

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Erik BOGATAJ

**IZBIRA VETRNICE ZA PRIDOBIVANJE
ELEKTRIČNE ENERGIJE V ALPSKEM PROSTORU
IN NJENA UPORABA NA PAŠNIH PLANINAH**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Erik BOGATAJ

**IZBIRA VETRNICE ZA PRIDOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE
V ALPSKEM PROSTORU IN NJENA UPORABA NA PAŠNIH
PLANINAH**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**THE CHOICE OF WIND TURBINES FOR POWER GENERATION IN
ALPINE SPACE AND ITS USE ON GRAZING PASTURES**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2013

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija Agronomija in hortikultura.

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Franc BATIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Rajko BERNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Zalika ČREPINŠEK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Erik Bogataj

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Vs
- DK UDK 621.311.245:633.2(043.2)
- KG pašne planine/ veter/energija vetra/vetni generator/Slovenija
- AV BOGATAJ, Erik
- SA BERNIK, Rajko (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- LI 2013
- IN IZBIRA VETRNIC ZA PRIDOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE V ALPSKEM PROSTORU IN NJENA UPORABA NA PAŠNIH PLANINAH
- TD Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij)
- OP IX, 43 str., 16 pregl., 27 sl., 37 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Obravnavana je možnost izkoriščanja vetra za pridobivanje električne energije na pašnih planinah v Sloveniji. Tam praviloma ni na voljo električne energije iz omrežja, hitrost vetra pa je na večjih nadmorskih višinah večja kot v nižinah. Poleti, ko so planine naseljene, bi lahko električno energijo pridobivali z malimi vetrnicami, ki niso zelo drage in ne zahtevajo velikih stroškov postavitve. Analizirali smo vetrovni potencial za šest višje ležečih lokacij v Sloveniji (Rateče, Kredarica, Rudno polje, Krvavec, Rogla in Lisca). Primerjali smo hitrost in smer vetra ter letne in dnevne hode. Obravnavali smo tri tipe vetrnih generatorjev in sicer tipe AIR X, Whisper 100 in Whisper 200, ki jih proizvaja podjetje Southwest Windpower iz ZDA. Izračunali smo, da največ energije na vseh lokacijah pridobi tip vetrnice Whisper 200, najmanj pa tip AIR X. Ugotovili smo, da ima okolica merilnega mesta velik vpliv na smer in hitrost vetra. Največ energije se lahko pridobi na Kredarici, kjer so tudi največje hitrosti vetra. Najmanj uspešno pridobivanje energije vetra je v Ratečah, kjer na primer pri tipu Whisper 200 v povprečju pridobimo v letu tristokrat manj energije kot na Kredarici. Slab izkoristek vetra je tudi na Rudnem polju. Ti dve lokaciji nista primerni za pridobivanje energije iz vetra. Po uspešnosti sledijo Lisca, Rogla in Krvavec. Na Krvavcu letno dobimo do 60 % energije, ki jo dobimo na Kredarici. Ugotovili smo, da se postavev tipa vetrnice AIR X ne izplača, saj proizvede premalo električne energije za pokrivanje potreb na pašni planini. Vprašljiva je tudi postavitev tipa Whisper 100, zato v poštev pride le tip vetrnice Whisper 200.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Vs
- DC UDC 621.311.245:633.2(043.2)
- CX grazing meadows/ wind/wind energy/wind turbine/Slovenia
- AU BOGATAJ, Erik
- AA BERNIK, Rajko (supervisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
- PY 2013
- TY THE CHOICE OF WIND TURBINES FOR POWER GENERATION IN ALPINE SPACE AND ITS USE ON GRAZING PASTURES
- DT Graduation thesis (Higher professional studies)
- NO IX, 43 p., 16 tab., 27 fig., 37 ref.
- LA sl
- Al sl/en
- AB The possibility of exploitation of the wind to generate electricity on the grazing pastures on the mountains of Slovenia is discussed. As a rule, there is no available electricity from the grid but wind speed is at higher altitudes greater than in the lowlands. In the summer, when the mountains are occupied, power could be gained with small windturbines, which are not expensive and do not require a large cost of installing. We have analyzed the wind potential of the six higher altitude sites in Slovenia (Rateče, Kredarica, Rudno polje, Rogla, Krvavec, Lisca). We compared the speed and direction of wind on monthly and daily scale. We discuss three types of wind generators: AIR X, Whisper 100 and Whisper 200, manufactured by Southwest Windpower from USA. We estimate that most of the energy from the wind turbines in all locations provides the type Whisper 200, but the least AIR X type. The surrounding area has a considerable impact on the direction and on the speed of the wind. Most of the energy can be obtained at Kredarica, with the highest wind speeds. The least successful site for getting wind power is at Rateče and poor utilization of wind is also at Rudno polje. Regarding the performance, Rogla and Krvavec Lisca follow. At Krvavec only up to 60 % of energy is obtained compared to Kredarica. We have found that AIR X does not produce enough electricity to meet the needs of equipment of grazing pastures on the mountains. Whisper100 is also debatable, so only Whisper 200 is suitable for power generation at these circumstances.

KAZALO VSEBINE

	Str.
Ključna dokumentacijska informacija	II
Key words documentation	III
Kazalo vsebine	IV
Kazalo preglednic	VI
Kazalo slik	VII
Okrajšave in simboli	IX
1 UVOD	1
1.1 POVOD ZA RAZISKAVO	1
1.2 DELOVNA HIPOTEZA	1
1.3 NAMEN RAZISKA VE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 UPORABA VETRNE ENERGIJE V KMETIJSTVU	2
2.1.1 Pašne planine v Sloveniji	2
2.1.2 Vetrna energija in kmetijstvo	3
2.2 ZNAČILNOSTI VETRA	4
2.2.1 Meritve vetra	5
2.2.2 Veter v Sloveniji	5
2.2.3 Vetrovni potencial v Evropi in v Sloveniji	8
2.3 ENERGIJA VETRA IN NJEN IZKORISTEK	10
2.3.1 Energija vetra	10
2.3.2 Koeficient izkoristka vetrne turbine	11
2.4 ZNAČINOSTI DELOVANJA VETRNIH ELEKTRARN	12
2.4.1 Delitev vetrnic	12
2.4.2 Zgradba vetrne turbine	13
2.4.3 Obratovalne karakteristike vetrnic	16
2.5 RABA VETRNE ENERGIJE	17
2.5.1 Raba vetrne energije v Sloveniji	19
2.5.2 Prednosti in slabosti rabe vetrne energije	20

3	MATERIAL IN METODE	22
3.1	MATERIAL	22
3.1.1	Opis izbranih lokacij	22
3.1.2	Pridobljeni podatki o vetru	23
3.1.3	Opis izbranih vetrnic	24
3.2	METODE DELA	26
3.2.1	Metodologija obdelave vetra	26
3.2.2	Metodologija izračunov pridobljene energije	27
3.2.3	Energija potrebna pašni planini	28
4	REZULTATI Z RAZPRAVO	30
4.1	LASTNOSTI VETRA NA IZBRANIH LOKACIJAH	30
4.2	PRIDOBLJENA ENERGIJA VETRA	34
4.2.1	Primerjava pridobljene energije med vetrnicami	35
4.2.2	Primerjava pridobljene energije med lokacijami	35
4.2.3	Primerjava pridobljene energije med letnimi časi in toplo polovico leta	36
4.2.4	Pokrivanje potreb pašne planine po električni energiji	38
5	SKLEPI	39
6	POVZETEK	40
7	VIRI	41
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1	Število registriranih planin v Sloveniji leta 2012 s skupnimi površinami (Slameršak, 2012)	3
Preglednica 2	Delitev vetrnic in tipi vetrnic	12
Preglednica 3	Podatki za močnostne krivulje za tri tipe vetrnic (Southwest Windpower, 2013b)	17
Preglednica 4	Nekatere prednosti in slabosti rabe vetrne energije (prirejeno po Zgonik (2009) in Lorger (2013))	21
Preglednica 5	Nadmorske višine in zemljepisne koordinate izbranih postaj (ARSO, 2013)	22
Preglednica 6	Opisi lokacije in okolice izbranih postaj (ARSO, 2013)	23
Preglednica 7	Primer pridobljenih podatkov o mesečni povprečni hitrosti vetra (m/s) za Rateče Planico (ARSO, 2013)	23
Preglednica 8	Primer pridobljenih podatkov o povprečnem dnevnem poteku (za 24 ur) hitrosti vetra (v m/s) za Rateče Planico (ARSO, 2013)	24
Preglednica 9	Primer pridobljenih podatkov o porazdelitvi vetra (relativna frekvenca v %) v hitrostne razrede za Rateče Planico (ARSO, 2013)	24
Preglednica 10	Tehnične značilnosti manjših vetrnic: AIR X, WHISPER 100, 200 in 500 (Southwest Windpower, 2013a)	25
Preglednica 11	Mesečno število ur, ko piha veter s hitrostjo v določenem razredu za postajo Lisca	27
Preglednica 12	Izhodna moč (W) treh različnih tipov vetrnic v odvisnosti od hitrosti vetra iz podatkov Southwest Windpower (2013b)	28
Preglednica 13	Ocena dnevne in mesečne porabe električne energije na pašni planini za eno in za dve osebi	29
Preglednica 14	Primerjava pridobljene električne energije (kWh) za celo leto in za toplo polovico leta za tri tipe vetrnic in šest lokacij	36
Preglednica 15	Primerjava pridobljene električne energije (kWh) v poletnem času za tri tipe vetrnic in šest lokacij	36
Preglednica 16	Primerjava in razmerje potreb in proizvedene električne energije z vetrnico Whisper 200 za Kredarico, Krvavec, Roglo in Lisco	38

