



# VETRNA ENERGIJA

# Kazalo

<b>UVOD.....</b>	<b>3</b>
<b>1 VETER.....</b>	<b>4</b>
<b>2 MLINI NA VETER.....</b>	<b>7</b>
<b>3 VETRNICE IN VETRNE TURBINE .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. DELOVANJE VETRNIH ELEKTRARN .....</b>	<b>12</b>
<b>4 RAZVOJNE MOŽNOSTI VETRNE ENERGIJE.....</b>	<b>14</b>
<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>15</b>

# UVOD

Nič ne opisuje bolje pomena vetra, kakor množica izrazov, ki so jih raznim vetrovom, sapicam, vetrcom, krajevnim in pokrajinskim, nadevali prebivalci, ki so bili zlasti ob morskih obalah odvisni od njih. Tako Matvejević<sup>1</sup> opisuje množico imen, ki so jih ribiči, mornarji in prebivalci otokov in obmorskih krajev nadevali vetrovom. Na Jadranu se izmenjujeta jugo in burja. Maestral je blag in okrog poldneva piha z morja, pogosti, a manj redni so pulent, levant, šilok (široko), burin, tramontana, lebič, garbina, oštrega in mnogi drugi. Kjer so vetrovi pogosti in vztrajni, jih prebivalci pričakujejo in napovedujejo. Poznajo njihovo naravo in čud, moč in težo, bučanje, vonj in dotik. Iz tega nastajajo zgodbe in legende, vse pa so odsev življenja, ki je bilo odvisno tudi od vetrov.

---

1 Predrag Matvejević, Mediteranski brevir, prevod Vasja Bratina, V.B.Z., Ljubljana: 2008

# 1 VETER

Veter nastane na Zemlji zaradi delovanja Sonca, ki ogreva zemeljsko površje, zaradi vrtenja Zemlje pa je to segrevanje neenakomerno. Ker pa se zemlja segreva hitreje kot voda, ki se stalno pretaka, dviga topli zrak v višje predele, na njegovo mesto pa doteka zrak s hladnejših območij. To gibanje imenujemo veter. Veter je tudi gibanje zraka v navpični in vodoravni smeri, ki nastane zaradi razlik v zračnem tlaku.

Energija vetra je oblika sončne energije, ki se tvori s kroženjem zraka v zemeljskem ozračju (je vektorska kinetična energija). Veter je gibanje zraka v atmosferi, ki ga povzroča neenakomerna razporeditev zračnega pritiska horizontalno ali pa vertikalno. Zrak se giblje s področij visokega zračnega pritiska na področja nizkega. Veter ne piha neposredno z enega področja na drugo, ampak na njegovo smer vplivajo različne sile (na primer odklonilna, centrifugalna...). Vetna energija je skupen izraz za postopke pridobivanja energije iz premikanja zračnih mas. Najpogostejše je to sistem, ki energijo vetra pretvori v mehansko ali električno energijo.

Veter je posledica različnega sončnega segrevanja atmosfere in površine Zemlje. Sončna energija se na ta način preoblikuje v kinetično energijo zraka. Če se premika neka masa  $m$  s hitrostjo  $v$ , potem ima ta masa kinetično energijo enako polovici produkta mase in kvadrata hitrosti. To pomeni, da je energija vetra kinetična energija. Če je  $V$  volumen zraka [ $m^3/s$ ], ki piha v enoti časa, in  $\rho$  gostota zraka [ $kg/m^3$ ], produkt volumna in gostote predstavljata maso zraka, ki piha v enoti časa [ $kg/s$ ]. Moč vetra je:  $P=1/2 V \rho v^2$  [W].

