

Ivanka Čičak
KONČAR – Inženjering za energetiku i transport d.d.,
Zagreb
ivanka.cicak@koncar-ket.hr

Goran Benčić
KONČAR – Inženjering za energetiku i transport d.d.,
Zagreb
goran.bencic@koncar-ket.hr

VJETROELEKTRANE – RAZVOJ I KONSTRUKCIJSKA RJEŠENJA

SAŽETAK

Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora, a posebno iz vjetroelektrana danas zauzima značajno mjesto u okviru ekološki prihvatljivih tehnologija. Vjetroelektranu čini nekoliko blisko smještenih vjetroatregata priključenih preko zajedničkog rasklopnog uređaja na električnu mrežu. Svaki vjetroatregat sastoji se od nekoliko karakterističnih komponenata poput temelja, stupa, glavnog nosača, generatora, glavčine, sustava za zakretanje gondole i lopatica, sustava za upravljanje. Specifičnost pogona vjetroelektrane predstavlja mala brzina vjetroturbine i njena promjenjivost. Mnoga rješenja uključuju primjenu multiplikatora između turbine i generatora kako bi se većom brzinom na osovini omogućila primjena generatora standardne izvedbe. Budući da multiplikator smanjuje stupanj korisnog djelovanja kao i pouzdanost elektrane te poskupljuje izvedbu, sve su zanimljivija rješenja s direktnim pogonom. U radu su opisani razvoj i konstrukcijska rješenja vjetroatregata Končar KO-VA 57/1.

Ključne riječi: sinkroni generator, asinkroni generator, multiplikator, vjetroatregat

WIND POWER PLANTS – DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION SOLUTIONS

SUMMARY

Electric energy generation from renewable resources, especially from wind power plants has important part in field of ecologically acceptable technologies. Wind power plant consists of few wind turbines which are connected to grid through switchgear. Each wind turbine consists of few specific components as foundation, tower, main frame, generator, hub, yaw and pitch system, system for managing. Specific of wind power plant drive is small wind turbine speed and its variability. Many solutions have gearbox between turbine and generator to provide use of standard generator with bigger speed at shaft. As gearbox reduce grade of efficiency and reliability of power plant and also increase the costs, solutions with direct drive are becoming more advisable. Development and construction solution of Končar KO-VA 57/1 wind turbine are described.

Key words: synchronous generator, asynchronous generator, gearbox, wind turbine

1. UVOD

Razvoj tehnologije za korištenje energije vjetra prošao je intenzivno razdoblje usavršavanja u kojem je nastao tehnički i komercijalno prihvatljiv proizvod.

Čak i u vrijeme globalne recesije u ovoj grani industrije vlada optimizam. Politička potpora koju imaju obnovljivi izvori energije u svijetu usmjerava pažnju velikih investitora naročito prema ovom sektoru, pri čemu se ne ulaže samo u izradu novih vjetroelektrana, nego i u daljnji razvoj tehnologije. Naglasak je

na poboljšanje ponašanja vjetroelektrana u mrežnom okruženju, razvoju jedinica veće snage, novim rješenjima generatora, unapređivanju sustava regulacije i vođenja, smanjenju mase pojedinih komponenata itd.

Premda je proizvodnja iz obnovljivih izvora skuplja od proizvodnje energije iz hidroelektrana i termoelektrana, briga za okoliš i sve manje dostupna i skuplja energija iz fosilnih izvora (nafta, zemni plin i dr.) dovela je proizvodnju energije iz ovih izvora energije u prioritetni položaj.

I Hrvatska je prepoznala značaj obnovljivih izvora energije, tako da s jedne strane vlada subvencionira proizvedenu energiju iz tih izvora, posebno energiju proizvedenu iz vjetra, a s druge strane i domaća industrija aktivno sudjeluje u proizvodnji komponenata vjetroatregata, bar kad je riječ o Končarevom vjetroatregatu.

Interes potencijalnih investitora za izgradnju vjetroelektrana u Hrvatskoj daleko je veći od kapaciteta koji trenutno može prihvatiti naš elektroenergetski sustav pa se i na tom polju očekuju ulaganja. Izvedbe vjetroatregata razlikuju se najznačajnije prema izboru vrste generatora, odnosno njegovim priključkom na mrežu. Odabrano rješenje povlači za sobom razne specifičnosti, kao što su održavanje agregata, upravljanje agregatom, ali i samu nabavnu cijenu generatora, dimenzije i masu generatora, te način njegove montaže.

Cilj ovog rada je dati pregled mogućih konstrukcijskih rješenja vjetroatregata veće snage s naglaskom na različite izvedbe generatora te predstaviti razvoj i rješenje Končarevog vjetroatregata.

Prije toga upoznajmo se sa snagom vjetra i mogućnosti njenog iskorištavanja.

