

## Lopaticice vjetrenjača dobro plove globalnim morem\*

Privedila: Gordana BARIĆ

Sve veća naklonost političara uporabi vjetra kao jednog od neiscrpnih izvora za pridobivanje energije dala je vjetar u leđa popratnoj industriji. Međutim, financijska se kriza osjeća i u tom području uzrokujući odgađanja velikih, već najavljenih projekata. Politika ipak pripomaže, npr. u SAD-u u ovoj godini stupa na snagu novi porezni zakon za proizvođače (i vjetroelektrana). Proizvođači vjetroelektrana neprestano razvijaju nove i prilagođavaju stare tipove svojih proizvoda za različite situacije te tako zadržavaju postojeća i ulaze na nova tržišta. Kada se govori o lopaticama vjetrenjača, to ne znači samo dobavu novih već i zamjenu postojećih. Radi jednostavnijeg transporta tih velikih proizvoda pogoni za njihovu proizvodnju uglavnom se nalaze u lukama, odakle se otpremaju na ugradnju ili zamjenu na vjetroelektrane na pučini, posebice u Velikoj Britaniji, za koju se pretpostavlja da će postati vodeća po broju takvih postrojenja.

Neki proizvođači vjetroelektrana sami izrađuju sve dijelove, dok drugi neke naručuju. Npr. tvrtka *REpower* (dio korporacije *Suzlon*, Indija) kombinira oboje te nastoji iznaći najbolje mjesto za proizvodnju kompozitnih lopatica kojima opskrbljuje vjetroturbine diljem svijeta uzimajući u obzir čimbenike kao što su lokacija pogona, transportni troškovi te cijena rada.

### Konstrukcija lopatica

Danska tvrtka *LM Wind Power* slovi kao najveći svjetski proizvođač lopatica vjetroelektrana, ali iako cijela ta industrija bilježi rast, ni ta tvrtka nije posve imuna na trenutnu financijsku situaciju. Tvrtka je uspostavila sustav proizvodnje lopatica *GloBlade*, koji omogućuje proizvodnju pojedinačnih lopatica za svakoga kupca, dakle lopatica različitih duljina za vjetroelektrane različitih snaga, a cilj je moći ih proizvesti u svakom pogonu te tvrtke.

*Siemens Wind Power* ima svoju zaštićenu proizvodnju lopatica vjetroturbina, a posebna je pozornost posvećena aerodinamici. Naime, lopaticice vjetroturbine snage 3,5 MW dulje su od *Boeinga 747*. Povećanjem veličine lopatica nastoji se maksimirati godišnja proizvodnja energije – 10-postotno povećanje duljine lopaticice pridonosi 12-postotnom povećanju proizvodnje energije vjetroelektrane. Ne smije se zanemariti

da se time povećava i masa rotora te buka pri njegovu radu. Promjene u konstrukciji lopatica vjetroelektrana u posljednjih su trideset godina velike – prve 5-metarske lopaticice tvrtke *Bonus* nalikovale su na vesla, dok su današnje *Siemensove* nalik na oštrice, okretnih vrhova radi smanjivanja potencijalne buke.

Vodeći američki razvojni centar za lopaticice vjetrenjača je *Sandia National Laboratories*, čiji je najnoviji projekt konstruiranje 100-metarske lopaticice *SNL 100-00*, do sada najdulje u svijetu. Trenutačno se rješavaju problemi njezine mase te ispituje udovoljava li odgovarajućim normama. Započelo se s proizvodnjom lopaticice isključivo od kompozita sa staklenim vlaknima, bez uobičajeno dodanih ugljikovih, s dvije pomične mreže, međutim simulacije su pokazale potrebu dodavanja i treće mreže na oko 14,5 metara duljine. Takvoj se lopatici predviđa dug uporabni vijek, ali bi se mogao pojaviti problem njezina ugađanja s obzirom na jačinu vjetra jer se javlja opasnost od aerodinamične nestabilnosti zbog duljine lopaticice. Istraživači nastoje i taj problem riješiti.