Gostota zraka blizu zemeljske površine je približno  $1.25 kg/m^3$ . Glede na to, da se volumen lahko prikaže kot produkt površine  $A$  [ $m^2$ ] in hitrosti vetra  $v$  [ $m/s$ ], se formula za moč lahko zapiše:  $P=0,625 A v^3$  [W]. Vsa kinetična moč zraka se ne more izkoristiti, ker se mora zrak umikati tistemu, ki prihaja. Torej je mogoče izkoristiti energijo, ki je enaka razliki hitrosti. Za pretvorbo kinetične energije zraka v mehansko energijo se uporabljajo vetrnice. Njihov pogon omogoča razlika kinetičnih energij zraka, ki je enaka hitrosti pred vetrnico in za njo. Lahko rečemo, da se dobi maksimalno izkoriščena moč, če je hitrost za vetrnico  $1/3$  hitrosti pred njo. Zaradi tega se lahko izkoristi največ  $16/27$  kinetične energije vetra in je izkoristljiva moč vetra, ki jo lahko imenujemo teoretična moč, prikazana tako:  $P=0,371 A v^3$  [W]. Zaradi tega je poznavanje hitrosti vetra bistvenega pomena pri oceni možnosti energetskega izkoriščanja vetra.

V meteorologiji se uporablja Beaufortova lestvica s številčnimi oznakami od 0 do 12. Hitrost vetra se hitro spreminja, zato je lahko v enem dnevu zelo različna. Meri se na meteoroloških postajah. Na osnovi teh stalnih merjenj lahko določijo frekvence hitrosti vetra. Iz podatkov o frekvencah lahko narišejo krivulje verjetnosti hitrosti vetra. Iz njih se lahko dobro oceni karakteristike vetra na posameznih krajih. Hitrost vetra raste skupaj z višino iznad površine tal. Hitrost blizu površine pada zaradi trenja.<sup>2</sup> Ločimo stalne, dnevne, periodične in lokalne vetrove.

Moč vetra je včasih silovita, podira drevesa, gozdove in hiše. Nemogoče jo je nadzorovati, lahko pa jo izkoriščamo.

Energijo vetra uporabljamo že zelo dolgo. Najprej so jo izkoriščali za pogon jadrnic, ki so imele preprosta štirikotna jadra. Babilonci in Kitajci so uporabljali energijo vetra za črpanje vode, s katero

---

<sup>2</sup> <http://www2.arnes.si/~rmurko2/VETER.htm>

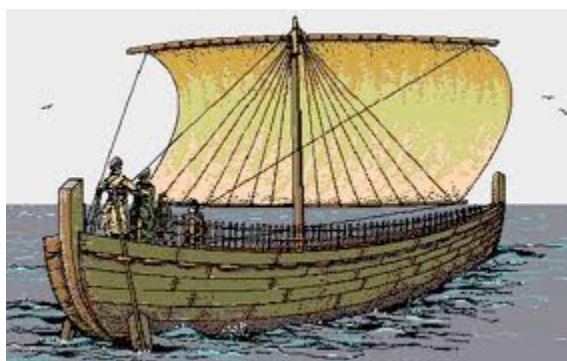
so namakali polja že pred 4 000 leti. V Evropi so jo začeli izkoriščati za pogon mlinov v 12. stoletju.

Danes se za proizvodnjo električne energije uporabljajo vetrne elektrarne, ki so zgrajene na stolpih, visokih do 100 m in s premerom propelerja do 100 m. Z višino se večja hitrost vetra. Moč se večja s tretjo potenco hitrosti, zato je koristno, da se gradi čim višje stolpe, vendar smo pri tem omejeni z dinamično nosilnostjo stebrov. Manjše vetrne elektrarne so v obratovanju že nekaj let, danes pa gradijo „polja“ vetrnic, vetrne elektrarne. Polja vetrnic gradijo na grebenih, na morju in ostalih vetrovnih območjih. Slovenija ima le poskusno vetrno elektrarno, večjo so načrtovali na Vremščici, vendar ji nasprotujejo okoljevarstveniki.