KAZALO SLIK

Slika 1	Planinski pašniki v Sloveniji leta 2012 (Slameršak, 2012)	2
Slika 2	Hitrost vetra z višino narašča v odvisnosti od hrapavosti tal (Clean energy brands, 2013)	5
Slika 3	Povprečna letna hitrost vetra 10 m nad tlemi v Sloveniji za obdobje 1994-2001 (ARSO, 2013)	7
Slika 4	Ocena vetrovnega potenciala v Evropi (ESPON, 2013)	8
Slika 5	Povprečna letna gostota moči vetra (W/m^2) 10 m nad tlemi (zgoraj) in 50 m nad tlemi (spodaj) v Sloveniji za obdobje 1994-2001 (ARSO, 2013)	9
Slika 6	Največji možni koeficient izkoristka v odvisnosti od razmerja med obodno hitrostjo vetrnice in hitrostjo vetra (REAP, 2013)	11
Slika 7	Odvisnost koeficienta izkoristka od razmerja med obodno hitrostjo vetrnice in hitrostjo vetra (REAP, 2013)	12
Slika 8	Elementi tipične vetrne turbine (Satcitananda, 2013)	14
Slika 9	Primer močnostne krivulje vetrne turbine (Medved in Novak, 2000)	16
Slika 10	Razvoj vetrnih elektrarn (New Zealand ..., 2013)	18
Slika 11	Naraščanje kumulativne vgrajene moči vetrnih elektrarn po svetu od leta 1996 (GWEC, 2013)	18
Slika 12	Naraščanje kumulativne vgrajene moči vetrnih elektrarn v Evropi od leta 2000 (Wilkes in Moccia, 2013)	19
Slika 13	Vetrnici na Kredarici (levo) in vetrna elektrarna Dolenja vas (Elektro Ljubljana, 2013)	19
Slika 14	Potencialno ustrezna območja za izkoriščanje vetrne energije v Sloveniji (Aquarius, 2011)	20
Slika 15	Mreža samodejnih meteoroloških postaj za natančno merjenje lastnosti vetra v Sloveniji v okviru ARSO (ARSO, 2013)	22
Slika 16	Opisi lokacije in okolice izbranih postaj (ARSO, 2013)	25
Slika 17	Izhodna moč treh različnih tipov vetrnic: AIR X, Whisper 100 in Whisper 200 (proizvajalca Southwest Windpower) v odvisnosti od hitrosti vetra (Southwest Windpower, 2013b)	26
Slika 18	Priporočena namestitev vetrnic tipa Whisper 100 in Whisper 200 (Southwest Windpower, 2013a)	26
Slika 19	Vetrovne rože za 6 lokacij v Sloveniji (Rateče, Kredarica, Rudno polje, Krvavec, Rogla ter Lisca), ki so višje ležeče in kjer so vetrovne razmere primerljive s pašnimi planinami (ARSO, 2013)	30
Slika 20	Letni potek povprečnih hitrosti vetra na šestih višje ležečih lokacijah v Sloveniji	31
Slika 21	Letni potek maksimalne hitrosti vetra na šestih višje ležečih lokacijah v Sloveniji	32
Slika 22	Povprečni dnevni hod hitrosti vetra na šestih višje ležečih lokacijah v Sloveniji	32
Slika 23	Brezvetrje na obravnavanih postajah po mesecih	33

Slika 24	Odstotek časa, ko je hitrost vetra na obravnavanih postajah manjša od 5 m/s	33
Slika 25	Pogostnost vetra v različnih hitrostnih razredih za Lisco (zgoraj) in Roglo (spodaj) za toplo polovico leta	34
Slika 26	Primerjava mesečnih vrednosti pridobljene energije (kWh) med različnimi vetrnicami na različnih lokacijah	35
Slika 27	Primerjava pridobljene energije (kWh) med lokacijami: letna vsota (zgoraj), v topli polovici leta od aprila do septembra (v sredini) in poleti (junij, julij, avgust) spodaj	37

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
AIR X	Oznaka vetrnice
BOF	Bofori (oznaka za jakost vetra)
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EU	Evropska unija
ESPON	European Observation Network for Territorial Development and Cohesion
EWEA	European wind energy association
GWEC	Global wind energy council
NEP	Nacionalni energetske program
REAP	Renewable Energy Alaska Project
WHISPER 100	Oznaka vetrnice
WHISPER 200	Oznaka vetrnice
ZDA	Združene države Amerike
A	površina kroga, ki ga opiše vetrnica (m^2)
C_p	koeficient izkoristka vetrne turbine (brez enote)
kWh	Kilovatna ura
MW	Mega Watt
P	Moč vetrnice (W)
P_D	Dejanska moč vetrne turbine (W)
v	Hitrost vetra (m/s)
ρ	Gostota zraka (kg/m^3)

1 UVOD

1.1 POVOD ZA RAZISKAVO

V sredogorju in visokogorju praviloma ni na voljo električne energije iz omrežja. Ta pa je dobrodošla, kjer potekajo kmetijske dejavnosti. Na primer na pašnih planinah je nujna oskrba z električno energijo, ki pa praviloma zaradi oddaljenosti krajev ni na voljo iz omrežja. Poleti, ko so planine naseljene, bi lahko električno energijo pridobivali z vetrovnimi generatorji. Hitrost vetra je namreč na večjih nadmorskih višinah večja kot v nižinah. Na trgu so na voljo različne male vetrnice, ki niso zelo drage in ne zahtevajo velikih stroškov postavitve. Take vetrnice lahko namestimo začasno in jih kasneje postavimo kje drugje. Smiselnost postavitve vetrnic pa je zelo odvisna od lastnosti vetra. Da lahko izkoriščamo energijo vetra, moramo imeti zadosten potencial vetra, zato so hitrost, pogostnost in stalnost vetra bistvenega pomena za izkoriščanje vetra v energetske namene. Povprečna hitrost vetra z nadmorsko višino narašča in ker planine ležijo na večjih nadmorskih višinah, bi lahko bila postavitve vetrnic smiselna tudi iz ekonomskega vidika. To pa moramo preveriti z razpoložljivimi podatki o vetru v Sloveniji in pri tem upoštevati različne karakteristike vetrnic. Prav to je povod za diplomsko delo.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Pri raziskavi vetra v visokogorju in na pašnih planinah v Sloveniji smo si zastavili nekaj hipotez. Prva je, da se lastnosti vetra razlikujejo po različnih lokacijah v Sloveniji, ki so primerne za pašo poleti. Druga hipoteza je, da se razlikujejo tudi tipi vetrnic, ki so primerne za hitro postavitve na planinah in da je izplen električne energije različen. Tretja hipoteza je, da je postavitve in obratovanje takih sistemov v Sloveniji na pašnih planinah smiselna, tako iz vidika pridobljene električne energije kot iz ekonomskega vidika.

1.3 NAMEN RAZISKAVE

V raziskavi smo se odločili, da za šest višje ležečih lokacij v Sloveniji (Rateče, Kredarica, Rudno polje, Krvavec, Rogla in Lisca) raziščemo in primerjamo karakteristike vetra, ki piha tam. Namen raziskave je analizirati hitrost in smer vetra, letni in dnevni hod vetra ter vetrovni potencial. Istočasno bomo preverili ceno in značilnosti treh tipov vetrnih generatorjev, ki so na trgu v Sloveniji in sicer tipe AIR X, Whisper 100 in Whisper 200, katerih proizvajalec je podjetje Southwest Windpower iz ZDA. Pri vsaki vetrnici bomo obravnavali in primerjali moč vetrnega generatorja in druge tehnične karakteristike. Glede na proizvodnjo električne energije na izbranih lokacijah in za izbrane tipe vetrnic ter ocenjene porabe energije na pašni planini bomo na koncu analizirali smiselnost uporabe vetrne energije na teh lokacijah.

2 PREGLED OBJAV

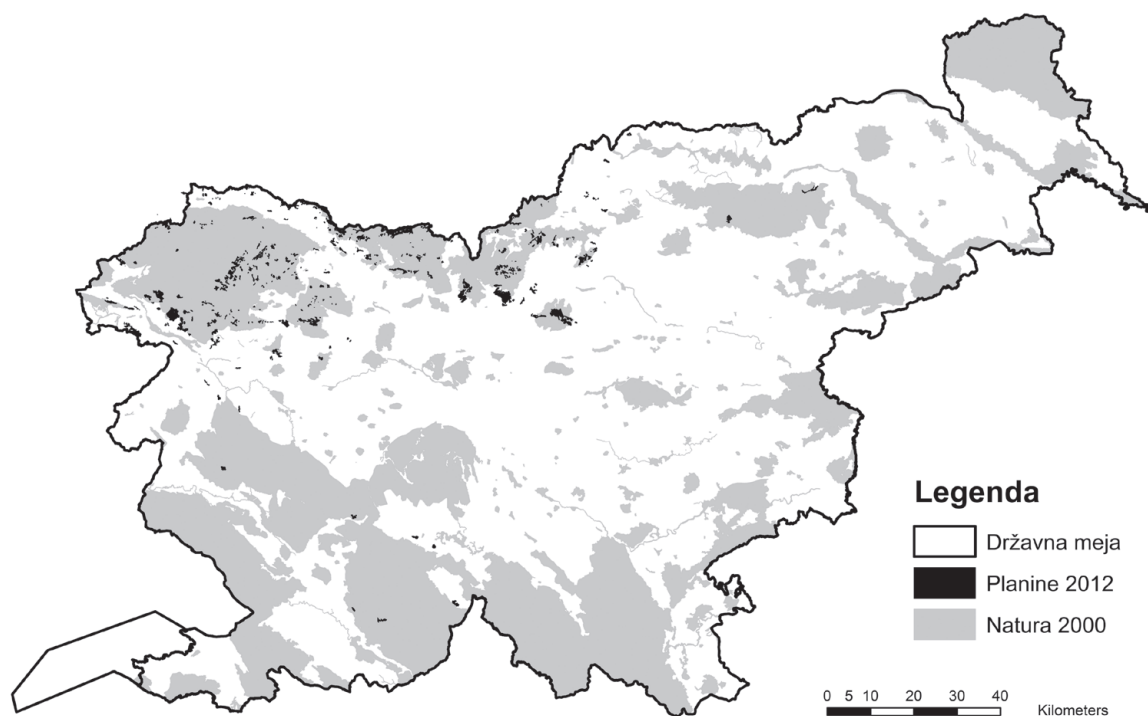
2.1 UPORABA VETRNE ENERGIJE V KMETIJSTVU

