

NOVI MODEL VJETROTURBINE U SAPNICI

Ivan Vrsalović, Igor Bonefačić, Kristian Lenić, Bernard Franković

Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, 51000 Rijeka

Tel.: (051) 651 561, Fax: (051) 675 801, E-mail: igorb@riteh.hr

Sažetak: Vjetar, kao čist i obnovljiv izvor energije ima i nedostatak a to je niska profitabilnost u zonama slabijeg potencijala.

Da se to otkloni, a iz vjetra dobiju veće količine energije, autor predlaže izradu i korištenje novog tipa turbine. Nova vjetroturbina ugrađena u reguliranu sapnicu plašta, pretvara "slobodno" strujanje slabijih i srednjih (ali čestih) vjetrova u "koncentrirano i regulirano", čime se višestruko povećava njihova snaga i produktivnost.

U referatu su opisani i prikazani osnovni elementi aerodinamičke konstrukcije statorskih profila i regulatorskih lopatica novih vjetroturbina, mehanizam automatske statorske regulacije (pored rotorske, te modificirani dijagram povišenih srednjih brzina vjetra).

Proračuni i dijagrami pokazuju, da nove turbine u sapnici plašta istih promjera rotora, pri istim brzinama vjetra daju 4,3 puta više električne energije nego postojeće standardne. A to dolazi zbog aerodinamičkog djelovanja plašta, i "kvadratno - kubnih" relacija u toj pretvorbi. Naime brzina vjetra na rotoru raste prema kvadratu vanjskog promjera (d_v^2) statorskog plašta a snaga nove turbine u sapnici raste sa kubusom (v^3) povećane brzine, za normalno radno područje.

Troškovi ugradnje i pogona, isto kao i brzina rastu sa kvadratom promjera a proizvodnja i profit, slično kao i snaga rastu sa trećom potencijom povišene brzine.

1. UVOD

Za proizvodnju većih količina, čiste i jeftine elektroenergije iz vjetra, potrebno je izgraditi novi tip turbine, ugrađene u regulirajuću sapnicu plašta, koja "slobodno" strujanje vjetra pretvara u "koncentrirano - ubrzano" kod nižih, a "regulirano - optimizirano" kod viših brzina, čime se višestruko povećava njihova snaga, učinkovitost i profitabilnost.

Povećanje snage (dolazi od kubusa većih brzina čestih ali slabijih vjetrova) vidi se iz formule:

$$P = 0,28d^2v_0^3\eta \text{ (W)}, \quad (1)$$

gdje su:

d (m) promjer rotora turbine

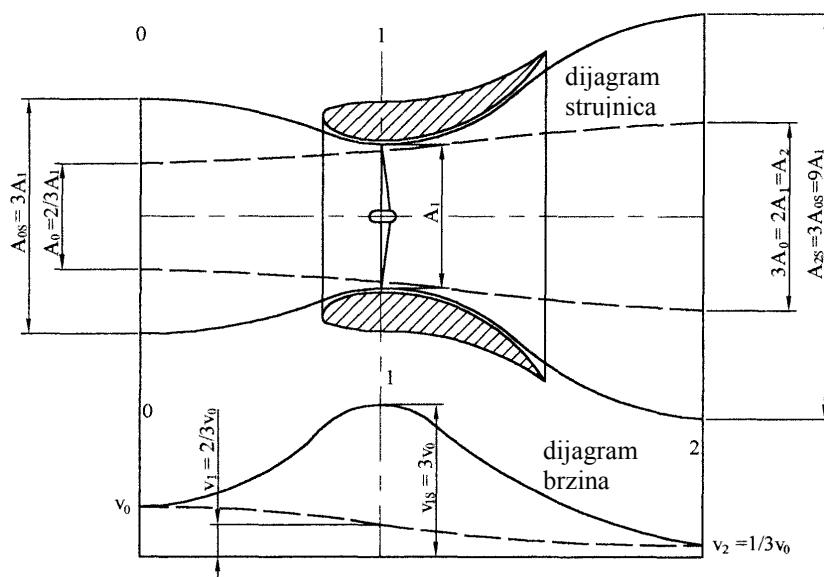
v_0 (m/s) brzina vjetra iz okoliša

$\eta = 0,76$ učinkovitost lopatica rotora .

