



Ivan Vrsalović , dipl.ing.
Ivica Vrsalović, dipl.ing.
Rijekaprojekt-energetika d.o.o.
Rijeka, Hrvatska

AERODINAMIČKE OSNOVICE I UČINCI NOVIH VJETROTURBINA

Sažetak

Vjetar, kao čist i obnovljiv izvor energije ima i nedostatak, a to je niska profitabilnost u zonama slabijeg potencijala. Da bi se to otklonilo, a iz vjetra dobile 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 radu su opisani i prikazani osnovni elementi aerodinamičke konstrukcije statorskih profila i regulatorskih lopatica novih vjetroturbina, mehanizam automatske statorske regulacije (uz rotorsku), te modificirani dijagram povišenih srednjih brzina vjetra.

Energetski proračuni i dijagrami pokazuju da nove turbine u sapnici plašta jednakih promjera rotora, pri jednakim brzinama vjetra daju 4,3 puta više električne energije nego postojeće – standardne i to zbog aerodinamičkog djelovanja plašta, i "kvadratno-kubnih" relacija u toj pretvorbi.

Naime, brzina vjetra na rotoru raste prema kvadratu vanjskog promjera (d^2) statorskog plašta, a snaga nove turbine u sapnici raste s kubusom (v^3) povećane brzine, za normalno radno područje. Troškovi ugradnje i pogona, jednako kao i brzina rastu s kvadratom promjera, a proizvodnja i profit, slično kao i snaga rastu s trećom potencijom povišene brzine.

"AERODYNAMIC BASES AND EFFECTS OF NEW WIND TURBINES"

Abstract

Wind is a clean and renewable energy source, however having one failure: low profitability in zones of weaker potential. However, by using a new type of wind turbine 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, their efficiency will be multiplied.

This article will describe 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 modified diagram of raised medium wind speeds.

Power calculations and diagrams are showing 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 are giving 4,3 times more electric energy than the standard types.

The wind speed on rotor is raising according to square of outer diameter (d^2) of stator mantle while power of new turbine in nozzle is growing with cube (v^3) of raised speed for normal working area. The costs of construction and operation will rise like speed according square of diameter while the production and profits, like the power, are growing with cube of raised speed.

1. UVOD

Nova vjetroturbina u sapnici plašta je postrojenje, koje slobodno strujanje vjetra pretvara u "koncentrirano i regulirano", čime se višestruko povećava njihova snaga, produktivnost i profitabilnost.

A ta veća snaga (dolazi od kubusa većih brzina čestih ali slabijih vjetrova) prema formuli:

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

gdje su :
d (m) promjer rotora turbine
v_o (m/s) brzina vjetra iz okoliša
η = 0,76 učinkovitost lopatica rotora.

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

Plašt sapnice, pri ispravnoj konstrukciji, inducira osjetne promjene radijalne brzine.

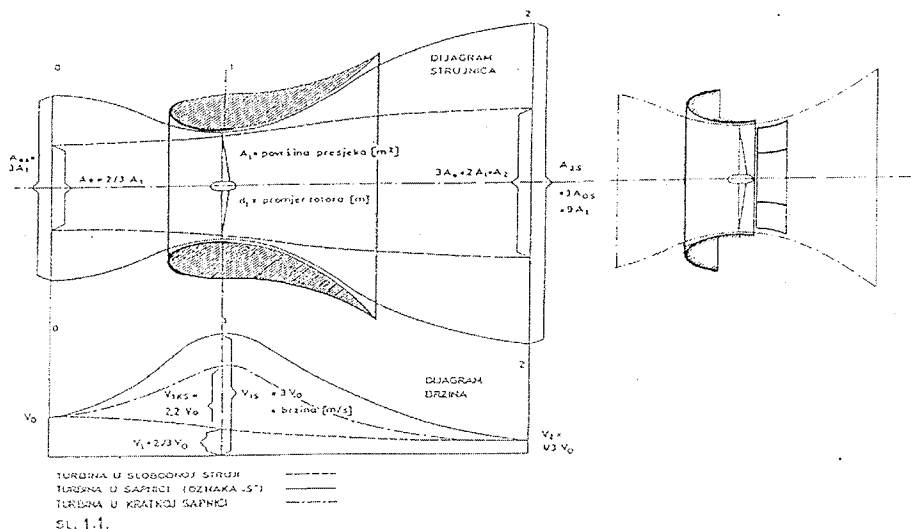
On je izveden kao prstenasto avionsko krilo, kojem je podtlačna strana okrenuta prema središtu, tako da je uzgon na svakom mjestu profila uperen radijalno centripetalno, što ispred uključuje veći broj strujnica u aktivnu zračnu masu. Radi toga se u strujnom toku javlja centrifugalno uperena reakcijska sila, koja izaziva iza rotora jako proširenje strujnog polja. Cirkulacija koja tako nastaje, inducira u strujnom polju dodatne brzine vr. (vidi sl. 1.1) 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 jačeg smanjenja brzine iza rotora. O obliku i duljini profila plašta ovisi koje se dodatne brzine vr mogu optimalno ostvariti.