2.1.1 Pašne planine v Sloveniji

Planinsko pašništvo ima v Sloveniji dolgo tradicijo, saj velik del našega ozemlja leži v alpskem in visokogorskem svetu. Izoblikovala se je posebna oblika gospodarjenja, ki se začne vsako leto s premikom živine iz doline na planinske pašnike in jeseni nazaj v dolinski hlev.

Planina je tradicionalna oblika individualne ali skupne rabe zemljišč v alpskem, predalpskem ali dinarskem svetu Slovenije z naslednjimi značilnostmi: predstavlja geografsko zaokrožena zemljišča in gozd v upravljanju, na njej je organizirana sezonska paša živali brez vsakodnevnega vračanja živali v domačo oskrbo in njena najnižja točka leži na nadmorski višini najmanj 750 m ali na nadmorski višini najmanj 400 m, kadar je to utemeljeno iz recimo geografskih ali zgodovinskih razlogov. Pašna planina ima lahko gospodarske objekte ter objekte in naprave za oskrbo ljudi in živali. Planine, ki imajo take objekte in naprave, to so na primer elektro-ograje, poslopja za živino in pastirje ali stavbe za predelavo mleka za nemoteno obratovanje potrebujejo tudi električno energijo.

Leta 2012 je bilo v Sloveniji uradno registriranih 200 planinskih pašnikov (Slika 1). Njihova skupna površina je znašala 7626 ha (Slameršak, 2012). V Triglavskem narodnem parku na primer je več kot četrtina (2167 ha) vseh planinskih pašnikov. Število planinskih pašnikov po območnih enotah je prikazano v preglednici 1.



Slika 1: Planinski pašniki v Sloveniji leta 2012 (Slameršak, 2012)

Pašnike glede na različne načine gospodarjenja delimo v tri skupine. V prvo skupino lahko štejemo planinske pašnike, na katerih se predeluje mleko in kjer so stalno prisotni ljudje, vključno s pastirji. Takih pašnikov je v Sloveniji okoli trideset, večinoma v Zgornjem Posočju in na Bohinjskih planinah. Tej obliki pašništva rečemo tudi planšarstvo. Druga skupina so planinski pašniki, na katerih se v ogradah pase jalovo govedo. Tam pastirjev ni, občasno pa se preverja, če je z živino vse v redu. Tretji tip planinske paše pa je "paša počez". Ta oznaka se nanaša na pašno območje, na katerem se pase drobnica. V nižinah danes pastirjev praviloma ni več. Nadomestili so jih električni pastirji in ograde (Trnovec, 2008).

Preglednica 1: Število registriranih planin v Sloveniji leta 2012 s skupnimi površinami (Slameršak, 2012)

Območna enota	število	površina
Celje	42	1220
Kranj	86	3852
Ljubljana	10	316
Maribor	10	219
Nova Gorica	52	2019
Skupaj	200	7626

Pastirji potrebujejo za normalno delovanje pašne planine električno energijo. Pogosto pa so planine na območjih, odrezanih od mreže elektroenergetskega sistema. Vetrnice majhnih moči so primerne za individualno preskrbo z električno energijo (Gsänger, 2013). Primerne so za preskrbo odročnih kmetij, planinskih koč, svetilnikov, meteoroloških postaj ter objektov, katerih lega je odprta in v bližini ni prisotnih večjih naravnih ovir. Izraba energije vetra s pomočjo vetrnic manjših moči v večini primerov deluje na principu shranjevanja električne energije v akumulatorjih. Shranjeno energijo uporabimo tudi v času, ko vetra ni. Če bi izrabljali proizvedeno električno energijo neposredno, bi lahko prišlo v nekaterih obdobjih do presežka, v drugih pa do pomanjkanja električne energije. Električno energijo enosmerne napetosti iz akumulatorjev lahko direktno uporabimo, ali pa jo vodimo v razsmernik električne napetosti, ki proizvaja izmenično električno napetost.

Na pašni planini je postavitve električnega pastirja ena od potreb, ravno tako obstaja potreba po razsvetljavi, črpanju vode, pripravi tople vode, kuhanju in polnjenju raznih baterij. Za take potrebe bi lahko prišla v poštev proizvodnja električne energije iz vetra. Na pašni planini je možno postaviti manjšo vetrnico, ki lahko deluje samo za čas, ko deluje tudi pašna planina (Kandus, 2009). V nalogi so zato analizirani primeri treh različnih vetrnic majhnih moči, ki bi bile primerne za pašne planine.

2.1.2 Vetrna energija in kmetijstvo

Uporaba obnovljivih virov energije, torej tudi vetrne energije, je zanimiva tudi za kmetijstvo. Sutherland in Holstead (2014) ugotavljata, da raba vetrne energije na kmetijah lahko poveča konkurenčnost kmetijske pridelave.

V Sloveniji je raba vetrne energije v kmetijstvu še zelo redka. Kariž (2008) je analizirala možnosti uporabe vetrne energije na srednje veliki kmetiji v Ajdovščini, kjer se ukvarjajo z živinorejo in ki letno porabi okoli pet tisoč kWh električne energije. Ugotovila je, da bi se

naložba v vetrno energijo izkazala kot pozitivna in bi se povrnila v približno dvajsetih letih. Odločitev kmetov, da bi na kmetiji imeli lastne mini vetrne elektrarne, mora sloneti na poznavanju potenciala vetra, finančnih zmožnosti in poznavanju zemljišča, ki ga imajo na voljo. Vetrnega generatorja žal ne moremo postaviti na vsaki kmetiji, če ta nima stalnega vetra.

Kandus (2009) pa je preučeval pridobivanje električne energije iz vetra za potrebe pašništva. Predvidel je možne konstrukcije vetrnic, ki bi bile montažne in zato bi se jih dalo hitro postaviti in po potrebi tudi prestavljati. Izgradnja takega vetrnega generatorja bi bila enostavna in brez velikih tveganj. Za dvig konstrukcije bi zadostoval že močnejši traktor.

2.2 ZNAČILNOSTI VETRA

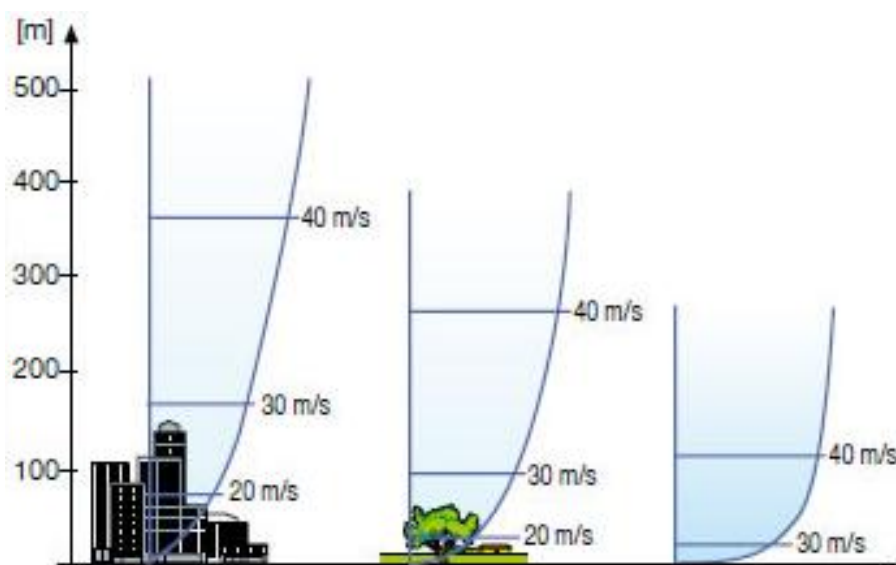
Izkoriščanje vetra predstavlja eno od oblik rabe obnovljivih virov energije. Za načrtovanje rabe energije vetra je najprej potrebno temeljito poznati njegove klimatske značilnosti. Veter je gibanje zraka, ki nastane zaradi horizontalnih razlik v zračnem pritisku. Je posledica delovanja sil. O hitrosti in smeri vetra odločajo gradientna, deviacijska in centrifugalna sila ter sila trenja. Gradientna sila deluje v horizontalni smeri proti nižjemu pritisku. Toda čim se prične zrak gibati, se pojavijo še druge sile, ki so odvisne od hitrosti gibanja in vplivajo na smer in hitrost. Deviacijska sila deluje pravokotno na smer gibanja in odklanja gibanje od prvotne smeri, a ga ne pospešuje niti ga ne zavira. Centrifugalna sila se pojavi, kadar gibanje zraka ni premočrtno. Deluje v smeri radija kroga navzven, to je spet pravokotno na smer gibanja. Sila trenja nastane zaradi trenja zraka ob zemeljsko površino in zavira gibanje ter zmanjšuje hitrost vetra. Vpliv trenja zraka ob tla z višino pojema in je v povprečju nad višino 1 km nad tlemi zanemarljiv, medtem ko je zlasti blizu tal za gibanje zraka odločujoč (Hočevar in Petkovšek, 1988).

