

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODELEK ZA AGRONOMIJO

Tadeja KARIŽ

**ANALIZA MOŽNOSTI IZRABE VETRNE ENERGIJE
V KMETIJSTVU**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2008

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODELEK ZA AGRONOMIJO

Tadeja KARIŽ

**ANALIZA MOŽNOSTI IZRABE VETRNE ENERGIJE V
KMETIJSTVU**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF EXPLOITATION OF WIND
ENERGY IN AGRICULTURE**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2008

Pričajoče diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija agronomije-hortikulture. Opravljeno je bilo na Katedri za strojništvo Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Rajka Bernika.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Katja Vadnal
Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Rajko Bernik
Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Lučka Kajfež-Bogataj
Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana Tadeja Kariž se strinjam za objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMATIKA

Šd Vs
DK UDK 620.92:621.548(043.2)
KG energija/obnovljivi viri energije/veter/vetrna energija/vetrnice/vetрни generator
KK AGRIS N01
AV KARIŽ, Tadeja
SA BERNIK, Rajko (mentor)
KZ SI - 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odelek za agronomijo
LI 2008
IN ANALIZA MOŽNOSTI IZRABE VETRNE ENERGIJE V KMETIJSTVU
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP VIII, 40, [1] str., 3 pregl., 18 sl., 30 vir.
IJ sl
JI sl/en
AL Nahajamo se v obdobju, ko so podnebne spremembe največja grožnja našemu planetu. Za določen del spreminjanja podnebja smo krivi mi ljudje sami. Naš planet se segreva, ker v ozračje spuščamo velike količine okolju škodljivih plinov, ki nastajajo pri izgorevanju premoga, nafte in plina, torej zaradi prekomerne uporabe neobnovljivih virov energije. Preprečevanje podnebnih sprememb se začne s spreminjanjem naših navad. Z vidika varovanja okolja potrebujemo boljši odnos pri ravnanju z energijo, odpadki in pri kmetovanju. V svetu potrebe po električni energiji kontinuirano naraščajo. Dolgoročno so za manjše izpuste toplogrednih plinov nujno potrebni trajnostni, naravi prijaznejši viri električne energije. Za zmanjševanje onesnaževanja s fosilnimi gorivi se kot učinkovita rešitev izkaže uporaba obnovljivih virov in na sploh manjša poraba energije. V Sloveniji je raba obnovljivih virov energije v porastu in med najbolj izkoriščene vire prištevamo vodo ter biomaso. Ker je delež izrabe vetrne energije zanemarljiv, se nam poraja vprašanje o smiselnosti izrabe tega vira. V diplomski nalogi smo analizirali primer uporabe vetrnega generatorja pri modelni kmetiji, ki se nahaja na obrobju Ajdovščine. Na osnovi meritev smo z izračuni prikazali smiselnost postavitve sistema. Ugotovili smo, da je uporaba vetrne energije smotrna le na območjih, ki so dobro prevetrena, torej tam, kjer ima veter primerno moč in stalnost.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDK 620.92:621.548(043.2)
CX energy/wind/wind energy/wind turbines/wind generator
CC AGRIS N01
AU KARIŽ, Tadeja
AA Bernik, Rajko (supervisor)
PP SI - 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
Py 2008
TI ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF EXPLOITATION OF WIND ENERGY
IN AGRICULTURE
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO VIII, 40, [1] p., 3 tab., 18 fig., 30 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Nowadays climate changes are the biggest threat to our planet. For some portion of those changes, people are to blame. Our planet is warming up because of the enormous amounts of harmful gases in the atmosphere. They occur as a consequence of coal, petroleum and gas usage, thus because of the excessive exploitation of non-renewable energy sources. Climate change prevention starts with the changing of our habits. As far as the protection of the environment is concerned, a better attitude towards energy and waste management, as well as in agriculture, is desired. Energy needs are continuously rising throughout the world. Over the long term sustainable, nature-friendlier sources of electric energy will be desired to reduce the amounts of gases, based on a greenhouse effect. The exploitation of renewable energy and the reduction of electrical energy consumption in general, are seen as efficient solutions in order to reduce the pollution from fossil fuels. The exploitation of renewable energy in Slovenia is increasing. Among the most extensively used sources are water and biomass. Because of the negligible share of the wind energy in this context, we question the reasonability of its exploitation. In this graduation thesis we analysed a specific case of a small wind system usage on a model farm, situated in the suburbs of Ajdovščina. Based on the wind measuring and calculations, we presented the reasonability of setting up a wind generator system. We found out that the wind energy exploitation is suitable only for the areas, which are well aired, therefore where the wind has a proper strength and permanency.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informatika	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo slik	VII
Kazalo preglednic	VIII
1 UVOD	1
1.1 POVOD ZA RAZISKAVO	1
1.2 DELOVNA HIPOTEZA	1
1.3 NAMEN RAZISKAVE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 KAJ JE ENERGIJA	2
2.1.1 Pretvarjanje energije	2
2.1.2 Enote v katerih izražamo energijo	2
2.1.3 Pomen elektrike	2
2.2 OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE – OVE	3
2.2.1 Značilnosti OVE	3
2.3 ENERGIJA VETRA	5
2.3.1 Zakaj in kako nastane veter	5
2.3.2 Vrste vetrov	6
2.3.3 Izkoriščanje vetrne energije	9
2.3.4 Meritve vetra	10
2.3.5 Sestavni deli vetrnega generatorja	15
2.3.6 Tipi vetrnic	18
2.3.6.1 Vetrnice z vodoravno osjo vrtenja	18

2.3.6.2	Vetrnice z navpično smerjo vrtenja	19
2.3.7	Sistemi z vetrnicami	21
2.3.8	Vetrna energija v Sloveniji	22
2.3.9	Izkoriščanje vetrne energije v Evropi in po svetu	23
2.4	SEGREVANJE OZRAČJA IN KJOTSKI PROTOKOL	23
3	MATERIAL IN METODE	25
3.1	PRIDOBITEV MERITEV	25
3.2	OPIS LOKACIJE	25
3.3	Prednosti in slabosti izkoriščanja vetrne energije.....	26
3.3.1	Zakaj bi na kmetiji uporabljali vetrno energijo	26
3.4	MODEL KMETIJE.....	27
3.5	Izbira vetrnega generatorja.....	27
3.5.1.1	Postavitev vetrnega generatorja	28
3.6	METODE DELA	29
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	30
5	SKLEPI	35
6	POVZETEK	37
7	VIRI.....	38
	ZAHVALA	

KAZALO SLIK

Slika 1: Sonce kot osnovni vir energije na Zemlji (O.š. Sava..., 2007)	3
Slika 2: Gibanje vetrnih svitkov od ekvatorja proti poloma in relativno zaostajanje ali prehitevanja vetra kot posledica Coriolisovega pospeška (Danish..., 2008)	5
Slika 3: Infrardeča termografija zemeljskega površja; prikazuje temperature zraka, od vročega na ekvatorju pa do hladnejšega na obeh polih (Fakulteta..., 2007).....	6
Slika 4: Energetske pretvorbe pri izkoriščanju vetra (Energetika..., 2005).....	9
Slika 5: Prikaz vetrne rože za mesto Brest – Atlantska obala Francije (Nardin, 2004)	10
Slika 6: Ovire in turbulenca (Nardin, 2004)	15
Slika 7: Sestavni deli vetrnega generatorja (Energetika..., 2005)	17
Slika 8: Prikaz vetrnice z vodoravno osjo vrtenja (Energetika..., 2005).....	19
Slika 9: Prikaz vetrnic z navpično smerjo vrtenja (Energetika..., 2005).....	20
Slika 10: Vetrni generator pri Bostonu v ZDA (Foto: Kariž, 2006)	21
Slika 11: Polje vetrnih elektrarn v Kaliforniji, ZDA (Foto: Kariž, 2006).....	21
Slika 12: Pogled na Ajdovščino iz zraka (Slovenska..., 2008)	26
Slika 13: Prikaz proizvodnje in koriščenja električne energije (Rise..., 2008).....	27
Slika 14: Vetrni generator Whisper 500 (Eta..., 2007).....	28
Slika 15: Izgradnja temelja za vetrni generator (Aeolus Power, 2007)	28
Slika 16: Povprečna hitrost vetra po posameznih mesecih v letu 1987 (ARSO..., 2007).....	30
Slika 17: Prikaz proizvodnje po mesecih	32
Slika 18: Letni prikaz mesečne proizvodnje in porabe	33

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razredi hrapavosti površja (Mikelj, 2006).....	14
Preglednica 2: Izračun letne proizvodnje	31
Preglednica 3: Prikaz letne proizvodnje in porabe električne energije po mesecih	32

1 UVOD

1.1 POVOD ZA RAZISKAVO

Poraba električne energije tako v svetu kot v Sloveniji stalno narašča. Ker pa se zaloge fosilnih goriv vseskozi zmanjšujejo in so neobnovljive, nas vedno bolj zanima uporaba obnovljivih virov energije, med katere prištevamo tudi vetrno energijo. Ker živimo na območju, kjer je v zadnjem času aktualna gradnja vetrnih elektrarn, smo tudi sami začeli razmišljati o smiselnosti uporabe vetrne energije v kmetijstvu. Odločili smo se, da bomo v diplomskem delu raziskali, koliko energije pridobimo s postavitvijo vetrnega generatorja v kraju Ajdovščina. Glede na proizvodnjo električne energije in porabe energije na kmetiji bomo analizirali smiselnost uporabe vetrne energije na tej kmetiji.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Ravno tako kot je poraba električne energije stalno v porastu, se tudi električna energija stalno draži. Ker je velika prihodnost v izrabi obnovljivih virov energije in s tem tudi v izrabi vetrne energije, nas zanima, kako bi lahko vključili izrabo vetrne energije v kmetijstvo. Da bi na modelni kmetiji zmanjšali stroške za plačevanje električne energije, nas zanima postavitve sistema, ki bi nas tudi finančno razbremenil. Ker je lokacija modelne kmetije na ugodni vetrovni legi, pričakujemo, da bo uporaba vetrne energije na kmetiji pripeljala do ugodnih rezultatov.

1.3 NAMEN RAZISKAVE

Menimo, da je raba obnovljivih virov energije, med njimi tudi uporaba vetrne energije, v Sloveniji premalo izkoriščena. Namen same raziskave je ugotoviti upravičenost postavitve vetrnega sistema na modelni kmetiji, ker tako lahko pripomoremo k cenejšemu in prijaznejšemu kmetovanju.

2 PREGLED OBJAV

2.1 KAJ JE ENERGIJA

Energija je delo, je gibanje, je toplota, energija je življenje. Življenja brez energije ni, saj bi brez energije vse obstalo. Torej, energija je gibalno celega sveta in seveda tudi našega življenja (Malovrh in sod., 1999).

Energija je **spodobnost sistema, da izvaja zunanje aktivnosti** (po Maxu Plancku). Nastopa lahko v različnih oblikah: kot mehanska energija, toplotna energija (notranja), kemično vezana energija (fosilna goriva, jedrska goriva, biomasa), fizikalno vezana energija (potencialna energija vode), energija elektromagnetnega sevanja (sončna energija) in električna energija (Novak in Medved, 2000).

2.1.1 Pretvarjanje energije

Vse oblike energije ne moremo neposredno uporabiti, zato jo je potrebno pretvarjati. Pri vsakem pretvarjanju energije nastajajo izgube, zato razlikujemo (Malovrh in sod., 1999), (Novak in Medved, 2000):

- **primarno energijo:** ki je v obliki kemične ali jedrske energije skrita v nosilcih energije – energentih (nafta, plin, premog, les);
- **sekundarno energijo:** je energija, ki smo jo dobili s pretvorbo iz primarne, upoštevane so tudi izgube pri pretvorbi;
- **končno energijo:** je energija, ki jo dobi uporabnik. Pridobimo jo iz goriv z energetskimi pretvorbami in prenašamo do potrošnikov (industrija, promet, zgradbe itd.); zaradi izgub pri pretvarjanju in prenosu je manjša od primarne energije;
- **koristno energijo:** je energija za zadovoljevanje potreb uporabnika. Upoštevane so izgube pri pretvorbi električne energije v toplotno. Oddajajo jo številne naprave – ogrevalni ali hladilni sistemi, svetlobna telesa in druge; je manjša od končne energije zaradi izgub v napravah.

2.1.2 Enote v katerih izražamo energijo

Količino energije izražamo v mednarodnem merskem sistemu (ISO) v **joulih** (J). Poznamo tudi **vatne ure** (1 Wh je 3600 J) in v energijskih bilancah pogosto uporabljamo enoto **toe – tona ekvivalentne nafte**, $1 \text{ toe} = 12,5 \cdot 10^6 \text{ Wh} = 45 \cdot 10^9$ (Medved in Novak, 2000).

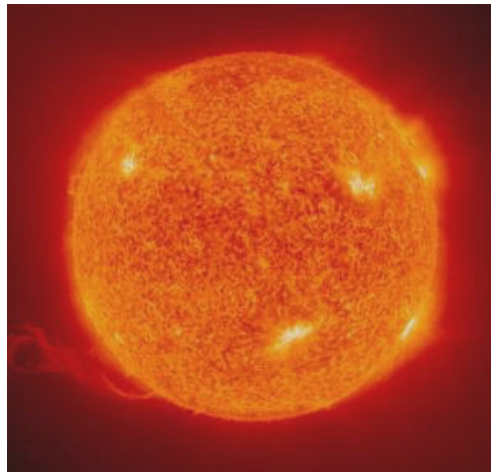
2.1.3 Pomen elektrike

Dandanes si življenja brez elektrike sploh ne moremo več predstavljati. Elektriko so odkrili Grki približno 6.000 let pred našim štetjem, in sicer statično obliko energije. Medtem ko je električna energija sekundarna oblika energije, ki jo lahko pridobivamo iz večine drugih virov energije. Najpomembnejši način je z generatorji ali alternatorji, ki pretvarjajo mehansko energijo, pridobljeno s toplotnimi procesi ali hidravličnimi (vodnimi, vetrnimi) turbinami, v elektriko. Električni tok je gibanje elektronov. V večini primerov je to energija, ki se pretaka po mreži. Ker njen transport ni povezan s premikanjem mas, je zelo

učinkovit. Pretežni del elektrike se danes proizvaja centralno. Zanesljiva oskrba z elektriko je, zaradi njene vsestranske uporabnosti, še posebej pomembna, ker jo lahko pretvorimo v vse druge oblike energij (toploto, svetlobo, mehansko delo) z enostavnimi in cenenimi napravami. Elektrike skoraj ni mogoče shranjevati, zato morata biti proizvodnja in poraba vsak trenutek usklajeni.

