

# Veter kot alternativni vir energije

Darjan Gradišnik<sup>1</sup>, Nenad Muškinja<sup>2</sup>, Branimir Verhovnik<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ates d.o.o., <sup>2</sup>UM FERI, <sup>3</sup>Elektro Maribor d.d.

darjan.gradisnik@ates.si, nenad.muskinja@uni-mb.si, branimir.verhovnik@elektro-maribor.si

## *Wind as alternative energy source*

***Abstract: The increasing global population and the unsatisfied demand of the developing countries will more than cancel out possible reductions due to higher energy efficiency. Renewable energies will be the key to this development, because they are the only option that can cover the energy demand of Earth in climatically sustainable way. Wind energy is an indirect form of solar energy. Energy stored in wind can be technically exploited and the history of wind power goes back many centuries. This article explains some facts and instructions for wind resource exploitation.***

## 1 Uvod

Sodobne civilizacije si brez izkoriščanja električne in drugih virov energije ne moremo predstavljati. Kar zamislite si, koliko je zmede ob izpadih električnega omrežja. Ker pa so resursi energije vseeno končni in neenakomerno porazdeljeni po zemeljski obli, je proizvodnja in prodaja vseh vrst energij pomemben tržni segment. Obnovljive energije bodo pri tem odigrale ključno vlogo, saj so edina izbira, ki lahko pokrijejo svetovne zahteve po klimatsko še znosni rabi energije.

Alternativni viri energije so ponavadi mišljeni kot viri manjših moči obnovljive energije. Sem prištevamo:

- izrabo sončne energije, kjer sončno energijo pretvarjamo v izmenjevalnikih (kolektorjih) v toplotno energijo in nato še naprej v električno ali pa v sončnih celicah direktno v električno,
- izrabo vodnih virov, kot je izgradnja manjših hidroelektrarn,

- izrabo vetrnih virov, ko energijo vetra pretvorimo v rotacijo vetrne turbine, ta pa poganja generator ali črpalko (vodno),
- toplotne črpalke, ki sicer niso samostojen vir, ampak zaradi principa delovanja dobimo v normalnih pogojih delovanja trikrat več toplotne energije, kot smo vložili električne,
- neposreden zajem sončne energije kot so zimski vrtovi, solarne hiše itd.,
- kurišča z biomaso in
- izkoriščanje energije bioplina.

V prispevku se bomo posvetili smotrni izrabi energije vetra. Podane bodo fizikalne osnove za izkoriščanje vetrne energije, praktični napotki za izbiro in postavitev vetrne elektrarne, vpliv majhnih vetrnih elektrarn na okolje in pogoji za vključitev sistema nizke napetosti (NN) v elektro distribucijsko omrežje 230/400V.

## 2 Fizikalne osnove za izkoriščanje vetrne energije

Da bi lahko izkoristili energijo vetra, je potrebno njegovo kinetično energijo pretvoriti v gibanje turbine.

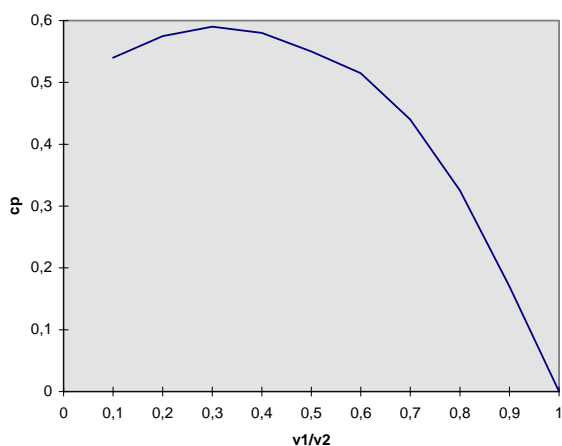
$$W_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (1)$$

kjer je  $m$  masa zraka in  $v$  hitrost vetra. Moč vetra je časovni odvod energije vetra in pri konstantni hitrosti vetra znaša:

$$P_{vetra} = \dot{W}_{kin} = \frac{\dot{m} \cdot v^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3, \quad (2)$$

kjer sta  $\rho$  gostota zraka in  $A$  površina skozi katero se pretaka zrak.

Veteran turbina upočasni hitrost vetra iz hitrosti  $v_1$  na hitrost  $v_2$ , pri čemer se izrabi sprememba moči vetra. Seveda 100% izkoristka kinetične energije vetra ne dosežemo. Albert Betz je s pomočjo Bernoullijevega in momentnega nastavka dobil model izkoristka vetra, ki ga prikazuje slika 1.