Nad obsežnimi območji se v prosti atmosferi zrak pogosto giblje skoraj premočrtno – to je geostrofski veter. Takrat sta sila trenja in centrifugalna sila zanemarljivi, ravnotežje pa si držita gradientna in deviacijska sila. Enakomeren in stalen geostrofski veter piha vzporedno z izobarami.

Blizu središč nizkega tlaka – ciklonov, in visokega tlaka – anticiklonov, so izobare bolj ali manj krožne. Če piha veter bolj ali manj vzporedno z izobarami, ki so ukrivljene, vpliva nanj še centrifugalna sila. To je gradientni veter.

Hitrost vetra z višino narašča, hitrost blizu površine tal pa pada zaradi trenja ob ovirah oziroma zaradi hrapavosti tal (Slika 2). Zaradi tega se skušajo vetrnice postaviti na čim višji drog oziroma steber. Kako hitro narašča hitrost vetra z višino, je odvisno tudi od stabilnosti ozračja (Rakovec in Vrhovec, 2007).

Hitrost vetra je vektor, ima torej položaj, smer in velikost. Smer pove, od kod veter piha, velikost pa pove, kako hitro piha. Hitrost vetra izražamo v m/s, včasih – v letalstvu ali pomorstvu – tudi v vozlih (morska milja na uro), v vsakdanjem življenju smo navajeni na km/h.



Slika 2: Hitrost vetra z višino narašča v odvisnosti od hrapavosti tal (Clean energy brands, 2013)

2.2.1. Meritve vetra

Običajno za meteorološke meritve hitrosti vetra uporabimo vrtljive anemometre z votlimi polkrogli. Ker veter piha v glavnem v horizontalni smeri, lahko s takim anemometrom, ki je vrtljiv okrog vertikalne osi, izmerimo skoraj celotno hitrost. Prednost anemometrov z votlimi polkrogli je tudi ta, da merjenje hitrosti vetra ni odvisno od smeri vetra. Smer vetra pa določamo z vetrokazom. Ta ima rep, ki je lahko oblikovan na različne načine.

Poleg vrtljivih anemometrov poznamo še preproste mehanske anemometre, ki pretvarjajo hitrost vetra v vrtenje. Vrtljivi anemometri so zgrajeni iz vetrnice na osi, ki žene majhen generator. Na podlagi napetosti se nato izračunava hitrost vetra. Tlačni anemometri se uporabljajo na letalih. Ultrazvočni anemometri pa za merjenje hitrosti vetra uporabljajo zvok. Zaradi gibanja zraka potujejo zvočni valovi krajši oziroma daljši čas v določeni smeri. S to časovno razliko lahko izračunamo hitrost in smer v primeru/na podlagi več senzorjev.

Teren v okolici merilnega mesta lahko močno vpliva na moč vetra, še posebej na obali in v hribovitem ter goratem svetu (Poje in Cividini, 1988). Ob obali imata močan vpliv na hitrost vetra hrapavost terena in termična lastnost tal. V goratem predelu moramo vedno poiskati postajo, ki je reprezentativna za širšo okolico. Pogosto so meritve v hribovitem svetu značilne le za bližjo okolico meritve.

2.2.2 Veter v Sloveniji

Slovenija je glede na svoj razgiban teren slabo pokrita z merilniki za veter (Slika 15). Velikokrat lokacija meritev vetra ni značilna za širše območje. Meteorološke meritve so večinoma namenjene spremljanju vremena na urbanih območjih. Tam pa na meritve močno vplivajo vetrne ovire kot so zgradbe ali drevesa, ki so v bližini instrumentov.

Problem je tudi trajanje meritev. Na ARSO merijo veter zvezno šele v dobrem zadnjem desetletju. Pred tem je bilo meritev malo, opravljene pa so bile z mehanskimi anemometri.

Poleg vetrov, omejenih na določena območja, poznamo v Sloveniji tudi splošne vetrove, ki so povezani s posameznimi vremenskimi situacijami (Bertalanič, 2005). Ti vetrovi lahko pihajo več dni in imajo stalno smer. V to skupino sodijo trije tipi vetra.

- a) Severovzhodnik je značilen za Prekmurje, Štajersko, Dolenjsko in vzhodno Slovenijo. V Primorju se odraža kot burja.
- b) Jugozahodnik se pojavlja v osrednji Sloveniji, Prekmurju, na Štajerskem in na Dolenjskem. Ob obali se odraža kot jugo.
- c) Severni veter piha po vsej Sloveniji.

Lastnosti vetra so zelo odvisne tudi od višine nad tlemi, na kateri veter piha. V gorskem svetu hitrost vetra z višino v splošnem narašča in je podobna hitrosti vetra v prostem ozračju. V zavetnih območjih veter oslabi, na slemenih in gorskih grebenih pa se okrepi. Večje spremembe v smeri in hitrosti vetra nastanejo v dolinah in pri obtekanju ovir.

Lokalni vetrovi

Najbolj tipična lokalna vetra sta pobočni in obalni veter. Pobočni in obalni vetrovi pihajo proti območjem nizkega tlaka. Njihova hitrost je majhna in znaša manj kot 3 m/s. Podnevi pihajo po pobočjih navzgor, ponoči pa navzdol. Podnevi piha veter z morja nad kopno, ponoči s kopnega nad morje. Vzrok za lokalne vetrove je segrevanje zraka nad pobočji oz. ravninami podnevi oz. ohlajanje ponoči, ter nad morjem oz. nad kopnim. Razlika temperatur povzroči neravnotežje v vzgonu in zrak se dviga ali spušča. Ob dviganju se pri tleh tlak nekoliko zmanjša, pri spuščanju pa zveča. Zato se pojavi pri tleh tok od visokega k nizkemu tlaku, ki razliko v tlaku delno izenači. Lokalni vetrovi praviloma niso primerni za rabo vetrnic, saj je njihova hitrost premajhna.

Krajevni vetrovi

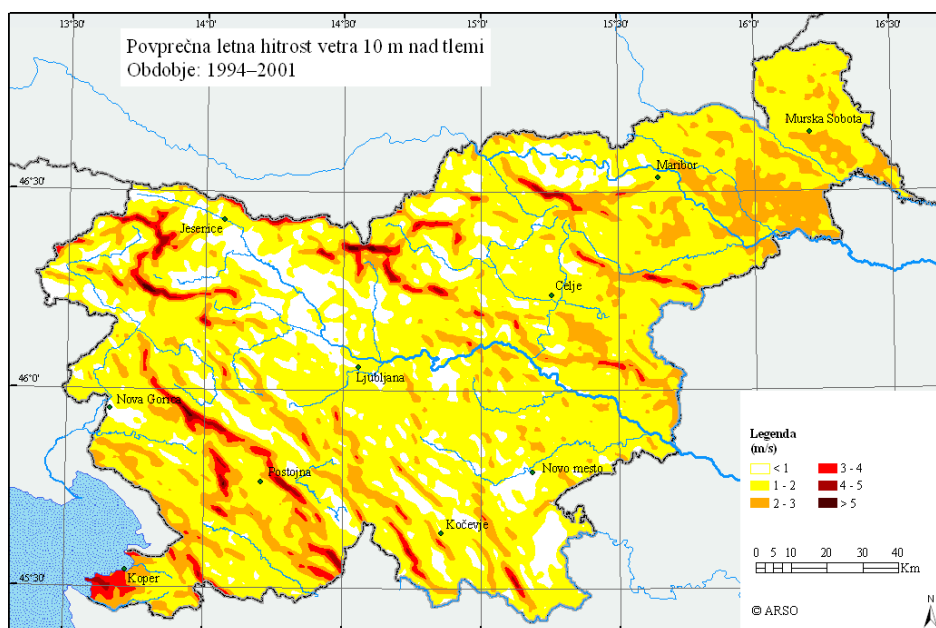
Ti so značilni samo za določena območja. Sem štejemo burjo, jugo, maestral in fen. Za Slovenijo je pomembna burja, ki je sunkovit veter. Posebno izrazita je na območju Vipavske doline, kjer sunki vetra dosega hitrost tudi do 180 km/h. Povprečne vrednosti njene hitrosti se gibljejo do 40 m/s. Okolica Kopra ima milejši tip burje, vendar so tudi tukaj znane velike jakosti. Burja najpogosteje nastaja pozimi. Burja je praviloma neprimerna za rabo vetrnic, saj so sunki premočni in zaustavijo delovanje vetrne turbine.

Vetrovnost v Sloveniji je manj preučevana kot druge klimatske značilnosti, še posebej ne kot prostorska spremenljivka (Kajfež-Bogataj in Bergant, 1997). Veter opišemo običajno glede na izmerjene smeri in hitrosti po posameznih postajah (Pučnik, 1980).