2.2 OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE – OVE

Osnovni vir energije na Zemlji je Sonce. Energija Sonca, ki jo prestreže Zemlja, zagotavlja primerne pogoje za življenje na Zemlji. Sončno sevanje se v stiku z atmosfero in na površini Zemlje pretvori v toploto, kinetično (npr. veter) in potencialno (npr. akumulirana voda) energijo. Sončno sevanje v vseh njegovih posledičnih oblikah (toplota, veter, vodna energija, biomasa, itd.) imenujemo obnovljivi viri energije. Obnovljivi viri energije so posledica sončnega sevanja in so neizčrpani (Novak in Medved, 2000).



Slika 1: Sonce kot osnovni vir energije na Zemlji (O.š. Sava..., 2007)

2.2.1 Značilnosti OVE

Najpomembnejši značilnosti OVE sta **neomejena trajnost** in **velik potencial**. Njihova značilnost je tudi ta, da so povsod na razpolago, v naravi jih je dovolj, bodisi jih nikoli ne zmanjka, bodisi se obnavljajo dokaj hitro. Naslednja pomembna lastnost je, da so **porazdeljeni dokaj enakomerno**, prosto, brez geopolitičnih razmer. To pomeni, da če je neka oblika obnovljivega vira energije v neki deželi neizrazita, je ponavadi ta dežela bogata s kakšnim drugim obnovljivim virom. OVE tudi bistveno manj onesnažujejo okolje, kot raba neobnovljivih virov energije (Medved in Novak, 2000).

Med slabosti OVE uvrščamo značilnost **časovne spremenljivosti moči in energije virov**. Sončno sevanje na enoto obsijane površine se prek dneva spreminja od 100 do največ 1000 W/m², mesečna energija sončnega obsevanja pa od 18 kWh/m² v januarju, do 170 kWh/m² v juliju (v Sloveniji). Slabost OVE je tudi to, da razen v obliki biomase in toplote oceanov, obnovljivih virov **ne moremo shraniti v naravnih sistemih**, ki bi omogočali rabo sončne

energije vselej, ko jo potrebujemo. Zaradi neenakomerne razpoložljivosti obnovljivih virov moramo pri njihovi uporabi graditi tudi hranilnike energije. Za shranjevanje energije obnovljivih virov v obliki notranje, kemične, kinetične ali potencialne energije uporabljamo različne naprave. To pa zmanjšuje učinkovitost in podraži izkoriščanje obnovljivih virov. Za obnovljive vire energije je značilna tudi **nizka gostota moči**. Zaradi tega morajo biti naprave pri enaki imenski moči precej večje od naprav, v katerih uporabljamo neobnovljive energijske vire (Novak in Medved, 2000).

Kralj (1999) opozarja, da je zelo pomembno razjasniti dva pojma, in sicer "*obnovljiv*" in "*neizčrpen*". "*Obnovljiv*" pomeni lastnost nekega vira energije, medtem ko "*neizčrpen*" pomeni kako ta vir izrabljati. Neizčrpano delovanje je nekakšno vzdrževanje ravnotežnega stanja. Pri daljšem izkoriščanju iz sistema ni mogoče dobiti več energije, kot je v sistem prihaja. Neizčrpan način izkoriščanja je zato mogoč le iz obnovljivega vira energije. Obnovljivi viri energije so zato vedno vezani na neke nenehno trajajoče energijske procese v naravi. Vendar moramo ustvariti takšne razmere, da izkoriščanje energije ne vpliva na naravni proces kroženja energije v naravi.

Obnovljivost lahko poenostavljeno opišemo tudi tako, da lahko energijo, odvzeto iz rezervoarja, vedno nadomestimo z dodatno količino energije. Poleg tega zahtevamo, da se energija nadomesti v približno enakem časovnem obdobju, kot je bila odvzeta. Kajti če merimo čas z geološkimi dobami, lahko tudi za zemeljski plin rečemo, da sta obnovljiva vira. Za naše pojmovanje časa pa lahko zagotovo uvrstimo nafto in zemeljski plin med končne, izrabljive oziroma neobnovljive vire energije, navaja Kralj (1999).

Energija Sonca pa ni edini naravni vir obnovljivih virov, ki jih glede na izvor delimo na (Novak in Medved, 2000):

- **sončno sevanje:** ki ga oddaja Sonce in ga lahko spremenimo v toploto ali elektriko, v naravi pa povzroča nastanek vetra, valov, vodne energije in biomase;
- **planetarna energija Lune in Sonca:** ki skupaj s kinetično energijo Zemlje povzroča periodično nastajanje plime in oseke;
- **toploto:** ki iz notranjosti Zemlje prehaja proti površju in jo imenujemo geotermalna energija.

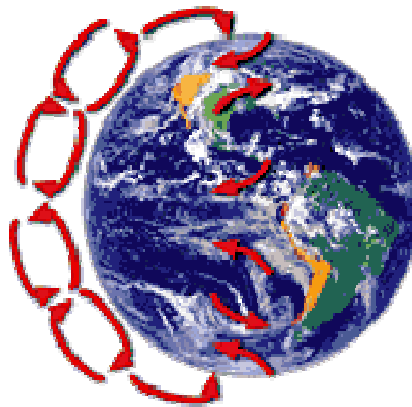
Med obnovljive vire energije sodijo:

- biomasa;
- sončna energija;
- vodna energija;
- energija vetra;
- geotermalna energija;
- energija oceanov in morja;
- energija plimovanja;
- energija morskih valov in tokov.

2.3 ENERGIJA VETRA

2.3.1 Zakaj in kako nastane veter

Plinast ovoj ali atmosfero nad kopnim zadržujejo sile gravitacije. Zemeljska atmosfera je razdeljena na več slojev. Atmosfera se z višino redči, znižuje se tudi njena temperatura. Na višini med 10 in 16 kilometri je temperatura $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ in je dokaj konstantna. Do te višine sega troposfera, to je del atmosfere, ki je povezana z vremenskimi pojavi in vetrovi. V troposferi je mnogo majhnih lokalnih vrtincev, ki merijo desetine kilometrov, pa tudi velika območja visokega in nizkega zračnega tlaka ali cikloni in anticikloni. Spodnja plast teh prehodnih pojavov se giblje kot posledica segrevanja zraka in vrtenja zemlje. Tako nastajajo vetrovi (Medved in Novak, 2000).



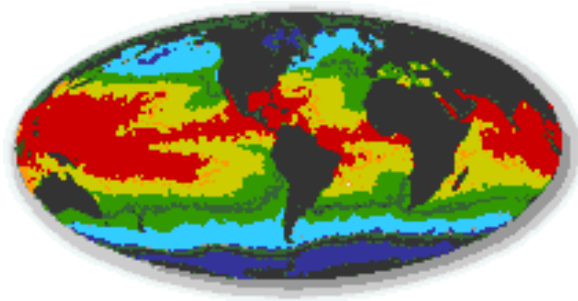
Slika 2: Gibanje vetrnih svitkov od ekvatorja proti poloma in relativno zaostajanje ali prehitevanja vetra kot posledica Coriolisovega pospeška (Danish..., 2008)

Na sliki 2 vidimo, da se zrak na ekvatorju, segret od sonca, vzpenja, zamenja pa ga hladen zrak iz severa (opazujemo severno poloblo). Ko se ta segreje, se vzpne in se vrača v velikih višinah vse do približno 30° severne zemljepisne dolžine. Podobno se giblje hladen polarni zrak pri tleh na jug do širine 60° , se medtem segreje in dvigne ter vrne v polarna področja. Med obema svitkoma (na južni polobli sta sicer še dva simetrična), se oblikuje tretji svitek, ki se giblje v obratni smeri – torej pri tleh od širine 30° do 60° zaradi tlačnih razlik, ki se vzpostavijo v tem področju (pri širini 30° je tlak pri tleh visok, pri 60° pa nizek) (Medved in Novak, 2000).

Zemlja, in z njo atmosfera, se vrti od zahoda proti vzhodu s hitrostjo med 1667 km/h na ekvatorju, do nič na polih. Zračna masa, ki se v prvem svitku začne gibati pri širini 30° s hitrostjo okoli 1000 km/h , zaostaja za hitrostjo tal, ko doseže ekvator. Zato se zdi, da potuje od vzhoda na zahod. Podobno se zrak, ki se v srednjem zvitku giblje od širine 30° k širini 60° , giblje hitreje kot tla, ko dosežemo to širino. Zato se zdi, da piha proti vzhodu. Ker so razlike v hitrosti vrtenja površja Zemlje v severnem polarnem območju majhne, se polarni svitek navidez mnogo manj zamika od smeri sever–jug. Relativno zaostajanje ali prehitevanje vetra je posledica Coriolisovega pospeška, ki deluje na maso zraka, ko se ta približuje ali oddaljuje od osi vrtenja Zemlje (slika 2). To splošno sliko gibanja zračnih mas v troposferi zmotijo celine, kljub temu pa je ta poenostavljen prikaz mogoč. Na glavna

opisana kroženja se dodajajo lokalna kroženja in vrtinci, ki povzročajo spremembe vremena. Lokalni veter je posebna oblika sončne energije, ki nastane zaradi temperaturnih razlik zraka, ki se segreva nad kopnim drugače kot nad morjem (Medved in Novak, 2000).

Torej veter nastaja, ker temperaturne razlike v zraku povzročajo gibanje zraka. Območja na Zemlji, ki so blizu ekvatorja, so s soncem močnejše ogrevana kot pa ostala območja na planetu. Ker je vroč zrak lažji od hladnega, se dviga v nebo dokler ne doseže ca. 10 km višine in se nato razširi proti severnemu in južnemu polu. To plast ozračja, kjer se vse to dogaja, imenujemo troposfera. Ker se še sama zemlja vrti, se proizvaja Coriolisova sila, ki odklanja smer gibanja zraka in nastane veter. Če bi Zemlja mirovala, bi se zrak na polih ohladil, padel na površje in spet odtekal proti ekvatorju.



Slika 3: Infrardeča termografija zemeljskega površja; prikazuje temperature zraka, od vročega na ekvatorju pa do hladnejšega na obeh polih (Fakulteta..., 2007)

2.3.2 Vrste vetrov

1) Stalni vetrovi

Predstavljajo splošno cirkulacijo zračnih gmot v atmosferi. Mednje v prvi vrsti spadajo **pasati**. Ti nastajajo iz naslednjih vzrokov: nad ekvatorjem se zrak močno segreje in se dvigne v višino, od koder se razlije proti polarnim predelom in se med 300° in 400° geografske širine prične delno spuščati. Zaradi tega nastajajo pasovi visokega zračnega pritiska. Ker se zrak dviga iznad ekvatorialnih površin, nastane na tem področju nizek zračni pritisk. Potem je nad ekvatorjem področje nizkega zračnega pritiska, na območju med 300°–400° geografske širine pa pas visokega zračnega pritiska. Zaradi razlike pritiskov se zračne gmote gibljejo od visokega zračnega pritiska k nizkemu. Na severni polobli ti vetrovi ne pihajo v smeri sever–jug, kakor bi bilo pričakovati glede na smer gradienta, ampak zaradi odklonske sile v smeri severovzhod–jugozahod. Vendar se ves zrak iz subtropskih širin ne giblje proti ekvatorju. Določeni del tega zraka se usmerja od tropskih predelov dalje proti severu. Ta zrak odteka h geografski širini 600°, kjer je zaradi družine ciklonov nizek zračni pritisk. Cikloni se tod pojavljajo zaradi valovanja zračne fronte. Ostanke zračnih gmot, ki se niso spustile na področje 300°–400° geografske širine, nadaljujejo na višini svojo pot in se spuščajo nad polarnimi predeli. Tod se zračne gmote kopičijo, ohlajajo in tako ustvarjajo na teh predelih visok zračni pritisk. Zaradi tega se zračne gmote v pri zemeljskih plasteh premikajo od polarnih predelov proti področju 600°

geografske širine, kjer udarjajo ob tropske zračne gmote. Polarne zračne gmote potujejo v smeri severovzhod–jugozahod (Slovensko izobraževalno omrežje, 2007).

2) Dnevni vetrovi

Podnevi pihajo v eni smeri, ponoči pa v nasprotni smeri. Mednje spadajo (Slovensko izobraževalno omrežje, 2007):

- **burjica:** se pojavlja zlasti v topli polovici leta na obalnih področjih Jadrana. Zaznavna je v večernih urah, ponoči in tudi v zgodnjih jutranjih urah. Piha s kopnega na morje, vendar z zelo majhno jakostjo. Nastaja v času, ko je kopno hladnejše od morja;
- **dolnik:** ali dolinski veter piha po dolinah alpskega in predalpskega sveta v višja področja gorskih predelov. Piha predvsem v topli polovici dneva;
- **gornik:** ali gorski veter je padajoči veter z gora ali planin v doline in se pojavlja v nočnih in deloma jutranjih urah in tudi čez dan;
- **nočnik:** piha v alpskem in predalpskem svetu po dolinah navzdol v nižje predele oziroma kotline. Je podoben gorniku, le da piha samo v nočnih urah;
- **zamorec:** ali veter z morja, piha z morja na kopno ali z večjih jezer na obalo. Čez dan se kopno močneje segreva kakor morje in zaradi tega se nad kopensko obalo ustvarja gibanje zraka. Vodna površina je hladnejša kakor kopno in tudi zrak nad njo je hladnejši kakor zrak nad obalo. Zaradi tega čez dan zrak priteka iznad vodne površine k obali v nižjih plasteh. Na višini od 150 do 1000 m pa se ustvarja nasprotno gibanje in sicer topel zrak potuje s kopnega nad morsko površino;
- **kopnik:** ali veter s kopnega. Zvečer se kopno ohlaja hitreje kakor vodna površina. Proces gibanja zraka z morja na kopno se ustavi in približno ob zahodu sonca nastopi brezvetrje. Nato ponoči postopoma nastaja nasprotni proces. Zemlja se ponoči ohlaja močneje, kakor vodna površina, zaradi tega je gradient pritiska usmerjen od obale proti morju in zato veter piha s kopnega na morje. To gibanje zraka traja vse do jutra, ko se z vzhodom sonca kopno prične ponovno segrevati.