Slika 1: Diagram izkoristka energije vetra pri razmerju hitrosti vstopnega in izstopnega vetra

V točki maksimuma dobimo naslednjo empirično enačbo:

$$c_p = \frac{16}{27} \approx 0.593, \quad (3)$$

kar pomeni, da je teoretična maksimalna moč, ki jo lahko veterana turbina doseže enaka približno 60% moči vetra. Realne vetrne turbine vsekakor ne dosežejo teoretičnega optimuma se pa lahko nahajajo v območju  $c_p$  med 0.4 in 0.5.

Iz navedenega lahko povzamemo, da:

- je moč vetra sorazmerna kubu njegove hitrosti, torej pri podvojitvi hitrosti vetra pridobimo 8x več energije,
- pri hitrosti vetra 5m/s pridobimo 2x več energije, kot pri hitrosti 4m/s in
- je veterana elektrarna v splošnem rentabilna, če je povprečna letna hitrost vetra  $> 4\text{m/s}$ , veterana farma (več elektrarn skupaj) pa pri hitrostih vetra nad 5m/s.

Pri hitrostih vetra pod 4 m/s je postavitve vetrne elektrarne v ekonomskem smislu ni upravičena. Na rentabilnost pa vplivajo še:

- državne in ostale subvencije subvencionirala na vsak kW inštalirane moči,
- odkupna cena proizvedene električne energije,
- cena izgradnje 1km kablovoda, ocenjena na 10 mio SIT,
- če ne bi samograditelji in entuziasti kljub vsemu radi proizvajali dovolj energije vsaj za lastno potrošnjo.

Prispevek za novo priključitev lahko izračunamo po formuli:

$$P_{\text{prispevek}} = a \cdot j, \quad (4)$$

kjer sta:

$a$  - specifični strošek gradnje elektroenergetskih objektov in

$j$  - priključna moč z upoštevanjem faktorja sočasnosti (kW).

To pa pomeni, da je gradnja vetrnega sistema za pridobivanje električne energije vsekakor zanimiva za področja, ki so oddaljena, ki ne potrebujejo kontinuiranega odvzema velike moči, skratka za vikende in podobne objekte. V tem primeru gradimo samostojni sistem, ki shranjuje električno energijo v akumulatorje. Ker so to ponavadi nizkonapetostni sistemi (12-24V), so se v preteklosti tudi instalirani sistemi gradili na ta način. Zaradi padca cen pretvornikov napetosti iz nizke napetosti (12-24V) na 220V pa je enostavneje pripraviti klasično inštalacijo (seveda za večje porabnike npr. štedilnik, bojler itd. raje napajamo z drugimi viri energije) in nanjo priključimo porabnike kot so hladilnik, televizor, radio, razsvetljava i.p.d. Napajalniki moči 600VA - 1kVA so cenovno dostopni. Lahko pa jih vgradimo več v različne veje.

### 3 Praktični napotki za izbiro in postavitev vetrne elektrarne

Da bi si lažje predstavljali, kako zgradimo inštalacijski sistem z virom iz generatorja vetrnice, so v nadaljevanju predstavljeni trije sistemi:

- z močjo 400W
- z močjo 1000W in
- z močjo 3000W.

Celotno inštalacijo lahko zgradimo na nizki napetosti, vendar se moramo zavedati, da v takem sistemu tečejo veliki tokovi, pri napetostih > 12V imamo že pojav loka. Gospodinjski aparati na nizko napetost so ponavadi dražji, prav tako tudi elementi inštalacije. Zato se priporoča vgradnja razsmernika in napetostni nivo 230V/50Hz. Pri akumulatorjih moramo upoštevati, da je dejanska kapaciteta  $\frac{1}{2}$  nazivne. Za shranjevanje so pravzaprav zaradi cene najprimernejši svinčeni akumulatorji, ki imajo tudi zelo veliko število delovnih ur, njihova teža pa ni problematična. Najmanjši sistem (slika 2) nam omogoča uporabo le nekaj porabnikov. Cena

takega sistema je ocenjena (vetrnica, akumulatorji, razsmernik) na 400.000 SIT.

