

## ISKORIŠTAVANJE ENERGIJE VJETRA I GRADNJA VE VRATARUŠA POKRAJ SENJA

### 1 Uvod

Na lokaciji Vrataruša u zaleđu Senja gradi se najveća hrvatska vjetroelektrana. Smještena je na primorskoj strani jugozapadnih ogranaka Velike Kapele, pokraj naselja Krivi Put ispod Alinog brda, otprilike 8 km sjeverozapadno od grada Senja i 7 km zapadno od prijevoja Vratnik, na prirodnoj terasi (širokoj 1 do 2 km i dugoj 10 km) koja se pruža u smjeru jadranske obale (sjeverozapad-jugoistok) na nadmorskoj visini od 700 do 1100 m.

Izgradnja je započela 14. studenoga 2007., a prvi je od 14 stupova s vjetrogeneratorima podignut 21. listopada 2008. i, kako se očekuje, svi će biti montirani do kraja ove godine. Vrataruša će biti najveća vjetroelektrana u ovom dijelu Europe, sposobna da proizvede 42 MW (14 vjetro-turbina snage 3 MW) električne struje, što je dostatno za potrošnju grada od 100.000 stanovnika. Usporedbe radi cijela Ličko-senjska županija (na čijem se prostoru nalazi) ima 53.677 stanovnika (prema popisu iz 2001.). Na početku želimo razjasniti određenu terminološku zbrku uz naziv tih elektrana što rabe turbine s pogonom na vjetar, a inače je iskorištavanje energije vjetra područje proizvodnje energije iz obnovljivih izvora koje se najbrže razvija. U uporabi su različiti izrazi poput vjetrenjača, vjetrogeneratora, električnih turbina na vjetar i sl. No kako se u posljednje vrijeme za skup električnih vjetrenjača rabi i naziv vjetropark, što može izazvati dodatne nedorazume, radi izbjegavanja svih mogućih zabuna držimo da bi bilo najbolje upotrijebiti izraz vjetroelektrana, posebno zato jer riječ vjetrenjača asocira na starija postrojenja koja su najčešće služila za mljevenje žitarica. Osim toga naziv vjetroelektrana upućuje na određeno područje s više vjetrogeneratora, a istodobno se može poput ostalih elektrana označiti prikladnom kraticom – VE.

### USE OF WIND ENERGY AND CONSTRUCTION OF VRATARUŠA WIND PLANT NEAR SENJ

Our biggest wind plant with 14 wind generators and the total capacity of 42 MW is currently under construction at the Vrataruša locality near Senj, at the littoral foothills of Kapela. The towers and wind generators of the wind plant, which is jointly built by a Croatian and a German company, are produced in Denmark. The article briefly presents how the wind energy was used in the past, with an emphasis on the use of wind mills for grinding grain both in our country and abroad. The article continues with description of modern wind plants which are currently the fastest growing segment in the energy generation sector based on renewable sources of energy. Most wind plants are currently found in Germany and Denmark where such plants cover almost one fifth of the total electricity consumption. The attention then shifts to wind plants that are already operational or are at the planning stage. In this respect, it is noted that about one hundred requests have so far been placed for undertaking this type of development, but the actual construction work is hindered by the complex administrative procedure, and the fact that construction is banned on the islands and along the coastline where the wind is most frequent. The final part of the paper provides principal information about the new wind plant whose annual production will be sufficient to cover the needs of a town with 100,000 residents.



Situacija područja vjetroelektrane

## 2 Pregled razvoja vjetrenjača

Energija je vjetra preoblikovana i neizravna sunčeva energija. Sunčevo zračenje nejednoliko zagrijava zemljinu površinu, što uzrokuje različite tlakove zraka, a vjetar je gibanje zraka koje nastaje iz težnje da se ti tlakovi izjednače. Vjetar inače postiže znatno veće energetske vrijednosti od sunčeva zračenja ( $10 \text{ kW/m}^2$  tijekom jakih oluja i više od  $25 \text{ kW/m}^2$  tijekom uragana). Zbog toga su ljudi tisućljećima, vjerojatno već prije 5500 godina, iskorištavali vjetar za pogon svojih brodica i jedrenjaka. Poznato je da je babilonski car Hamurabi 17. st. prije Krista planirao iskorištavanje vjetra za vrlo ambiciozan plan navodnjavanja, a poznata je i uporaba rudimentarne vjetrenjače za pogon orgulja u 1. st.

su dobre pozicije obale mora i morska prostranstva. Otvorena bi morska pučina, zbog stalnog vjetra, bila naj-

Abu Lu'lu'a zbog ubojstva kalifa Umara ibn al-Khattaba. Dvjesto godina poslije opisane su vjetrenjače u



Nizozemske vjetrenjače i danas su prepoznatljivi dio krajolika



Vjetrenjače u Manči, Španjolska

Uporaba raznih vrsta vjetrenjača i turbina nešto je složeniji način iskorištavanja energije vjetra i pretvaranje njegove kinetičke energije u mehaničku. To se posebno odnosi na one dijelove Zemlje na kojima pušu stalni (planetarni) vjetrovi i stoga je na tim područjima iskorištavanje energije vjetra najpovoljnije. Vrlo

prikladnija, ali su tome zapreka troškovi instalacije i transporta tako proizvedene energije.

Iako je uporaba vjetrenjača za iskorištavanje energije vjetra vjerojatno znatno starija, u pisanim su izvorima prvi put spomenute 644. kada je uhićen perzijski graditelj vjetrenjača

Seistanu (na granici Irana i Afganistana) koje su bile konstruirane s vodoravnim mlinskim kotačima, poznatim još mnogo prije iz Male Azije. Krila su bila montirana na vertikalne osovine, a okretala su se vodoravno i te su vjetrenjače uglavnom služile za mljevenje žitarica.