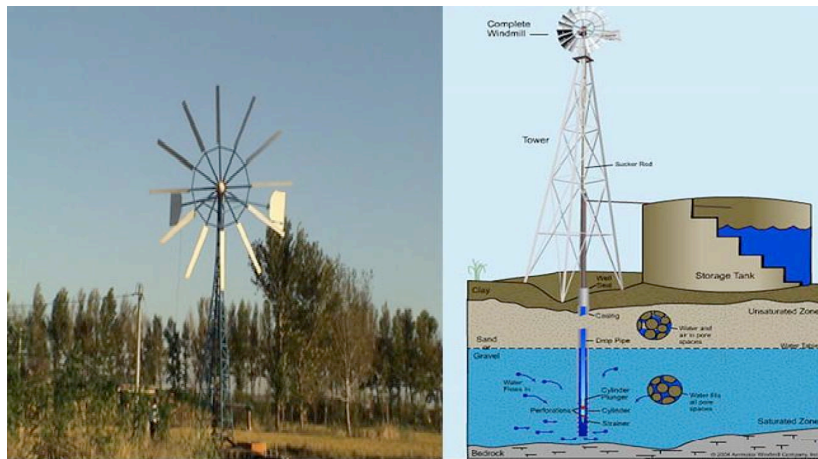
Slika: Feluke -jadrnice na Nilu

Vir: <http://mitglied.lycos.de/RalfP/assuan.html>



Slika: Feničanska jadrnica

Vir: [http://164.8.132.54/Prometna\\_geografija/tretje.html](http://164.8.132.54/Prometna_geografija/tretje.html)



Slika: Črpalka za vodo na veter  
 Vir <http://www.studentaward-middleeast.com/idea.php?id=40>



Slika: Starinska vetrna črpalka v Kansasu  
 Vir: <http://www.edupic.net/energy.htm>

## 2 MLINI NA VETER

Tudi mlini na veter so naprave, ki vetrno energijo pretvarjajo v koristno delo (za črpanje vode iz vodnjakov ali za mletje žita). Mlinarstvo spada med najstarejše obrti človeškega rodu. Najstarejši mlini so bili grajeni tako, da se je cela stavba vrtela v navpični osi, da so vetrnice mlina lahko zajemale največjo količino vetra.

Posebno na Nizozemskem mlinov niso uporabljali samo za mletje žita, ampak tudi za dvigovanje presežne vode z nizko ležeče obdelovalne zemlje v kanale. Z mlini na veter so poganjali obrtne in industrijske obrate. Uporabljali so jih tudi pri spuščanju težkih bremen.

Evropski mlini, ki so jih razvili v 12. stoletju, so imeli vodoravno gred in prenos preko pravokotne zobniške povezave. V prvih mlinih je bila celotna naprava v navpičnem stebru in jo je bilo mogoče obrniti v veter ročno s pomočjo nagnjene ročice. Pravokotno trikotna jadra, zvitna na lesene drogove, so bila pozneje napeta na pravokotne okvirje. Stalni kamniti ali leseni stolpi so se pojavili v 15. stoletju. Jadra so bila pritrjena na pokrov, ki se je lahko vrtel. Izboljšano verzijo krila je izumil Andrew Muckle v 18. stoletju. Sestavljeno je bilo iz vrtljivih letvic, ki jih je zapirala vzmet. Kadar je bil veter premočan, so se letvice odprle in veter je lahko pihal skozi krilo, ne da bi ga poškodoval.

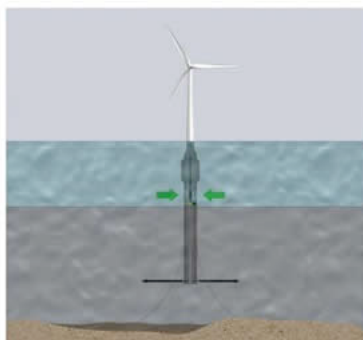
Samodejno obračanje so dosegli s pahljačastim repom v 18. stoletju. Krila propelerja, ki so stala pravokotno na jadra, so imela prenos na kolesa v krožni kolesnici. Američani so konec prejšnjega stoletja z mlini na veter zagotavljali okoli četrtno energetskih potreb, kajti odkritje elektromagnetne indukcije je omogočilo hiter razvoj naprav za pridobivanje elektrike

Kasneje so bili mlini posodobljeni in se jim je vrtel le zgornji del mlina z vetrnimi krili.