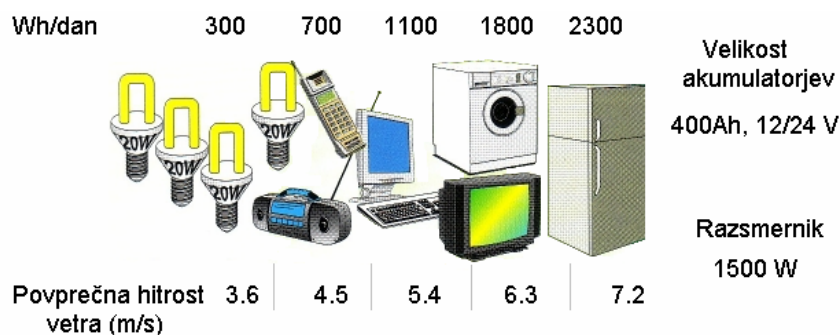
Naslednji sistem ima vetrnico moči 1kW. Iz slike 3 je razvidno, da nam že ob manjših hitrostih vetra omogoča priklop številnih porabnikov. Da se zmanjšajo izgube že na DC strani, so izhodne napetosti vetrnice višje. Ocenjena vrednost investicije v tak sistem je 800.000 SIT.

Naslednji sistem (slika 4), ki ima uporabljeno vetrnico z močjo 3000W pa je lahko uporabljen na dva načina:

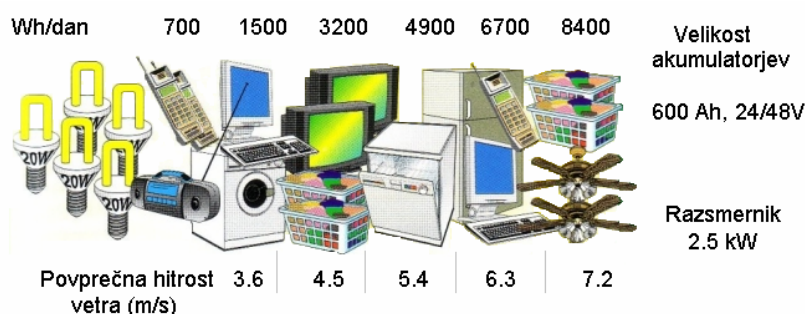
- obtočno (samostojno), kot prejšnji in
- paralelno z omrežjem, ko viške odprodajamo.

Za obratovanje paralelno z omrežjem mora biti zadoščeno pogojem, opisanih v poglavju 6. Takrat je cena sistema vetrnica in razsmernik (brez akumulatorjev in potrebnih stikalnih elementov) 1.2 Mio SIT.

Sistem v samostojnem obratovanju pa lahko omogoča že napajanje z energijo večih objektov, kar pomeni, da se lahko stroški razdelijo!



Slika 2: Priporočeni potrošniki pri nazivni moči vetrnice 400W



Slika 3: Priporočeni potrošniki pri nazivni moči vetrnice 1000 W



Slika 4: Možna oskrba stanovanjskih objektov pri moči vetrnice 3000 W

Prikazani sta dve različni stanovanjski enoti: varčna (vikend) in 'razsipna'. Ocenjena vrednost investicije je 1.5 Mio SIT.

Najbrž ni treba posebej poudarjati, da naj bodo potrošniki A razreda energijskega delovanja, stroške investicije pa lahko znižamo tudi s prijavo na subvencije, ki se razpisujejo za alternativne vire energije.

Morda se zdijo investicije v sistem na začetku dokaj visoke, a poudariti je potrebno, da je življenjska doba vetrnic dolga, vlaganja v vzdrževanje majhna in da se bodo konvencionalne energije dražili, veter pa bo še nekaj časa najbrž pihal zastoj.

#### 4 Vpliv majhnih vetrnih elektrarn na okolje

Meritve hrupa, ki ga povzročajo vetrne elektrarne, so poznane. Vendar hrup, ki je sicer razporejen po celotnem zvočnem spektru (periodična nihanja, zvok turbulenc itd) z razdaljo od turbine hitro upada. Ker govorimo o manjših turbinah, je zvok primerljiv z jakostjo zvoka pralnega stroja v načinu "mencanja". Tudi motnje v "etru" so izredno male.

Polucija vsakršnih stranskih produktov v fazi obratovanja, ki jih povzročajo običajna kurišča, diesel generatorji, plinske turbine in ostali izvori energij, je zanemarljiva.

Vetrnice razreda do 500W je možno celo postaviti na streho in ne zahtevajo posebnih nosilnih konstrukcij.

#### 5 Primerjava različno krakih turbin

Če upoštevamo vse vidike, je dvokraka vetrnica najboljši kompromis med pretvorniki vetrne energije.