Vetrovi v Sloveniji so glede na razmere drugod po Evropi (Troen in Petersen, 1989) večinoma šibki. Nanje bistveno vplivajo Alpe, saj je Slovenija v njihovem zavetrju, če pihajo zahodni, severozahodni ali severni vetrovi. Splošni vetrovi iz vzhodnih smeri pa so pri nas redkejši. Kadar so vetrovi v Sloveniji močni, pa so časovno in prostorsko omejeni. Močnejše vetrove v nižinah relativno pogosto dobimo le na Primorskem, kjer je značilna močna in sunkovita burja. Ta običajno zapiha po prehodu hladne fronte in v sunkih lahko

doseže hitrosti nad 100 km/h. Običajno je močnejša v hladni polovici leta. Pod vznožjem Karavank je značilen močan in hkrati sunkovit veter karavanski fen, ki pa se pojavlja le poredko - manj kot enkrat letno.

Močnejši vetrovi pa so pogosti v visokogorju, predvsem ob spremembah vremena. Najpogosteje pihajo iz jugozahodnih (JZ) ali severovzhodnih (SV) smeri, vendar pa se zaradi orografije in raznih ovir lokalno lahko te splošne smeri spremenijo. Močnejši vetrovi se pojavijo tudi ob nevihtah, sicer pa prevladujejo lokalni vetrovi, ki se razvijejo zaradi razgibane orografije in temperaturnih razlik.



Slika 3: Povprečna letna hitrost vetra 10 m nad tlemi v Sloveniji za obdobje 1994–2001 (ARSO, 2013)

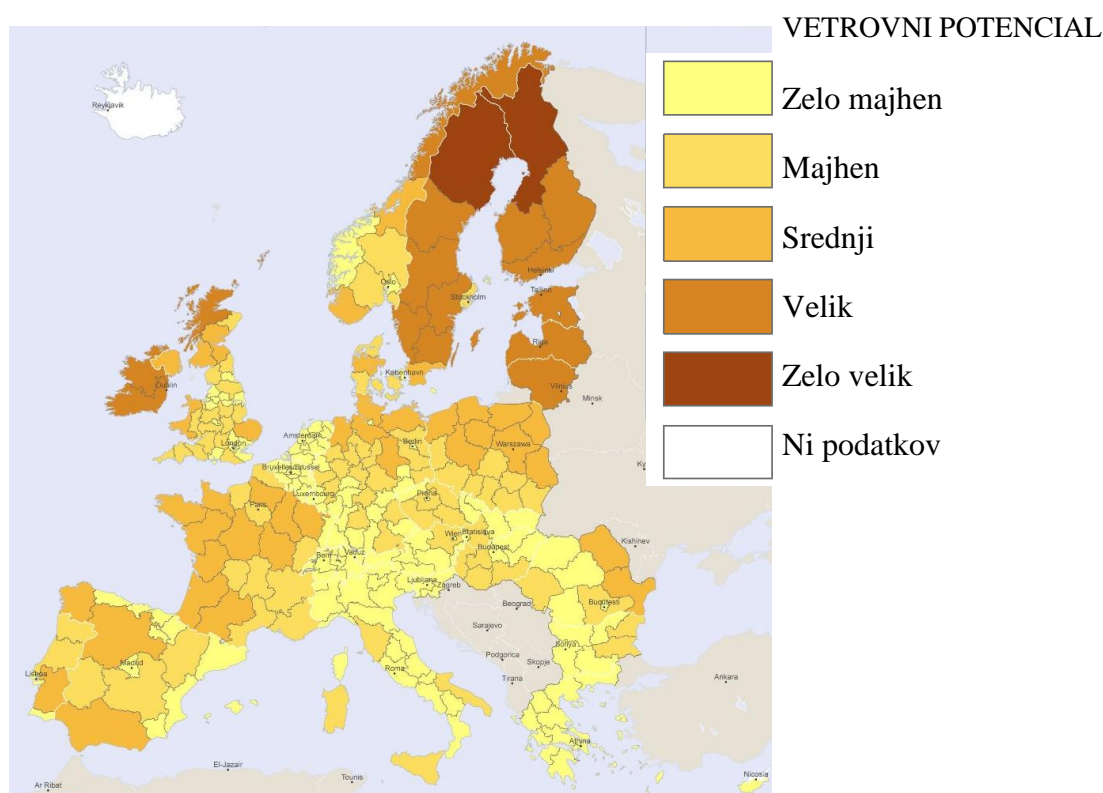
Na sliki 3 je prikazana ocenjena prostorska porazdelitev povprečne hitrosti vetra na višini 10 m in na sliki 5 ocenjena povprečna gostota moči vetra na višini 10 m in 50 m za osemletno obdobje 1994–2001. Obe sliki najdemo na spletnih straneh ARSO. Karte so dobljene z interpolacijo reanaliz ECMWF ERA-40, saj je Slovenija glede na svoj kompleksni teren sorazmerno slabo pokrita z merilno mrežo za veter. Ponekod lokacije meritev vetra niso značilne za širše območje, še posebej ne v urbanih poseljenih območjih, saj tam na meritve vplivajo zgradbe. Na večini območja Slovenije so na višini 10 m hitrosti vetra manjše od 2 m/s. Velike hitrosti vetra, ki so večje od 5 m/s, najdemo le na večjih nadmorskih višinah in to na najbolj izpostavljenih legah.

Letni hod hitrosti vetra v Sloveniji nam pokaže, da so največje hitrosti vetra spomladi in jeseni. Za večino krajev v Sloveniji so hitrosti vetra med letom od 1 do 3 m/s, kar pa niso ravno velike vrednosti za izkoriščanje energije vetra. Le v višjih predelih, na primer na Kredarici, so povprečne mesečne hitrosti vetra večje in dosegajo med 3,5 in 7,5 m/s. Kazalec vetrovnosti določene lokacije je tudi število dni, ko jakost vetra preseže 6 (10,8 do 13,8 m/s) ali 8 Boforov (17 do 21 m/s). Taki močni vetrovi lahko povzročijo škodo na

kmetijskih rastlinah ali celo na objektih. Pri nas se pojavljajo dnevi z močnim vetrom zlasti v gorah in ob obali. Portorož ima v povprečju kar 80 dni v letu s hitrostjo vetra nad 6 BOF, Kočevje pa le 6. Letno povprečje za vso Slovenijo znaša 43 dni, ko jakost vetra preseže 6 BOF in 10 dni, ko jakost vetra preseže 8 BOF.

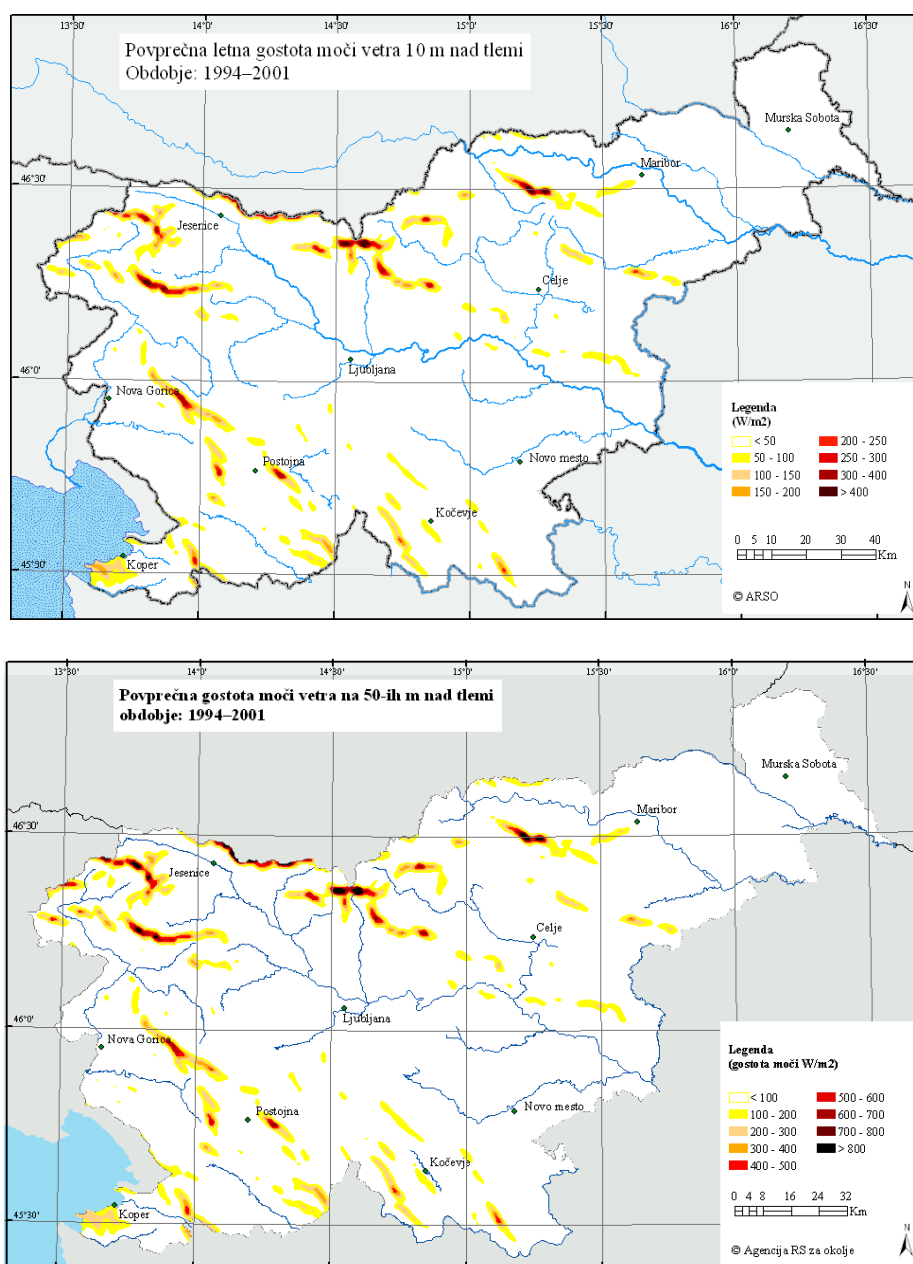
2.2.3 Vetrovni potencial v Evropi in v Sloveniji

Vetrovni potencial je največji tam, kjer so velike povprečne hitrosti vetra. Območja z velikimi povprečnimi hitrostmi vetra v Evropi so Škotska, Irska in Danska, Pireneji, Azurna obala, Atlantska obala in grški otoki. Na odprtem morju so hitrosti vetra večje kot na kopnem, saj tam ni ovir (Ban in sod., 2013).