1.1. Snaga vjetra

Formula za kinetičku energiju mase u gibanju glasi

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

gdje je m masa, a
 v brzina.

Maseni protok računa se prema izrazu

$$\dot{m} = \rho A \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

Prema tome, za snagu vjetra koji protječe kroz neku referentnu površinu A može se pisati:

$$\dot{E} = \frac{1}{2}\dot{m}v^2 = \frac{1}{2}\rho A v_1^3 \quad (3)$$

Njemački fizičar Betz, pretpostavio je homogeno strujanje zraka brzine v_1 koje se nakon nailaska na rotor usporava na brzinu v_3 (dovoljno daleko iza rotora).

Strujanje je stoga zamišljeno kao cijev omeđena divergentnim strujnicama.

Izdvojena kinetička energija jednaka je razlici energija u gornjem i donjem toku

$$E_{ex} = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_3^2) \quad (4)$$

Stoga se izdvojena kinetička energija može računati prema izrazu:

$$\dot{E}_{ex} = \frac{1}{2}\dot{m}(v_1^2 - v_3^2) \quad (5)$$

Ukoliko ne bi bilo usporavanja struje vjetra ($v_1 = v_3$), izdvojena energija bila bi jednaka nuli. Ukoliko bi pak struja vjetra bila previše usporavljena, maseni protok bio bi premali. Stoga je za pretpostaviti da postoji neka vrijednost v_3 ($0 < v_3 < v_1$) pri kojoj će izdvojena snaga biti maksimalna.

Vrijednost v_3 moguće je izračunati ukoliko je poznata brzina v_2 u ravnini rotora.
Maseni protok u presjeku ravnine rotora je

$$\dot{m} = \rho A v_2 \quad (6)$$

Za pretpostaviti je da se brzina v_2 u ravnini rotora može računati prema izrazu

$$v_2 = \frac{v_1 + v_3}{2} \quad (7)$$

Ukoliko (6) i (7) uvrstimo u (5) dobit ćemo:

$$\dot{E}_{ex} = \underbrace{\frac{1}{2} \rho A v_1^3}_{\text{snaga_vjetra}} \underbrace{\left\{ \frac{1}{2} \left[1 + \frac{v_3}{v_1} \right] \left[1 - \left(\frac{v_3}{v_1} \right)^2 \right] \right\}}_{\text{koeficijent_snage_}c_p} \quad (8)$$

Stoga, snaga vjetra pomnožena s koeficijentom snage (ovisnog o omjeru v_3 / v_1) daje izdvojenu snagu. Maksimalni koeficijent snage dobiva se u slučaju kada se struja vjetra uspori s brzine v_1 na brzinu

$$v_3 = \frac{1}{3} v_1 \text{ i on iznosi } c_{p,Betz} = \frac{16}{27} = 0,59$$

Međutim, Betz-ov koeficijent snage može se postići samo u idealnom slučaju. Jedini gubitak koji je uzet u obzir je gubitak brzine nakon prolaska kroz ravninu rotora. No, postoje i drugi gubici:

- a) profilni gubici kao rezultat vučne sile
- b) gubici na rubovima profila kao rezultat razlike tlaka
- c) gubici vrtloga kao posljedica komponente obodne brzine koja se javlja nakon prolaska kroz ravninu rotora.

U praktičnim izvedbama Betz-ov koeficijent iznosi od 0,35 do 0,45.

2. TEHNOLOŠKA RJEŠENJA GENERATORA ZA VJETROAGREGATE

Vjetroagregate razlikujemo prema:

- a) snazi
- b) mjestu ugradnje
- c) položaju osi vrtila
- d) načinu regulacije snage
- e) načinu pretvorbe energije vjetra u električnu energiju

Prema snazi vjetroagregati se mogu grubo podijeliti na male vjetroagregate do 600 kW i na velike preko 600 kW.

Vjetroagregati mogu biti instalirani na kopnu (onshore) i na području mora (offshore). Na kopnu se uglavnom postavljaju vjetroagregati snage do 3 MW, dok se vjetroagregati snage preko 3 MW instaliraju na moru.

Danas dominiraju vjetroagregati s horizontalnim vratilima s obzirom na smjer vjetra u odnosu na one s vertikalnim vratilima.

Regulacija snage vjetroagregata može biti:

- a) pasivna regulacija pomoću posebno projektiranih lopatica (stall regulation),
- b) regulacija snage zakretanjem lopatica (pitch regulation),
- c) aktivna stall regulacija (Active stall, Combi Stall). Kod ovog pristupa regulacija snage se ostvaruje kombinacijom regulacije zakreta lopatica vjetroturbine (pitch regulation) i pasivne regulacije pomoću posebno projektiranih lopatica (stall regulation).