Slično su bile građene i vjetrenjače koje je između 22. i 11. st. pr. Krista u djelu *Deset knjiga o arhitekturi* opisao slavni rimski inženjer Vitruvije (Marcus Vitruvius Pollio). Taj se tip vjetrenjača u pojačanoj uporabi pojavio u Francuskoj i Engleskoj tek krajem 12. st. Kako su krila takve vjetrenjače morala biti što više okrenuta prema vjetru, drveni je trup vjetrenjače (s mlinskim kamenjem i ostalom opremom) bio uzdignut na prikladno poduprto postolje i prema vjetru se mogao okretati dugačkom polugom ili "repom" na stražnjoj strani. Nedugo potom (početkom 14. st.) u Francuskoj i Španjolskoj gradile su se nove inačice vjetrenjače koja se sastojala od čvrstoga zidanog tornja s mlinskim kamenjem i ostalom opremom u unutrašnjosti. Prema vjetru se okretao samo krov

ili "kapa" s krilima, također uz pomoć "repa" ili posebnom polugom u unutrašnjosti.

Vjetrenjače su bile dobrodošli tehnički uređaji u svim europskim sredinama koje nisu imale tekuću vodu koja bi za mljevenje brašna mogla okretati mlinske kotače.

Zabilježeno je da su se vjetrenjače uspješno rabile za drenažu zemljišta u Nizozemskoj u 17. i 18. st. Bile su vrlo složene i samostalno su se okretale prema pravcu vjetra.

jer su mnoge srušene ili prenamijenjene nakon što su prestale s radom iako bi nesumnjivo, kao i drugdje, bile zanimljiva turistička atrakcija. Najbolje je sačuvana kamena kula vjetrenjače obitelji Ilić s početka 19. st. u Sutivanu na otoku Braču, jedina od 125 mlinova za žito koliko ih je, kako se pretpostavlja, tada bilo na tom otoku. Poznati su ostaci kamenih kula dviju velikih vjetrenjača u Medulinu s kraja 19. st. na kojima su ponegdje temeljene netočne tvrdnje da je mlin i osnova imena tog

gradića. Najneobičnija je uspomena na jadranske vjetrenjače sačuvana u župnoj crkvi Sv. Trojice na otočiću Vrgadi pokraj Pakoštana. Ta crkva potječe s kraja 17. st., a nadograđena je na kružnu vjetrenjaču koja je stajala na brdu iznad jedinoga otočnog naselja.

Postojećoj je kružnoj građevini, u kojoj su danas oltar i sakristija, pridodana crkvena lađa s pobočnim oltarima, prostorom za puk i uzdignutim krovom.



Ostaci vjetrenjače na Vrgadi

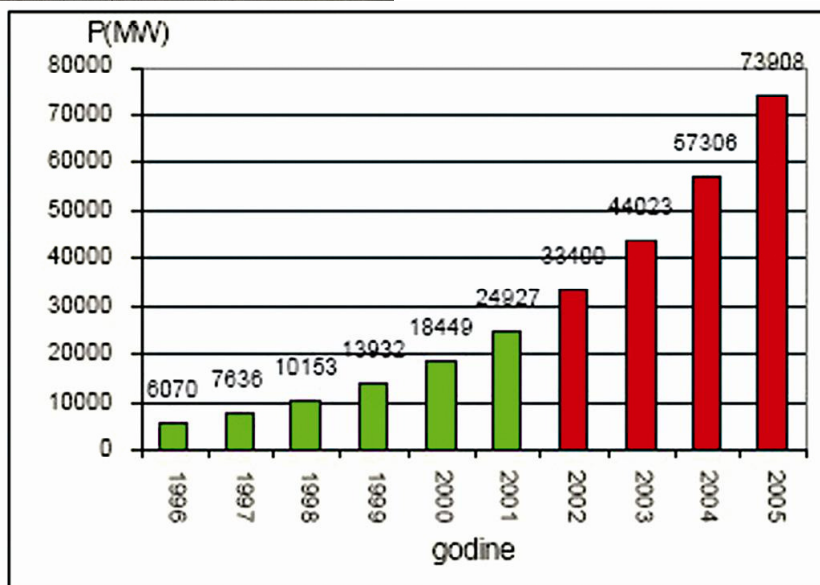
U 19. st. u Sjevernoj su Americi vjetrenjače služile za pogon sustava za crpenje vode. Početkom 20. st. energija se vjetra natjecala s drugim izvorima energije, posebno s parom u parnim strojevima i fosilnim gorivima u motorima s unutarnjim izgaranjem. No električna energija i elektrifikacija istisnule su vjetrenjače sve do ponovnog oživljavanja iskorištavanja energije vjetra tijekom naftne krize sedamdesetih godina prošloga stoljeća.

Iako je manje poznato, na našoj su obali, posebno na otocima, postojale mnoge vjetrenjače za mljevenje brašna. Doduše rijetko je koja sačuvana

### 3 Suvremeno iskorištavanje energije vjetra

#### 3.1 Iskorištavanje energije vjetra u svijetu

Suvremeni sustavi pretvaraju energiju vjetra isključivo u električnu energiju. Tome su najviše pridonijele turbine na vjetar koje su u posljednje vrijeme znatno poboljšane. Za primjer bi najbolje moglo poslužiti njemačko tržište gdje je prosječna snaga turbina na vjetar bila 1995. godine 470 kilovata (kW), a 2001. već 1280 kW ili 1,28 megavata (MW). To se postizalo povećavanjem veličine turbina. Sada su u uporabi turbine i između 3 MW (koliko će ima-