3) Periodični vetrovi

V to skupino vetrov spadajo tako imenovano **monsuni**, ki pihajo v eni polovici periode leta z morja na kopno, v drugi polovici periode pa s kopnega na morje. Monsuni zajemajo obširna področja kopnega in oceanov. Nastajajo tam, kjer so velike vodne površine, ki mejijo na kontinente. Monsuni pihajo pozimi s kopnega na morje, ker je pozimi kopno znatno hladnejše od morja in je nad kopnim višji zračni pritisk. Zato je gradient pritiska usmerjen s kopnega proti morju. V poletnem obdobju pa je voda hladnejša od kopnega in gradient zračnega pritiska je usmerjen z morja proti kopnemu. Monsuni se pojavljajo na obalah vseh oceanov, tako na južni kot na severni polobli. Najizrazitejši monsuni nastajajo nad Indijskim oceanom in južnim delom Azije, predvsem Indije, poleti pa prodrejo celo do Himalaje. Segajo celo v višino nad 4 km. Letni monsuni so vlažni, ker pihajo z oceana in prinašajo, zlasti Indiji, izdatne padavine (Slovensko izobraževalno omrežje, 2007).

4) Lokalni ali krajevni vetrovi

Značilni so za določena področja in imajo sorazmerno določeno smer in jakost ter povzročajo enake ali podobne vremenske značilnosti. Med najvažnejše krajevne vetrove prištevamo (Slovensko izobraževalno omrežje, 2007):

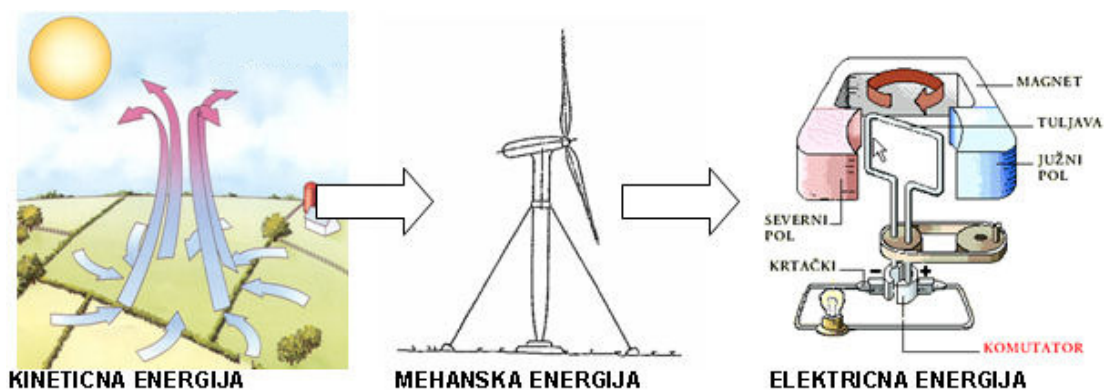
- **fen:** je topel suh zrak, ki piha z gorskih področij v doline in kotline. V srednji Evropi je poznan predvsem v alpskem in predalpskem svetu. V glavnem razlikujemo severni in južni fen, ki nastajata v zvezi s splošno barično situacijo v srednjeevropskem vremenskem prostoru. Severni fen se pojavlja, ko imamo področje nizkega zračnega pritiska v Sredozemskem bazenu, a nad severno in srednjo Evropo vlada področje visokega zračnega pritiska. Fen je močno sunkovit, topel veter in povzroča veliko škodo na gradbenih objektih, vpliva pa tudi na počutje in zdravstveno stanje človeka. Južni fen se pojavlja kot posledica razporeditve baričnega polja tedaj, ko je nizek zračni pritisk, predvsem nad severovzhodno Evropo, medtem ko je nad Sredozemljem visok zračni pritisk. V Sloveniji se fen pojavlja predvsem v dolini Save Bohinjke, pod Karavankami, Kamniškimi Alpami, v Logarski dolini, pod Pohorjem, v dolini Krke, v Novomeški kotlini. V Alpah je znan predvsem na področju Bavarske, Švice, v Dunajski in Celovski kotlini ter nasploh v večjih kotlinah in dolinah alpskega in predalpskega sveta. Fen povzroča ob gorskih pregradah, na katere se zrak vzpenja zaradi termodinamičnih procesov, oblačno vreme s padavinami. Na nasprotni strani pregrade, kjer pada, pa suho in toplo vreme z visokimi temperaturami, ki so pogosto za 100 °C višje od temperatur na nasprotni strani prepreke. Zaradi tega fen v Alpah in predalpskem svetu povzroča naglo kopnenje snežne odeje in ga imenujemo tudi jedec snega;
- **jugo:** ali široko je topel veter, ki piha iz Afrike preko Sredozemskega morja, Italije in Jadranske obale. Pojavlja se, ko je visok zračni pritisk nad Afriko in nizek nad srednjo Evropo. Pogosteje se pojavlja pozimi kot poleti. Iz Afrike piha kot topel suh veter, ki prinaša s seboj mnogo saharskega prahu, in se pri prehodu preko morja navlaži, kar pri nas povzroča razburkano morje in prehod na poslabšanje vremena;
- **burja:** je sunkovit veter. Poznajo jo vsi predeli jadranske obale in bližnjega zaledja Trsta do Črnogorske obale. V Sloveniji je posebno izrazita na območju Vipava – Ajdovščina, kjer sunki vetra dosegajo hitrost celo do 180 km/h. Povprečne vrednosti njene hitrosti se gibljejo do 40 m/s, posamezni sunki pa znašajo celo 60 m/s. Področje Kopra ima milejši tip burje, vendar so tudi tukaj znane visoke jakosti. Burja najpogosteje nastaja pozimi, ko je nad severno in srednjo Evropo močno razvito področje visokega zračnega pritiska, nad Sredozemskim morjem pa področje nizkega zračnega pritiska. Po nastanku razlikujemo: ciklonsko burjo, ki povzroča oblačno in deževno vreme, ima enakomerno jakost in piha po vsem Primorju, ter anticiklonsko burjo, ki pa je izredno močna in piha v sunkih. Nebo je v glavnem jasno, zrak pa hladen in sorazmerno suh;
- **boria:** je nasprotno od hladne in močne burje zelo prijeten in milo osvežujoč veter. Piha s kopnega na morje nad vso Jadransko obalo in ima pretežno menjajočo jakost, ki pa ne presega vrednosti nad 20 km/h;
- **gnili jug:** je veter, ki se pojavlja predvsem na področju jugovzhodnih Alp in je znan po močni vlažnosti zraka z nizkimi temnimi oblaki, iz katerih navadno rosi ali celo dežuje;

- **krivec:** je hladen veter, ki piha iz severovzhodnih in vzhodnih predelov Panonske nižine. Pojavlja se v zimskem obdobju v severovzhodni Sloveniji in v Pomurju v času stabilnega, vzhodno-evropskega polarnega anticiklona, ki se širi nad omenjena področja. Traja po nekaj tednov, njegova hitrost je do 10 m/s;
- **maestral:** je veter, ki se pojavlja v Sredozemlju predvsem v topli polovici leta. Na našem Jadranu prične pihati med 9. in 10. uro in piha vse do sončnega zahoda. Dopoldan piha kot rahel vetrič in se nato dokaj okrepi v popoldanskih urah, ko pogosto doseže sorazmerno močno jakost ter povzroča visoke valove. Ne piha v sunkih, ampak enakomerno in v glavnem iz severovzhodnega kvadranta. Odsotnost maestrale pomeni, da se bo vreme v enem ali v dveh dneh poslabšalo.

2.3.3 Izkoriščanje vetrne energije

Ljudje so se že zgodaj v preteklosti naučili uporabljati energijo vetra. Že pred 3000 leti so gradili ladje, ki so lovile veter v svoja jadra in z njegovo pomočjo preplule cel svet in odkrivale nove celine. Prve naprave, ki so izkoriščale energijo vetra na tleh, so bili mlini na veter. Konec 19. stoletja je bilo v Evropi več sto tisoč mlinov na veter. V Ameriki je bil še do začetka 20. stoletja veter pomemben za črpanje vode. Raba vetrne energije za črpanje vode je še danes zelo pomembna v deželah v razvoju (Nemac in sod., 1999c).

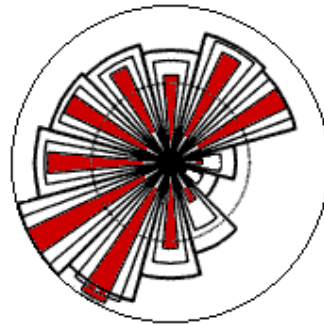
Prve sodobne vetrnice, ki so za proizvodnjo električne energije koristile energijo vetra, so se pojavile v začetku 20. stoletja. Okoli leta 1920 so bile postavljene tudi prve vetrne elektrarne, ki so sestavljene iz večjega števila vetrnic z vodoravno osjo vrtenja. Od razvoja prvih vetrnih elektrarn je tehnologija močno napredovala. Za pogon vetrnih turbin izkoristimo gibanje zračnih mas. Vetrne turbine pretvarjajo kinetično energijo zraka v mehansko delo, ki ga preko generatorja pretvorimo v električno energijo (Nemac in sod., 1999c).



Slika 4: Energetske pretvorbe pri izkoriščanju vetra (Energetika..., 2005)

2.3.4 Meritve vetra

Preden se odločimo za postavitve vetrnega generatorja ali celotne vetrne elektrarne, moramo narediti natančne meritve vetra na izbranih lokacijah. Še vedno ostaja ustaljena praksa, da gibanje zračnih mas opazujemo z merjenji (seveda poleg opazovanja drugih meteoroloških parametrov). V zvezi z vetrovi nas zanimata smer in hitrost pa tudi trajanje ter sunki vetra. Prva dva parametra in podatek o sunkih vetra dobimo z meritvami, trajanje pa s statistično obdelavo izmerjenih vrednosti. Meritve vetra opravljamo z posebnimi merilnimi napravami imenovanimi anemometri s pol krogelnimi lopaticami. Smer in hitrost vetra prikazujemo v "rožah vetra". Vetrna roža je predstavitev informacije o porazdelitvi hitrosti vetra po smereh. To je nekakšen kompas, ki ga največkrat razdelimo na 12 enakih delov. V vsakem predelu je vrisano v procentih, kolikokrat v časovni enoti je pihal veter v določeno smer. Z rdečo barvo pa je označena moč vetra. Ta del je najpomembnejši za razumevanje.



Slika 5: Prikaz vetrne rože za mesto Brest – Atlantska obala Francije (Nardin, 2004)

Da bi napovedali, koliko energije bo pretvorila neka vetrnica v nekem časovnem obdobju – običajno leto dni, moramo poznati porazdelitev verjetnosti hitrosti vetra v tem času.

- Določimo jo z **Weibullovo porazdelitveno funkcijo**, ki je podana z izrazom (Medved in Novak, 2000):

$$p(v) = \frac{k}{c} \cdot \left[\frac{v}{c} \right]^{k-1} \cdot e^{-\left[\frac{v}{c} \right]^k} \quad \dots(1)$$

Pomen oznak:

- $p(v)$ = verjetnost hitrosti vetra;
 - v = hitrost vetra;
 - c, k = konstanti, ki sta odvisni od lokalnih meteoroloških razmer.
- Pogosto so podatki o vetrovih izmerjeni na premajhnih višinah in lokacijah (običajno na višini 10 m in pogosto v nenaseljenih krajih), ki vsekakor niso primerne za izkoriščanje energije vetra s sodobnimi vetrnicami. Sodobne vetrnice so namreč visoke (opazujemo sredino površine, ki jo opišejo listi rotorja) med 40 in 60 m, zato moramo, zaradi neravnosti podlage in viskoznih sil, poznati hitrosti vetra na teh višinah nad

tlemi. Viskozne sile imajo velik vpliv na porazdelitev hitrosti vetra v površinskem sloju, ki sega do ca. 100 m nad površjem. Nad Ekmanovim slojem, ki z zgornjim robom sega do ca. 2000 m nad površjem, pa je vpliv viskoznih sil zanemarljiv in hitrost vetra se z višino ne spreminja (Medved in Novak, 2000).

Pogosto uporabimo **model porazdelitve hitrosti** vetra nad odprtim prostorom v obliki (Medved in Novak 2000):

$$\frac{v}{v_{10}} = \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha \quad \dots(2)$$

Pomen oznak:

- v = hitrost vetra na višini h (m/s);
- h = višina osi rotorja (m);
- v_{10} = hitrost vetra na višini 10 m (m/s);
- α = eksponent porazdelitve.

Veter tik ob tleh je šibkejši kot pa nekaj deset metrov višje, kar je posledica njegovega trenja ob površje. Zato je smiselna namestitve vetrnic čim višje nad tlemi, da hitrosti vetra presežejo prag, ki je potreben za izkoriščanje energije vetra, navajata Kajfež-Bogataj in Bergant (1997). Hkrati pa dodajata, da so višje ležeča območja večinoma bolj vetrovna, vendar pa z nadmorsko višino pada gostota zraka, tako da ob isti hitrosti vetra vetrnica na morski gladini proizvaja večjo moč kot vetrnica, ki je postavljena na vrhu hriba.

- **Energija in moč vetra**

Pri tehničnem izkoriščanju vetra z vetrnicami pretvarjamo kinetično energijo vetra v mehansko (Medved in Novak, 2000):

$$Ek = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 \quad \dots(3)$$

Pomen oznak:

- Ek = kinetična energija (J);
- m = masa (kg);
- v = hitrost zraka (m/s).