Optimalno povećanje brzine strujanja na rotoru turbine može se ostvariti pomoću aerodinamički oblikovane sapnice.

Plaš sapnica pri pravilnoj konstrukciji, inducira osjetne promjene radikalne brzine. Izveden je kao prstenasto avionsko krilo, kojemu je potlačna strana okrenuta prema središtu, tako da je uzgon na svakom mjestu profila usmijeren radikalno centripetalno, što ispred uključuje veći broj strujnica u aktivnu zračnu masu. Radi toga se u strujnom toku javlja centrifugalno usmjerena reakciona sila, koja iza rotora izaziva jako proširenje strujnog polja.

Cirkulacija koja tako nastaje, inducira u strujnom polju dodatne brzine v_Γ . (vidi sl. 1)



Slika 1. Profil strujnica

Sastavljena brzina u ravnini rotora daje tada povećani protok zračne mase.

Veća dobivena snaga na turbini u sapnici potječe zbog većeg protoka zračne mase, kao i zbog većeg smanjenja brzine iza rotora. O obliku i duljini profila plašta ovisi koje se dodatne brzine v_Γ mogu optimalno ostvariti.

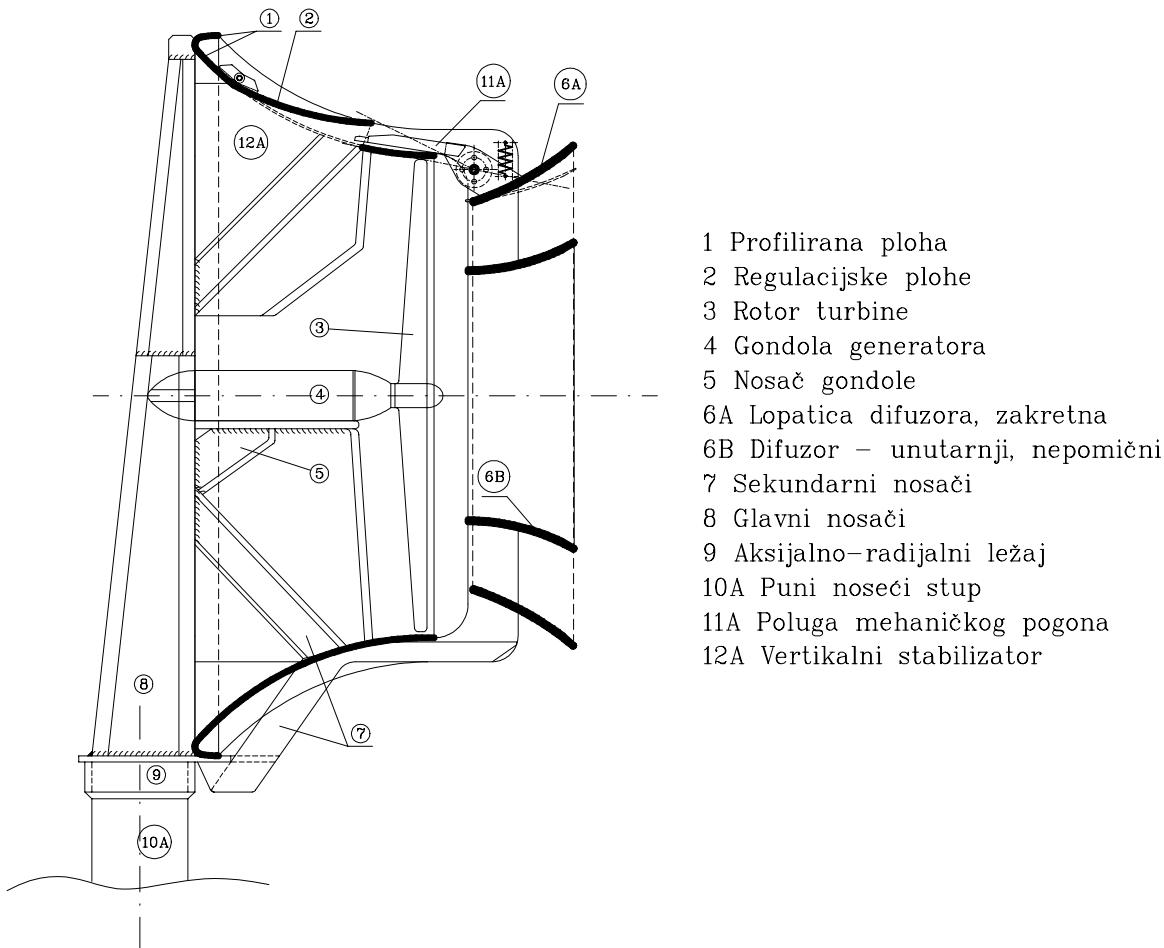
2. AERODINAMIČKE OSNOVE

Glavni nedostatak optimalno izvedenog plašta jest veliko oplošje, radi aerodinamičkih dvostrukih ploha. Veliko povećanje brzine na turbini u sapnici stvara ozbiljne teškoće kod jačih vjetrova iako je vrlo povoljno kod slabih.