Grafički prikaz instalirane snage vjetroelektrana u svijetu

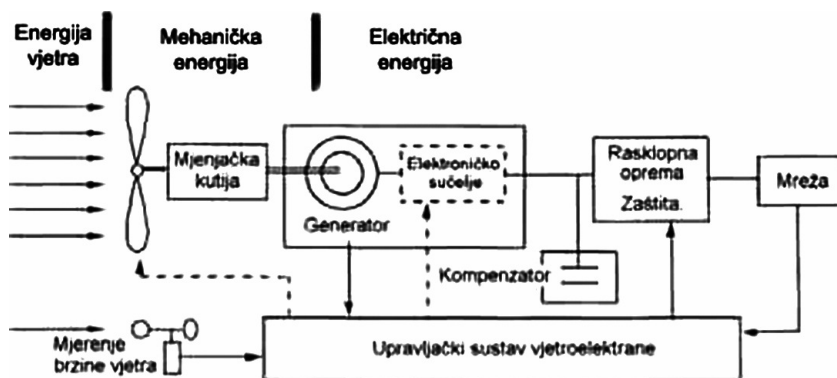
ti svaki vjetrogenerator na Vrataruši) i 4 MW, a počinju se ugrađivati i turbine sa snagom od 5 MW. Ipak zbog nestalnosti vjetra i mnogo dana kada su izvan uporabe te početne neisplativosti cijena je po megavatu instalirane snage za vjetroelektrane nešto veća od cijene za termoelektrane, primjerice prosječna je cijena kilovata vjetroelektrane 1000 eura, a termoelektrane 700 eura. Stoga su si donedavno vjetroelektrane mogle priuštiti samo najrazvijenije zemlje, ali se razvojem tehnologije razlika u cijeni počela smanjivati.

Ukupna je potrošnja energije u svijetu u 2000. godini procijenjena na  $1,2 \times 10^{14}$  kWh, a od toga je tada 18.449 MW instalirane snage vjetroelektrana, s prosječnim radom od 2500 sati (rentabilnost se vjetrenjača temelji na 2200 sati, odnosno 91,7 dana rada na godinu) proizvodilo  $0,044 \times 10^9$  kWh. Dakle udio je energije vjetra ipak vrlo malen. Međutim, od 2000. do 2006. instalirana je snaga vjetroelektrana u svijetu učtivostručena, da bi u 2007. iznosila čak 93,8 gigavata (GW).

Najviše je vjetroelektrana, prema podacima iz 2007., instalirano u Njemačkoj (ukupna snaga 22,2 GW), što je najvećim dijelom rezultat politike njemačke vlade koja poticajnim mjerama pomaže instalaciju novih kapaciteta. Slijede je SAD sa 16,8 GW, a znatne kapacitete imaju Španjolska, Indija, Kina, Danska, Italija, Francuska, Velika Britanija i Portugal. No kada se pogleda udio vjetrenjača u ukupnoj proizvodnji električne energije, onda Danska (zajedno s Farskim otocima) s nešto više od 3,2 GW instalirane snage znatno prednjači jer gotovo 19 posto električne energije dobiva iz vjetroelektrana. Štoviše, Danska planira do 2030. godine 50 posto svih energetske potreba kućanstava zadovoljiti iskorištavanjem vjetra. U toj se zemlji potencijali vjetra mjere od 1979., a Danska je i jedina zemlja, uz Veliku Britaniju, koja je vjetro-

elektrane izgradila i na moru. Europska unija i SAD izradile su posebne atlase resursa za brzine vjetra iznad 44 m. Prema tim atlasima četvrtina je površine Europske unije pogodna za gradnju vjetroelektrana. U SAD-u je udio tako dobivene električne energije gotovo zanemariv (0,77 posto) iako je tamo gotovo 50 posto prostora pogodno za vjetroelektrane. Tako malo iskorištavanje energije vjetra u gospodarski najrazvijenijoj zemlji svijeta tumači se tradicionalnim američkim oslanjanjem na fosilna goriva.

di nekoliko takvih elektrana, a ima i mnogo zahtjeva za gradnju novih. U svijetu se drži da je potreban minimum za rad vjetroelektrana brzina vjetra od 25 km/h ili 6,9 m/s. Dakle, upravo suprotno laičkom mišljenju da se vjetroelektrane grade u predjelima gdje pušu orkanski vjetrovi jer su one tada jednostavno rečeno neiskoristive. Primjerice, senjska bura u podvelebitskom kanalu zna puhati i do 150 km/h, ali bi takav vjetar uništio svaku vjetroturbinu u pogonu. Najbolje je kada su smještene



Shema vjetroelektrane priključene na električnu mrežu

U dobre se strane iskorištavanja energije vjetra ubraja pouzdanost rada postrojenja, nepostojanje troškova za gorivo i nikakav utjecaj na zagađivanje okoliša. Među loše se strane takve energije svrstavaju troškovi izgradnje i promjenjivost brzine vjetra koja ne može jamčiti sigurnu i stalnu isporuku energije. Za kućanstva su vrlo zanimljive vjetrenjače snage od nekoliko kW koje se mogu rabiti kao dodatni ili osnovni izvor energije u udaljenim krajevima. Kada su glavni energetske izvor, onda moraju biti opremljene dodatnim baterijama (akumulatorima) u koje se energija sprema kada se proizvodi više nego što se potroši.

### 3.2 Iskorištavanje energije vjetra u Hrvatskoj

Iako su početna mjerenja vjetra u nas pokazala da instaliranje vjetroelektrana nije posebno isplativo, u posljednje se vrijeme izgradilo i gra-

u područjima gdje ima umjerenoga, ali stalnog vjetra.