Prema načinu pretvorbe energije vjetra u električnu energiju te njihovim priključkom na električnu mrežu vjetroagregati se mogu podijeliti na vjetroagregate s asinkronim generatorom i multiplikatorom i na vjetroagregate sa sinkronim generatorom, s ili bez multiplikatora.

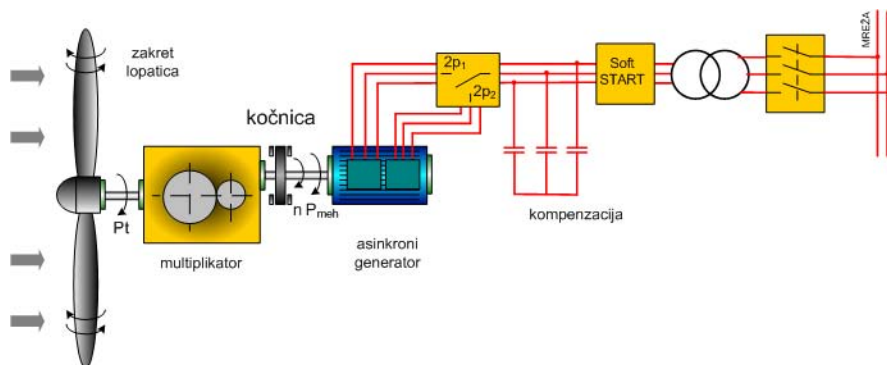
Tako razlikujemo:

- asinkroni kavezni jedno ili dvostrani generator ($2p=4$ ili 6), s multiplikatorom
- asinkroni klizno-kolutni dvostrano napajani generator, s multiplikatorom
- sinkroni generator sa uzбудnom strujom na rotoru, direktni pogon
- sinkroni generator sa uzбудnom strujom na rotoru, s multiplikatorom
- sinkroni generator s trajnim magnetima, direktni pogon
- sinkroni generator s trajnim magnetima, s multiplikatorom

2.1. Asinkroni kavezni generator i turbine konstantne brzine vrtnje

Prednosti: jednostavnost izrade, jednostavno održavanje, prigušenje pulzacija momenta turbine, niska nabavna cijena i direktno spajanje na mrežu.

Nedostaci: potrebna jalova energija, potreban soft start uređaj za prvo priključenje na mrežu, primjenjivo samo za fiksne brzine turbine, upotreba multiplikatora, neupotrebljivo za mnogo polova.



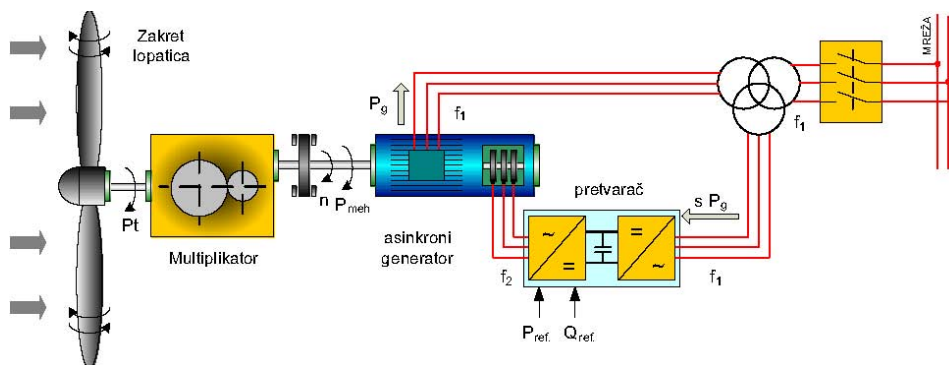
Slika 1. Vjetroagregat s multiplikatorom, asinkronim generatorom i turbinom konstantne brzine vrtnje

U praksi je česta varijanta kaveznog asinkronog generatora s promjenjivim brojem polova, obično za dvije brzine vrtnje.

2.2. Asinkroni klizno-kolutni dvostrano napajani generator

Prednosti: bitno smanjena snaga i cijena pretvarača, mogućnost regulacije brzine vrtnje za optimalno korištenje energije, jalova snaga za magnetiziranje stroja iz pretvarača, moguć podsinkroni i nadsinkroni rad.

Nedostaci: klizni koluti i četkice, trošenje, održavanje – složeno upravljanje agregatom, izravan spoj na mrežu otežan.