Slika 4: Ocena vetrovnega potenciala v Evropi (ESPON, 2013)

Ocena vetrovnega potenciala v Evropi je podana na sliki 4. Iz slike je razvidno, da Slovenija spada med države z majhnim vetrovnim potencialom, kar so ugotovili tudi Rakovec in sodelavci (2001). Bolj podrobna študija za Slovenijo pa je podana na Sliki 5. Ta prikazuje povprečno letno gostoto moči vetra v W/m^2 10 m nad tlemi in 50 m nad tlemi (ARSO, 2013).



Slika 5: Povprečna letna gostota moči vetra (W/m^2) 10 m nad tlemi (zgoraj) in 50 m nad tlemi (spodaj) v Sloveniji za obdobje 1994-2001 (ARSO, 2013)

Najprimernejša območja za izkoriščanje vetrne energije v Sloveniji so:

- Jugovzhodne Julijske Alpe: južna pobočja Porezna in Lajnarja ter Davča.
- Savinjske Alpe: greben med vrhovi Visoki Rogatec, Lepenatka in Plešivec, do prelaza Črnivec, in greben Tomanove planine ter Ojstrega vrha na robu Menine planine.
- Hribovje v zaledju Trojan: hribovje severno od Blagovice in Trojan ter hribovje severno od Motniške doline.
- Hribovje v zaledju Trbovelj: hribovje med Čemšeniško planino in Mrzlico.
- Savinjske Alpe: pobočje med planoto Golte in Smrekovcem.

- Zaloška planina: južna pobočja Pohorja in Mislinje.
- Slivniško Pohorje: vzhodna pobočja Pohorja med Šmartnim na Pohorju in Ritoznojem.

2.3 ENERGIJA VETRA IN NJEN IZKORISTEK

2.3.1 Energija vetra

Izkoriščanje vetra je ena od oblik rabe obnovljivih virov energije. Enačbo za energijo (W), natančneje kinetično energijo vetra, lahko zapišemo kot:

$$W = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

kjer so

W – kinetična energija (J)

m - masa zraka (kg)

v - hitrost vetra (m/s).

Moč vetra (P), ki teče skozi površino A , ki jo opisujejo kraki rotorja, izrazimo z matematično zvezo (Medved in Novak, 2000)

$$P = (\rho \cdot A \cdot v) \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \quad (2)$$

kjer so

P – moč vetra (W)

A - površina kroga, ki ga opiše vetrnica (m^2)

ρ - gostota zraka (kg/m^3)

v - hitrost vetra v nemotenem prostoru pred vetrnico (m/s).

Iz enačbe 2 vidimo, da je moč vetra odvisna od tretje potence njegove hitrosti. Moč vetrne turbine je enaka razliki moči vetra pred in za vetrnico. Pomembna je torej razlika kinetične energije vetra (Rakovec in sod., 2009).

Moč vetrnice je tudi proporcionalna kvadratu površine elis rotorja. Če podvojimo dolžino elis rotorja, imamo trikrat večjo moč, če pa potrojimo dolžino elis, imamo devetkrat večjo moč.

Vse moči vetra ni mogoče zajeti, kar pomeni, da vetrnica ne more porabiti vse energije, ampak le določen del. To nam pove koeficient izkoristka vetrne turbine (C_p). Dejansko moč vetrne turbine P_D lahko izrazimo kot:

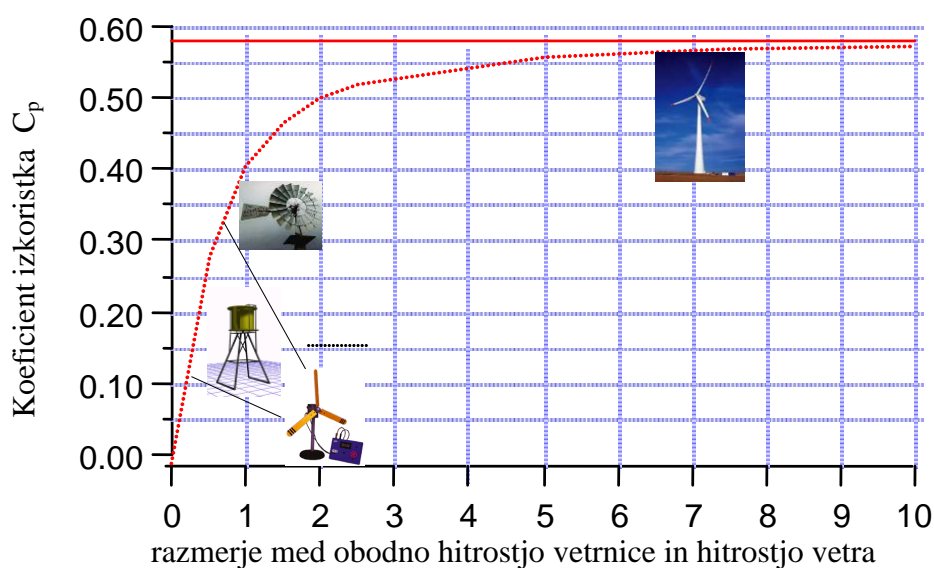
$$P_D = C_p \cdot \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \quad (3)$$

kjer je C_p koeficient izkoristka vetrne turbine (brez enote).

2.3.2 Koeficient izkoristka vetrne turbine

Po definiciji predstavlja tisti delež ali odstotek energije vetra, ki jo je turbina sposobna izkoristiti. Želimo, da je koeficient izkoristka vetrne turbine čim večji. Modernejše turbine imajo vrednost c_p približno 0,42, kar pomeni, da imajo te turbine 42 % izkoristek vetra.

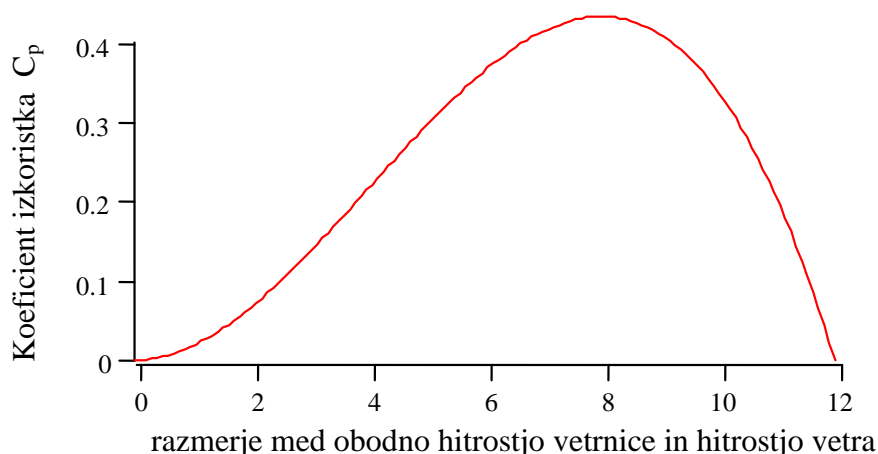
Maksimalna vrednost izkoristka pa je teoretično okrog 59 % (slika 6). Če se začetna maksimalna hitrost vetra skozi vetrnico zmanjša za $2/3$, doseže vetrnica največjo dosegljivo teoretično moč: 59 % vse kinetične energije zraka, ki teče skozi vetrnico, se spremeni v mehansko delo (Gradišnik in sod., 2005).



Slika 6: Največji možni koeficient izkoristka v odvisnosti od razmerja med obodno hitrostjo vetrnice in hitrostjo vetra (REAP, 2013)

Za natančne izračune je pomembno dejstvo, da koeficient izkoristka C_p ni konstanten, ampak je odvisen od hitrosti vetra. Zato v resnici moč turbine ni čisto sorazmerna s tretjo potenco hitrosti vetra. C_p je odvisen od aerodinamike in dimenzije elis. Pri tem igra veliko vlogo razmerje med obodno hitrostjo in hitrostjo vetra. Pri povečanju tega razmerja nad optimalno vrednost nastane turbulentni tok z vrtinci in upor se poveča, C_p se zato zmanjša (slika 7). Koeficient C_p merijo na eksperimentalnih modelih v vetrovnikih v različnih simuliranih vetrovnih razmerah.