- **Moč vetra**, ki teče skozi namišljeno okroglo površino A (površino, ki jo opisujejo listi rotorja), določimo po formuli (Medved in Novak, 2000):

$$P = \eta_{max} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad \dots(4)$$

Pomen oznak:

- P = moč vetra (W);
 - η_{max} = največji izkoristek vetrnice;
 - v = hitrost vetra v nemotenem prostoru pred vetrnico (m/s);
 - ρ = gostota zraka (kg/m^3);
 - A = površina krožne površine, ki jo opiše vetrnica.
- V praksi označujemo η_{max} s $c_{p,max}$ in ga imenujemo **maksimalni koeficient moči** (Betzov koeficient). Zaradi vrtnčenja in trenja zraka ob vetrnici koeficient moči c_p nikoli ne doseže teoretične vrednosti. Vrednost c_p se spreminja s hitrostjo vetra in vrsto vetrnice, zato se tudi moč vetrnice ne spreminja le v odvisnosti od tretje potence hitrosti, temveč tudi s koeficientom moči c_p (Medved in Novak, 2000):

$$c_{max} \geq c_p \rightarrow P = c_p \cdot \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \cdot A \quad (5)$$

To pa v praksi pomeni, da četudi bi imeli tehnično idealno vetrnico, ki bi delovala brez trenja in bi bila konstrukcijsko tako izdelana, da bi se vrtela tudi pri zelo velikih hitrostih vetra, bi lahko izrabili le 60 % energije vetra, na kar je v svojih člankih posebej opozarjala Kajfež-Bogataj (1997). Ker pa še tako kakovostne vetrnice niso idealne, izkoristimo v resnici mnogo manj energije. Še največji izkoristek ima dvolistna vetrnica, in sicer okrog 40 %, druge izvedbe pa imajo izkoristek okoli 30 %.

- **Koeficient moči** je za različne konstrukcije vetrnic različen. Za skupni imenovalac vetrnic uporabljamo hitrostno število. Hitrostno število je opredeljeno z izrazom (Medved in Novak, 2000):

$$\lambda = \frac{u}{v_0} = \frac{\omega \cdot R}{v_0} \quad \dots(6)$$

Pomen oznak:

- λ = hitrostno število;
- u = obodna hitrost vrha lopatice (m/s);
- v_0 = hitrost vetra v nemotenem prostoru pod rotorjem (m/s);
- R = polmer rotorja (m);
- ω = kotna hitrost lopatice (s^{-1}).

Če ima rotor majhno število listov je upor pri vrtenju manjši, toda prav tako je manjša čelna površina listov. Moč vetrnice je manjša. Povečamo jo lahko le z večjo hitrostjo vrtenja, torej z večjim hitrostnim številom λ . Take vetrnice imenujemo **hitro vrteče vetrnice**. Pri vetrnicah z rotorjem z večjim številom lopatic, je lahko hitrostno število vetrnice in s tem obodna hitrost pri enaki moči vetrnic manjša. Take vetrnice imenujemo **počasi vrteče vetrnice**. Različne izvedbe vetrnic imajo različna optimalna hitrostna števila, pri katerih je koeficient moči c_p največji. Pri povečanju hitrostnega števila nad optimalno vrednost nastane turbulentni tok z vrtinci in upor se poveča. Moč oziroma koeficient moči vetrnice c_p se zmanjša.

- **Vrtilni moment vetrnice** je določen z izrazom (Medved in Novak, 2000):

$$M = c_m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_0^2 \cdot R \quad \dots(7)$$

Pomen oznak:

- M = vrtilni moment vetrnice (Nm);
- c_m = koeficient vrtilnega momenta vetrnice;
- v_0 = hitrost vetra v nemotenem prostoru pred rotorjem (m/s);
- A = površina ploskve, ki jo opišejo listi rotorja (m^2);
- R = polmer rotorja (m).

Vetrnice z majhnim hitrostnim številom imajo velik vrtilni moment, ki je potreben na primer pri črpanju vode, vetrnice z velikim hitrostnim številom pa nizek vrtilni moment, a dosežejo visoko vrtilno hitrost in so primerne za pogon električnih generatorjev (Medved in Novak, 2000).

- **Hitrost vetra na določeni višini** nad površjem izračunamo po formuli:

$$v = v_{ref} \frac{\ln\left(\frac{h}{h_o}\right)}{\ln\left(\frac{h_{ref}}{h_o}\right)} \quad \dots(8)$$

Pomen oznak:

- v = hitrost vetra nad zemeljskim površjem (m/s);
- h = višina na kateri želimo vedeti hitrost vetra (m);
- h_o = hrapava dolžina (m);
- h_{ref} = referenčna višina, na kateri je bila hitrost vetra poznana (m);
- v_{ref} = referenčna hitrost vetra oz. hitrost, ki jo poznamo na določeni višini (m/s).

Ta formula je predvidena za stabilne razmere v atmosferi in v primeru, da zemeljsko površje ni ne toplejše in ne hladnejše od zraka.

- **Hrapavost površja in striženje vetra**

V nižjih plasteh atmosfere na hitrost vetra vpliva trenje z zemeljskim površjem. Vetrna industrija loči med tremi različnimi dejavniki: hrapavost terena, vpliv ovir in obliko terena. Veter se upočasnjuje bliže tlom in to poimenujemo striženje vetra. Lahko ima zelo pomemben vpliv pri načrtovanju turbin. Hitrost vetra, ki pritiska na vrhni del vetrnice, je lahko precej večja, kot če pritiska na spodnji del. To pa pomeni, da različne sile pritiskajo na spodnji in na zgornji del. Ko tok usmerimo čez neravne površine, hrapava dolžina postane kompleksna funkcija geometrije. S povečanjem gostote hrapavih elementov se poveča vzgon in s tem tudi hrapava dolžina. Merilo hrapavosti površja, čez katerega teče zračni tok, je definiran kot:

$$h_0 = \frac{\varepsilon}{30} \quad \dots(9)$$

Pomen oznak:

- h_0 = hrapava dolžina (m);
- ε = povprečna višina naravne površine (m).

Razred hrapavosti površja je v tabeli definiran na osnovi hrapave dolžine.

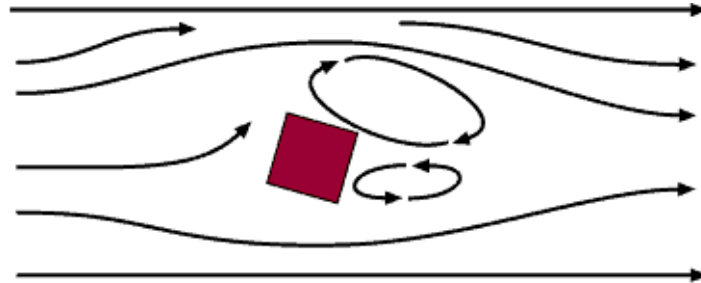
Preglednica 1: Razredi hrapavosti površja (Mikelj, 2006)

Razred hrapavosti	Razred hrapavosti (m)	Tip površja
0	0,0002	Vodna površina
0,5	0,0024	Popolnoma odprt teren z ravno površino, npr. letališke steze, pokošena trava.
1	0,03	Odprta kmetijska polja brez ograj in živih mej in z zelo raztresenimi zgradbami. Samo gladko zaobljeni hribi.
1,5	0,055	Kmetijska površina z nekaj hišami in z živimi mejami (drevesi), visokimi do 8 m, na razdaljah približno 1250 m.
2	0,1	Kmetijska površina z nekaj hišami in z živimi mejami (drevesi), visokimi do 8 m, na razdaljah približno 500 m.
2,5	0,2	Kmetijska površina z veliko hišami, grmovjem in rastlinami ali z živimi mejami (drevesi), visokimi do 8 m, na razdaljah približno 250 m.
3	0,4	Vasi, majhna mesta, kmetijske površine z veliko ali visokimi živimi mejami (drevesi), gozdovi in zelo neravni tereni.
3,5	0,8	Velika mesta z visokimi zgradbami.
4	1,6	Zelo velika mesta z visokimi zgradbami in nebotičniki.

- Ovire

Ovire, kot so zgradbe, drevesa, skale, lahko zelo zmanjšajo hitrost vetra in v okolici pogosto nastane turbulenca. Kot je razvidno iz risb običajnih vetrnih tokov okrog ovir, se turbulentno območje lahko razširi do velikosti, ki je lahko do trikrat večja od same ovire. Turbulenca je izrazitejša za oviro kot pred njo. Zmanjšanje hitrosti vetra je odvisno od poroznosti ovire. Poroznost je definirana z razmerjem med odprto površino in celotno površino objekta, ki se sooča z vetrom. Trdna zgradba nima nobene poroznosti, medtem ko lahko drevo brez listov prepusti skoraj polovico vetra. Upočasnjevanje vetra se veča z višino in dolžino ovire. Efekt upočasnjevanja je izrazitejši blizu ovire in blizu tal. Pri izgradnji vetrnega generatorja, je potrebno pri

izračunu proizvodnje elektrike vedno upoštevati ovire, ki so oddaljene manj kot 1 km v pomembni vetrni smeri.



Slika 6: Ovire in turbulenca (Nardin, 2004)

- **Gostota zraka**

Moč vetra je odvisna tudi od gostote zraka, ta pa z nadmorsko višino pada. Gostota na nadmorski višini 1000 m je $1,11 \text{ kg/m}^3$, na nadmorski višini 2500 m pa le še $0,95 \text{ kg/m}^3$. Gostota energijskega toka je pri hitrosti vetra 13 m/s že primerljiva z gostoto sončne energije.

- **Z vetrnicami so povezani trije osnovni zakoni fizike**, ki govorijo o razpoložljivi energiji vetra:

- prvi zakon pravi, da je moč proizvedena v turbini proporcionalna hitrosti vetra na tretjo potenco. To pomeni, da če se podvoji hitrost vetra, imamo osemkrat večjo moč turbine, če se potroji, imamo 27-krat večjo moč turbine;
- drugi zakon govori, da je moč proporcionalna kvadratu površine listov rotorja. Kar pomeni, da če podvojimo dolžino listov rotorja, imamo trikrat večjo moč, če pa potrojimo dolžino listov, imamo devetkrat večjo moč;
- tretji zakon pa pravi, da maksimalni teoretični koeficient učinkovitosti znaša 0,59. V praksi dosegamo koeficient učinkovitosti od 0,35 do 0,4. Različni tipi so oblikovani tako, da imajo maksimalno učinkovitost pri različnih hitrostih vetra.

2.3.5 Sestavni deli vetrnega generatorja

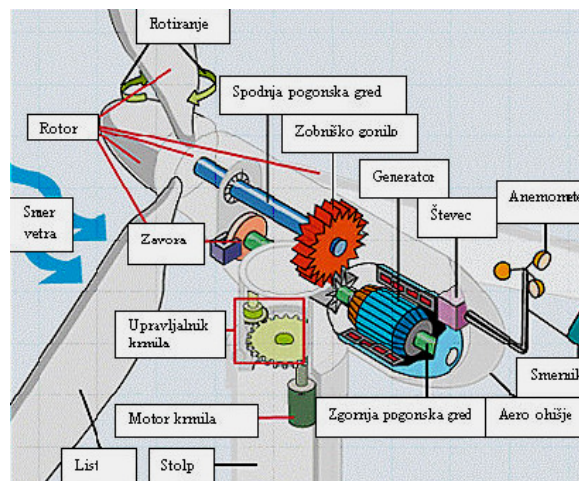
1) **Steber ali stolp:** nosi težo vetrne turbine skupaj z generatorjem na neki višini, ter zagotavlja dobro stabilnost vetrnice in s tem nemoteno delovanje. Stebri so lahko:

- cevasti: sestavljeni so iz varjenih jeklenih plošč;
- mrežasti ali rešetkasti: spominjajo na stebre električnih daljnovodov in so danes skoraj opuščeni;
- stolp v obliki droga: je podprt z jeklenimi žicami in je primeren le za manjše vetrne generatorje;
- združen drog: je različna združba zgoraj omenjenih tipov.

- 2) **Ohišje:** je na vrhu nosilnega stebra in predstavlja le zaščito notranjih elementov vetrnice (generator električne energije, menjalnik hitrosti, rotor, sistemi za spreminjanje smeri, itd.).
- 3) **Rotor:** sestavljajo lopatice (listi rotorja) in nosilna kapa. Lopatice so največkrat sestavljene iz epoksi smole in steklenih vlaken, ter ojačane z poliestrom, glava rotorja pa je jeklena.
- 4) **Povečevalnik vrtilne hitrosti generatorja – multiplikator:** (menjalnik hitrosti) je element, ki leži med rotorjem in generatorjem, ter služi povečevanju vrtilne hitrosti. Rotor ima namreč relativno majhno hitrost vrtenja lopatic ($30\text{--}60\text{ min}^{-1}$), električni generator pa potrebuje za obratovanje vrtilno hitrost vsaj 1500 min^{-1} .
- 5) **Zavorni sistem:** ima funkcijo zaustaviti vrtenje rotorja pri preveliki hitrosti vetra, da ne pride do lomljenja strojnih delov ali ogrevanja električnega generatorja.
- 6) **Sklopka:** je vmesni člen med zavornim sistemom in električnim generatorjem.
- 7) **Električni generatorji:** proizvajajo električno energijo. V vetrnicah uporabljamo tri vrste generatorjev, ki delujejo po načelu elektromagnetne indukcije, ki nastane ko se vodnik premika v magnetnem polju:
 - generatorji enosmerne napetosti: imajo stator s permanentnim magnetom, ki ustvarja magnetno polje. Rotor z navitjem električno izoliranega vodnika je z omrežjem povezan z vrtečim kontaktom, ki ga imenujemo komutator. Komutator je vrsta mehanskega usmernika, ki pretvarja izmenično napetost v enosmerno. Je eden od bistvenih delov enosmernih električnih strojev in je nameščen na osi rotorja ter se vrti skupaj z njim. V rotorju, ki ga vrti rotor vetrnice, teče tok vedno v isti smeri ne glede na smer sekanja magnetnih silnic – električni tok je enosmeren;
 - sinhronski generatorji: imajo rotor, ki je povezan z omrežjem z ločenima drsnima kontaktoma. Pri vrtenju rotorja v magnetnem polju, ki ga s permanentnim ali elektromagnetom ustvarja stator, teče tok v dve smeri glede na smer sekanja magnetnih silnic – električni tok je izmeničen. Frekvenca toka je odvisna od števila magnetnih parov in frekvenca vrtenja rotorja;
 - asinhronski generatorji: so zasnovani tako, da "sodelujejo" z omrežjem. Pri hitrostih vrtenja rotorja generatorja, ki so enake ali večje od sinhrona, ni frekvenca proizvedenega električnega toka nikoli večja od frekvenca omrežja.
- 8) **Sistem za spreminjanje smeri – pogon za usmerjenje vetrnice v veter:** je preko regulatorja v stalni povezavi z merilniki smeri in hitrosti vetra, anemometri, zato da lahko, glede na dobljene podatke, spreminja kot med lopaticami in smerjo vetra. Tako je izkoristek vetrnice večji. V času premočnega vetra namreč sistem vetrnico izklopi in lopatice postavi v najmanj nevaren položaj. Sistem je lahko nameščen tik pod ohišjem vetrnega generatorja in usmerja v veter celotno turbino. Poznamo tudi sisteme, ki so nameščeni v kapi rotorja in spreminjajo le naklonski kot lopatic. Pri majhnih vetrnicah (večinoma počasi vrteče vetrnice) uporabljajo krilo, pri večjih (sodobne hitro vrteče

vetrnice) pa mehanski pogon, ki je voden na osnovi meritev smeri vetra z anemometrom na vetrnici (Medved in Novak, 2000).