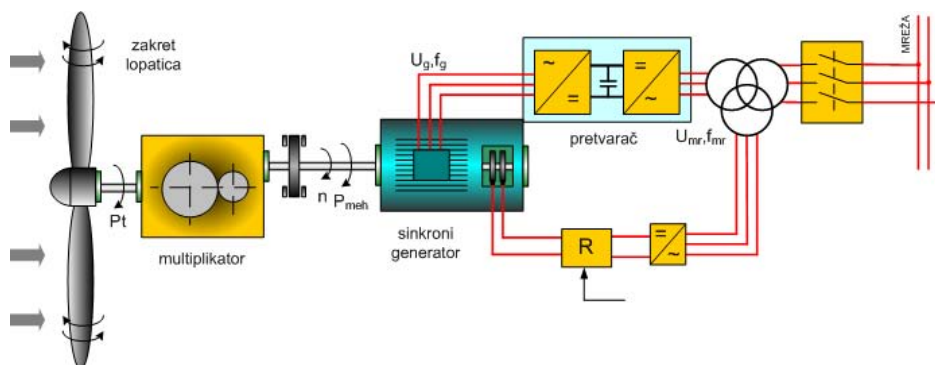
Slika 2. Vjetroagregat s multiplikatorom, asinkronim generatorom i turbinom promjenjive brzine vrtnje

Dvostrano napajani asinkroni generator ima veliku primjenu u vjetroagregatima zbog nepredvidivo promjenljive brzine vjetra, odnosno potrebe regulacije brzine turbine. Stator generatora spaja se na mrežu 50 Hz, a rotor se spaja na mrežu preko frekvencijskog pretvarača i transformatora.

2.3. Sinkroni generator s uzбудnom strujom na rotoru, s multiplikatorom

Prednosti: jednostavno upravljanje jalovom snagom, široko područje brzina vrtnje, jednostavan za upravljanje, male dimenzije i masa generator, standardni generator.

Nedostaci: potreban pretvarač za ukupnu snagu, potreban uzbudni sustav, klizni koluti i četkice, trošenje i održavanje, visoka cijena, gubici, problem održavanja multiplikatora.



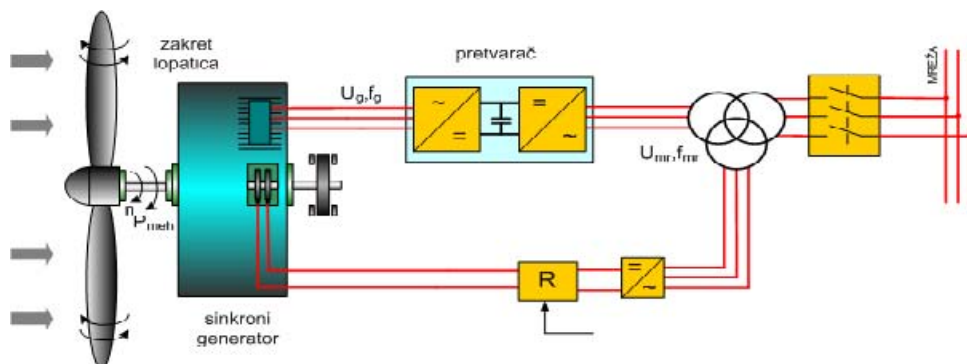
Slika 3. Vjetroagregat s multiplikatorom, sinkronim generatorom i turbinom promjenjive brzine vrtnje

Priključenje generator ovog tipa u energetske sustav fiksne frekvencije izvodi se upotrebom frekvencijskog pretvarača.

2.4. Sinkroni generator s uzбудnom strujom na rotoru, direktan pogon

Prednosti: jednostavno upravljanje jalovom snagom, široko područje brzina vrtnje, jednostavan za upravljanje, jednostavnija izvedba vjetroagregata jer nema multiplikatora koji se smatra kompliciranim za izradu i održavanje, veća korisnost agregata

Nedostaci: potreban pretvarač za ukupnu snagu, potreban uzbudni sustav, klizni koluti i četkice, trošenje i održavanje, velike dimenzije i masa, problem izrade, transporta i montaže.



Slika 4. Vjetroagregat bez multiplikatora, sa sinkronim generatorom i turbinom promjenjive brzine vrtnje

Ovo je primjer ne klasične izvedbe generatora, velikih dimenzija i mase. Zbog velikog broja polova i male brzine vrtnje generator mora razvijati veliki moment vrtnje.

2.5. Sinkroni generator s trajnim magnetima, s multiplikatorom

Prednosti: jednostavan rotor bez potrošnih dijelova i uzbudnog namota, nema gubitaka u rotoru, veća korisnost agregata, male dimenzije i masa generatora, standardni generator

Nedostaci: visoka cijena trajnih magneta, mogućnost razmagnetiziranja, nema regulacije struje uzbude, visoka cijena, gubici, problemi održavanja multiplikatora

2.6. Sinkroni generator s trajnim magnetima, direktan pogon

Prednosti: jednostavan rotor bez potrošnih dijelova i uzbudnog namota, nema gubitaka u rotoru, veća korisnost agregata, jednostavnija izvedba cijelog vjetroatregata jer nema multiplikatora koji se smatra kompliciranim za izradu i održavanje, veća korisnost agregat

Nedostaci: visoka cijena trajnih magneta, mogućnost razmagnetiziranja, nema regulacije struje uzbude, velike dimenzije i mase, problemi izrade, transporta i montaže

Generatori s trajnim magnetima pokazuju se kao dobro rješenje zbog laganog održavanja.