Pri **hitro vrtečih vetrnicah** ima rotor običajno majhno število krakov in je upor pri vrtenju manjši, toda prav tako je manjša čelna površina krakov. Zato je tudi moč vetrnice manjša. Povečamo jo lahko le z večjo hitrostjo vrtenja. Pri **počasi vrtečih vetrnicah** pa ima rotor večje število krakov in je lahko obodna hitrost pri enaki moči vetrnic manjša.



Slika 7: Odvisnost koeficienta izkoristka od razmerja med obodno hitrostjo vetrnice in hitrostjo vetra (REAP, 2013)

2.4 ZNAČINOSTI DELOVANJA VETRNIH ELEKTRARN

Vetrna elektrarna je energetski objekt, ki pretvarja energijo vetra v električno energijo. Vetrna elektrarna mora biti postavljena na lokaciji, kjer sta količina in moč vetra stalna. Postavitev vetrne elektrarne v urbanem okolju zaradi glasnosti pri svojem delovanju ni primerna. Za gradnjo vetrne elektrarne potrebujete okoljevarstveno soglasje in gradbeno dovoljenje ter različna dokazila posameznih služb. To običajno ovira postavitev vetrnih elektrarn.

2.4.1 Delitev vetrnic

Vetrnih turbin je mnogo vrst. Delimo jih v več skupin (Preglednica 2). Lahko jih delimo glede na način delovanja sile vetra na krake rotorja, glede na postavitev glavne osi vrtenja ali pa glede na vrsto obratovanja.

Preglednica 2: Delitev vetrnic in tipi vetrnic

Kriterij delitve	Tipi vetrnic
Način delovanja sile vetra	princip aerodinamične sile dviga
	princip aerodinamične sile zračnega upora
Postavitev glavne osi vrtenja	vertikalne izvedbe
	horizontalne izvedbe
Vrsta obratovanja	konstantna hitrost vrtenja
	spremenljiva hitrost vrtenja

Glede na **način delovanja** sile vetra na krake rotorja ločimo vetrnice, ki delujejo na principu aerodinamične sile dviga (učinek letalskega krila) in pa tiste, ki delujejo na principu aerodinamične sile zračnega upora. Naprave z majhnim številom obratov navadno delujejo na principu sile zračnega upora. Njihova hitrost vrtenja je manjša od hitrosti vetra. Take vetrnice niso namenjene proizvodnji električne energije, ampak rabijo za črpanje

vode ali za mline. Vetrne turbine z velikim številom obratov, ki so primerne za proizvodnjo elektrike, pa delujejo na principu aerodinamične sile dviga. Vrtijo se s hitrostjo, ki je nekajkrat večja od hitrosti vetra.

Glede na **postavitev glavne osi** vrtenja poznamo vertikalne in horizontalne izvedbe vetrnic (Zekić in Novak, 2002). Pri vertikalnih je njihovo delovanje neodvisno od smeri vetra, strojni del z generatorjem pa se nahaja na tleh. Ne morejo se zagnati same in regulacija hitrosti vrtenja pri močnih vetrovih je problematična. Zato raje uporabljamo horizontalnoosne vetrne turbine. Običajno so to dvo- ali trokraki rotorji, ki delujejo na principu aerodinamičnega dviga. Vsa oprema skupaj z generatorjem je postavljena na velik steber. Mehanizem za uravnavanje ves čas meri smer in jakost vetra ter celotno kompozicijo obrača proti vetru.

Glede na **vrsto obratovanja** pa ločimo vetrne turbine s konstantno hitrostjo vrtenja in tiste s spremenljivo hitrostjo vrtenja. Za črpanje vode na primer se lahko uporabi vetrne turbine s spremenljivo hitrostjo vrtenja. Najbolj pogost je sistem vetrne elektrarne s konstantno hitrostjo vrtenja, saj ta omogoča rabo preprostih generatorjev, katerih hitrost vrtenja je določena z omrežno frekvenco.

2.4.2 Zgradba vetrne turbine

Moderne vetrne turbine delujejo samodejno. Pri prevelikih hitrostih vetra elektronika poskrbi za optimalno delovanje, sicer lahko pride do poškodb in lomov. Pri premajhnih hitrostih se turbina zaustavi, da ne deluje v neučinkovitem režimu. Vitalne komponente, precizna krmilna elektronika in hidravlični deli sodobne vetrne turbine so zaščiteni pred negativnimi vremenskimi vplivi z ohišjem iz zelo kakovostnih materialov.

Zgradba vetrnih turbin je lahko različna, vendar so vedno prisotni podobni glavni elementi. To so vetrnica (z elisami) ali rotor, regulacijski sistem, menjalnik oziroma prenos, generator in gibljava čeljust. Elemente tipične vetrne turbine kaže slika 8.

Rotor

Vetrne turbine, ki imajo dvo- ali trokrake vetrnice, dajejo najboljše izkoristke, če dosega obodna hitrost vrtenja 50 do 70 m/s. Dvokrake vetrnice imajo za nekaj odstotkov slabši izkoristek od trokrakih. V praksi raje uporabljamo trokrake tudi zato, ker so sile, ki delujejo na rotor, bolj enakomerno razporejene.

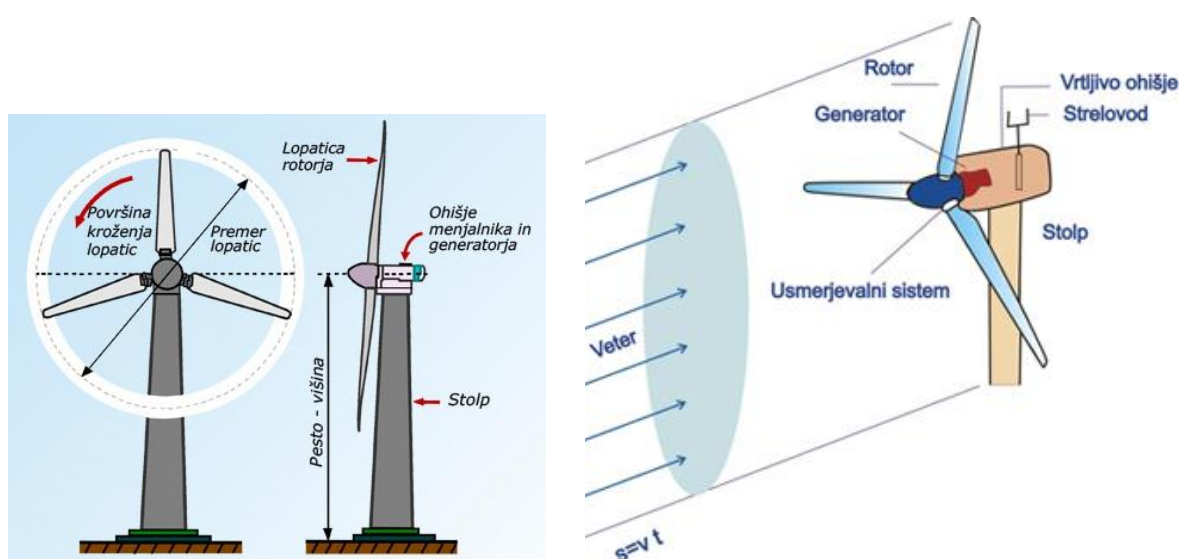
Rotor sam oziroma kraki (elise) so lahko narejene iz steklenih vlaken in poliestra, lesa ali lesenega laminata, karbonskih vlaken ali pa iz aluminija. Izbira materiala je pomembna, saj vpliva na zahtevnost izdelave, na težo, modul elastičnosti in tudi na ceno. Kakovostne elise morajo biti mehansko vzdržljive in žilave, imeti morajo majhno maso in visoko razmerje aerodinamičnih sil dviga/upora za večji izkoristek v celotnem območju delovanja, ter nizko hrupnost (Kandus, 2009).

Uravnavanje moči vetrnih turbin

Regulacija moči vetrnih turbin je možna na več načinov. Moč vetrne turbine lahko spreminjamo tako, da elisam med obratovanjem spremenimo vpadni kot vetra. Tako

zmanjšamo aerodinamično silo dviga in povečamo silo upora elis. Rezultat je zmanjšanje izkoristka, kar se kaže v manjši moči vetrne turbine, torej v manjši obodni hitrosti vetrnice. Tak način uravnavanja moči vetrne turbine uporabljamo le redko.

Druga možnost je, da moč vetrne turbine uravnavamo z navorom generatorja. Ta način je običajen za vetrne turbine v razredu od 50 do 500 kW, ki se uporabljajo za generiranje električne energije za omrežje. Običajno so te elektrarne opremljene z asinhronskim generatorjem. Ko pa nastopi hitrost vetra, pri kateri generator doseže svojo nazivno moč (mejno vrednost), moramo nadaljnje naraščanje navora na rotor preprečiti. Asinhronski generator poskrbi, da se spremeni vpadni kot vetra na elise in se moč vetrne turbine zmanjša. Moč vetrne turbine lahko uravnavamo tudi z obračanjem vetrne turbine iz smeri vetra. Vetrno turbino, ki je preobremenjena, čeljustni mehanizem obrne iz smeri vetra.



Slika 8: Elementi tipične vetrne turbine (Saticitananda, 2013)

Mehanski prenos

Mehanska moč, ki jo ustvarja vetrnica, se preko prenosnika vrtilnih gibanj prenese na os generatorja. Mehanski prenos je navadno sestavljen iz menjalnika, sklopke in zavornega sistema. Menjalnik je namenjen povečanju vrtilne frekvence rotorske gredi na nivo, ki ustreza izbranemu generatorju. Cel mehanski prenos moramo načrtovati tako, da prenese visoke dinamične sile, ki nastopajo med obratovanjem naprave. Nekatere vetrnice imajo poleg menjalnika vgrajen še vztrajnik, ki dinamične sile omili in deluje kot dušilni člen pri prenosu mehanske energije.