Ti nedostaci su uzrok da dosadašnje turbine u sapnici plašta nisu u praksi postigle rezultate koji su eksperimentalno dokazani. U novoj konstrukciji iskorišteni su samo prednji dijelovi plašta, a stražnji su zamijenjeni deflektorima. To je kratka vjetrena turbina u sapnici dijela plašta sa izlaznim difuzorskim (skretnim) lopaticama.

Konstrukcija na slici 2 nastala je nakon detaljnih analiza i proračuna do sada izvedenih vjetroenergetskih postrojenja i vlastite inovacije. Ona u sebi sjedinjuje dobre osobine sapnice, ali skraćuje dužinu i površinu plašta, te smanjuje cijenu. Kratke difuzorske lopatice usmjeravaju strujnice širenju, t.j. smanjuju izlaznu brzinu, čime se povećava snaga.

Prednji dio plašta ima zakretne plohe, radi bolje regulacije. Dopunska osobina konstrukcije na slici 2 je sposobnost njenih aerodinamičkih ploha da se otvaraju, odnosno zatvaraju programski te uspješno optimiziraju brzinu na lopaticama rotora. To je moguće ostvariti na svim segmentima plašta.



Slika 2. Uzdužni presjek turbine u sapnici

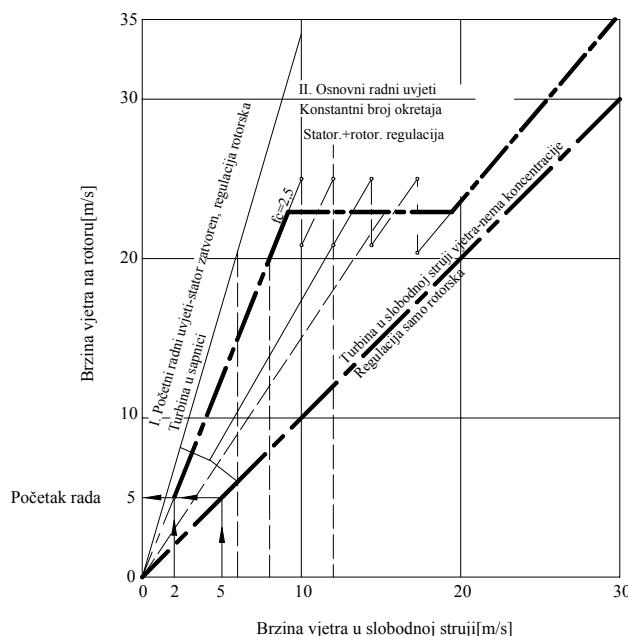
Regulacija otvaranja i zatvaranja ploha može biti izvedena pomoću programiranog regulatora i servo uredaja sa zračnim ili elektromagnetskim pogonom.