Kod vjetroatregata s multiplikatorom rotor vjetroturbine je preko vratila i ležajeva spojen na prijenosnik prijenosnog omjera do 1:100. Na drugom kraju prijenosnika nalazi se vratilo asinkronog generatora koji u pravilu ima nominalnu brzinu oko 1500 o/min. Asinkroni generator može biti i kavezni sa dvije brzine vrtnje 1000 o/min i 1500 o/min, a ovo rješenje generatora nalazimo kod vjetroatregata do 1000 kW. Između prijenosnika i generatora nalazi se disk sa kočnim oblogama.

Kod vjetroatregata bez multiplikatora energija vjetra preko rotora turbine i generatora pretvara se u električnu energiju koja se dalje preko frekventnog pretvarača i transformatora prenosi u mrežu.

Rotor vjetroturbine i rotor generatora su na istoj osovini. Generator je sinkroni s mnogo polova (više od 60), s ili bez permanentnih magneta. Brzina je promjenljiva, pa tako i inducirani napon i frekvencija. Da bi u mrežu dobili konstantan napon i frekvenciju između generatora i transformatora nalazi se frekvencijski pretvarač.

3. KOMPONENTE VJETROAGREGATA

Neovisno o izboru vrste vjetroatregata (direktan pogon ili s multiplikatorom) potrebno je definirati i ostale značajnije komponente vjetroatregata kao što su temelj stupa s ugrađenim temeljnim segmentom, stup, glavni nosač sa sustavom za zakretanja gondole, glavčinu sa sustavom za zakretanje lopatica, lopatice, sustav za kočenje, oplatu gondole, gromobransku zaštitu, sustav za upravljanje, transformatorsku stanicu.

Stup vjetroatregata izrađuje se u više sekcija zbog transportnih ograničenja. S povećanjem snage povećava se i visina stupa pa danas imamo vjetroatregate visine preko 100 m. Stupovi se izrađuju u više izvedbi i to: čelični konusni, čelični rešetkasti i betonski. Prevladavaju čelični konusni stupovi. Na stup se smješta gondola s lopaticama. U dnu stupa nalaze se kontrolni paneli i dio upravljačkih ormara. Kroz stup protežu se ljestve, a u stupove više od 70 m ugrađuju se dizala. Energetski kabeli polažu se uz stjenku stupa.

Sustav zakretanja gondole (yaw) sastoji se od: okretnice gondole, asinkronih motora s prijenosnikom te kočnica, koji dobivaju nalog iz sustava upravljanja vjetroatregata. Ovaj sustav je stalno u radu i kada agregat ne proizvodi. Kada se pojavi razlika između smjera kabine i smjera vjetra veća od podešenog iznosa (obično 10°) i ako odstupanje traje duže od podešenog vremena (obično 10 min.) sustav upravljanja vjetroatregata dati će naloge kočnici i servomotorima da se provede korekcija i da se vjetroatregat okrene u smjeru vjetra. Za osiguranje dugovječnosti zupčanika predviđen je sustav za podmazivanje zupčanika.

Lopatica je projektirana za podesivi postavljeni kut lopatice i promjenjivi broj okretaja. Lopatica se može regulirano zakretati do 30° , a u slučaju većih brzina vjetra (olujnih) okreće se do 90° , t.j. "na nož". Zbog toga nije predviđena posebna aerodinamička kočnica na vrhu lopatice.

Izrađuje se iz dvije ljuške (gornje i donje) i ramenjače (kutijasti nosač uzduž lopatice), koja lopatici daje čvrstoću i krutost na savijanje. Obje ljuške su sendvič konstrukcije: između dva sloja epoksidne smole ojačane staklenim vlaknima nalazi se srednji sloj iz pjenaste plastike (PVC).

Epoksidna smola za izradu lopatice ima malo skupljane što osigurava postojanost oblika i fleksibilnost lopatice i kod ekstremnih uvjeta isijavanja sunca. Higroskopnost lopatice je mala budući je premazana Gelcoat-om.

U vrhu i bridu lopatice ugrađen je aluminijski receptor od kojeg se munja odvodi posebnim gromobranskim AL kabelom do vanjskog inox prstena u korijenu lopatice. Na vrhu lopatice na usisnoj strani je izbušen provrt mm za odvodnjenje.