Slika: Mlin na Nizozemskem

Vir: <http://science.jrank.org/kids/pages/93/>



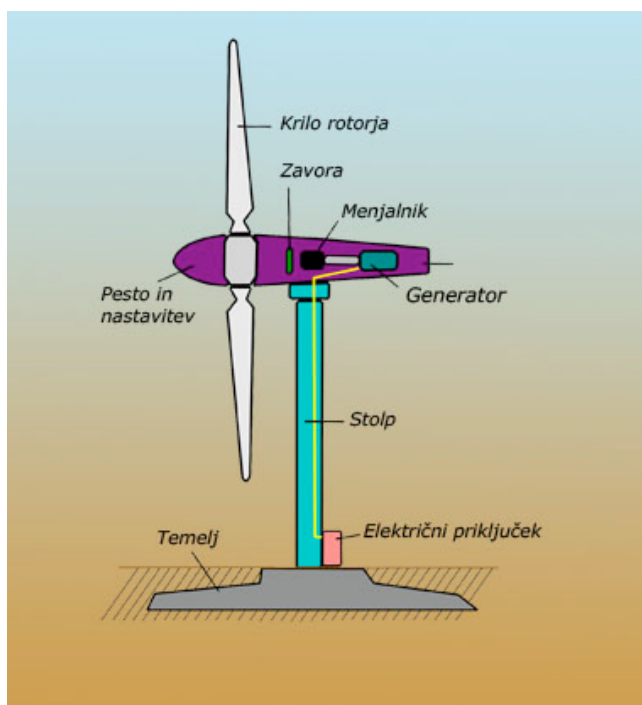
Slika: Vetrnica na Baltiškem morju

Vir: <http://windmills-to-breath-new-life>

### 3 VETRNICICE IN VETRNE TURBINE

Moderni nasledniki mlinov na veter so vetrne turbine. So precej bolj izpopolnjene in poganjajo električne generatorje. Te vetrnice spominjajo na velike letalske propelerje, merijo pa do 60 m v premeru in lahko oddajajo 3 MW električne moči. Številna polja takih vetrnic so zgradili na območjih s stalnim vetrom. Uporabljajo tudi vetrne turbine z vetrnicami v obliki velike črke H, ki se vrte okoli navpične osi. Njihova prednost je, da jih ni treba usmerjati po vetru. Polja, na katerih postavljajo vetrnice za izkoriščanje vetra, so najpogosteje na grebenih, kjer pihajo ugodni vetrovi.

Več vetrnic sestavlja polje; ki jih gradijo na grebenih, na morju in ostalih vetrovnih območjih. Slovenija pa ima le poskusno vetrno elektrarno.



Slika: Deli vetrne turbine

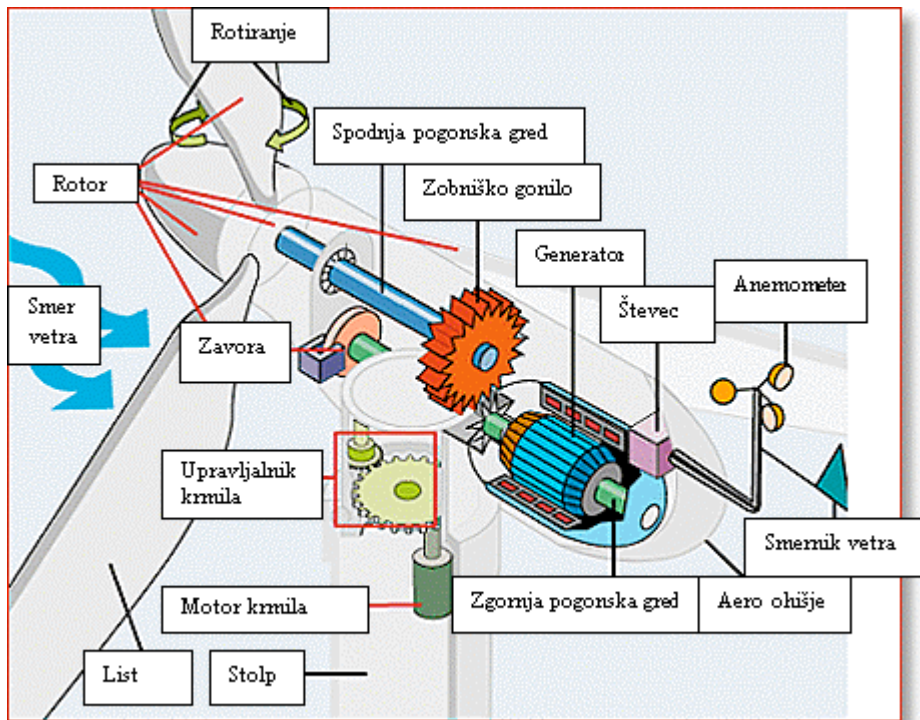
Vir: [http://www.erevija.com/clanek/1046/Moc\\_vetra](http://www.erevija.com/clanek/1046/Moc_vetra)