Vjetroturbine u regulirajućoj sapnici dijelimo na:

1. Male - Promjera (grla) sapnice $d = 1$ do 2 m, snage $P = 0,3$ do $3,0$ kW. Automatska regulacija pogona je jednoredna u 8 stupnjeva, mehanički prijenos (Sl. 2, 11A) aerodinamičke sile otvaranja od zakretne lopatice difuzora (6A) je bez pomoćne energije, a zatvaranje je pomoću opruge (PO). Regulacija okretanja vjetroturbine prema vjetru izvodi se automatski pomoću posebnih vertikalnih stabilizatora u zavjetrimi, bez vanjske energije (12A)
2. Srednje - Promjera sapnice $d = 2$ do 8 m, snage $P = 3$ do 30 kW. Automatska regulacija je dvoredna u 12 stupnjeva, prijenos aerodinamičke sile otvaranja od zakretne lopatice difuzora je hidraulični, bez vanjske energije, a zatvaranje je pomoću opruge. Ostali elementi konstrukcije slični su kao i kod male vjetroturbine.

3. Velike - Promjera sapnice $d = 10$ do 90 m, snage $P = 40$ do 4000 kW. Automatska aerodinamička regulacija pogona je dvo- ili više redna u 16 i više stupnjeva. Pogon otvaranja je ostvaren servouređajima sa vanjskom energijom (elektromotorima, magnetima ili zračnim cilindrima) pomoću regulatora i osjetnika. Postavljanje vjetroturbine na pravac djelovanja vjetra je automatsko pomoću osjetnika, regulatora i servomotora zupčanika, koji zahvaća zube na obodu ležaja. Velike vjetroturbine obično rade u sklopu elektrosustava ali mogu biti i samostalne. Postavljaju se (na određenoj udaljenosti međusobno) u grupama, linijama ili farmama (šahovski raspored) i tako čine vjetroelektranu.

Vjetroturbina u regulirajućoj sapnici izrađena je tako da koristi koncentriranu struju zraka kod nižih brzina vjetra, a optimalno reguliranu kod viših. Pomoću (rotacionih) profiliranih ploha (1), usmjerava se dva do tri puta veća zračna masa (zavisno od izvedbe) sa povećanom brzinom, na rotor turbine (3) u grlu sapnice. Zatim se, djelovanjem difuzora (6) smanjuje izlazna brzina, kako bi se ostvario maksimalni učin i zaštitali objekti u zavjetrini postrojenja. Zakretne regulacijske plohe (2), koje se automatski otvaraju (kod povišenih brzina), omogućuju da prekomjerno koncentrirana zračna masa prođe neaktivno izvan plašta i rotora turbine. Ovakva dvostruka regulacija u zajednici sa plohami plašta omogućava, na rotoru turbine u grlu sapnice, povećanje brzine kod slabih i smanjenje brzine kod jačih vjetrova, čime se postižu optimalni pogonski efekti (Sl. 3).