Vjeruje se da obalni prostor Hrvatske ima znatne potencijale za gradnju vjetroelektrana, a najviše se potencijalnih lokacija nalazi na krajnjem jugu, posebno u Dubrovačko-neretvanskoj županiji, ali i u Splitsko-dalmatinskoj, Zadarskoj i Šibensko-kninskoj. Zanimljiv je podatak kako se velik broj takvih lokacija nalazi na hrvatskim otocima (primjerice Pagu, Krku, Cresu, Braču, Hvaru, Visu i Korčuli). No vlada je Uredbom o uređenju i zaštiti zaštićenog obalnog područja mora iz 2004. između ostalog izričito zabranila gradnju vjetroelektrana na otocima i 1000 m od obalne crte u priobalju. U posljednje vrijeme ima određenih prigovora na tu zabranu među energetičarima, aktivistima u zaštiti okoliša i predstavnicima lokalne samouprave pa je, primjerice, u prostornom planu Novalje (iako je to Uredbom zabranje-

no) predviđena gradnja vjetroelektrane na predjelu Komorovac.

Prije stupanja spomenute Uredbe na snagu, na paškom je brdu Ravne puštena 2004. u rad vjetroelektrana koju je izgradila hrvatska tvrtka *Adria Wind Power* kao prvi naš komercijalni pokušaj iskorištavanja energije vjetra u proizvodnji električne energije. Radi se o 7 vjetroturbina ukupne snage 5,95 MW, s instaliranom pojedinačnom snagom od 850 kW i godišnjom proizvodnjom od 15 MWh. Visina je stupa svake turbine 49 m, promjer je rotora 52 m, a cijena je 7 milijuna eura.

Za realizaciju je trebalo punih 6 godina. Gradnja je inače trajala samo 4 mjeseca, ali su pripreme bile dugotrajne. Sve je počelo 1998. postavljanjem mjernih instrumenata za praćenje brzine i smjerova vjetra na Ravnama. Tada je utvrđeno da je Pag pogodan za gradnju vjetroelektrane, a mjerenjima su izmjereni godišnji prosjeci brzine vjetra između 6 i 6,5 m/s. Valja reći da se ispitivanjima utvrdilo kako na Pagu ima samo približno 1600 sati s iskoristivim vjetrom na godinu, što je znatno ispod u svijetu propisane rentabilnosti, no vjetroelektrana je ipak u redovitom pogonu i svoju električnu energiju isporučuje *Hrvatskoj elektroprivredi (HEP-u)*.

Na brdu Trtar-Krtolin iznad Šibenika (na području zvanom Dubrave, uz autocestu A1), njemačko-hrvatska tvrtke *Energys* postavila je 2006. godine 14 vjetroturbina.

Proizvodnja je VE *Trtar-Krtolin* 30.000 MWh električne energije na godinu, što odgovara potrošnji 10.000 kućanstava. Broj je vjetrovitih sati znatno povoljniji i procjenjuje se na 3000 sati na godinu, visina je svake turbine približno 70 m. U vjetroparku je postavljeno 14 vjetroturbina ukupne snage 11,2 MW. Svu proizvedenu struju u idućih 15 godina otkupljivat će *HEP*. Cijena izgradnje je 12,5 milijuna eura.

Osim VE *Vrataruša* koja se upravo gradi, a u početku su umjesto 14 bila planirana 22 vjetroturbina ukupne snage 66 MW, u Hrvatskoj je danas u pripremi, ili se gradi, još nekoliko vjetroelektrana. Ipak valja istaknuti, a na to nas je posebno upozorio projektant i glavni nadzorni inženjer dr. sc. Aco Šikanić, dipl. ing. stroj., da je *Vrataruša* prva vjetroelektrana s valjanom lokacijskom i građevinskom dozvolom te izrađenom studijem utjecaja na okoliš. Naime, dosadašnje vjetroelektrane na Pagu i u zaleđu Šibenika bile su samo probni-projekti za koje su dozvole izdavale nadležne županije, a za ovu je građevinsku dozvolu izdalo Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva.

Zanimanje investitora za iskorištavanje energiju vjetra u Hrvatskoj danas je iznimno i gotovo začuđujuće, ali njihovu izgradnju usporava složena procedura za dobivanje potrebne dokumentacije. Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva zaprimilo je čak 113 zahtjeva za gradnju vjetroelektrana, od kojih su dosad odobrena 43 zahtjeva. Predviđa se da će se do 2010. iz obnovljivih izvora energije proizvoditi 1139 gigavatsati (GWh) na godinu ili 5,8 posto od ukupno očekivane potrošnje struje, a od toga bi najviše, čak 4 posto, proizvodele upravo vjetroelektrane. S obzirom na veliko zanimanje, čini se da će biti odobren predviđeni maksimum od 360 MW ukupno instalirane snage. Za usporedbu, NE *Krško* ima snagu od približno 600 MW i daje nešto više od 5000 GWh na godinu, dakako pod uvjetom da radi cijelu godinu.

Da se o vjetroelektranama u Hrvatskoj zaista počinje ozbiljnije razmišljati, dokazuje i priprema izgradnje vjetroelektrane na Čičariji koja će imati 34 vjetroturbina ukupne snage do 80 MW. U pripremi je i projekt vjetroelektrane Ponikve pokraj Stona. Gradit će je već spomenuta tvrtka *Energys*, koja namjerava izgraditi

17 vjetroturbina ukupne snage do 34 MW.

Prateći razvoj svjetske energetike, tvrtka *Končar* započela je s razvojem vlastite vjetroelektrane, a već otprije za druge proizvođače izrađuje velik dio potrebnih dijelova. Nakon mjerenja vjetra na nekoliko lokacija, kao najpovoljniju izabrali su Pometeno brdo pokraj Konjskog u zaleđu Splita, gdje su najprije podigli čelični rešetkasti stup za mjerenje vjetropotencijala na visini od 42 m. Sada je u izradi prototip prve domaće vjetroelektrane, a predviđa se gradnja 16 vjetroturbina ukupne snage 16 MW.