Slika: Stanovanjski blok v Londonu

Vir: <http://www.mywindpowersystem.com/windgallery/>





Slika: Notranjost vetrne turbine

Vir: [http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/wind\\_how.html](http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/wind_how.html)



Slika: Vetrno polje

Vir: <http://www.delo.si/gospodarstvo/okolje/vetrna-polja-cakajo-na-investitorje.html>

Velika vetrna polja lahko postavimo na kopnem ali na morju. V evropskih državah, kot so Anglija, Nizozemska in skandinavske države, se večja polja vetrnih elektrarn kar množijo v priobalnih pasovih morja – od 1 do 20 km od obale.

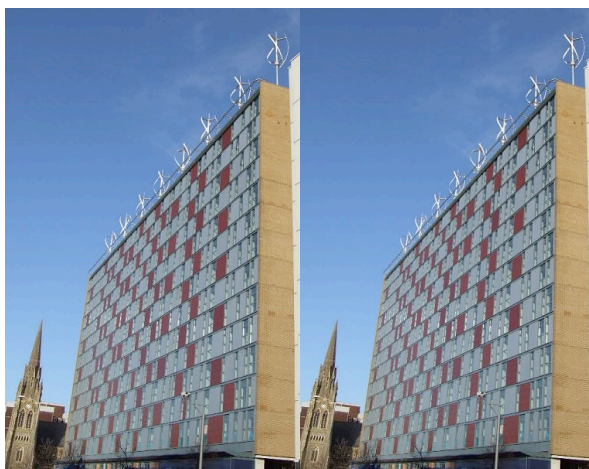
Maja 2009 so na Škotskem zagnali največje kopensko vetrno polje na svetu; imenujejo ga vetrno polje Whitelee. Njegova skupna postavljena moč je 322 MW s 140 turbinami, zgradil ga je ScottishPower Renewables, del španskega podjetja Iberdrola. Iberdrola je mednarodno podjetje, ki je do sedaj postavila približno 9.700 MW vetrnih elektrarn. Največkrat uporabijo Siemensove vetrne turbine z močjo 2,3 MW.

Vetrne turbine v vetrnem polju Whitelee so postavljene 370 m nad gladino morja in 15 km od največjega škotskega mesta Glasgowa. V premeru 30 km od vetrnega polja živi skoraj pol milijona prebivalcev, kar je morda za nas pomembna informacija. Prva električna energija, proizvedena na tem vetrnem polju, je bila oddana v omrežje januarja 2008.

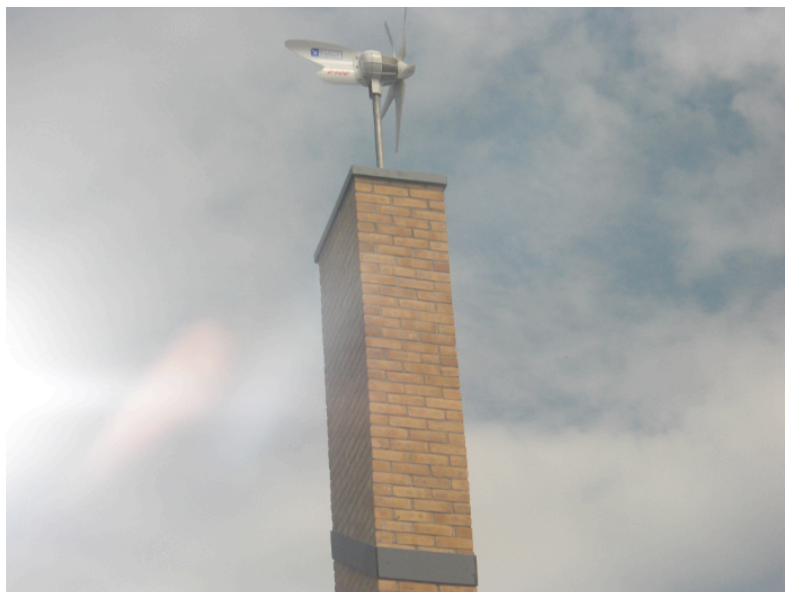
Zaradi pozitivnega odziva prebivalcev je škotska vlada že sprejela odločitev o povečanju vetrnega polja Whitelee za dodatnih 130 MW; s to močjo bodo dobili električno energijo še za 70.000 gospodinjstev. Trenutno pa se že dogovarjajo za povečanje vetrnega polja še za dodatnih 140 MW; gradnja naj bi začela letos poleti.