Da pridobimo maksimum energije iz energije vetra, so zadostne tudi enokrake vetrnice z balansno maso na nasprotni strani elise. Če je masa zamenjana z eliso, je center vetrnice in njeno aerodinamično obnašanje zelo izboljšano.

S povečevanjem števila krakov iz dveh na tri tega izboljševanja ni več, povečamo pa masni moment. Dobra stran trikrakih vetrnic je podobnost z diskasto obliko in torej ugodno masno porazdelitvijo. Zaradi tega pri sunkovitih in spreminjajočih zračnih tokovih ne prihaja tako izrazito do sprememb obremenitve rotorja nasproti dvokrakim vetrnicam, ko se to zgodi lahko ravno pri prehodu vetrnice iz horizontalnega v vertikalni položaj in obratno. Vendar je zaradi izpopolnjene konstrukcije in varne gradnje sedaj ta argument praktično ovržen.

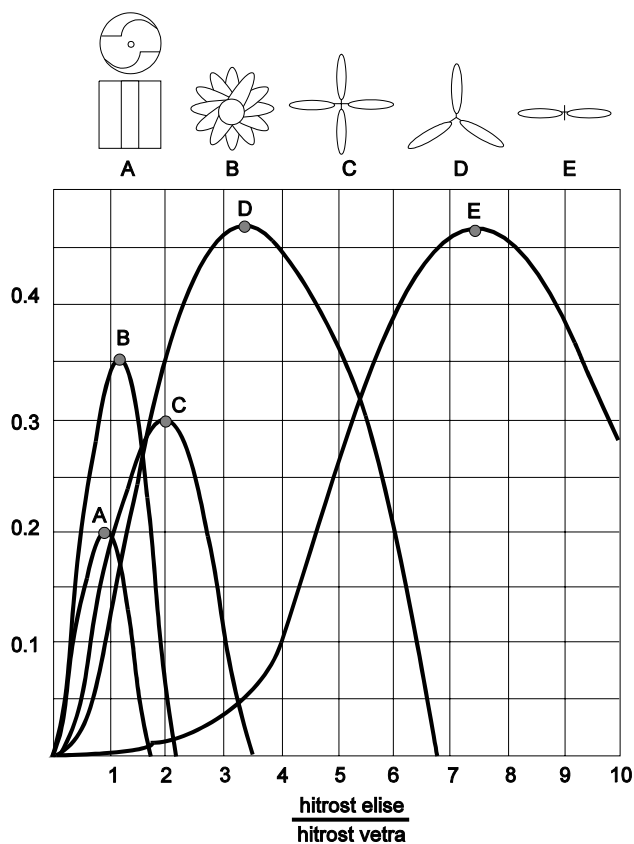
Pa poglejmo nekoliko primerjalno, zakaj je dvokraka vetrnica najboljši kompromis:

- če so lahko dosežen enak aerodinamični izkoristek ali z dvokrako ali s trikrako vetrnico, potem bomo izbrali dvokrako.

Na naslednji sliki si bomo ogledali razmerje izkoristka vetrnice nasproti razmerju hitrosti vetrnice in hitrosti vetra za različne tipe turbin in vse na kratko pokomentirali.

Slika 5 prikazuje močnostni faktor za različne tipe vetrnic v odvisnosti od razmerja

hitrosti  $\lambda$ , ki je definiran kot razmerje hitrosti elise proti hitrosti vetra.



Slika 5: Močnostni faktor za različne tipe vetrnic

Opišimo na kratko posamezne tipe vetrnic:

- A je Darrieusova vetrnica z vertikalnim rotorjem. Tak tip vetrnice ni odvisen od smeri prihajajočega vetra, je pa konstrukcijsko težji in z nižjim izkoristkom.
- B je mnogokraka vetrnica po vzoru ameriških vodnih črpalk
- C, D in E so štiri, tri in dvokrake vetrnice

Močnostni faktor ustreza aerodinamičnemu izkoristku, katerega teoretični maksimum je pri 0.593 (več kot 59.3 moči vsebovane v vetrnem pretoku se ne more pridobiti s kontinuirano delujočimi napravami). Dejansko dosežen maksimum modernih naprav je nekje okoli  $c_p=0.45$  in je močno odvisen od kvalitete vetrnice in njeni prilagojenosti na dejanske pogoje.

Krivulje  $c_p(\lambda)$  so karakteristične za tip vetrnice in so na diagramu prikazane. Če je npr. maksimum krivulje pri 2 to pomeni, da je hitrost elise dvakratna hitrost vetra. Tak faktor je tipičen za štirikrako vetrnico. To pomeni tudi, da podvojitve hitrosti vetra pomeni podvojitve števila obratov vetrnice.