#### 4 Projekt i tehničke karakteristike vjetroelektrane Vrataruša

Vjetroelektranu Vratarušu zajednički i s podjednakim svotama ulaganja grade rovinjska tvrtka *Valalta* d.d. i *Wallenborn Projektentwicklung GmbH & Co.KG* iz Njemačke.

Prostirao će se na 5,8 km<sup>2</sup> i u će prvoj fazi imati 14 vjetroturbina, a godišnje će proizvoditi približno 125 MWh električne energije. Procijenjeno je da će gradnja stajati 420 milijuna kuna ili 57 milijuna eura, a tvrtka *Valalta* je od Fonda za financijsku učinkovitost dobila financijsku potporu od 1,7 milijuna kuna. Inače *Valalta* je turistička i proizvodna grupacija koja u svom sastavu ima veliki naturistički kamp i marinu, a projekt izgradnje vjetroelektrane razvija još od 2001. To je samo jedna od novih aktivnosti tvrtke koja je svojedobno kupila nekad vrlo poznatu elektroničku tvrtku *Digitron* iz Buja. Inače *Valalta* i *Wallenborn* planiraju graditi još 4 vjetroelektrane u Hrvatskoj i 2 u Bosni i Hercegovini, a prva će najvjerojatnije biti ona na Čičariji.

Projekt gradnje VE *Vrataruša* zajednički su izradili *Brodarski institut* d.o.o. iz Zagreba, Građevinski fakultet Sveučilišta *Josipa Juraja Strossmayera* iz Osijeka, *AS inženjering*



Vjetroturbine *Vrataruša* na dijelu Velike Kapele

d.o.o. iz Senja, *Exor informatički inženjering* d.o.o. iz Zagreba i *Urban design* d.o.o. koji je izradio studiju utjecaja na okoliš. Zapravo glavni su projekt vjetroelektrane izradili tvrtke *Wallenborn Projektentwicklung*, *Vestas Wind Systems A/S* iz Danske (koja je i proizvela stupove i turbine) i francuska tvrtka *Areva* (trafo-stanicu), a nostrificirali su ih prema našim propisima *Brodarski institut* za strojarske i elektro radove i Građevinski fakultet iz Osijeka za građevinske radove.

Glavni je projektant koji je radio na nostrifikaciji bio dr. sc. Aco Šikanić, a projektant građevinskog dijela prof. dr. sc. Dragan Morić, od kojih smo i dobili osnovne informacije o cijelom zahvatu. Poslije su isti projektanti izradili i izvedbeni projekt, a *AS inženjering* je projektirao sve putove na lokaciji vjetroelektrane i rekonstrukciju svih prilaznih cesta kako bi mogle omogućiti prijevoz glomaznih dijelova stupova i lopatica do gradilišta. Ujedno je *Exon* projektirao dio informatičke i mjerne opreme.

Toranj vjetroturbine visok je 80 m, a na njegovu se vrhu nalazi kućište generatora (gondola) s odgovarajućom opremom.

Vjetroturbina ima tri lopatice duge 45 m koje opisuju krug promjera 90

m. Vrhovi lopatica nalaze se 35 m iznad tla, a visina turbine od tla do vrha lopatice u vertikalnom položaju iznosi 125 m.

Najmanja udaljenost između vjetroturbina kad se postavljaju u nizu mora biti 4 promjera rotora, dakle 360 m, a za postavljanje u nepravilnom uzorku 5 promjera rotora što je 450 m. Te udaljenosti osiguravaju da ne bi došlo do tzv. "krađe" vjetra među generatorima.

Vjetroturbine tipa *Vestas* imaju asinkroni generator koji je hlađen vodom. Osim toga, u gondoli koja je izrađena od stakloplastike je temeljna plo-



Završetak postavljanja jedne od vjetroturbina

ča, mjenjačka kutija, zakretni sustav, sustav za kočenje, transformator i poseban sustav za hlađenje koji reagira automatski ako se tijekom rada unutar turbine temperatura podigne do kritičnih vrijednosti.

ma. Svaka od tri lopatice ima dva sloja spojena na potporni nosač, a izrađena je tako da što više smanji mehanička opterećenja turbine te da smanji buku i refleksiju svjetlosti. Lopatice imaju sustav za zaštitu od

vjetroturbina kompletno isključuje da bi se zaštitila od oluje, lopatice se mogu okrenuti u položaj s najmanjim obrisom i tako smanjiti otpor vjetra i mogućnost oštećenja.