Slika: Vetrne turbine Platoon v severni Evropi  
Vir: <http://www.mywindpowersystem.com/windgalery/>



Slika: Tiha mestna vetrna turbina v britanskem predmestju  
Vir: <http://www.mywindpowersystem.com>



Slika: Mestna vetrna turbina Pacific Energy D400, montirana na dimniku  
Vir: <http://www.mywindpowersystem.com>



Slika: Poskusna vetrna elektrarna na Banjški planoti  
Vir: Avtor

### 3.1. DELOVANJE VETRNIH ELEKTRARN

Vetrna elektrarna je elektroenergetski objekt, s katerim pretvarjamo energijo vetra v električno energijo. Sestavljena je iz manjšega ali večjega števila vetrnih turbin z generatorji, transformatorske postaje in daljnovoda, ki vetrno elektrarno povezuje s prenosnim omrežjem.

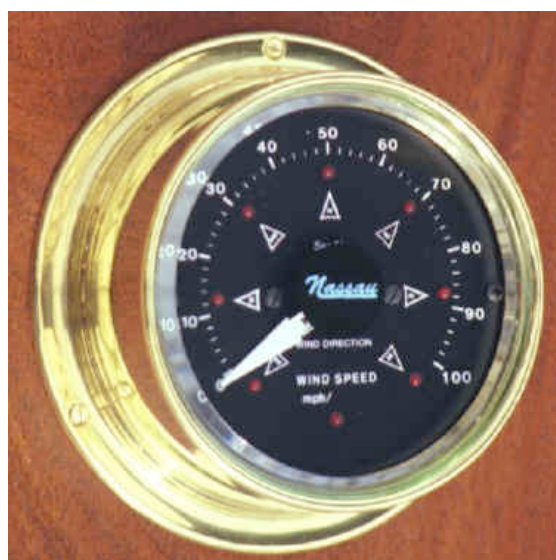
Vetrna elektrarna deluje podobno kot hidroelektrarna, samo da lopatice turbine (te so podobne letalskim krilom) vrtil veter.

Večina vetrnih elektrarn potrebuje veter s hitrostjo okoli 5 m/s, da začne obratovati. Pri previsokih hitrostih, običajno nad 25 m/s, se vetrne elektrarne ustavijo, da ne bi prišlo do poškodb. Maksimalne moči se dobijo pri hitrosti okoli 15 m/s. Med 15 in 25 m/s proizvedejo vetrnice največ električne energije.



Slika: Anemometer, s katerim merimo hitrost vetra

Vir: <http://simeteo.tripod.com>



Slika: Merilec smeri in hitrosti vetra

Vir: <http://www.weathershop.com/>

Sestavni deli elektrarne na veter so steber, ohišje (v katerem je generator električne energije in ostali pomembni deli; menjalnik hitrosti, rotor, sistem za spreminjanje smeri itd., ki jih varuje ohišje) ter lopatice (navadno so 2 do 3).

Preden se odločimo za postavitev elektrarn na veter, moramo narediti natančne meritve vetra na izbranih lokacijah. Meritve vetra opravljamo s posebnimi merilnimi napravami, imenovanimi anemometri. Meritve morajo biti opravljene na ustreznih višinah, pri čemer je treba upoštevati, da se z oddaljevanjem od zemeljskega površja hitrost vetra povečuje. Na podlagi teh podatkov lahko ocenimo količino električne energije, ki bi jo proizvajala elektrarna na veter.

V zadnjem desetletju se je izgradnja vetrnih elektrarn v nekaterih razvitejših državah Evropske unije, kot so, recimo, Nemčija, Danska in Španija, zelo povečala. Zrasla so cela polja vetrnih elektrarn, nekatere države pa jih postavljajo tudi v morju. Takšna so na primer polja vetrnih elektrarn v Severnem morju.