Če sedaj primerjamo krivulji D (trikraka) in E (dvokraka) ugotovimo naslednje:

- obe sta zvonaste oblike in
- krivulja E ima večjo širino, kar pomeni, da je tako zajet večji spekter hitrosti vetra za pretvorbo v električno energijo.

Če primerjamo področje izkoristka nad 0.4, je ta podatek prav tako v prid dvokrakim vetrnicam.

Dejstvo, da maksimum krivulje E doseže maksimum pri  $\lambda = 7.3$ , krivulja D pa pri  $\lambda = 3.7$ , pomeni da je kotna hitrost dvokrake vetrnice višja od trikrake pri enaki hitrosti vetra. Prednost večje hitrosti je, da je lahko razmerje prenosa rotacije vetrnice v rotacijo generatorja nižje in s tem tudi izboljšamo izkoristek prenosa.

Tabela1: Primerjalna tabela amortizacijskih časov

| Tip vetrnice     | Amortizacijska doba v mesecih |
|------------------|-------------------------------|
| Eno kraka        | 6.2                           |
| Dvo kraka        | 5.9                           |
| Tri kraka        | 6.7                           |
| Darrieusov rotor | 9.5                           |

Ugotovimo lahko, da dajemo pri izbiri vetrne elektrarne prednost takim, ki imajo dvo krake vetrnice, saj je cena takih v primerjavi s trikrakimi do 20% nižja.

## **6 Pogoji za vključitev sistema nizke napetosti (NN) v elektro distribucijsko omrežje 230/400V**

Pogoje vključitve določa pristojno podjetje za distribucijo električne energije (Elektro Maribor, ...)

Pogoji se izdajo v izdanih soglasjih za priključitev (soglasje za lastno rabo in soglasje za oddajo električne energije).

V pogojih za vključitev so navedene tehnične in ostale zahteve, ki jih mora izpolniti investitor pred vključitvijo v EES (elektro energetski sistem):

- tehnična izvedba potrebnih zaščit, avtomatske ločitve iz NN omrežja in ponovni vklop v omrežje,
- izbira merilne naprave ( dvosmerno merjenje električne energije,
- pogoji za sistem ozemljitve,
- ustrezna tehnična in dokazna dokumentacija za inštalirano opremo,
- potrebna soglasja prizadetih upravljavcev komunalne infrastrukture in služnostne pogodbe prizadetih lastnikov parcel, če priključni kablovod sega izven območja parcele postavitve naprave,
- pridobitev lokacijske informacije od pristojne upravne enote, ki predpisuje zahteve glede na prostorski red za navedeni poseg v prostor,
- geodetski posnetek zemljišča,
- vrisano traso priključnega kablovoda –vnos v katastrski posnetek zemljišča in
- ostale pogoje, ki jih določi pristojna upravna enota ( morebitni vpliv na okolje,..).

Dodatne informacije so vam na voljo na Elektro Maribor, sektor RAZVOJ.

## **7 Povzetek in zaključki**

Če sedaj pregledamo vse argumente, hitro pridemo do zaključka, da postavitve elektrarne v skladu z vsemi predpisi in pridobljeno dokumentacijo ni mačji kašelj. Tudi zakonodaja v naši državi za to področje je vse prej kot dodelana. Nujno bi bilo potrebno zakonsko določiti maksimalno moč (npr.< 5kW), do katere bi bili postopki in zahtevana oprema enostavnejši in cenejši. V 27. členu Pravilnika o gradni zahtevnih, manj zahtevnih in enostavnih objektov je vetrnico do moči 50kW možno postaviti na drog, ki je 5m nad terenom kot enostavni objekt. Zakonodajalec samo ni predvidel, da ima vetrnica te moči premer 14 m !!!

Za tak objekt se odločimo, če obstaja oddaljena lokacija v vetrovnem področju, kjer stroški postavitve električnega omrežja hitro dosežejo nekaj 1000 €, potem pa je tu še priklonni prispevek in pa stalno plačevanje močnostnega prispevka.

Prepričani smo, da se bodo nekateri odločili za gradnjo takih elektrarn, malo zaradi entuzijazma, malo zaradi koristi. Ker je polucija stranskih produktov pri tem tipu objektov minimalna, se boste ekološko obnašali.

## **8 Literatura**

- [1] V. Quaschnig, *Understanding Renewable Energy Systems*, Earthscan, Ukand USA, 2005, ISBN 1-84407-128-6.