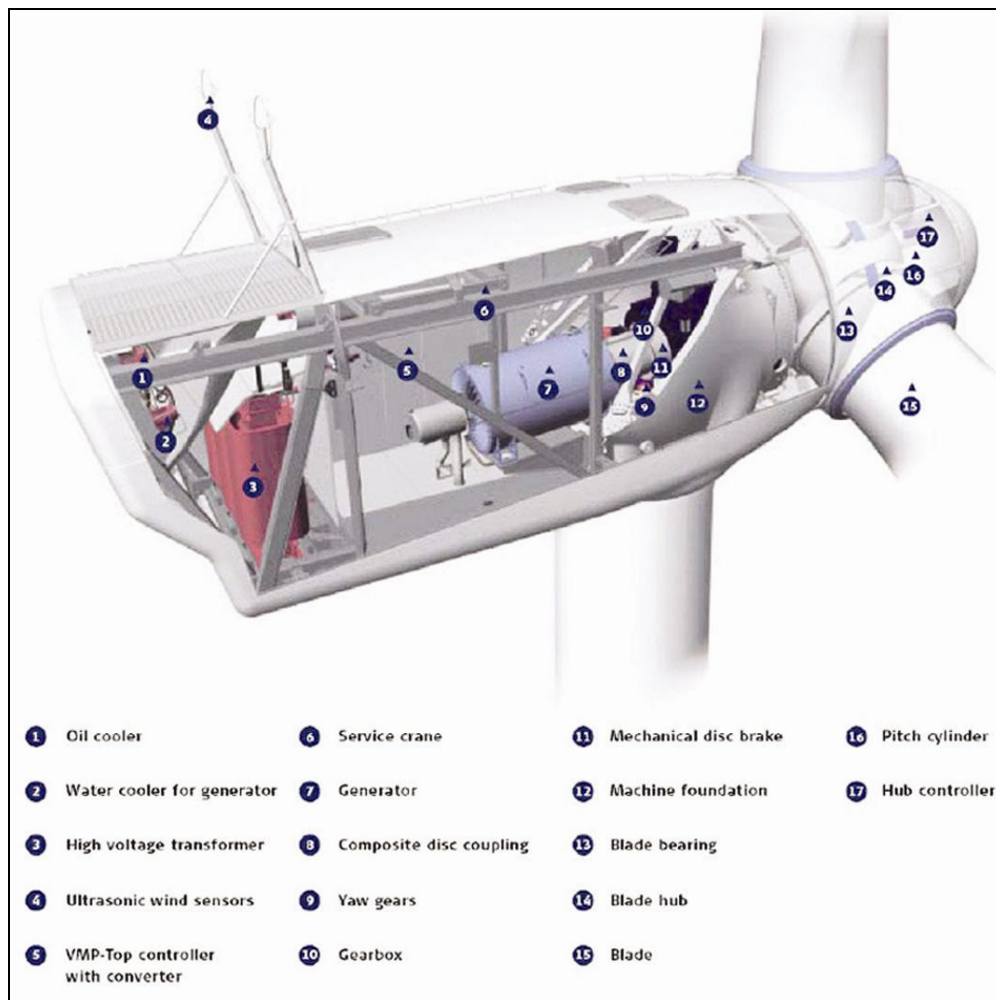
Vjetroturbina, dakle, koči postavljajanjem lopatica u aerodinamični položaj, a pojedinačni cilindri osiguravaju trostruku sigurnost kočenja. Osim toga, hidraulički sustav opskrbljuje tlakom disk kočnice na glavnom reduktoru. Zaustavna se kočnica može ručno aktivirati gumbom za zaustavljanje u vjetroturbini.

Vjetroturbine su opremljene i posebnom opremom za reguliranje rada, od koje svakako valja istaknuti poseban uređaj (nazvan *Opti-Speed™*) koji omogućuje ujednačen dotok električne energije iz generatora u mrežu i najpovoljniji rad pri različitim brzinama vjetra. Mrežni je trofazni transformator smješten u posebnom odjeljku u stražnjem dijelu gondole i posebno je dizajniran za primenu na vjetroturbinama. Ograničivači udarnog napona ugrađeni su na visokona-

aponskoj (primarnoj) strani transformatora. Izlazni naponi su raspoloživi u koracima od 0,5 kV u rasponu od 10 do 33 kV, pri čemu je 36kV (Um) najviši vršni napon.

Vjetrogenerator je predviđen za rad na temperaturama od -20 C do +40 stupnjeva Celzijevih. Rad se kontrolira daljinski tako da na lokaciji vjetrolektrane ne borave radnici

Servisna je površina za svaku vjetroturbinu 25 x 45 m, servisni su interni putovi svih vjetroturbinu 4,5 m,



Presjek gondole vjetroturbine

Postoje i izdvojeni rashladni sustavi za hlađenje ulja za podmazivanje i vode što hladi generator i poseban uređaj za ujednačeni dotok električne energije te transformatora. Rotor se sastoji od glavčine (središnjeg dijela ležaja) koja je montirana izravno na mjenjačku kutiju pa je time eliminirana glavna osovina za prijenos snage vjetra od generatora do reduktora, regulacije zakretanja lopatica, hidraulike i lopatica koje su izrađene od stakloplastike i epoksidne smole ojačane ugljičnim vlakni-

udara groma. Vjetroturbina je zaštićena promjenjivim kutom lopatica rotora, iako je ta zaštita tehnički mnogo složenija, ali se zato promjena kuta automatski prilagođava različitim uvjetima. Lopatice se rotora okreću u vjetar pri većim brzinama vjetra pa smanjuju upadni kut i ulaznu snagu na lopaticama. Lopatice su pomično učvršćene na vrh osovine, a dodatni motor upravlja njihovim nagibom. Manji sustavi mehanički mijenjaju kutove lopatica oslanjajući se na centrifugalnu silu. Kad se

a pristupni put na parcelu vjetroelektrane jest 5,5 m. Od vjetroelektrane do transformatorske stanice položeno je 10 km električnih vodova.



Armatura temelja

S prof. dr. sc. Draganom Morićem posebno smo razgovarali o temeljenju stupova. Zapravo suradnja toga stručnjaka s *Brodarskim institutom* traje gotovo desetak godina a vezana je za područje zajedničkih dinamičkih mjerenja te seizmičkih i dinamičkih proračuna u područjima brodogradnje, strojarstva i građevinarstva, pa je to i bio povod da on osobno i Građevinski fakultet iz Osijeka budu uključeni u ovaj projekt. Njegov je zadatak bio da izradi kontrolne proračune u skladu s EC1 (Eurokodom 1) i da ga uspoređi sa zemljopisnom kartom u vezi s vrtloženjem i torzijskim efektima. Poseban su problem vezan za temeljenje bili dinamički udari. Od prof. Morića smo ujedno doznali da su svi sudionici u projektiranju morali potpisati posebnu izjavu o tehnološkoj tajnosti podataka.