Lopatica je iznutra zatvorena drvenom pločom sa otvorom za čovjeka za potrebe nadzora.

Na vanjskom cilindričnom dijelu korijena lopatice ugrađen je kišni krov za zaštitu ulaska vode u spinner.

U vrhu lopatice ugrađene su zatvorene komore za balansiranje lopatice. U slučaju potrebe izbuši se provrt u komoru za ulijevanje olova.

Sustav za kočenje sastoji se od hidrauličkog agregata za kočenje rotora i gondole (kabine). Kočenje vjetroatregata vrši se ovisno o vrsti vjetroatregata. Kod vjetroatregata sa zakretanjem lopatica ono je kombinacija aerodinamičkog kočenja (zakretanje lopatica u položaj najmanjeg otpora prema vjetru) i mehaničkog kočenja sa diskom i kočnim oblogama. Na vratilu je učvršćen kočioni disk, a na statičkom dijelu tri hidrauličke kočne naprave. Kočnica rotora izvedena je kao samosigurna t.j. sa oprugom koja osigurava silu kočenja. Kada je vratilo slobodno hidraulički sustav osigurava ulje pod tlakom koje drži čeljusti kočnice otvorene.

U slučaju kvara hidrauličkog sustava turbina se zaustavlja.

Kod vjetroatregata sa stall regulacijom postoji samo mehaničko kočenje ili se izbacuje dio lopatica slično kao kod aviona.

Zbog servisnih radova na vjetroatregatu predviđena je parking kočnica to jest mehanički klin odgovarajuće čvrstoće koji se mehanički ručno, prema potrebi, umeće i zaklinjuje između odgovarajućeg otvora u ploči diska kočnice i istog otvora u statičkom dijelu vjetroatregata.

Oplata gondole izrađuje se uglavnom od staklo - plastike u sendvič izvedbi s duplom stjenkom. Oplata štiti unutrašnje komponente od atmosferskih utjecaja (kiša, vlaga, prašina, UV- zračenje i slično) pomoću kvalitetnog sustava brtvi i umanjuje buku koju čine komponente u unutrašnjosti gondole. Na vrhu vanjskog dijela oplata nalaze se anemometri i senzori koji su potrebni za praćenje smjera i brzine vjetra, oklopljeni zbog gromobranske zaštite.

U unutrašnjosti nepokretnog dijela gondole nalazi se upravljački ormar pričvršćen preko gumenih amortizera za pod.

Na stropu gondole pričvršćen je kran za podizanje manjih tereta.

Ulaz u unutrašnjost gondole moguć je kroz toranj.

Svaki vjetroatregat ima protupožarnu i gromobransku zaštitu koja sa uzemljivačkim sustavom čini jednu cjelinu. Gromobranska zaštita modernih vjetroatregata predstavlja probleme, koji nisu uobičajeni kod ostalih objekata. Ovi problemi su rezultat slijedećeg:

- a) vjetroatregati su visoki objekti, do više od 150 m visine
- b) vjetroatregati se najčešće smještaju na lokacijama vrlo izloženim udarima groma
- c) najčešće izloženi dijelovi vjetroatregata, kao lopatice i gondole, izrađeni su od kompozitnih materijala nesposobnih da izdrže direktni udar munje ili da provedu struju groma
- d) lopatice, glavčina i gondola u normalnom radu rotiraju
- e) struja groma mora biti odvedena kroz konstrukciju vjetroatregata u zemlju, pri čemu značajni dio struje groma prolazi kroz ili blizu svih dijelova vjetroatregata
- f) vjetroatregati u vjetroparkovima međusobno su električki povezani i često smješteni na lokacijama sa slabim uvjetima uzemljenja

Struja groma do zemlje prolazi kroz pitch ležajeve, osovinske ležajeve, dno gondole, azimutske (yaw) ležajeve i stup. Struja groma koja prolazi kroz ležajeve može izazvati oštećenja, naročito ako postoji izolacijski sloj maziva između kugličnog ležaja i njihove staze, odnosno zuba u zupčaniku. Modernim rješenjima gromobranske zaštite nastoji se premostiti ležajeve vodljivim spojem (užetom, četkicama ili iskrištem) ili izolacijom spriječiti put kroz ležajeve.

Vjetroatregati su zaštićeni od vrhova lopatica do temelja u skladu s IEC 1024-1. Budući da je nemoguće izbjeći udar groma u vjetroatregat, potrebno je upravljati i provesti struju groma kroz turbinu i stup minimizirajući moguću štetu.

Kada grom udari vjetroatregat struja će uvijek proći kroz put s najboljom vodljivošću (najmanji otpor). Totalna gromobranska zaštita usmjerava put munje kroz turbinu. Struja groma se vodi od vrha lopatice, kroz lopaticu, pokraj glavčine, preko glavnog nosača, čelične konstrukcije gondole i kroz toranj do uzemljivača u zemlji.