- 9) **Sistem za zmanjševanje hrupa:** predstavljajo elastični bloki, ki so vpeti med menjalnik in ploščo za spreminjanje. Tako ni neposrednega hrupa med stebrom in menjalnikom, na katerega so montirane vse ostale komponente vetrnega generatorja. Prenos hrupa preko nosilnega trupa je močno zmanjšan.
- 10) **Regulator:** predstavlja glavni del vetrnega generatorja. Kontrolira okrog 500 parametrov, predvsem pa uravnava delovanje glede na vetrne razmere in vključevanje v električno omrežje. Ko je hitrost vetra primerna (3–5 m/s), regulator vklopi delovanje vetrnega generatorja in ga izklopi nekje pri 25 m/s, da prepreči lomljenje delov ali ogrevanje električnega generatorja. V času ugodnih vetrov skrbi za prenos podatkov od anemometra do sistema za spreminjanje smeri rotorja, tako da je vetrnica obrnjena v smer, kjer je izkoristek vetra najboljši.
- 11) **Merilniki smeri in hitrosti vetra:** so postavljeni na vrhu ohišja vetrnega generatorja in sproti pošiljajo izmerjene podatke regulatorju oz. v sistem za spreminjanje smeri.
- 12) **Hladilni sistem:** je namenjen hlajenju generatorja ter multiplikatorja. Generator ima lahko že sam svoj pasivni hladilni sistem. To so hladilna rebra na ohišju, v notranjosti ohišja pa je na gredi pritrjen še ventilator. V modernih velikih turbinah se uporablja skupni hladilni sistem, sestavljen iz hladilnika ter hladilnega omrežja. Hladilno sredstvo je večinoma voda, lahko pa je tudi olje, ki teče po ceveh speljanih okrog generatorja in v ohišje multiplikatorja.
- 13) **Transformator ali pretvornik:** je pomožen objekt vetrne elektrarne in je vmesni člen med vetrnim sistemom in javnim električnem omrežjem. Ker je količina proizvedene električne energije iz vetrnega sistema neenakomerna in nepredvidljiva s porabo energije, jo moramo oddajati v sistem javnega omrežja. Transformator je potreben za spreminjanje napetosti proizvedene elektrike na nivo, kot ga zahteva javno električno omrežje.



Slika 7: Sestavni deli vetrnega generatorja (Energetika..., 2005)

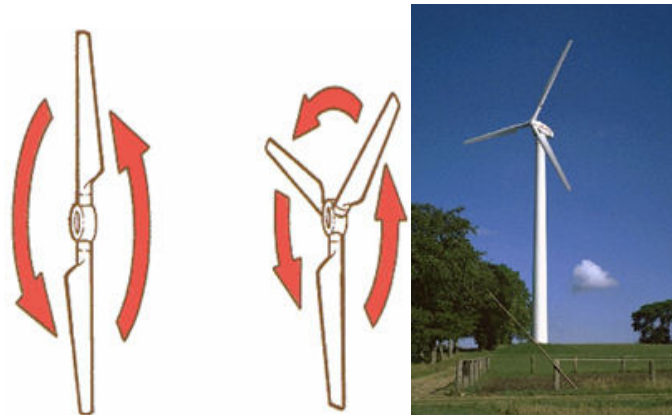
2.3.6 Tipi vetrnic

2.3.6.1 Vetrnice z vodoravno osjo vrtenja

- a) Počasi vrteče vetrnice: so vetrnice z osem ali več lopaticami. Take vetrnice imajo velik vrtilni moment že pri nizkih hitrostih vetra. Najpogosteje jih uporabljamo za pogon batnih vodnih črpalk ali pri samostojnih sistemih, ki imajo dodane komponente za hranjenje energije (npr. električna baterija).
- b) Hitro vrteče vetrnice: imajo rotor z enim, dvema ali tremi listi. Za zagon rotorja potrebujejo določeno hitrost vetra (4 m/s) ter imajo pri nizkih hitrostih vetra majhno moč in vrtilni moment:
- **eno lopatični rotorji**: imajo teoretično prednost v nižji ceni in lažji prilagodljivosti hitrosti in smeri vetra. Kot nadomestilo za drug list potrebuje rotor protiutež. Zaradi velikega števila vrtljajev je omejena dolžina lista, katerega konica se giblje s hitrostjo, višjo od hitrosti zvoka. V primerjavi z več lopatičnimi rotorji pretvorijo 10 % manj energije, so hrupnejši, mehanske obremenitve pa so bolj dinamične. Razen prototipov se niso uveljavile;
 - **dvo- ali tro- lopatični rotorji**: so najbolj razširjeni med vsemi tipi vetrnic. Prednost dvo lopatičnih rotorjev je nižja cena in lažja namestitev rotorja na stolp. Ker je prečna površina lopatic manjša, morajo imeti pri enaki velikosti rotorja večje hitrostno število (večjo vrtilno hitrost) in so zato hrupnejše. Izkušnje kažejo, da so vetrnice s tro lopatičnim rotorjem, zaradi vtisa enakomernejšega vrtenja rotorja, tudi manj moteče. Zaradi enakomernejše obremenitve so se pri večjih vetrnicah uveljavili predvsem tro lopatični rotorji.

Vetrnice z vodoravno osjo vrtenja rotorja pričnejo z delovanjem pri začetni hitrosti vetra med 3 in 4 m/s. Delujejo pa do končne hitrosti, to je med 20 in 25 m/s, ko se, zaradi naraščajoče moči rotorja in s tem tudi obremenitve, izklopijo. Nazivno moč vetrnice dosežejo pri hitrosti, ki je običajno med 10 do 15 m/s. Moč vetrnice se med začetno in nazivno hitrostjo povečuje s tretjo potenco hitrosti vetra. Med imensko in končno hitrostjo pa z različnimi načini krmiljenja listov zagotavljamo, da je moč vetrnice konstantna. Načini krmiljenja so:

- spreminjanje naklonskega kota listov rotorja, s tem vplivamo na koeficient dinamičnega vzgona c_v ;
- spreminjanje kota končnega dela listov rotorja, s tem vplivamo na koeficient zračnega upora c_u ;
- izkoriščanje učinka zastoja – zaradi prevelikega vstopnega kota profila se tokovnice ob zgornjem robu lopatic ločijo in oblikujejo v vrtince, kar povzroči občutno zmanjšanje sile vzgona in občutno povečanje sile trenja.



Slika 8: Prikaz vetrnice z vodoravno osjo vrtenja (Energetika..., 2005)

2.3.6.2 Vetrnice z navpično smerjo vrtenja

Glavna prednost vetrnic z navpično osjo je ta, da je njihovo delovanje neodvisno od smeri vetra. Mehanski deli vetrnice so nameščeni na tleh, zato naj bi bile cenejše in lažje za vzdrževanje. Poleg tega nekatere izvedbe delujejo pri precej nižjih hitrostih vetra, v primerjavi z vetrnicami z vodoravno osjo vrtenja.

- a) Savoniusov rotor in Windside rotor: leta 1924 je Finec Savonius predstavil enostavno vetrnico z rotorjem. Sestavljata jo dva pokončna krožna valja, ki sta z zamikom nameščena eden proti drugemu. Vrtenje rotorja je posledica razlike v sili upora, ki jo povzroča veter na konkavni in konveksni pol valj. Prednosti Savoniusovega rotorja so enostavno delovanje, neodvisnost delovanja od smeri vetra in velik zagonski moment. Glavni pomanjkljivosti pa sta hrupnost in nizek koeficient moči $C_p < 0,2$. Novejše izvedbe, kot je Windside (WS) rotor s spiralnima podvaljema, izkoriščajo tudi Mangusov učinek. Dosežejo moč od 100 W do 3 MW.

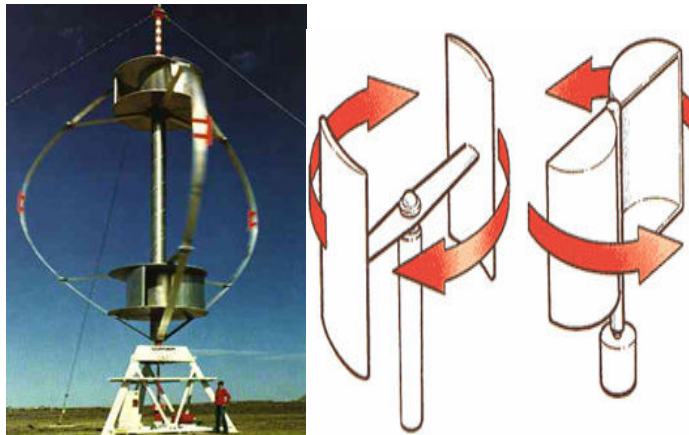
Zekič in Novak (2002) navajata glavne značilnosti vetrnic Windside rotor:

- optimalna hitrost vetra 3 m/s;
- delujejo že pri zelo majhnih hitrostih vetra 1–3 m/s in zdržijo orkanske hitrosti vetra 60 m/s (216 km/h);
- spiralna valjasta oblika rotorja deluje učinkovito ne glede na smer vetra;
- ima ugoden vizualni izgled, še posebno, če je njena barva usklajena s fasado;
- ne onesnažuje okolja in ni nevarna za ljudi in živali;
- deluje v vseh pogojih ne glede na moč in smer vetra;
- proizvodnja električne energije je za 50 % večja kot pri podobno velikih turbinah z vetrnico;
- enostavna konstrukcija ne zahteva vzdrževanja;
- ne povzroča hrupa;
- do sedaj je bil WS rotor testiran v 20-letnem obdobju na različnih lokacijah od Grenlandije do Sahare. Deluje odlično v vseh klimatskih pogojih, tako pri $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, kot pri $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) Darreiusev rotor: je leta 1926 razvil Francoz Darreius. Rotor ima ukrivljene lopatice (podoba stepalnika jajc). Dandanes je najbolj razširjena izvedba vetrnice z navpičnim rotorjem. Ima dva ali tri lopatice, ki se vrtijo okrog vertikalne osi in pri tem opisujejo valjasto, stožčasto, krogelno ali parabolično površino, ne da bi to vplivalo na način delovanja. Ukrivljene lopatice rotorja zmanjšajo obremenitve, ki so posledica centrifugalne sile. List prečka tok vetra dvakrat (pred osjo vrtenja in za osjo vrtenja), zato je koeficient moči primerljiv z hitro vrtečimi vetrnicami z vodoravno osjo vrtenja. Pri prečnem toku zraka se na delu lopatic pojavi učinek zastoja, ki povzroča vibracije listov in zmanjšuje izkoristek. Darreiusev rotor deluje neodvisno od smeri vetra, vendar ob startu potrebuje dodatni zaganjač. Namesto tega lahko pri manjših vetrnicah na os rotorja dogradimo Savoniusov rotor.

Zekič in Novak (2002) navajata najpomembnejše prednosti Darreiusevih rotorjev (vetrnih turbin):

- visok izkoristek;
- možnost namestitve generatorjev v spodnjem delu;
- enostavna konstrukcija;
- z lahkoto se prilagaja spremembam vetra;
- moč se prenaša preko vertikalne gredi na tla, kjer je nameščen generator in ostali deli pogona;
- pri delovanju je zelo tih;
- generatorji z vertikalno gredjo dajo lahko moč od 1 do največ 1700 kW, od 0,07 v Angliji do 4000 kW v Kanadi, Švici in na Irskem, t.j. v državah z zelo hladnim vremenom.



Slika 9: Prikaz vetrnic z navpično smerjo vrtenja (Energetika..., 2005)

c) Flettnerjev rotor: je valj, ki se vrti okoli navpične osi in izkorišča Magnusov učinek. Magnusov učinek se pojavi, če vrteč valj postavimo prečno v tok zraka. V novejši izvedbi, pa je to mirujoč valj z vzdolžno odprtino za sesanje zraka.

2.3.7 Sistemi z vetrnicami

- Samostojni sistemi: so namenjeni proizvodnji električne energije, pogosto so opremljeni z baterijami, tako da je raba trošil neodvisna od trenutne hitrosti vetra.



Slika 10: Vetrni generator pri Bostonu v ZDA (Foto: Kariž, 2006)

- Integrirani sistemi: so najpogosteje združeni z dizel agregati in omogočajo varčevanje fosilnih goriv in zmanjšanje emisij. Poleg tega niso potrebne baterije, ker se manjkajoča energija zagotovi z dizelskim generatorjem.
- Vetrne farme – elektrarne: predstavljajo večje število 40–60 merskih vetrnic z vodoravno osjo vrtenja. Teoretično lahko sodobna vetrna elektrarna pretvori največ 60 % energije vetra v električno energijo, v praksi pa le od 20 do 30 %. Moči vetrnih elektrarn se gibljejo od nekaj kW do nekaj MW.



Slika 11: Polje vetrnih elektrarn v Kaliforniji, ZDA (Foto: Kariž, 2006)

2.3.8 Vetrna energija v Sloveniji

V Sloveniji je izkoriščanje vetrne energije šele na začetku in energijo, pridobljeno na ta način, se izkorišča zelo malo. Zaenkrat so postavljene samo manjše vetrnice za proizvodnjo majhne količine električne energije na odročnih krajih. Te vetrnice proizvajajo elektriko samo za lastne potrebe. Tako imajo večino vseh vetrnih generatorjev v Sloveniji postavljenih za potrebe planinskih koč. Generatorje imajo pri Triglavskemu domu na Kredarici, pri Prešernovi koči na Stolu, pri Zoisovi koči na Kokrskem sedlu, pri Koči na Kamniškem sedlu in pri Domu Valentina Staniča. V Sloveniji se še vedno iščejo območja, ki bi bila primerna za postavitev vetrnih elektrarn.