Stupovi su vjetroturbina temeljeni u armiranobetonske temelje. Veličina je temelja 14,5 x 14,5 m, a visina va-

rira od 1,85 m izvana do 2,25 m u unutrašnjosti.

U svaki je temelj ugrađeno 40 t armature i 500 m<sup>3</sup> betona te je težak 1300

t. Nakon ugradnje armature provjerava se vodoravnost položaja gornjeg prstena sekcije temelja i ona se prema potrebi podešavala, a zbog dinamičkih zahtjeva armatura se prije betoniranja posebno provjeravala.

Temelj se izvodio u jednoj operaciji, a u njega su ugrađene uvodnice za kabele, dodatne uvodnice za kabele ispod temelja, brtvljenje tornja, utiskivanje fugalnih otvora. Posebnu je pozornost zahtijevalo zatvaranje otvora između čeličnih dijelova i betona.

Na nadmorskoj visini od 1100 m iznad vjetroelektrane nalazi se poseban upravljačko-kontrolni stup za kontrolu brzine vjeta i rad generatora. Kad vjetar pređe odgovarajuću brzinu (iznad 24 m/s ili otprilike 100 km/h) kontrolni stup u roku od 5 sekundi zaustavlja rad vjetroturbine. Ovisno o brzini vjeta može zaustaviti okretanje lopatica oko svoje osi ili ih potpuno blokirati.

Podaci za upravljanje vjetroturbinama i za proizvodnju električne energije dobivaju se od različitih senzora koji mjere vremenske uvjete (smjer vjeta, brzinu vjeta i temperaturu), uvjete u postrojenju (temperaturu, razinu ulja i tlak te razinu vode za hlađenje), aktivnost rotora (brzinu i pozicije zakretanja), konstrukciju (vibracije i detektore udara groma) i priključak na mrežu (aktivnu snagu, jalovu snagu, napon, struju i frekvenciju).



Izbetonirani temelj stupa



## 5 Posjet gradilištu

Gradilište pokraj Krivog Puta posjetili smo za nedavnih prvih snjegova i jačih vjetrova. Prekrasan pogled s



Pogled na dio vjetroturbinu Vrataruša

tog položaja na taj dio Kvarnera i otoke Krk, Grgur, Goli otok i dio Raba, dijelom je smanjivao neugodne i hladne udare bure.

Taj dio okolice Senja od davnine je naseljen starim hrvatskim rodovima Bunjevaca koji su na ovim predjelima tradicionalno vodili stoku na pašu. Iz njihova ikavskoga govora potječe i naziv Vrataruša koji je nekad bio posjed senjskog samostana, dakle zemlja Frataruša (i ovdje se f mijenja sa v). Možda je i susjedni prijevot Vratnik svoje ime također dobio sličnom jezičnom pretvorbom.

Domaćin tijekom posjeta gradilištu bio nam je Zlatko Prpić, ing. građ., voditelj i koordinator toga zahtjevnoga, velikoga i barem zasad u Hrvatskoj rijetkog projekta, čija tvrtka *AS inženjering* iz Senja ujedno obavlja i nadzor svih građevinskih radova. Od njega smo doznali da su u proteklih godinu dana u okviru zemljanih radova izgrađena 3,5 km novih cesta

širine od oko 5 m, rekonstruirani su i proširena zavoji županijske ceste Vratnik – Vrataruša da bi se mogle dopremiti sekcije za stupove i ostala oprema golemih dimenzija, a djelo-

bi se omogućili uvjeti za transport tereta dugog i do 50 m.

Sve su zemljane radove izveli senjski poduzetnici, a iskopano je gotovo 100 tisuća prostornih metara materijala, od čega je velik dio ugrađen u nasipe, tampone ili se rabio za nasipavanje kanala.

U temeljne je jame, u koje se postavljaju stupovi s vjetroturbinama, ugrađeno približno 900 prostornih metara podloznog betona, a u temeljne stope za stupove ugrađeno je oko 6500 m<sup>3</sup> i gotovo 500 t armature.

S gradom je Senjom potpisan poseban ugovor da se ustupa 2 posto ukupne godišnje proizvodnje električne energije, a to će ulagati u razvoj njegove infrastrukture.

Izvođač zemljanih i betonskih radova je splitska tvrtka *Stuba-Projekt d.o.o.* s voditeljem gradilišta Milanom Ravnjakom, dipl. ing. građ., i pomoćnikom Daliborom Dragićem, ing. građ. Armiračke radove izvodi zagrebačka tvrtka *Armirač d.o.o.* Stupove je proizvela danska tvrtka *Vestas* te ih brodom prevezla do zadarske luke.

Istovar, transport na gradilište i podizanje stupova obavlja zagrebačka

mično je rekonstruirana i lokalna cesta Veljun Primorski – Vrataruša. Također je obavljena i geometrijska korekcija krivina na protupožarnim putovima na području Vrataruše da



Proširena cesta omogućila je transport stupova



Zavoji su bili problem pri prijevozu lopatica

tvrtka *Zagrebtrans d.o.o.*, bez čije bi opremljenosti i stručnosti cijeli ovaj zahvat bio pod upitnikom.



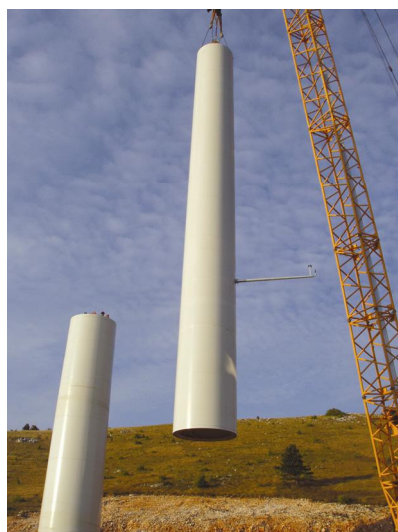
Podizanje i montaža lopatica

Montažu kabina zajednički obavljaju *Alpinabau* i *Vestas*, voditelji su montažnih radova Ivan Martinović, dipl. ing. stroj., i Danijel Pirkl, dipl. ing. el., a glavni je inženjer gradilišta Ilija Vrljić, dipl. ing. stroj. iz *Đuro Đaković Montaže d.d.* iz Slavanskog Broda.