2. AERODINAMIČKE OSNOVICE

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

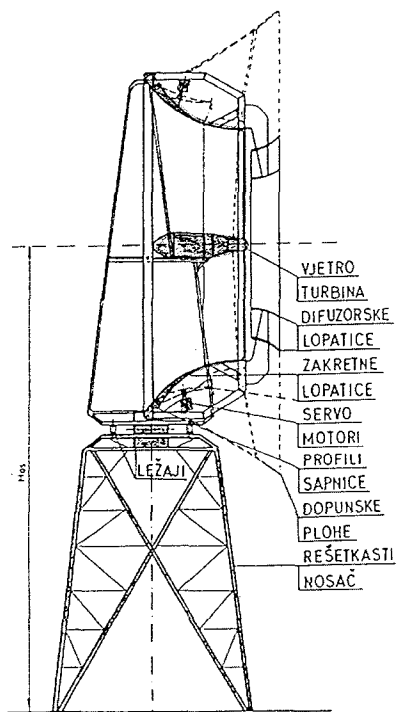
Ti nedostaci su uzrok da dosadašnje turbine u sapnici plašta nisu u praksi postigle rezultate koji su eksperimentalno dokazani. U našoj novoj konstrukciji iskorišteni su samo prednji dijelovi plašta, a stražnji su zamijenjeni deflektorima. To je kratka vjetrena turbina u sapnici dijela plašta s izlaznim difuzorskim (skretnim) lopaticama. Stup je radi uštede na materijalu i montaži većinom u rešetkastoj izvedbi.



Konstrukcija na slici 1.2. nastala je nakon iscrpnih analiza i proračuna do sada izvedenih vjetroenergetskih postrojenja i vlastite inovacije. Ona u sebi objedinjuje dobre osobine sapnice, ali skraćuje duljinu i površinu plašta, te smanjuje cijenu. Kratke difuzorske lopatice usmjeravaju strujnice širenju, odnosno smanjuju izlaznu brzinu, čime se povećava snaga.

Prednji dio plašta ima zakretne plohe, radi bolje regulacije. Dopunska osobina konstrukcije na slici 1.2 je sposobnost njenih aerodinamičkih ploha da se otvaraju, odnosno zatvaraju programski, te uspješno reguliraju brzinu na lopaticama rotora. To je moguće ostvariti na svim segmentima plašta.

Regulacija otvaranja i zatvaranja ploha može biti izvedena pomoću programiranog regulatora i servo uređaja sa zračnim ili elektromagnetskim pogonom.(sl.1.3)



sl. 1.2.

Zbog tehnoloških razloga, radi jeftinije izrade, dvostruko zakrivljene plohe izvode se u segmentima samo uzdužno savijene. Doljni rub ovih ploha nalazi se dovoljno visoko kako bi se omogućila slobodna cirkulacija ispod njih.

U grlu sapnice plašta nalaze se lopatice rotora. Noseći ležaji turbine, kočnica, prenosnik snage, generator i regulacijski uređaji bit će smješteni unutar aerodinamički oblikovane strojarnice-gondole, slično kao kod cijevnih hidroturbina tipa Kaplan.

Glavni nosači donjnjeg dijela stupa su od laganog disperziranog ferrocementa ili čelika, a sekundarni od aluminijskih legura otpornih na koroziju. Plašt je predviđen od prozirne ili obojene plastike, profilirane i ojačane da bolje izdrži udarce i djelovanje atmosferilija.