### Utjecaj klimatskih uvjeta

Velik je problem u iskorištavanju energije vjetra u hladnim krajevima led koji se stvara na lopaticama te može potpuno blokirati njihovo okretanje. Za sada je predloženo nekoliko rješenja, a ako se pokažu dobrima, pojavit će se čitavo novo tržište za takve lopaticice. Njemačka tvrtka *Nordex Energy* zaposlila je stručnjake koji imaju iskustvo istraživanja na Antarktici. Razvili su sustav kontinuiranog praćenja ledenja površine lopaticice te uporabu minimalne energije koju proizvodi sama vjetroelektrana za zagrijavanje one površine lopaticice koja je potrebna kako bi se održala njihova aerodinamična stabilnost. Ispitivanja su pokazala da vjetroelektrane s protulednom zaštitom na lopaticama proizvode znatno više energije u zimskim mjesecima od onih bez takve zaštite.

Atmosferski uvjeti uzrokuju oštećenja različitih površina, pa tako i lopaticice vjetroelektrana, posebice njihovih krajnjih dijelova. Taj se problem pojavljuje neovisno o visini vjetroelektrane, duljini lopaticice ili samom proizvođaču, ali ključnim su se pokazali brzina vršnih dijelova lopaticice, kvaliteta obrade površine lopaticice i atmosferski uvjeti. Oštećenja površine lopaticice obično počinju na vršnim dijelovima u obliku ljuštenja boje ili prevlake, što utječe na aerodinamičnost (i do 20 %). *3M* ponu-

dio je ovom tržišnom segmentu nekoliko tipova zaštitnih proizvoda nastalih na osnovi četrdesetogodišnjeg iskustva u području zaštite helikopterskih elisa. Jedan od njih je zaštitni ljepljivi film ili npr. zaštitna prevlaka *W4600*, neopasna za okoliš, koja brzo očvršćuje i popravljiva je, a osnova joj je poliuretana.

Visoki objekti privlače gromove, od čega ni vjetroelektrane nisu izuzete. Za vjetroturbinu visoku oko 160 m u području niskog rizika udara groma kao što je npr. Sjeverno more može se očekivati godišnje u prosjeku 1,4 udara groma. Sadašnja zaštita lopaticice vjetroelektrana od udara groma uključuje niz receptora koji privlače gromove tijekom nevremena. Na *Fakultetu elektrotehnike i elektronike Sveučilišta u Manchesteru* testiraju se takvi receptori tako da se lopaticice objese iznad ploče položene na tlo i s pomoću visokog napona simulira se električno polje. Receptori udovoljavaju normama ako sva energija dolazi samo iz njih. No konstrukcija novih tipova lopaticice stvara nove probleme jer se dodaju provodljivi materijali i dijelovi – ugljikova vlakna ili sustavi za odleđivanje.

Najdulju proizvedenu lopaticicu vjetroelektrane, dugu 83,5 m, razvila je tvrtka *SSP Technology* za *Samsung*, koji ima dugogodišnje iskustvo u proizvodnji elisa helikoptera od kompozita s ugljikovim vlaknima koja su poslužila kao ojačavala na spojnicama lopaticice. To rješenje upravo ispituju stručnjaci za zaštitu od gromova, dok se vrhovi lopaticice testiraju na oštećenja od kiše premazima boje i zaštitnim trakama u ovisnosti o brzini vrtnje.

### Poboljšanja proizvodnje

Američko *Ministarstvo energetike* financira projekt inovativnog unapređenja proizvodnje lopaticice vjetroelektrana u koji je uključena i tvrtka *TPI Composites* i čiji je cilj omogućiti održivu domaću proizvodnju povišenjem proizvodnosti rada i smanjenjem proizvodnog ciklusa, oboje za 35 %. *TPI Composites* je dobavljač materijala za američke proizvođače lopaticice kao što je npr. *GE Energy*. Proizvodnja jednoga velikog rotora traje oko 360 sati, ima nekoliko ovisnih faza i radno je intenzivna. Krajnji je cilj automatizacija procesa, ali kako bi to bilo izuzetno kapitalno intenzivno, zahtijevalo bi i visoke profitne stope. Međutim, u usporednim proizvodnjama, kao što je npr. aeronautika, vrijednost je elise helikoptera oko 2,3 do 4,6 USD po kilogramu, dok bi automatizacija bila opravdana kada bi vrijednost bila 90 do 320

\* *Global wind energy industry continues to expand amid changing government policies causing financing delays*, [www.plastemart.com](http://www.plastemart.com), 31. 1. 2013.