Slika 3. Dijagram regulacije

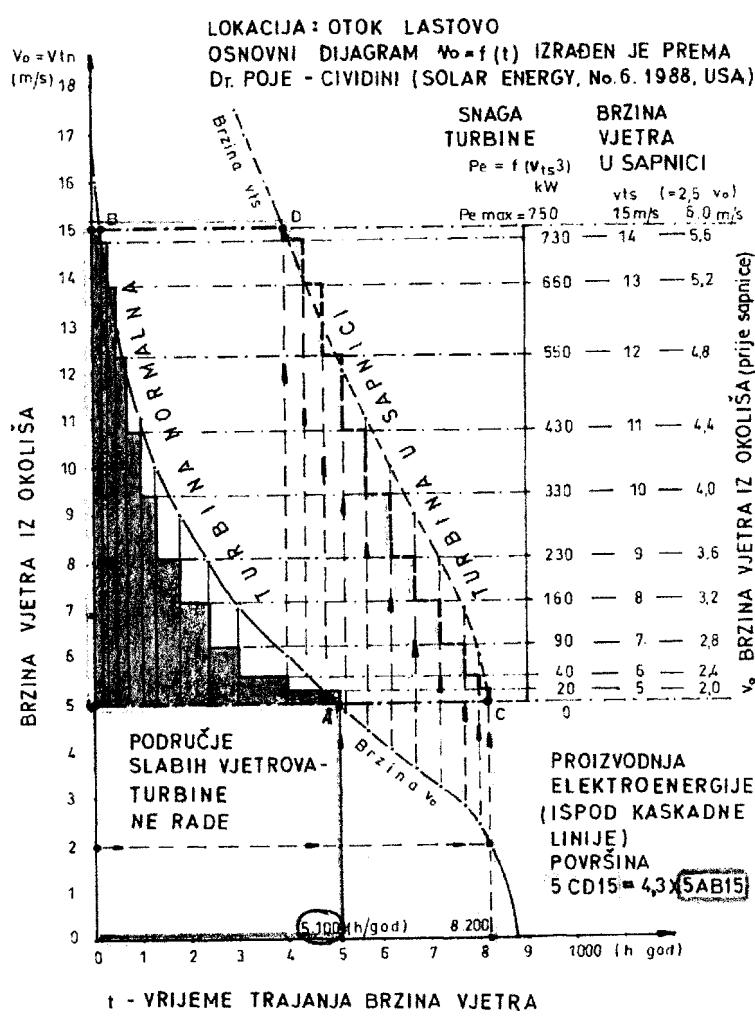
Kod malih vjetroturbina, koje ne koriste pomoćnu energiju za automatski rad, silu za otvaranje regulacijske plohe daje vanjska segmentna lopatica difuzora, koja se automatski zakrene kod povišenih brzina vjetra i preko poluge mehanički je otvara. Prilikom smanjenja brzine vjetra, aerodinamička sila slabi i opruga automatski zakreće lopaticu difuzora na početni položaj a regulacijsku plohu zatvara. Zakretanje prema vjetru odvija se automatski pomoću stabilizatorskih ploha koje su u zavjetrini kao i čitavo postrojenje. Radijalni noseći ležaji turbine, kočnica, multiplikator okretaja, generator i ostali pomoćni uređaji bit će smješteni unutar aerodinamički oblikovane strojarnice - gondole koju podupire nosač. Čitava konstrukcija vjetroturbine u regulirajućoj sapnici je pričvršćena na aerodinamički oblikovane nosače (glavne i sekundarne) koje drži aksijalno - radijalni ležaj. Taj ležaj je ugređen na

platformi nosećeg stupa, koji može biti rešetkast ili iz punih kružnih profila, postavljen na odgovarajuće temelje.

Kod velikih vjetroturbina glavni nosači ugrađeni su u zoni difuzora, rotor je okrenut prema vjetru a strujanje zraka unutar sapnice je slobodno bez zapreka. Noseća konstrukcija sapnice i stup su rešetkaste izvedbe.

3. EFEKTI NOVIH VJETROTURBINA

Za ilustraciju izvanrednih pogonskih mogućnosti odabrana je nova vjetroturbina snage 750 kW, koja bi se ugradila na otok Lastovo. Prema trajanju pojedinih brzina iz dijagrama (Sl. 4), te pomoću snaga za te brzine izračunata je godišnja proizvodnja elektroenergije nove turbine u sapnici. Na sličan način proračunata je godišnja proizvodnja iste takve normalne turbine (bez sapnice) u slobodnoj struji vjetra. Rezultati tih proračuna dani su u tablici 1. Radi bolje preglednosti na slici 4 je uz dijagram trajanja brzina ucrtana (kaskadno) i proizvodnja elektroenergije za novu vjetroturbinu u sapnici, te za normalnu, odnosno postojeću standardnu.