Meritve vetrnega potenciala, ki se izvajajo od leta 1999, izvajata predvsem ARSO in Elektro Primorska d.d. Raziskave kažejo, da možnosti na področju energije vetra so. Predvsem je primerna prevetrenost v primorskem delu Slovenije, kjer je mogoča ekonomska, tehnološka in okoljsko smotrna umestitev vetrnih elektrarn (APE..., 2000).

Občina Vipava je v letu 1998 uspešno kandidirala v programu Evropske unije »Ecos Ouverture« in pridobila denarna sredstva za meritve energetskega potenciala. Na podlagi meritev so bile izbrane 4 lokacije, ki naj bi bile primerne za gradnjo vetrnih elektrarn Banjščice nad Novo Gorico, Gora oz. Sinji vrh nad Ajdovščino, Nanos nad Vipavo in Volovja Reber nad Ilirsko Bistrico. Vendar se vse te lokacije nahajajo znotraj že obstoječih ali predlaganih krajinskih ali regijskih parkov.

Načrte za gradnjo vetrnih elektrarn v Sloveniji ima podjetje Elektro Primorska d.d.. Že leta 1999 so postavili prvih 8 merilnih postaj in dobljene podatke označili kot poslovno skrivnost. Po obsežnih meritvah na merilnih stolpih, ki so jih opravili po Sloveniji, se je izkazalo, da je za izgradnjo vetrnih elektrarn primernih osem lokacij na Primorskem. Med njimi je Volovja reber na prvem in drugem mestu, zato naj bi tam močno vztrajali pri gradnji vetrne elektrarne. Ostale primerne lokacije so Golič, Volovja reber, Vremščica, Selivec in Kokoš (Peršolja, 2005).

Ministrstvo za okolje je za Volovjo reber sicer izdalo tudi delno gradbeno dovoljenje za 29 vetrnic, vendar naj bi le-to bilo sporno. Da bi družba Elektro Primorska, na podlagi veljavnega gradbenega dovoljenja lahko začela z gradnjo vetrnih elektrarn na Volovji rebri, a bi bilo tveganje iz gospodarskega vidika zanje preveliko, in bodo zato počakali do zaključka pravnih postopkov, je na novinarski konferenci septembra 2007 v Novi Gorici povedal predsednik uprave podjetja Julijan Fortunat. Pojasnil je tudi, da naj bi postavitev 29 turbin na Volovji rebri s skupno močjo 28 MW, ki bi lahko proizvedle 55 GW/h električne energije letno, stala okoli 1000 EUR/kW instalirane moči. Projekt je ekonomsko upravičen, vseeno pa bi bilo treba razmisliti o postavitvi močnejših turbin, saj je med dosedanjim dolgotrajnim postopkom, ki pa same gradnje ni podražil, tehnologija napredovala. Sam sistem vetrnih elektrarn naj bi z elektriko oskrboval 10.500 gospodinjstev (Dnevnik..., 2007).

Glede na tri do štiri odstotno letno rast porabe električne energije, naj bi Slovenija potrebovala vsaj 14000 MW instalirane moči pridobljene iz vetrne energije (Dnevnik..., 2007).

2.3.9 Izkoriščanje vetrne energije v Evropi in po svetu

Največji trgi z energijo vetra se nahajajo v Nemčiji, Španiji, Danski, Ameriki in Indiji. Okrog dve tretjini celotne svetovne proizvodnje vetrnih elektrarn je postavljenih v Evropi, v letu 2006 je moč postavljenih vetrnih elektrarn v Evropi znašala 48531 MW (EurObserv'ER..., 2007).

V svetu so se kapacitete za koriščenje vetra za proizvodnjo električne energije v zadnjih petih letih sunkovito povečale. Povprečna letna stopnja rasti je v tem obdobju znašala 15,8 %. V letu 2006 je inštalirana moč vetrnih elektrarn v svetu presegla 72628 MW (EurObserv'ER..., 2007).

Vetrna energija pokriva približno 20 % potreb po električni energiji na Danskem, 8 % v Španiji in 6 % v Nemčiji. Nov trg na področju energije vetra, ki se šele razvija, so vetrne elektrarne na morju. Izboljšave v tehnologiji izkoriščanja vetra pomenijo, da se bo uporaba vetrne energije večala, cena električne energije pridobljene na ta način pa naj bi se zmanjševala.

2.4 SEGREVANJE OZRAČJA IN KJOTSKI PROTOKOL

Glavni vzrok za segrevanje ozračja je povečanje emisij ogljikovega dioksida (CO_2) v zraku, skupaj s povečanjem vsebnosti metana (CH_4), dušikovih oksidov (NO) in v manjši meri hladilnih sredstev (freonov), ki povzročajo povečan učinek tople grede. Omenjeni plini se kopičijo v atmosferi in motijo toplotno preskrbo planeta, s tem ko delno preprečujejo toplotno sevanje v vesolje. Zemlja namreč del energije, ki jo prejme od sončne svetlobe, absorbira, del pa oddaja nazaj v vesolje. Nekaj te energije absorbirajo toplogredni plini v atmosferi in jo nato deloma oddajajo nazaj proti zemeljski površini, kar imenujemo "učinek tople grede". Podnebne spremembe imajo lahko ekološke, ekonomske, socialne in politične posledice. Zaradi rasti temperature ozračja nam ne bo samo bolj toplo, ampak se bo dvignila tudi gladina morja, kar bo najbolj prizadelo približno tretjino svetovnega prebivalstva, ki živi 60 km od obale, saj bo to neposredno ogrozilo njihov življenjski prostor. Zaradi višanja stopnje ogljikovega dioksida (CO_2) v ozračju bodo svetovni oceani postali bolj kisli, snežna odeja se bo še naprej krčila in nadaljevalo se bo taljenje ledenikov na Arktiki in Antarktiki. Povečala se bo pogostost ekstremnih vremenskih pojavov; predvsem zaradi spremenjenega splošnega kroženja zraka se bo povečala pogostost suš in po drugi strani tudi poplav. Podnebne spremembe ogrožajo gospodarstvo tako razvitih držav, kot držav v razvoju; povečalo se bo število ljudi, ki bodo trpeli zaradi pomanjkanja hrane, milijoni ljudi, predvsem v revnejših državah, pa bodo poleg hrane ostali tudi brez pitne vode. Vedno slabše splošne razmere in višje temperature bodo vzrok vedno večjega števila bolezni in epidemij.

Kjotski protokol je mednarodni sporazum, ki je namenjen zmanjšanju izpusta toplogrednih plinov v industrijskih državah. Plini, ki povzročajo učinek tople grede, sicer nastajajo po naravni poti, vendar nekatere človekove dejavnosti pripomorejo k povečanju ravni večine teh naravnih plinov. Zasnove za Kjotski protokol so nastale v mestu Kjoto leta 1997, vendar je protokol začel veljati šele z rusko ratifikacijo v februarju 2005. Da bi

zaustavili segrevanje ozračja, je sporazum sprejelo 141 držav sveta. Emisije držav, ki so sporazum podpisale, predstavljajo 61 % svetovnih emisij. V prvem ciljnem obdobju 2008–2012 bodo države, ki so protokol podpisale, skušale emisije zmanjšati za najmanj 5 % v primerjavi z letom 1990. Če ta cilj primerjamo s količino emisij, ki bi jih pričakovali za leto 2010 brez uresničevanja ciljev protokola, pomeni pravzaprav 29 % znižanje svetovnih toplogrednih emisij. Glavni cilj Kjotskega protokola je torej zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Ukrepi, ki so zapisani v protokolu, predvidevajo zmanjšanje uporabe premoga, kurilnega olja in zemeljskega plina, te vire energije pa naj bi nadomestili z do narave prijaznejšimi viri, med njimi tudi z energijo vetra. Zagovorniki Kjotskega protokola so prepričani, da predstavlja samo prvi korak k zmanjšanju učinkov tople grede in segrevanja ozračja, nasprotniki pa ga označujejo samo za način preselitve bogastva v države tretjega sveta, saj so ga podpisala samo razvite države, med katerimi pa ni Indije in Kitajske, dveh izmed največjih onesnaževalk. Spet drugi kot največjo pomanjkljivost Kjotskega protokola tudi navajajo, da ga niso podpisale Združene države Amerike, in da so zato njegovi cilji praktično nedosegljivi. Nekatere okoljevarstvene organizacije, kot je Greenpeace pa protokol zavračajo, ker menijo, da nima dovolj ambiciozno zastavljenih ciljev.

Največje onesnaževalke ozračja so pri ogljikovem dioksidu (CO_2) glavne industrijske države s približno 80 %, pri metanu (CH_4) pa so dežele v razvoju. Med največje onesnaževalke ozračja sodijo ZDA, Kitajska, Japonska, Indija, Južna Koreja in Avstralija, ki porabijo 48 % vse energije na svetu in v ozračje izpustijo 48 % vseh plinov. EU v ozračje spusti okoli 22 % toplogrednih plinov. Evropska energetska politika temelji na formuli 3 krat 20 do leta 2020. Torej na 20 % zmanjšanju emisij ogljikovega dioksida (CO_2), 20 % zmanjšanju porabe primarne energije in 20 % povečanju deleža obnovljivih virov v celotni oskrbi v Evropski uniji (RTV..., 2007).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 PRIDOBITEV MERITEV

Da ugotovimo, ali je določeno območje primerno za postavitev vetrnega sistema, moramo na tem območju izvajati meritve. Za pridobitev meritev smo imeli kar nekaj težav. Najprej smo za meritve zaprosili na Elektro Primorska d.d., kjer meritve izvajajo prav zaradi namena gradnje vetrnih elektrarn. Vendar je to v zadnjem času občutljiva tema, tako da do teh podatkov nismo prišli. Med brskanjem po internetu in prelistavanju razne literature na temo vetra in vetrnih elektrarn, smo nato naleteli na diplomsko nalogo Lozej Radovana (2005): Izbira primerne vetrne turbine za razmere na Primorskem. Iz te diplomske naloge smo na podlagi rezultatov izbrali eno od domnevno najugodnejših lokacij in sicer meritve so se izvajale na lokaciji Letališča Ajdovščina. Za ustrezne podatke smo se nato obrnili na Agencijo RS za okolje. Meritve vetrnega potenciala za leto 1987, nam je z njihove strani posredoval Renato Bertalanič.

3.2 OPIS LOKACIJE

Modelna kmetija se nahaja na obrobju Ajdovščine. Ajdovščina je gospodarsko in kulturno središče Vipavske doline, ki leži na zahodnem delu Slovenije, v bližini državne meje z Italijo. Območje je reliefno precej razgibano, ravno le na prvi pogled. Dolino s treh strani obdajajo hribovja: Trnovska planota, Nanoška planota, Hrušica in Vipavski griči. Posebnost in značilnost Vipavske doline je burja. Burja piha najmočneje, ko se jesen prevesi v zimo, ko se nad Jadranom zadržuje območje toplega zraku in s tem nizkega zračnega pritiska, nad notranjostjo pa območje mrzlega zraka in s tem visokega zračnega pritiska. V dolgoletnem povprečju piha zmerna do močna burja kar 42 dni na leto. Povprečna hitrost burje je 80 km/h, pozimi pa lahko njeni najmočnejši sunki presegajo hitrost 180 km/h. Burja pa je lahko močna tudi spomladi in celo poleti, posebej takrat, ko pride do hitrih ohladitev zraka za planotami severno nad dolino. Hladen zrak se zajezi za pregradami, ki jih premaguje v valovih. Valovi hladnega zraka se spustijo po pobočjih in se ob tem močno ogrejejo. Zaradi kratke in strme poti porabi zrak vso prejeta energijo za lastno ogrevanje, kar povzroči veliko razširitev spuščajočega se zraka, to svojevrstno eksplozijo čutimo kot sunek burje. Vipavska dolina je odprta proti zahodu, od koder vanjo prodirajo močni vplivi sredozemskega podnebja, zaradi tega je vegetacijska doba za dva meseca daljša kot v osrednji Sloveniji. Med kmetijskimi dejavnostmi je najpomembnejše vinogradništvo.



Slika 12: Pogled na Ajdovščino iz zraka (Slovenska..., 2008)

3.3 PREDNOSTI IN SLABOSTI IZKORIŠČANJA VETRNE ENERGIJE

Prednosti uporabe vetrne energije so (Medved in Novak, 2000):

- čista energija brez odpadkov ali nevarnih kemičnih snovi;
- hitra gradnja;
- pridobivanje energije je neodvisno od vode in je ne porablja;
- nizki stroški obratovanja;
- veriga vetrnic bi ustavila hude vetrove, izsuševanje bi se zmanjšalo, letine bi bile obilnejše.

Slabosti uporabe vetrne energije so (Medved in Novak, 2000):

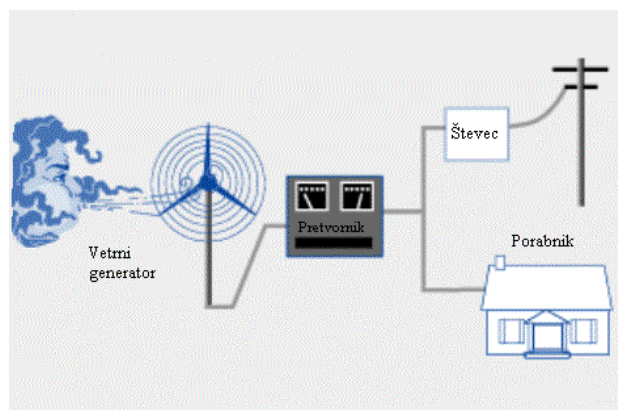
- nizke povprečne hitrosti vetra, nestalen veter (v Sloveniji);
- šum oz. hrupnost rotorjev;
- vetrnice motijo krajinsko podobo;
- nevarnost za ptice – vrteči listi lahko povzročijo razpršitev elektromagnetnih signalov, ter poslabšanje televizijskega sprejema;
- vodna para ne sme zmrzovati na listih rotorja, saj so leteči deli odlomljenega ledu nevarni.

3.3.1 Zakaj bi na kmetiji uporabljali vetrno energijo

Energijo ljudje preprosto želimo imeti zaradi tistega, kar nam omogoča; ogrevanje, hlajenje, kuhanje, razsvetljava, gibljivost, pogonsko moč, itd. Poraba električne energije v svetu stalno narašča in cena električne energije postaja vse višja. Ravno tako narašča cena električne energije zaradi zmanjševanja količin neobnovljivih virov energije. Čedalje bolj se zatekamo k uporabi alternativnih virov energije, ki so ekološko sprejemljivejši in seveda neizčrpani. Na kmetijskem področju prihaja do razvoja vedno novih strojev na električni pogon, tako da naj bi bilo ročnega dela čim manj. Seveda z uporabo vseh teh strojev na električni pogon raste tudi poraba električne energije. Vetrna energija je ena od najcenejših oblik pridobivanja energije iz obnovljivih virov energije, kjer izkoriščamo naravne danosti pihanja vetrov. Tako lahko sklepamo, da pri uporabi vetrne energije lahko tudi varčujemo.