Sustav upravljanja vjetroatregata u najširem smislu obuhvaća:

- a) upravljanje vlastitom potrošnjom vjetroatregata
- b) sustav mjerenja varijabli za potrebe upravljanja i regulacije
- c) sustav regulacije vjetroatregata
- d) sustav zaštite vjetroatregata
- e) sustav nadzora i monitoringa vjetroatregata
- f) sustav mjerenja varijabli i registracija proizvedene električne energije (obračunska brojila)
- g) sustav upravljanja startom, normalnim zaustavljanjem i zaustavljanjem u nuždi
- h) komunikacija s operaterom, lokalno i s udaljenim centrom
- i) vatrodojava, PPZ, nadzor pristupa

Vjetroatregati su jedinice koje su razmještene gdje postoje uvjeti za proizvodnju, u načelu, daleko od naselja, a koji zbog ekonomičnosti, rade bez stalne posade. Vjetroatregati su stoga komunikacijski spojeni sa udaljenim upravljačkim centrom, koje mora tom komunikacijom dobivati dostatne informacije za vođenje pogona te signal za potrebne intervencije.

Transformatorska stanica služi za preuzimanje proizvedene električne energije na naponskom nivou 400 ili 690 V, i njenu transformaciju na razdjelni napon 10 (20) kV ili neki veći napon. Transformatorska stanica može se nalaziti u dnu tornja ili što je najčešće, pokraj vjetroatregata.

4. RAZVOJ I TEHNOLOŠKA RJEŠENJA VJETROAGREGATA KONČAR KO-VA 57/1

Analizom tržišta za korištenje energije vjetra te na osnovu dugogodišnjeg iskustva u proizvodnji energetske opreme, grupa Končar postavila je razvoj i proizvodnju vjetroatregata kao jedan od kratkoročnih strateških ciljeva.

Za proračun mehaničkih opterećenja konstrukcije koristio se programski paket GH Bladed koji omogućuje pravilan izbor sila i momenata opterećenja konstrukcije.

To je integrirani paket koji omogućuje kombinacijom aerodinamičkog i strukturnog modela, proračun opterećenja potrebnih za konstruiranje i certificiranje vjetroelektrane. Iscrpna mjerenja i testovi pokazali su da se simulacijski rezultati iz Bladed odlično slažu sa stvarnim rezultatima dobivenim mjerenjima na realnim sustavima. Stoga međunarodni standardi priznaju rezultate iz Bladed kao ravnopravne mjerenjima.

Kod proračuna sila i momenta uključuju se svi relevantni čimbenici kao što su inercijalne sile, gravitacija, centrifugalna sila, deformacija lopatice kao i drugi čimbenici.

Ove sile i momenti predstavljaju ulazne podatke za programe koji omogućuju proračun vijčanih spojeva te dimenzioniranje vijaka, kao i ulazne podatke u programe za 3D proračun komponenti.

Vjetroatregat tipa KO – VA 57/1 temelji se na konusnom čeličnom tornju visine 59 m, na kojem se montira glavni nosač preko okretnice gondole. Glavni nosač je oslonac kompletnog sklopa koji se nalazi na vrhu tornja i zbog toga je pažljivo dimenzioniran i odabran. Sve komponente u gondoli linijski su postavljene u odnosu na glavnu os vjetroatregata. Proizvodnja svih komponenata u skladu je s ISO 9001, a završna kontrola kvalitete i odgovarajući izvještaj prate svaki proizvedeni vjetroatregat. Razvijeni vjetroatregat zadovoljava međunarodne standarde (IEC, ISO i dr.) i preporuke, koje se odnose na vjetroatregate.

Vjetroatregat se uključuje na mrežu kada brzina vjetra u 10 minutnom prosjeku prijeđe 2.5 m/s. Tada se pomoću elektromotora s multiplikatorom zakreće kompletna gondola u smjeru vjetra, a pomoću elektromotora automatski se postavlja odgovarajući kut tetive lopatice u odnosu na ravninu vrtnje (pitch). Disk kočnica oslobađa rotor generatora i pomoću sustava upravljanja pokreće se generator, koji proizvodi varijabilan izmjenični napon promjenljive frekvencije. Preko AC/DC/AC frekvencijskog pretvarača napon se najprije ispravlja, a zatim se pretvara u konstantni izmjenični napon mrežne frekvencije. Pri većim brzinama od dopuštene radne brzine vjetra (30 m/s) sustav upravljanja vjetroelektrane odvaja generator od mreže, lopatice se pomoću pitcha postavljaju u položaj gdje pružaju najmanji otpor vjetru («na nož»), te po potrebi disk kočnicama zakoči vjetroturbinu.