Slika 4. Dijagram brzina vjetra na Lastovu

Tablica 1. Rezultati proračuna za novu vjetroturbinu snage 750 kW

VJETROTURBINA U SAPNICI					NORMALNA VJETROTURBINA (bez sapnice)		
BRZINA VJETRA U OKOLIŠU prije sapnica	BRZINA VJETRA NA TURBINI U SAPNICI	EFEKTIVN A SNAGA TURBINA prema brzini	EFEKTIVN I RADNI SATI	PROIZVODNJA ELEKTRO ENERGIJE	BRZINA VJETRA NORMALN E TURBINE	EFEKTIVN I RADNI SATI	PRIZVODNJA ELEKTRO ENERGIJE
v_0 (m/s)	$v_{ts} = 2,5 v_0$ v_{ts} (m/s)	$v_{ts} (= v_{tn})$ $P_e = f(v_t^3)$ (kW)	t_s (h)	$E_s = P_e t_s$ (kWh)	$v_{tn} = v_0$ v_{tn} (m/s)	t_n (h)	$E_n = P_e t_n$ (kWh)
2,0	5	20	200	4.000	5	1.100	22.000
2,4	6	40	300	12.000	6	1.000	40.000
2,8	7	90	500	45.000	7	600	54.000
3,2	8	160	500	80.000	8	600	96.000
3,6	9	230	500	115.000	9	500	115.000
4,0	10	330	500	165.000	10	300	99.000
4,4	11	430	500	215.000	11	300	129.000
4,8	12	550	400	220.000	12	200	110.000
5,2	13	660	400	264.000	13	200	132.000
5,6	14	730	400	292.000	14	100	73.000
6,0	15	750	4.000	3,000.000	15	200	150.000
SUMA			8.200	4,412.000	SUMA	5.100	1,020.000

4. ZAKLJUČAK

1. Aerodinamički profiliran (kratki) plašt može osigurati veći protok zračne mase kroz grlo sapnica i povisiti brzinu strujanja na rotoru nove turbine do 2,5 puta (tj. 250%) što uzrokuje znatan porast snage i profitabilnosti.
2. Specijalne regulacione plohe na plaštu statora omogućavaju da nove vjetroturbine imaju dvostruku regulaciju i veliku pogonsku stabilnost.
3. Prema proračunima (tablica 1 i slika 4) se jasno vidi da bi nova vjetroturbina u sapnici plašta (snage 750 kW, ugrađena na Lastovu) radila godišnje 3.100 efektivnih sati duže od postojećih ($8.200 - 5.100 = 3.100$).
4. Proizvodnja elektroenergije nove turbine u sapnici tokom godine bila bi veća za 3,392.000 kWh od postojeće normalne iste snage ($4,412.000 - 1,020.000 = 3,392.000$).
5. Nova vjetroturbina u sapnici plašta prizvela bi godišnje 4,3 puta ili 430% više energije nego ista takva postojeća normalna turbina bez sapnica ($4,412.000 / 1,020.000 = 4,3$).
6. Karakteristike nove vjetroturbine, a naročito niska cijena proizvodnje (2,5 US-centa za 1kWh) vrlo su povoljne za rekonstruiranje i privatizaciju energetskog sustava na Jadranu.

LITERATURA

- [1] Molly, P. J.: *Windenergie in theorie und praxis*, Karlsruhe, 1978.
- [2] Vrsalović, I.: "Senj" wind power plant, Solar and Wind Technology, No 2/3, Oxford, 1990.
- [3] Vrsalović, I.: *Osnove za projekt vjetroelektrane "Senj"*, Pula 25.-27. 1993.

-
- [4] Vrsalović, I.: *Nove vjetroturbine visoke profitabilnosti*, HED - 8. Forum, Zagreb, 10.12.1999.

A NEW MODEL OF WINDTURBINE IN A NOZZLE

Abstract: *Wind is a clean and renewable energy source, however having one failure: low profitability in zone of weaker potential.*

However, by using a new type of wind turbine with built in regulable mantle's nozzle, which replaces the free air stream of wind into programmed, i.e. regulated and partially concentrated one, it is possible to generate more quantities of energy from weaker and medium winds. As a result, efficiency will be multiplied.

This article will decribe and show the basic elements of aerodynamical construction, stators profiles and control blades of new wind turbines, mechanism of automatic stator regulation (beside rotor regulation) as well as modifed diagram of raised medium wind speeds.

Calculations and diagrams show that new wind turbines in nozzle, of the same diameter of rotor and at same wind speeds, due to aerodynamic activity of nozzle and "square-cube" relation in that transformation give 4,3 times more electric energy than the standard types.

The wind speed on rotor raises with square of outer diameter (d_v^2) of stator mantle while power of new turbine in nozzle grows with cube (v^3) of raised speed for normal working area. The costs of construction and operation raise, like speed, with square of diameter, while the production and profits, like the power, grow with cube of raised speed.