Oprema unutar gondole, u strojarnici, bit će suvremene elektrostrojarske izvedbe. Vjetrene turbine u sapnici (reguliranog ili polupropusnog) plašta mogu se graditi za male, srednje i velike snage (od 3 do 3.600 kW). Ako se želi izgraditi postrojenje još veće snage, potrebno je ugraditi više turbina - jednu do druge. To može biti izvedeno i na izlomljenom profilu, u obliku farmi, nizova ili polupropusnih brana (u više redova) do snage $N_u = 320$ MW.

Aerodinamička regulacija snage nekih vjetrovinih turbina obavlja se zakretanjem lopatica rotora. Kod turbina u sapnici plašta, brzina na rotoru se povećava nekoliko puta, što bi kod jačih vjetrova, kao i naše bure koja puše na mahove stvaralo određene poteškoće.

Radi toga je potrebno ranije, već na statorskom ulaznom dijelu, ugraditi zakretne plohe koje bi se kod većih brzina automatski otvarale i propuštale dio zračne mase, da prođe neaktivno izvan rotora (sl. 1.3) radi smanjenja porasta brzine.

Kod povećane brzine vjetra, te bi se plohe (automatski) otvarale jedna za drugom, uslijed čega bi brzina na rotoru (pri srednje jakim vjetrovima), bila približno konstantna kao što pokazuje dijagram na sl. 1.4. (u obliku zubaca pile).

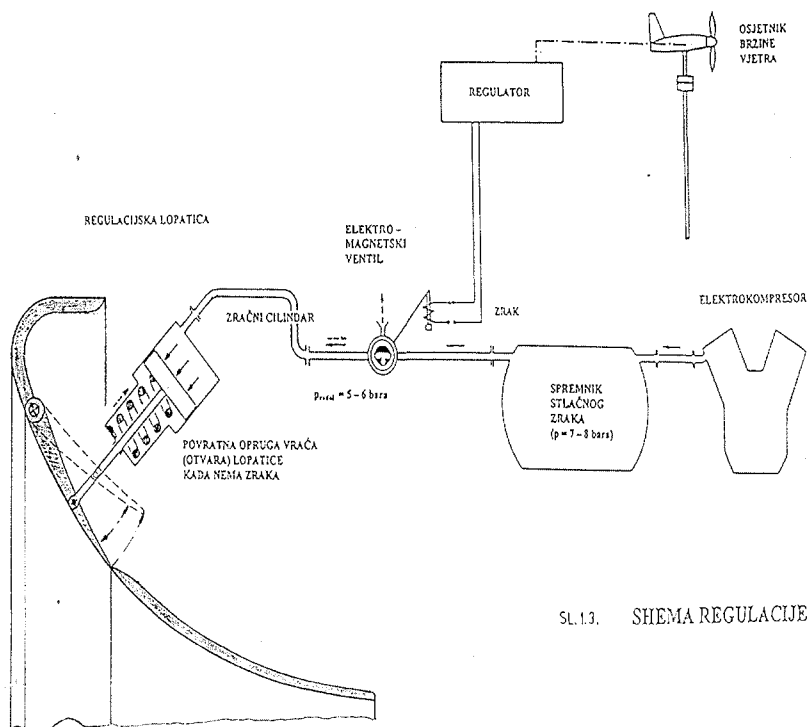
Prigodom smanjenja brzine vjetrova te bi se plohe automatski vraćale u raniji položaj, održavajući time programiranu brzinu strujanja.

Vjetrena turbina u sapnici plašta može imati dvostruku aerodinamičku regulaciju i to : primarno-statorsku i sekundarnu-rotorsku (slično kao hidroturbina Kaplan).