Agregat ostvaruje nazivnu snagu od 1 MW pri nazivnoj brzini vrtnje 27 o/min.

U vjetroatregatu je ugrađen trofazni sinkroni generator u potpunosti razvijen i izrađen u Končar – GIM. Radi se o potpuno novoj konstrukciji i tehnologiji gradnje jer je po prvi put rađen generator za tako

specifičnu svrhu, 60 polova, snaga 1000 kVA, frekvencija 5 – 14,5 Hz, priključak na mrežu preko frekvencijskog pretvarača.

Nekoliko je razloga zašto je za Končarev vjetroagregat odabran pogon bez prijenosnika:

- a) iskorištava veći opseg brzine vjetra (do 15 %)
- b) manji mehanički gubici zbog izostanka prijenosnika
- c) manje kolebanje električne energije jer regulirana turbina djeluje kao prigušivač naleta vjetra
- d) smanjena buka
- e) veća pogonska sigurnost
- f) mogućnost proizvodnje jalove energije
- g) veće učešće komponenti vlastite proizvodnje
- h) jednostavnije i jeftinije održavanje
- i) ekološki čistija energija (manje podmazivanja)

Sustav hlađenja generatora je u skladu s IEC 60034-6. Hlađenje se odvija putem strujanja rashladnog zraka kroz generator (zračni raspored, međupolni prostor, kanali oko statorskog paketa te oplakivanje glava statorskog i uzbuđenog namota) uslijed ventilacijskog djelovanja njegovog rotora. Na taj se način na jednoj strani generatora usisava rashladni zrak, dok se na drugoj zagrijani zrak izbacuje u unutrašnji prostor gondole.

Uzbuda generatora se za vrijeme njegovog pokretanja ostvaruje iz nezavisnog izvora, a zatim se nakon preuzimanja opterećenja generator prevodi u samouzbudni rad.

Generator je opremljen s uređajima za kontrolu zagrijavanja i zaštite od prekoračenja dozvoljenog prirasta temperature. Isto tako ima ugrađene uređaje za sprečavanje kondenzacije vlage na unutarnjim dijelovima za vrijeme mirovanja generatora.

Općenito, vjetroagregati su iskoristivi na lokacijama gdje je prosječna brzina vjetra veća od 4.5 m/s. Idealna lokacija bi trebala imati konstantno strujanje vjetra bez turbulencija i sa minimalnom vjerojatnosti naglih olujnih udara vjetra. Lokacije se prvo selektiraju na osnovi karte vjetra, te se onda potvrđuju praktičnim mjerenjima. Možemo ih podijeliti na kopnene, priobalne i lokacije na moru.

Prosječna brzina vjetra jedan je od glavnih faktora za odabir lokacije vjetroagregata.

Vjetroagregat ovog tipa predviđen je za postavljanje na lokacijama na kopnu i u priobalnim područjima, s turbulencijama do 18% i brzinom vjetra do 59,5 m/s. Obzirom na radno područje preferiraju se lokacije s brzinama vjetra između 2,5 m/s i 30 m/s na visini 60 m.

5. ZAKLJUČAK

Bez obzira na odabrano tehnološko rješenje vjetroagregata, domaća industrija pokazuje veliko zanimanje za sudjelovanjem u proizvodnji, ali i razvoju gotovo svih komponenti vjetroagregata. Tek 30-tak posto komponenata nema osiguranih kapaciteta za proizvodnju unutar Hrvatske, i to su uglavnom komponente na bazi staklo plastike i lijeva. Odabrana tehnološka rješenja za prvi Končarev vjetroagregat, kao i izrada njegovih komponenata, pokazala se kvalitetnom. Agregat je u pogonu već više od godine dana, i uz propisano održavanje radi bez značajnijih kvarova.

Kao rezultat analize tržišta unutar grupe Končar trenutno se radi na razvoju vjetroagregata snage 2,5 MW. Svi vodeći svjetski proizvođači vjetroagregata (Enercon, Vestas, GE, Gamesa itd.) imaju u proizvodnom asortimanu agregate nominalne snage oko 1 MW i agregate s nominalnom snagom između 2 i 3 MW. Projekti vjetroparkova koji se razvijaju, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj, predviđaju upravo agregate pojedinačne snage između 2 i 3 MW.

LITERATURA

- [1] D. Ban, D. Žarko, M. Mađerčić, Z. Čulig, M. Petrinić, Generatori za vjetroelektrane, trendovi u primjeni i hrvatska proizvodnja, CIGRE Cavtat, Hrvatska, studeni 2007, A1-10
- [2] D. Petranović, S. Nekić, Vjetroagregat KO-VA 57/1, Končar – IET d.d., rujun 2006