USD po kilogramu proizvoda. Projekt uključuje razvoj rotacijskog postolja za rukovanje lopaticama kako bi se izbjegli problemi koje uzrokuje uporaba dizalica, razvoj ergonomskih rješenja za završne operacije te ubrzanje pojedinih faza procesa. *TPI Composites* već više od desetljeća metodom ultrazvučnoga neraznog ispitivanja kontrolira kvalitetu spojeva i stanje prevlaka prijenosnim uređajima, pa čak i na već postavljenim lopaticama.

*Fraunhoferov Institut za energiju vjetra i energetske sustave* (nj. *Fraunhofer Windenergie & Energiesystemtechnik, IWES*) također ulaže napore u automatizaciju i sniženje troškova proizvodnje lopatica vjetroelektrana. Veliki troškovi nastaju i prije nego što počne proizvodnja – konstruiranje lopatica (rješavanje problema aerodinamike, strukture, izračun opterećenja, izbor i ispitivanje materijala, izbor i ispitivanje dijelova...) i priprema proizvodnje (izrada modela, izrada kalupa, planiranje tijeka proizvodnje, izrada prototipa, ispitivanje, certificiranje...). Izračunato je vrijeme potrebno za svaku pojedinu fazu. Npr. priprema kalupa traje 12 min/m<sup>2</sup>, 1 min/kg postavljanja vlakana, 5 min/kg postavljanja smole i oko 5 sati za očvršćivanje. Analize pokazuju da je automatizirano postavljanje vlakana veoma skupo.

Proizvođač *Innoblade*, njemačka tvornica vjetroelektrana, vodeća u automatizaciji na ovom području, povećala je produktivnost smanjivanjem inačica lopatica. Još od 2005. proizvodi lopatice duljine 62,5 m od kompozita sa staklenim i ugljikovim vlaknima, sastavljene od dva modula. Posljednja testirana vjetroelektrana s tim lopaticama je *G10X-Platform* jačine 4,5 MW s rotorom promjera 128 m, i od nje je načinjen čitav vjetropark. Masa lopatica te vjetroelektrane je 40 % niža od do sada dostupnih tipova za rotor promjera 128 m (15 t). Kako su lopatice načinjene od dva dijela, jednostavnije su za transport, održavanje i popravke, iako treba više vremena kako bi se lopatice složile na mjestu korištenja.

*Beijing Goldwind Windpower Equipment* drugi je svjetski proizvođač vjetroelektrana, s do sada instaliranih 12 GW. Za tu kinesku tvrtku lopatice uglavnom razvija i proizvodi tvrtka *LM Windpower*, ali se i sama upušta u istraživanja. *Goldwind* ima tri istraživačka centra u Njemačkoj i Kini te surađuje s mnogim znanstvenim ustanovama. Razvija vjetroelektrane jačine 6 i 10 MW te dvije

nove vrste lopatica za vjetroelektranu snage 2,5 MW.

### Materijali

Dansko *Tehničko sveučilište* zasigurno je vodeće mjesto za edukaciju u području proizvodnje energije iz vjetra te je na njemu zaposlen profesor Povl Bronsted, koji ima 35-godišnje iskustvo u kompozitnim materijalima za vjetroelektrane. Najvažniji dio što se tiče materijala jest povezanost vlakana i smole te prevlaka vlakana, a posebice njezina debljina. Ta je prevlaka organskog podrijetla, nalazi se oko staklene ili ugljične jezgre i povećava preradljivost te je štiti. Ključna je suradnja između proizvođača vlakana i smole zbog njihove kompatibilnosti. Idealna je smola jeftina, čvrsta, viskoznosti niže od 500 mPa·s, lako preradljiva (s vremenom geliranja kraćim od 20 min), niske vodoupojnosti i kompatibilna s vlaknima, njihovim prevlakama i adhezivima. Tržištu se nude nova staklena vlakna povišene krutosti (80 – 90 GPa) u usporedbi s dosadašnjim E-vlaknima (72 – 74 GPa).