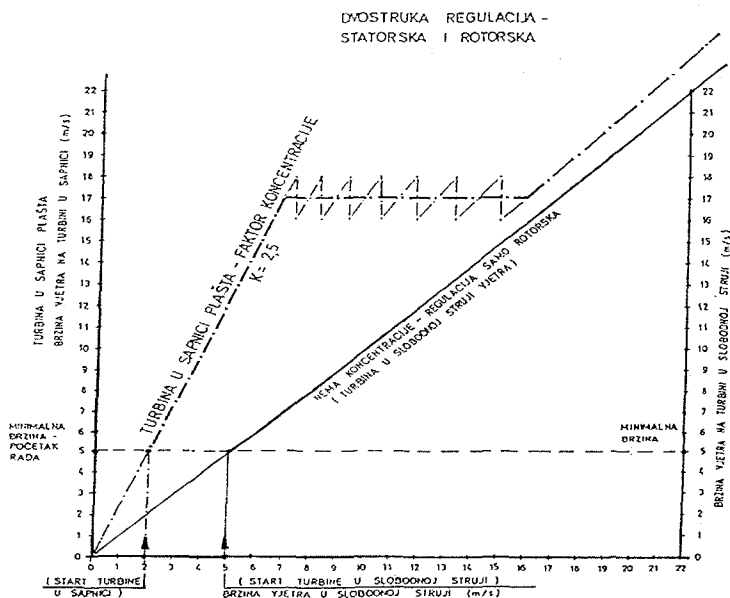
Ovakva dvostruka regulacija u zajednici s plohami plašta omogućuje na rotoru turbine u grlu sapnice povećanje brzine kod slabih, a smanjenje te brzine kod jačih vjetrova, čime se postižu optimalni pogonski učinci.

3. UČINCI 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.2.1.), te pomoću snaga za te brzine (slika 2.6. str. 60 ENWIND), izračunata je godišnja proizvodnja elektroenergije nove turbine u sapnici. Na sličan način proračunata je godišnja proizvodnja takve jednake normalne turbine (bez sapnice) u slobodnoj struji vjetra. Rezultati tih proračuna dani su u tablici 1. Radi bolje preglednosti, na slici 2.1. je uz dijagram trajanja brzina ucrtana (kaskadno) i proizvodnja elektroenergije za novu vjetroturbinu u sapnici, te za normalnu, odnosno postojeću - standardnu,



SL. 1.3. SHEMA REGULACIJE



Napomene:

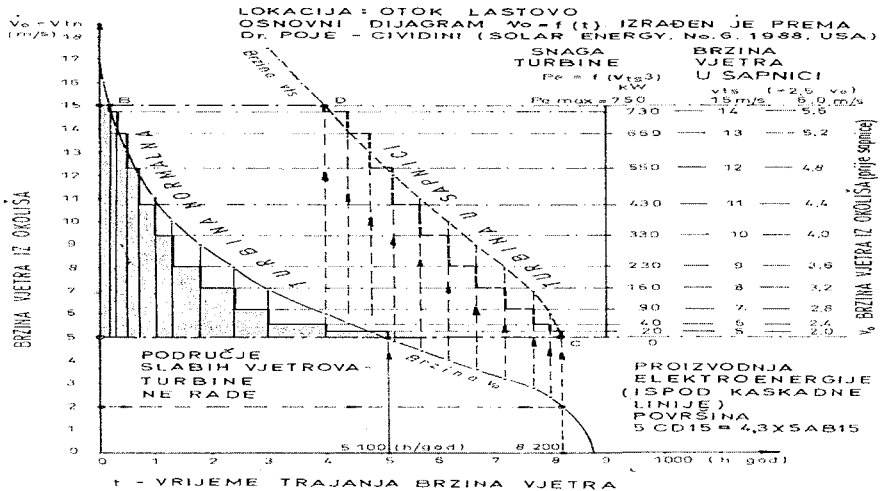
1. Proračuni , tablica i dijagram izrađeni su prema brzinama vjetra mjenim na visini od 10 metara, što je za našu komparativnu analizu zadovoljavajuće.
2. Uz korekciju brzine vjetra (s porastom visine) izračunat je godišnji čisti prihod (prema metodi EGE – dr. Matić), koji bi za novu vjetroturbinu u sapnici iznosio solidni $G_{ps} = 218.535$ USD , a samo $G_{pn} = 12.852$ USD za normalnu, standardnu bez sapnice.
3. Prosječni jedinični troškovi proizvodnje za novu vjetroturbinu u sapnici (snage 750 kW), koja bi se ugradila na Lastovu iznose 0,02462 USD za 1 kWh, odnosno manje od 2,5 US centa.

