djelatnosti, proizvoda i usluga na području ekologije i obnovljivih izvora energije, naprosto jer je to davalo izgleda za osvajanje jednog dijela kod nas relativno malo razvijenog tržišta. Uspješnim završetkom i izvedbom projekta dosad najveće vjetroelektrane u Republici Hrvatskoj, stekla se značajna referenca i kredibilitet među potencijalnim investitorima, kao i mjerodavnim državnim institucijama, koje su projekt odobrile.

Tijekom gradnje vjetroelektrane Vrataruša, stručnjaci iz tih timova su vršili i projektni i stručni nadzor nad izvođenjem radova. To dragocjeno iskustvo stručnjaka različitih profila i struka razvojno-istraživačkih timova, uz svladavanje novih softvera za optimiranje, danas im daje velike mogućnosti ponuditi širok spektar usluga u području razvoja i izgradnje vjetroelektrana od ideje, preko razrade idejnih rješenja, izrade projektne dokumentacije do nadzora izgradnje.

LITERATURA

- [1] P. Raftery, A. J. Tindal, M. Wallenstein, J. Johns, B. Warren, F. Dias Vaz, "Understanding the risks of financing wind farms", Proceedings of European Wind Energy Conference, Nica, Francuska, 1999.
- [2] EWEA (grupa autora), "Wind Energy - The Facts: A Guide to the Technology, Economics and Future of Wind Power", Earthscan Publications Ltd, London, travanj, 2009.

- [3] HRN EN 1991:2008 Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukcije, Hrvatski zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 2008.
- [4] HRN EN 1992:2008 Eurokod 2 - Projektiranje betonskih konstrukcija, Hrvatski zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 2008.
- [5] HRN EN 1998:2008 Eurokod 8 - Projektiranje konstrukcija otpornih na potres, Hrvatski zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 2008.
- [6] HRN EN 1993:2008 Eurokod 3 - Projektiranje čeličnih konstrukcija, Hrvatski zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 2008.
- [7] HRN EN 1997:2008 Eurokod 7 – Geotehničko projektiranje, Hrvatski zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 2008.