Za našega je posjeta bilo montirano sedam stupova s vjetroturbinama i upravo se postavljao osmi, a preostalih šest bit će montirano do kraja

godine ako to budu dozvolile vremenske prilike. Naime, montaža se može izvoditi do brzine vjetra 9 m/s, što je brzina na kojoj mogu raditi dizalice. Jedan se stup montira otprilike dva dana. Stup je visok 80 m i podijeljen je u tri sekcije (20+30+30), a težak je oko 150 t.

Usporedno s postavljanjem stupova počela je i izgradnja trafostanice 30/110 kV koja će preuzimati struju s vjetroagregata i potom je podzemnim kabelom prosljeđivati u obližnji dalekovod Senj – Crikvenica.



Montiranje druge sekcije stupa

Za trafostanicu je ishoda posebna građevinska dozvola, a projektanti su bili *Exor informatički inženjering*, *Dalekovod projekt d.o.o.* i *As inženjering*. Njezina izgradnja dobro napreduje, a glavna je inženjerka Slavica Barbić, dipl. ing. el., iz tvrtke *Helb* iz Velike Gorice koja uz *Stuba – Projekt* polaže i kabele između vjetroagregata.

Ako vrijeme bude povoljno, jer radi se na blagoj i zaklonjenoj padini na kojoj nema nadaleko poznate senjske bure, ali je svejedno vrlo hladno, do kraja godine svih 14 vjetroagregata bit će kompletno postavljeno - rekao nam je ing. Prpić. Time će ujedno biti stvoreni i uvjeti za početak rada najveće hrvatske vjetroelektrane koja će svojom snagom znatno nadmašivati dosadašnji 17 MW koliko zajedno imaju druge dvije hrvatske vjetroelektrane.

## 6 Zaključak

Iako se vjeruje da vjetroelektrana ne zagađuje okoliš u koji je postavljena, ipak se strogo mora voditi računa o očuvanju okoliša i minimalnim devastacijama zatečenog stanja, posebno zaštititi zatečenih suhozida, vodonosnih zona u kršu, zaštititi flore koja se mora vratiti u prijašnje stanje, a posebnu pozornost valja pružiti zaštiti faune trajnim ili privremenim premještanjem uočenih vrsta. Stupovi moraju biti najmanje 150 m udaljeni od županijske prometnice i 300 m od građevinskog područja naselja te isto toliko od zaštićenih građevina graditeljske baštine. Posebnu pozornost valja posvetiti odvodnji i zaštiti temelja, a na tome posebno ustraje i proizvođač vjetroturbin.

Kako je gotovo cijela lokacija VE *Vrataruša* u vodozaštitnoj zoni izvorišta pitke vode, zabranjeno je bilo kakvo ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda, odlaganje otpada te svako skladištenje nafte i naftnih derivata. Kako *Vrataruša* nema stalne ljudske posade, pa time ni otpada, posebno treba voditi računa o servisiranju i

odvozu servisnog ulja iz generatora. Kako 7 vjetroturbina dolazi u doticaj sa suhozidima, čija će eventual-

jar, sivi sokol i drozd bravenjak. Ipak sretna je okolnost što ovo mjesto nije na poznatim preletima ptica.

od vizualne devastacije krajolika, što će se najmanje uočavati s morske strane, ali valja reći da neki stupove vjetroelektrane doživljavaju i kao određen ukras u prostoru. Mehanička buka od kućišta vjetrogeneratora neće smetati zbog udaljenih naselja, baš kao ni aerodinamička buka od lopatica rotora. Treperenje svjetala moglo bi znatno ometati promet na predviđenoj trasi autoceste na dionici Rijeka – Žuta Lokva, ali već je županijskim planom predviđeno premještanje trase. Moguće su i elektromagnetske interferencije televizijskih i radijskih signala te manjih ometanja radara.

Vjetroelektrane imaju i mnogostruke prednosti. Ne troše gorivo, a energija koju troše je potpuno besplatna. One su poželjan oblik alternativnih izvora energije, posebno u odnosu prema elektranama s fosilnim gorivima jer kemijski i biološki ne zagađuju okolinu. Brojni stupovi i lopatice vjetroelektrane mogu također povoljno utjecati na smanjivanje snage vjetra u područjima izloženima suviše jakim vjetrovima.

Tanja Vrančić, Branko Nadilo

Crteži i slike:

T. Vrančić i arhiv projektanta



Gradnja nove trafostanice

na oštećenja biti potrebno popraviti. Vrlo je važna i zaštita tla u škrtom kamenjaru. Stoga će se nasuti dodatno tlo i usitniti kamenjar te ozeleniti autohtonim biljkama. Najvažnija je ipak zaštita faune, posebno ptica koje ne mogu uočiti vjetrenjače tijekom rada. Vjetroelektranom su posebno ugrožene eja močvarica i suri orao, a rizične su vrste škanjac osaš, zmi-

Valja reći da je u blizini uočena vrijedna alpska ruža koju treba posebno zaštititi i premjestiti.

Studijom utjecaja na okoliš utvrđeno je da će se tijekom izgradnje pojaviti buka i vibracija zbog miniranja, prašinom onečistiti zrak i dijelom zagađiti podzemne vode. Tijekom uporabe predviđeni su nepovoljni učinci