Sve do sada navedeno ukazuje da je nova vjetroturbina vrlo prikladna za budući privatni (poduzetnički) energetski sustav, potreban bržem razvoju mediteranskog gospodarstva, a to je čista i jeftina energija za:

- a) turističku, nautičku i ostalu djelatnost
- b) proizvodnju (desalinizaciju) vode ljeti
- c) veću proizvodnju zdrave hrane zimi (staklenici za povrće).
- d) grijanje i hlađenje poslovnih i stambenih prostora.

Prema programu "ENWIND", na Jadranu se može ugraditi 372 MW snage novih vjetroturbina, većinom u privatnom vlasništvu.

VJETROTURBINA U SAPNICI					VJETROTURBINA NORMALNA (BEZ SAPNICE)		
BRZINA VJETRA U OKOLIŠU prije sapnice	BRZINA VJETRA NA TURBINI U SAPNICI	EFEKTIVNA SNAGA TURBINA prema brzini	EFEKTIVNI RADNI SATI	PROIZVODNJA ELEKTRO ENERGIJE	BRZINA VJETRA NORMALNE TURBINE	EFEKTIVNI RADNI SATI VRIJEME	PROIZVODNJA ELEKTRO ENERGIJE
v_0	$v_{ts} = 2,5v_0$	$v_{ts} (= v_{tn})$	t_s	$E_s = Pe t_s$	$v_{tn} = v_0$	t_n	$E_n = Pe t_n$
(m/s)	v_{ts}	$Pe = f(v_{ts}^3)$	(h)	(kWh)	v_{tn}	(h)	(kWh)
2	5	20	200	4000	5	1100	22000
2,4	6	40	300	12000	6	1000	40000
2,8	7	90	500	45000	7	600	54000
3,2	8	160	500	80000	8	600	96000
3,6	9	230	500	115000	9	500	115000
4	10	330	500	165000	10	300	99000
4,4	11	430	500	215000	11	300	129000
4,8	12	550	400	220000	12	200	110000
5,2	13	660	400	264000	13	200	132000
5,6	14	730	400	292000	14	100	73000
6	15	750	4000	3000000	15	200	150000
SUMA			8.200	4.412.000	SUMA	5.100	1.020.000



slika 2.1.

5. ZAKLJUČAK

1. Aerodinamički profiliran (kratak) plašt može osigurati veći protok zračne mase kroz grlo sapnice i povisiti brzinu strujanja na rotoru nove vjetroturbine do 2,5 puta (odnosno, 250 posto), što uzrokuje znatan porast snage i profitabilnosti.
2. Specijalne regulacijske plohe na plaštu statora omogućavaju da nove vjetroturbine imaju dvostruku regulaciju i veliku pogonsku stabilnost.
3. Prema proračunima, tablici 1. i dijagramu (sl. 5.) se jasno vidi; nova vjetroturbina u sapnici plašta (snage 750 kW, ugrađena na Lastovu) radila bi godišnje 3.100 efektivnih sati dulje od postojećih ($8.200 - 5.100 = 3.100$).
4. Proizvodnja elektroenergije nove turbine u sapnici tijekom godine bila bi veća za 3,392.000 kWh od postojeće normalne jednake snage ($4,412.000 - 1,020.000 = 3,392.000$).
5. Nova vjetroturbina u sapnici plašta proizvela bi godišnje 4,3 puta ili 430 posto više energije nego jednaka takva postojeća, normalna turbina bez sapnice ($4,412.000 / 1,020.000 = 4,3$).
6. Obilježja nove vjetroturbine, a osobito niska cijena proizvodnje (2,5 UScenta za 1kWh) vrlo su povoljne za rekonstruiranje i privatizaciju energetskeg sustava na Jadranu.

6. LITERATURA

- [1] Molly, P. J.: "Windenergie in Theorie und Praxis", Karlsruhe, 1978.
- [2] Vrsalović: "Senj wind power plant", Solar and wind technology, No 2/3, Oxford, 1990.
- [3] Vrsalović: "Osnove za projekt vjetroelektrane Senj", Pula 25.-27.1993., (IV. Simpozij o novim tehnologijama)
- [4] Vrsalović: "Nove vjetroturbine visoke profitabilnost", HED – 8. Forum, Zagreb 10.12.1999.