3.4 MODEL KMETIJE

Analizirali bomo uporabo vetrne energije na kmetiji, kjer se ukvarjajo z živinorejo, z vzrejo ca. 35-ih bikov za meso. Gre za srednje veliko kmetijo, ki jo uvrščamo med čiste kmetije, in vsi družinski člani se preživljajo izključno s kmetijstvom. Kmetija razpolaga s 25 ha obdelovalne površine, 10 ha gozdne površine in z 2 ha vinograda. Sistem vetrnega generatorja naj bi uporabljali kot energetski vir za celotno kmetijo. Električno energijo koristimo neposredno, torej električno energijo s pomočjo pretvornika pretvorimo na izmenično električno napetost 220 V in na posreden način, pri katerem električno energijo, ki je ne uspemo porabiti, oddajamo v javno omrežje (glej sliko 13). Na kmetiji letno porabijo ca. 5628,1 kWh električne energije.



Slika 13: Prikaz proizvodnje in koriščenja električne energije (Rise..., 2008)

3.5 IZBIRA VETRNEGA GENERATORJA

Na podlagi izračunov se za potrebe modelne kmetije odločimo za postavitve vetrnega generatorja v moči 6 kW. Vendar, ker so manjši vetrni generatorji cenovno ugodnejši, se odločimo za postavitve dveh manjših vetrnih generatorjev v skupni moči 6 kW. In sicer se odločimo za postavitve dveh vetrnih generatorjev model Whisper 500, moči 3 kW. Vetrni generator ima dvokrako vetrnico. Premer rotorja je 4,6 m. Za postavitve enega vetrnega generatorja potrebujemo prostor velikosti 16 m². Vetrnica začne obratovati pri 3 m/s, vrhunec pa doseže pri 12 m/s. Stolp meri v višino 13 m.



Slika 14: Vetrni generator Whisper 500 (Eta..., 2007)

3.5.1.1 Postavitev vetrnega generatorja

Glede na ugodne meritve izberemo kraj, ki je dobro prevetren in dovolj oddaljen od dreves in ostalih zračnih ovir. Prepričati se moramo, da je teren, na katerem nameravamo zgraditi vetrni generator, dovolj trden, da se kasneje ne bo sesedal. Ko se odločimo za postavitev vetrnega generatorja, najprej izkopljemo jarek za temelj in pričnemo z njegovo izgradnjo. Na temelj namestimo steber, na katerega namestimo ohišje elektrarne z rotorjem in lopaticami. Ob gradnji moramo položiti cevi, da zagotovimo električno povezavo do hiše in hleva. Ravno tako pa moramo zagotoviti povezavo z električnim omrežjem.



Slika 15: Izgradnja temelja za vetrni generator (Aeolus Power, 2007)

3.6 METODE DELA

Za analizo uporabe vetrne energije v kmetijstvu smo izbrali modelno kmetijo, ki se nahaja v kraju Ajdovščina. Na osnovi meritev Agencije Republike Slovenije za okolje in ob upoštevanju strokovne literature s področja obnovljivih virov energije smo za pridobivanje električne energije na tej kmetiji izbrali dva vetrna generatorja Whisper 500, s skupno močjo 6 kW. Na podlagi meritev in porabe električne energije na modelni kmetiji smo predpostavljali, da naj bi bila uporaba vetrne energije na izbrani lokaciji smotna.

- Izračun letne proizvodnje oz. pridobljeno energijo iz vetrnega generatorja določimo po naslednjem postopku:
 - določimo časovno porazdelitev hitrosti vetra v letu v izbranih hitrostnih področjih; to je zmnožek porazdelitve hitrosti vetra v izbranem hitrostnem področju (npr. 0–1, 1–2, 2–3 m/s, itd.) in števila ur v letu (npr. 4340 h/letno);
 - na osnovi karakteristike vetrnice določimo moč vetrnice pri hitrosti, ki odgovarjajo srednji hitrosti v izbranih hitrostnih področjih; karakteristika vetrnice ima nekaj značilnih podatkov, ki smo jih upoštevali. In sicer: vklopno hitrost vetra, pri kateri vetrnica začne delovati; imensko moč vetrnice pri imenski hitrosti vetra; izklopno hitrost vetra, to je hitrost vetra, pri kateri liste rotorja ali vetrnico zamaknemo tako, da rotor miruje; področje enakomerne moči, ki jo vzdržujemo s spreminjanjem odstopnega kota vetra na lopatice – moč vetrnice je med imensko in izklopno hitrostjo vetra enakomerna;
 - količino proizvedene energije dobimo iz zmnožka pogostosti hitrosti vetra v posameznem hitrostnem področju v letu in moči vetrnice iz karakteristične krivulje turbine.
- Za določitev smiselnosti postavitve sistema, nas zanima tudi izkoriščenost turbine, ki jo izračunamo po naslednji enačbi:

$$\eta = \frac{\text{letno proizvedena energija}}{(\text{št.ur v letu} \cdot \text{imenska moč turbine})} \quad \dots(10)$$

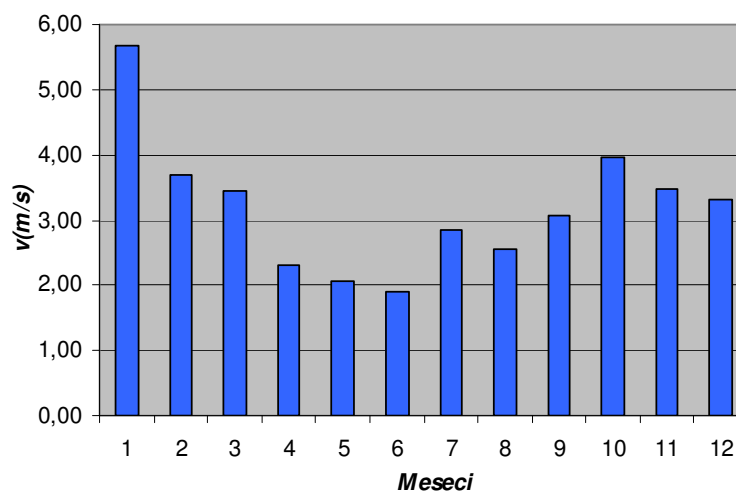
- Na podlagi mesečne proizvodnje in mesečne porabe si za obdobje enega leta izračunamo presežek in primanjkljaj električne energije, ki nastaneta zaradi neuskrajene mesečne proizvodnje in porabe. Presežek energije prodamo v javno omrežje, primanjkljaj energije pa dokupimo od dobavitelja.
- Glede na ceno postavitve vetrnega sistema si izračunamo amortizacijo in jo prištejemo k nastalim stroškom zaradi primanjkljaja energije in stroškom vzdrževanja vetrnega sistema. Na podlagi nadaljnjih izračunov določimo smiselnost uporabe vetrne energije v kmetijstvu oz. v kakšnem času se nam naložba povrne.

Na primeru modelne kmetije smo s pomočjo izračunov poskušali prikazati možnost vključitve vetrne energije kot ene izmed možnosti vključitve obnovljivih virov, ki so predvsem z vidika varstva okolja sprejemljivejši od uporabe neobnovljivih virov energije.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

• Meritve na Letališču Ajdovščina:

- Ocenjena hrapavost: razred 3 – hrapava dolžina 0,4 m (iz preglednice 1).
- Povprečna hitrost vetra po mesecih (grafično prikazano v sliki 16).



Slika 16: Povprečna hitrost vetra po posameznih mesecih v letu 1987 (ARSO..., 2007)

- Letna povprečna hitrost vetra znaša 4,19 m/s.

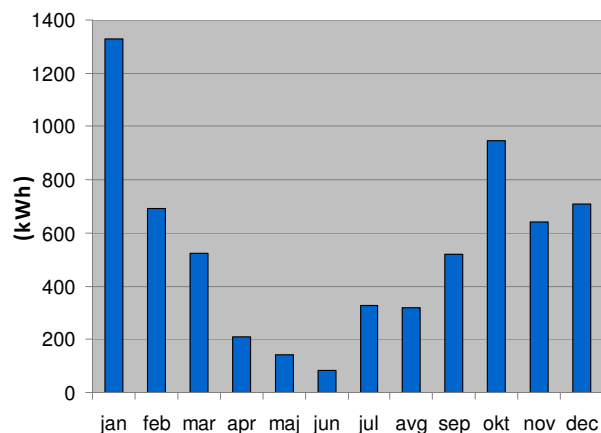
- Izračun letne proizvodnje:

Preglednica 2: Izračun letne proizvodnje

Hitrost vetra (m/s)	Pogostost hitrosti (ur/leto)	Krivulja turbine (W)	Proizvedena energija (Wh)
0	36	0	0
1	2613	0	0
2	1772	0	0
3	991	20	19820
4	980	170	166600
5	568	450	255600
6	288	720	207360
7	293	1240	363320
8	168	1960	329280
9	193	2770	534610
10	124	3640	451360
11	139	4440	617160
12	137	5330	730210
13	119	5840	694960
14	54	6180	333720
15	53	6190	328070
16	48	6180	296640
17	42	6190	259980
18	29	6200	179800
19	42	6100	256200
20	20	5940	118800
21	24	5920	142080
22	18	5900	106200
23	6	5800	34800
24	3	5750	17250
25	1	5700	5700
V letu proizvedeno			6449520 Wh oz. 6449,5 kWh

- Obratovanje je število ur med vključitvijo in izključitveno hitrostjo in v našem primeru znaša 4340 h/leto.
- Izkoriščenost turbine nam pove, koliko je turbina izkoriščena glede na primer, ko ves čas obratuje s polno močjo, in v danem primeru znaša 24,8 %.

- Letni prikaz proizvodnje in porabe električne energije:



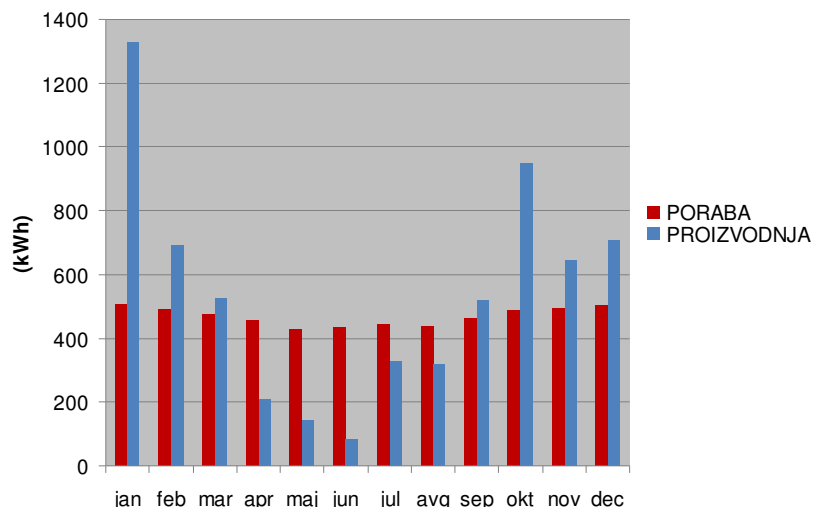
Slika 17: Prikaz proizvodnje po mesecih

Preglednica 3: Prikaz letne proizvodnje in porabe električne energije po mesecih

Mesec	Mesečna proizvodnja električne energije (kWh)	Mesečna poraba električne energije na kmetiji (kWh)	Razlika med proizvodnjo in porabo električne energije (kWh)
Januar	1329	507,9	821,13
Februar	692	491	200,88
Marec	525	475,2	49,7
April	211	456,4	-245,8
Maj	144	429,7	-286
Junij	84,5	435,6	-351,1
Julij	328	443,5	-115,4
Avgust	318	438,6	-121
September	520	464,3	55,9
Oktober	948	487,1	460,54
November	643	496	146,52
December	709	502,9	205,95
SKUPAJ (kWh)	6449,5	5628	821,37

Letno proizvedemo ca. 6450 kWh, porabimo pa ca. 5628 kWh. Razlika med proizvedeno in porabljeno električno energijo znaša ca. 821,37 kWh. Pozorni pa moramo biti tudi na časovni razpored presežka oziroma primanjkljaja električne energije (grafično prikazano na sliki 18). Presežek proizvodnje se nam pojavi med septembrom in marcem ter znaša ca. 1940,6 kWh. Med aprilom in avgustom pa imamo ca. 1119,2 kWh primanjkljaja električne energije. Ker energije ne moremo shranjevati, presežek oddajamo v sistem javnega

omrežja, ravno tako pa od javnega omrežja odkupujemo električno energijo v primeru primankljaja.



Slika 18: Letni prikaz mesečne proizvodnje in porabe

Za prodajo električne energije moramo imeti status kvalificiranega proizvajalca električne energije, ki ga lahko pridobijo elektrarne na obnovljive vire energije. Postopek je relativno zapleten in dolgotrajen. Na osnovi predložene vloge ga podeli Ministrstvo za gospodarstvo. Odkupna cena za vetrno elektrarno do vključno 1 MW je enotna in znaša 0,06072 EUR/kWh (Sklep..., 2006). Enotne letne cene in enotne letne premije za električno energijo od kvalificiranih proizvajalcev določi vsaj enkrat letno Vlada Republike Slovenije. Kvalificirani proizvajalec prodaja proizvedeno električno energijo po določeni ceni sistemskemu operaterju javnega omrežja, na katerega je priključen. S prodajo električne energije zaradi presežka proizvodnje v obdobju med septembrom in marcem pridobimo cca. 118 EUR.

Cena električne energije enotarifnega merjenja električne energije znaša 0,10450 EUR/kWh. (Elektro..., 2008). Zaradi primanjkljaja v proizvodnji energije v obdobju med aprilom in avgustom letno za nakup električne energije porabimo ca. 162 EUR.

Da bi zadostili potrebam po električni energiji, moramo za to doplačati ca. 44 EUR na leto (strošek A).