Vetrne elektrarne delujejo tako, da turbine kinetično energijo vetra pretvarjajo v mehansko energijo. To s pomočjo generatorja pretvarjamo v električno energijo, ki pa je enosmerna, zato jo potem s pomočjo razsmernikov pretvorimo v izmenični tok z napetostjo 220V ali pa, kot je to običajno pri manjših vetrnih elektrarnah, uporabljamo kar enosmerno napetost. Najpogosteje jo uporabljamo za ogrevanje sanitarne vode s pomočjo električnih grelcev. Moči vetrnih elektrarn se gibljejo od nekaj 100 W pa do nekaj MW.

## 4 RAZVOJNE MOŽNOSTI VETRNE ENERGIJE

Razvojne možnosti vetrne energije so velike. Združenje EWEA je zasnovalo načrt Wind Force (Moč vetra), ki naj bi pripomogel k povečanju vetrne energije do leta 2020 za 12 %. V okviru energetske politike za Evropo je cilj povečanje vetrne energije do 20.000 MW do leta 2010. Tehnični potencial te energije znaša 53.000 Twh na leto, kar za več kot trikrat presega celotne potrebe energije na svetu. Veter je na ugodnih legah že konkurenčen sodobnim elektrarnam na premog, saj imajo današnje vetrne naprave moč 3.500 kW. Ta vrsta proizvodnje energije naj bi zaposlila 1,5 milijona ljudi, 1.261.000 MW instaliranih moči vetrnih elektrarn proizvede 3.093 Twh elektrike, kar približno zadostuje porabi te energije v Evropi.

Na podlagi okoljskega poročila je Slovenija v okviru nacionalnega energetskega programa določila 14 primernih lokacij za vetrna polja, polovica jih je na Primorskem. Če bo gradnja tovrstnih energetskega virov sprejemljiva, energetski program zaradi veljavne zakonodaje ne predvideva novih večjih hidroelektrarn, so poudarili na gospodarskem forumu Naložbe v energetiki za nov zagon gospodarstva na Mostu na Soči.

Vseh 14 lokacij za vetrna polja je dobilo pozitivno mnenje celovite presoje vplivov na okolje.

Prednosti vetrnih elektrarn so: v okolje ne oddajajo CO<sub>2</sub>, hitra in enostavna gradnja, različne aplikacije delovanja, investicija se povrne v relativno kratkem času – v približno sedmih letih, dolga življenjska doba (približno 25 let) in nizki obratovalni stroški.

# ZAKLJUČEK

Eden od perspektivnih energetske obnovljivih virov je tudi vetrna energija. Na potovanjih po Evropi, pa tudi po drugih celinah, lahko povsod vidimo „nasade“ vetrnic. Znotraj držav Evropske unije ima največ vetrnih elektrarn Nemčija, sledita pa ji Danska in Španija. Vetrna elektrarna pretvarja energijo vetra v električno energijo. Teoretično jo lahko pretvori največ do 60 %. V praksi pa se le od 20 do 30 % energije vetra dejansko pretvori v električno energijo.

Vetrna energija je vektorska kinetična energija. Njena velikost je odvisna od hitrosti vetra in se povečuje približno proporcionalno s hitrostjo vetra na tretjo potenco. Tako je izkoriščanje vetrne energije zanimivo tam, kjer dosega vetrovi konstantno visoke hitrosti.

**Prednosti izkoriščanja energije vetra** je predvsem enostavna tehnologija, proizvodnja električne energije iz vetrnih elektrarn pa tudi ne povzroča emisij. **Slabosti** pa so ne najbolj prijeten videz in določen nivo hrupa. Primer dobre prakse je mala vetrna elektrarna na Dunaju. Ker velika vetrna polja niso primerna za urbana področja, so se v Wienstromu odločili, da preverijo možnosti postavitve majhne vetrne elektrarne.

Če primerjamo velike črpalke za surovo nafto, neestetske tankerje, prav take zgradbe jedrskih elektrarn, možnosti nesreč v zvezi z neobnovljivimi viri, težave s skladiščenjem jedrskih ostankov ipd., so slabosti vetrnih elektrarn skoraj zanemarljive. Prinašajo pa prednosti, ki jih fosilna goriva nimajo: nastajajo neprestano in ne onesnažujejo okolja.