Tvrtka *Sika Technology* ponudila je industriji vjetroelektrana adhezive koji se već dugo rabe u automobilske industriji. Npr. *Sikadur WTG-1184* ima rastezno naprezanje od 45 MPa, prekidno istezanje 1,5 %, modul elastičnosti od 4 800 MPa, staklište 95 °C i smičnu čvrstoću od 15 MPa.

I tvrtka *BASF* vidi budućnost u materijalima za vjetroelektrane – planira u tom segmentu u 2020. zaraditi 300 milijuna eura od prodaje epoksidnih smola, adheziva, pjenastih jezgri i poliuretanskih prevlaka. Izrađuju se studije o kompatibilnosti materijala u lopaticama vjetroelektrana, posebice na vrhovima i spojevima. U istraživanju kemijske kompatibilnosti materijala epoksidna smola s obojenom PVC upjenjenom jezgrom formirala je konjugiranu dvostruku vezu koja nije imala nikakva učinka na drvo balse, PET ili SAN. *BASF*-ova epoksidna smola i *3B*-ova staklena vlakna s novim prevlakama dala su čvrstoću višu za 14 do 19 %. Temperatura prerade je kritična, npr. dobra se adhezija između poliuretanske prevlake i epoksidne smole postiže već pri 45 °C.

Osnovni spoj lopatica za ostatak vjetroelektrane je divovski vijak, a s porastom duljine lopatica nužno je voditi računa da on ne postane zapreka aerodinamičnosti te voditi brigu o zamoru materijala. *Owens Corning* razvio je materijal *Ultrablade Fabrics* te su provedena ispitivanja

na dvanaest uzoraka različitih debljina i kutova nanošenja slojeva za tri materijala. Sila na vijku te na spojnim dijelovima može biti vrlo visoka ako se npr. mijenja jačina vjetra s 3,5 na 18,5 m/s tijekom 10 sekundi, a kasni se s prilagodbom nagiba lopatica.

Proizvođač kompozita *Gurit* nastoji riješiti probleme koji nastaju uporabom različitih smola. Velike površine lopatica zahtijevaju samo tanak sloj laminata kao ojačanje i pjenastu jezgru te se tako oblikuje sendvičasta struktura koja znatno poboljšava funkcioniranje lopatica pri djelovanju pritisnog opterećenja. Na tako ojačanim dijelovima lopatica može doći do izvijanja zbog nedovoljne krutosti, stvaranja nabora zbog nedovoljne smične čvrstoće kojom bi se stabilizirala površina ili pak ondje gdje jezgra nije dostatna za održavanje laminata.

Materijal za izradbu jezgre lopatica vjetroelektrana mora biti lagan, krut, izdržljiv, jeftin, jednostavno preradljiv i kompatibilan s ostalim smolama, dugoročno stabilan, održiv i dostupan. Tvrtka *3A Composites* je svjetski dobavljač kojemu nisu zanimljivi samo drvo balse, PET ili PVC nego i smjese drvo balse/PET te drvo balse/PVC. Balsa nema visok unos smole (oko 20 %), čime se postiže velika ušteda i na smoli (uz sniženje troškova) i na masi lopatica.

### Oporaba

U Bremenu, jednom od središta istraživanja energije vjetra, razmišlja se o tome što s isluženim proizvodima načinjenima od kompozita ojačanih staklenim vlaknima kao što su to lopatice vjetroelektrana. Oštećene lopatice mogu se obnoviti i ponovno upotrijebiti, a one nepopravljive moguće je s ostalim odgovarajućim otpadom spaliti npr. u cementarama. Naime, spalionice kućnog otpada ne mogu spaliti veliku količinu materijala ojačanih staklenim vlaknima. Tvrtka *Ercom, Seawolf Design and ReFiber ApS* već nekoliko godina radi na uporabi materijala ojačanih staklenim vlaknima, pa tako i lopatica vjetroelektrana. Proizvodi se usitnjavaju na komade od oko 25 cm<sup>2</sup>, provodi se piroliza pri 600 °C, pri čemu se staklena vlakna odvajaju od ostatka materijala. Tako reciklirana staklena vlakna su 50 % niže čvrstoće te se rabe za izolacijske elemente. Glavna vodilja pri iznalaženju održivog načina gospodarenja ovom vrstom otpada je sve veća količina i propisi o postupanju s takvom vrstom otpada.