Zanemariti seveda ne smemo tudi stroškov vzdrževanja in amortizacije. Cena sistema za vetrni generator WHI 500 z močjo 3000 W znaša po podatkih s spleta ca. 6500 EUR (Energy alternatives, 2008). Torej stroški nakupa dveh vetrnih generatorjev znašajo 13000 EUR. Okoli 1000 EUR pa namenimo še gradbenim delom, če predpostavljamo, da večino potrebnega dela izvedemo sami. Torej skupni stroški nakupa in postavitve vetrnice znašajo ca. 14000 EUR. Ob predpostavki, da je življenjska doba vetrnega generatorja 25 let, znaša letni strošek amortizacije (ob predpostavljeni letni amortizacijski stopnji 4 %) 560 EUR (strošek B).

Strošek vzdrževanja znaša 0,01 EUR na proizvedeno kWh oz. 64,5 EUR na leto (strošek C).

Skupni stroški na letni ravni tako znašajo (A+B+C) ca. 668,5 EUR.

V primeru, da bi celotno porabljeno energijo kupovali pri ponudniku električne energije, bi letni strošek znašal ca. 700 EUR glede na cenik (Elektro..., 2008). Pri nakupu energije iz omrežja je namreč potrebno upoštevati tudi t.i. stalni mesečni prispevek za moč, ki ga obračunavajo ponudniki (Elektro..., 2008).

Razlika med predvidenimi stroški v primeru pridobivanja energije iz vetrnega generatorja (668,5 EUR) in v primeru nabave energije pri javnem ponudniku (700 EUR) znaša ca. 31,5 EUR.

Zgornja razlika se pojavi na račun predpostavljene stopnje amortizacije. V kolikor bi predvideni letni znesek za amortizacijo povečali za 31,5 EUR (iz 560 na 591,5 EUR) bi se nam investicija povrnila v 23 letih in osmih mesecih. S prijavo za subvencije (subvencije pri Agenciji za učinkovito rabo energije, javni razpisi za kreditiranje okoljskih naložb pri Eko skladu, projekt Inteligentna energija za Evropo), ki se razpisujejo za alternativne vire energije, lahko naše stroške še zmanjšamo in si tako investicijo povrnemo v krajšem času.

5 SKLEPI

Namen diplomske naloge je bil predstaviti uporabo vetrne energije na izbrani modelni kmetiji. Dandanes je zelo pomembno, da izrabljamo čim manj električne energije in tako pripomoremo k manjšemu onesnaževanju našega planeta. Vetrna energija in na sploh raba obnovljivih virov je premalo izkoriščena. Hkrati se premalo zavedamo, da raba obnovljivih virov energije prispeva k naravi bolj prijaznejšemu kmetovanju in bivanju nasploh.

Glavni cilj je bil prikazati upravičenost uporabe vetrne energije na kmetiji. Iz raziskav lahko sklepamo:

- z vetrno energijo lahko nadomestimo rabo neobnovljivih virov energije;
- vetrna energija je okolju prijazna energija, zato bi bilo koristno, če bi veter pogosteje izkoriščali. Tako bi prispevali k manjšemu onesnaževanju okolja;
- uporaba vetrne energije je smotrna na območjih, kjer je prisotna dobra prevetrenost, torej tam, kjer ima veter primerno moč in stalnost;
- za postavitev vetrnega generatorja se odločimo šele na podlagi ugodnih meritev vetrnega potenciala;
- naložba v vetrno energijo se je pri naši modelni kmetiji izkazala kot pozitivna, kajti za celotno investicijo namenimo ca. 15000 EUR in po izračunih se nam naložba povrne v 23 letih in osmih mesecih. Izračun je narejen ob predpostavki, da v tem času nimamo nobenih dodatnih nepredvidenih stroškov povezanih s sistemom;
- po študiji sveta za energijo – WEC, naj bi se povpraševanje po energiji do leta 2050 podvojilo, tako da naj bi se cene električne energije znatno povišale (VTS..., 2007). S postavitvijo vetrnega generatorja smo manj odvisni od razmer na električnem trgu, saj energijo proizvajamo sami;
- dejstvo je, da z uporabo vetrne energije na način, kot smo ga obravnavali, ne moremo ravno obogateti, lahko pa na splošno pripomoremo k racionalnejši rabi električne energije, saj energijo pridobivamo iz obnovljivih virov energije;
- uporabo vetrne energije na kmetiji bi lahko kombinirali z uporabo fotovoltaike. Ugotovili smo namreč, da so vetrne razmere ugodne predvsem v zimskem času, v poletnem času pa nam električne energije primanjkuje. Pri fotovoltaiki pa je ravno obratno – v poletnem času je sonca v izobilju, medtem ko imamo v zimskem času precej manj sončnega obsevanja;
- glede na to, da se v obdobju od septembra pa do marca pojavijo presežki električne energije, bi jih lahko boljše unovčili z morebitno dopolnilno dejavnostjo na kmetiji, ki je vezana na (povečano) porabo električne energije v tem obdobju (npr. vzgoja balkonskega cvetja, vzgoja vrtnin);

- v Sloveniji je raba vetrne energije v kmetijstvu zelo, zelo redka in število postavljenih vetrnih generatorjev sploh ni poznano. Nekaj vetrnih generatorjev je postavljenih bolj v odročnih krajih, ob planinskih postojankah, medtem ko vetrnih farm še nimamo. Verjetno bi lahko država z vzpodbujanjem s pomočjo subvencij pripomogla k večji proizvodnji vetrne energije. Dejstvo pa je, da v Sloveniji nimamo posebno ugodnih lokacij, na katerih bi se proizvodnja res izplačala. Poleg tega je sama gradnja teh elektrarn ekološko vprašljiva;
- že glede na to, da je raba vetrnih sistemov v Sloveniji minimalna, lahko sklepamo, da to ni ravno najbolj dobičkonosna panoga znotraj obnovljivih virov energije. V Sloveniji je znotraj OVE največ prihodnosti, poleg vode v biomasi.

Dobra stran uporabe vetrnega generatorja je, da ga lahko postavimo v zelo kratkem času in da imamo pri nadaljnjem koriščenju nizke stroške obratovanja. Torej v našem primeru lahko teoretično potrdimo, da naj bi se naložba v vetrno energijo obrestovala, vendar pri tem ne smemo pozabiti, da je lokacija modelne kmetije na dobro prevetreni legi.

6 POVZETEK

V Sloveniji in v svetu se vedno bolj zavzemamo za zmanjševanje onesnaževanja, kajti zavedamo se, da so podnebne spremembe resna grožnja našemu planetu. Slovenija se je s podpisom Kjotskega protokola obvezala, da bo del fosilnih energentov zamenjala z večjo rabo obnovljivih virov energije. Eden izmed obnovljivih virov energije je tudi izraba vetra za proizvodnjo električne energije.

Namen diplomske naloge je bil predstaviti in preučiti smiselnost uporabe vetrne energije na izbrani, modelni kmetiji.

Modelna kmetija se nahaja na območju Vipavske doline, natančneje na obrobju Ajdovščine. Na severu Vipavsko dolino obdajajo gorata pobočja Čavna in Nanosa, na južni strani pa nižji hribi. Dolina ima ugodno lego za razvoj kmetijstva, tako da je v Vipavski dolini veliko kmetijskih zemljišč, ima pa tudi kar nekaj naselij in predvsem na obrobju veliko gozdov.

Posebnost Vipavske doline je burja. Burja piha najmočneje v zimskem času. V povprečju piha burja kar 42 dni na leto. Povprečna hitrost burje je 80 km/h, pozimi pa lahko sunki presegajo hitrost 180 km/h. Burja na svojstven način kroji družbene in kulturne razmere v dolini. Pri pridobivanju energije je burja velikokrat nekoristen veter, kajti ob premočnem vetru se vetrni generator izklopi, zaradi možnih mehanskih poškodb. Vetrni generatorji z vodoravno osjo vrtenja pričnejo izrabljati veter pri začetni hitrosti vetra med 3 in 4 m/s. Delujejo pa do končne hitrosti, med 20 in 25 m/s, ko se zaradi premočne obremenitve izklopijo.

V našem primeru smo najprej preučili meritve vetra, šele nato smo se, glede na porabo modelne kmetije, odločili za primeren vetrni generator. Zaradi cenovne ugodnosti smo izbrali dva manjša vetrna generatorja, model Whisper 500 v skupni moči 6 kW.

Z izračuni smo dokazali upravičenost uporabe vetrne energije na modelni kmetiji. Vetrni sistem naj bi imel življenjsko dobo do 25 let in po naših izračunih se nam naložba povrne v 23 letih in osmih mesecih.

Odločitev kmeta, da bi na svojem posestvu imel svojo mini elektrarno, je predvsem odvisna od potenciala vetra, finančnih zmožnosti in od zemljišča, ki ga imamo na voljo. Zelo pomembno je, da je na možni lokaciji postavitve prisoten stalen veter. Torej vetrni generator ne moremo postaviti na vsaki kmetiji, to je smotrno samo tam, kjer lahko na podlagi meritev izračunamo pozitivne donose.

Medtem, ko izkoriščanje vetrne energije v svetu naglo raste, je v Sloveniji raba šele na začetku. Trenutno vetrno energijo v Sloveniji izrabljajo samo nekateri posamezniki. Pričakovati je, da se bo tudi v Sloveniji na tem področju nekaj premaknilo. Poleg tega, da naj bi kmalu dobili prvo vetrno elektrarno, obstaja možnost, da se bo z boljšim ozaveščanjem rabe obnovljivih virov uporaba vetrne energije povečala tudi med samostojnimi uporabniki doma in v kmetijstvu.

7 VIRI

- Aeolus power. 2007.
<http://www.aeoluspower.co.uk> (december 2007).
- APE – Agencija za prestrukturiranje energetike. 2000. Vključitev elektrarn na veter na področju Primorske v dolgoročni družbeni plan RS.
<http://www.ape.si/> (december 2008).
- ARSO – Agencija RS za okolje. 2007.
<http://www.arso.gov.si> (avgust 2007).
- Danish wind industry association. 2008.
<http://www.windpower.org/en/tour/wres/globwin.htm> (januar 2008).
- Dnevnik Mladina. 2007.
<http://www.mladina.si/dnevnik/105690/> (december 2007).
- Elektro Primorska.d.d. 2008.
<http://www.elektro-primorska.si/> (januar 2008).
- Energetika – spletni učbenik. 2005. Maribor, Oddelek za tehniko, Pedagoška fakulteta.
<http://164.8.13.140/projekti/energetika%2005/index.html> (december 2007).
- Energy alternatives. 2008.
<http://www.energyalternatives.ca/catalogue/Categories/130.htm> (januar 2008).
- ETA engeneering. 2007.
<http://www.etaengineering.com/windpower/w500.shtml> (december 2007).
- EurObserv'ER. 2007. Stanje obnovljivih virov energije v Evropski uniji – barometer vetrne energije.
http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro177.pdf
(december 2007).
- Fakulteta za strojništvo. 2007.
<http://www.ee.uni-lj.si/OVE/seminarji/seminar6.htm> (november 2007).
- Kajfež-Bogataj L. 1997. Obnovljivi viri energije: Veter. Gea, 7, 4:84–85
- Kajfež-Bogataj L., Bergant K. 1997. Možnost izkoriščanja energije vetra v Sloveniji. Sodobno kmetijstvo, 30, 9: 374–377
- Kralj P. 1999. Geotermalna energija: islandske in slovenske izkušnje. Ljubljana, Ministrstvo za znanost in tehnologijo:174 str.

- Lozej R. 2005. Izbira primerne vetrne turbine za razmere na Primorskem. Dipl. delo. Nova Gorica, Politehnika Nova Gorica: 47 str.
- Malovrh M., Oberžan D., Pogačnik J., Šijanec-Zavrl M., Repič P. 1999. Splošno o energiji, Ljubljana, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija RS za učinkovito rabo energije: 4 str.
<http://www.aure.si> (januar 2008).
- Medved S., Novak P. 2000. Varstvo okolja in obnovljivi viri energije. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo: 231 str.
- Mikelj Š., 2006. Izkoriščanje vetra v SV Sloveniji nekoč in danes – vpliv na vidne kakovosti okolja. Dipl. delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 105 str.
- Nardin M. 2004. Veter – energija prihodnosti – vetrne turbine. Tehniški šolski center Nova Gorica: 29 str.
www.fiz.uni-lj.si/~zgonik/ModernaFizika/SEMINARJI/VETRNE%20TURBINE.doc
(december 2007).
- Nemac F., Pipan M., Pogačnik J., Beravs F. 1999c. Veter. Obnovljivi viri energije. Ljubljana, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija RS za učinkovito rabo energije: 2 str.
<http://www.aure.si> (december 2007).
- Novak P., Medved S. 2000. Energija in okolje: Izbira virov in tehnologij za manjše obremenjevanje okolja. Zbirka usklajeno in sonaravno št. 5. Ljubljana, Svet za varstvo okolja Republike Slovenije: 80 str.
- Osnovna šola Sava Kladnika Sevnica.
<http://www.ossevnica.si/> (december 2008).
- Peršolja K. 2005. Vetrna energija. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo: 19 str.
<http://www.fs.uni-lj.si/los/euprojekti/RES-e%20Regions/knjiznica/Seminar%201/Karlo%20Persolja.pdf> (januar 2008).
- Rise – Research Institute for Sustainable Energy.2008.
<http://www.rise.org.au/info/Applic/Gridconnect/index.html> (januar 2008).
- RTV Slovenija. 2007. Kjotski protokol in segrevanje ozračja
http://www.rtv slo.si/modload.php?&c_mod=rnews&op=story&func=read&c_id=136
(December 2007).
- Slovenska turistična organizacija. 2008.
<http://www.slovenia.info/> (januar 2008).
- Slovensko izobraževalno omrežje. 2007.
<http://ro.zrsss.si/> (november 2007).

VTS – Vetrne turbine Slovenija. 2007.

<http://www.slog.net/vts/> (december 2007).

Sklep o cenah in premijah za odkup električne energije od kvalificiranih proizvajalcev električne energije. Ur. l. RS, št. 75/06

Zekić A., Novak J. 2002. Vetrne turbine z vertikalno gredjo. EGES, 6, 3: 110–112

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, prof. dr. Rajku Berniku za obilo vzpodbud in veliko pomoč.

Posebna zahvala za neizmerljivo podporo pa je namenjena mojim najbližjim.

Hvala vsem!