Generator

Generator pretvarja mehansko energijo v električno. Deluje po načelu elektromagnetne indukcije, ki nastane, ko se vodnik premika v magnetnem polju. Ločimo več vrst generatorjev: generatorje enosmerne napetosti, sinhronske ter asinhronske generatorje. Generatorji enosmerne napetosti imajo stator s permanentnim magnetom, ki ustvarja magnetno polje. Rotor je z omrežjem povezan z vrtečim kontaktom, ki je komutator. Gre za mehanski usmernik, ki pretvarja izmenično napetost v enosmerno. Je bistven del

enosmernih električnih strojev. Nameščen je na osi rotorja in 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, zato je električni tok enosmeren.

Sinhronski generatorji imajo rotor, ki je povezan z omrežjem z ločenima drsnima kontaktoma. Pri vrtenju rotorja v magnetnem polju teče tok v dve smeri in je električni tok izmeničen. Asinhronski generatorji pa "sodelujejo" z omrežjem. Pri hitrostih vrtenja rotorja generatorja, ki so enake ali večje od sinhrona, ni frekvenca proizvedenega električnega toka nikoli večja od frekvence omrežja.

Pri vetrnih elektrarnah s stalno hitrostjo vrtenja uporabljamo asinhronske generatorje. Pri vetrnih elektrarnah s sinhronskim generatorjem se namreč lahko pojavi nezaželen resonanca. Asinhronski generatorji rabijo velik zagonski tok, ki ga moramo zagotoviti npr. s kondenzatorskimi baterijami, ki so nameščene ob vznožju stebra. Za vetrne turbine s spremenljivo hitrostjo vrtenja se uporabljajo tako sinhronski kot asinhronski generatorji. Razvoj generatorjev gre v smer, ko ne bi več potrebovali menjalnika med vetrnico in osjo.

Zavorni sistem

Ob velikih hitrostih vetra se pojavljajo velike sile, ki so nevarne za porušitev vetrnice. V vsaki vetrni elektrarni zato za vetrnico obstaja zavorni sistem. Običajno gre za dva medsebojno neodvisna zavorna sistema, ki imata sposobnost celo popolne zaustavitve vetrnice. Zavorni sistem deluje ob močnih vetrovih, ko je potrebno zmanjšati vrtilno frekvenco ali pa med vzdrževalnimi deli, ki zahtevajo mirujoč sistem pogona generatorja.

Zavorni sistem lahko spreminja naklonski kot elis ali pa so na koncu vetrnih elis vgrajene zavorne lopute, ki se ob vklopitvi postavijo v položaj največjega zračnega upora. Za popolno zaustavitev rotorja pa uporabljamo mehanske zavore, ki se nahajajo za menjalnikom. Pri projektiranju zavor je pomembno zagotoviti popolno varnost vetrnic.

Čeljustni sistem

Čeljustni sistem omogoča obračanje vetrnic proti vetru. Na pokrovu turbine se nahaja merilec hitrosti in smeri vetra. Ta podatke posreduje regulacijskemu sistemu, ki nato z motornim pogonom obrača čeljustni sistem tako, da je smer vetra pravokotna na elisno ploščino.

Stolp/steber

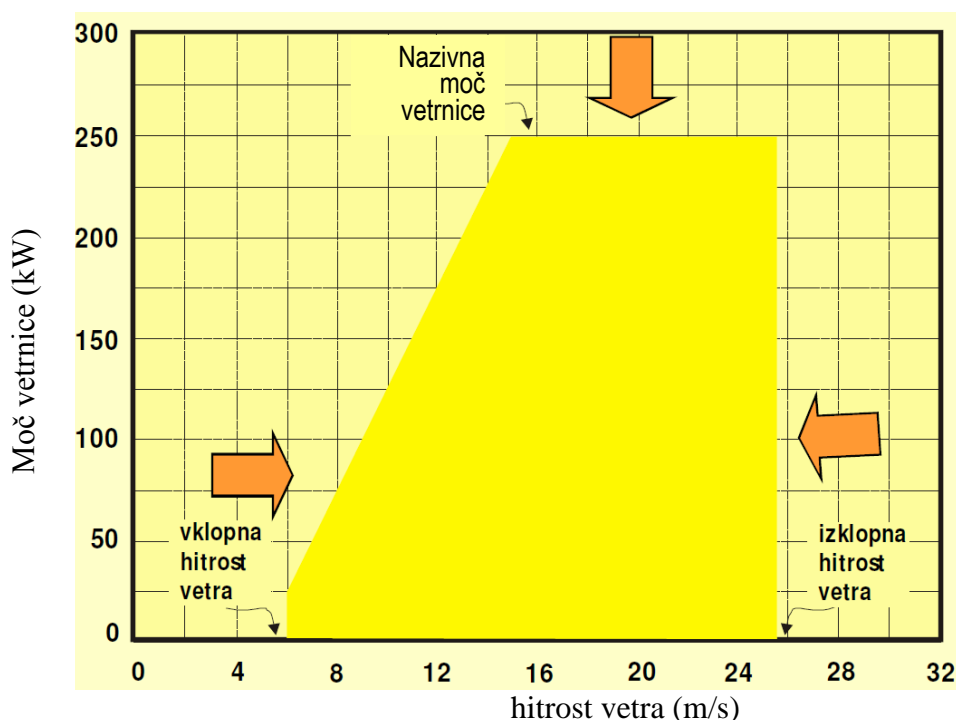
Stolp ali steber mora nositi vetrno turbino skupaj z generatorjem na neki višini in zagotoviti stabilnost ter nemoteno delovanje vetrnice. Stolpi oz. stebri so lahko cevasti, mrežasti, rešetkasti ali v obliki droga. Drog, povezan z jeklenimi žicami in pripet na dodatne temelje, je primeren le za manjše vetrne generatorje. V praksi so najpogostejši betonski stolpi oz. stebri ali pa taki iz železne konstrukcije. Večji betonski stolpi oz. stebri so navadno votli in se skozi njih lahko povzpemo do turbine in generatorja. Postavljeni morajo biti na masivne temelje, ki pogostokrat dosežejo globino tudi do 50 m. Pri prelahkih temeljih se pojavi problem resonance, ki nastopi ob določeni vrtilni frekvenci vetrnice.

Drugi deli vetrnic

Nekatere vetrnice imajo vgrajen tudi sistem za zmanjševanje hrupa. Gre za elastične bloke, ki so vpeti ob menjalniku. Neposredni hrup med stebrom in menjalnikom se tako zmanjša. Tudi prenos hrupa preko nosilnega trupa je močno zmanjšan. Merilniki smeri in hitrosti vetra so postavljeni na vrhu ohišja vetrnega generatorja in sproti pošiljajo izmerjene podatke v sistem za spreminjanje smeri. Hladilni sistem je namenjen dodatnemu hlajenju generatorja. Ta ima lahko že sam svoj pasivni hladilni sistem. Gre za hladilna rebra na ohišju, v notranjosti ohišja generatorja pa je na gredi pritrjen še ventilator. V modernih velikih turbinah se uporablja skupni hladilni sistem. Hladilno sredstvo je večinoma voda, lahko pa je tudi olje.

2.4.3. Obratovalne karakteristike vetrnic

Vsaka vetrnica ima svoje specifične obratovalne značilnosti (Nemac, 2004). Te so podane z močnostno krivuljo vetrne turbine. Ta krivulja predstavlja odvisnost moči vetrne turbine od hitrosti vetra. Določi jo proizvajalec in sicer na osnovi teoretičnih izračunov ali pa na podlagi laboratorijskih in terenskih meritev. Za močnostno krivuljo določene vetrne turbine so značilni štirje parametri: vklopna hitrost vetra, izklopna hitrost vetra, nazivna moč vetrne turbine in nazivna hitrost vetra (slika 9).



Slika 9: Primer močnostne krivulje vetrne turbine (Medved in Novak, 2000)

Vklopna hitrost vetra je tista hitrost vetra, pri kateri se vetrnica začne vrteti. **Izklopna hitrost vetra** pa je hitrost vetra, pri kateri se vetrna turbina ustavi zaradi prevelike hitrosti vetra, ker bi se sicer lahko poškodovala. **Imenska moč** (tudi nazivna moč) je največja moč vetrne turbine, ki je oddana generatorju. **Nazivna hitrost vetra** pa je hitrost vetra, pri kateri se razvija nazivna moč vetrne turbine. Gre torej za optimalno hitrost vetra.

Ekonomičnost delovanja vetrne turbine je odvisna od števila ur, ko vetrnica deluje z nazivno močjo. To število ur naj bi bilo večje od 1200 ur na leto ali vsaj 3,3 ure na dan.

Večina vetrnih elektrarn potrebuje veter s hitrostjo okoli 5 m/s, da sploh prične obratovati. Pri prevelikih hitrostih, običajno nad 25 m/s, se vetrna elektrarna ustavi zaradi možnih poškodb. Vetrnice razvijejo maksimalno moč pri hitrosti vetra okoli 15 m/s. Med 15 in 25 m/s proizvedejo vetrnice največ električne energije. Pri prevelikih ali premajhnih hitrostih vetra je vetrna elektrarna zaustavljena in takrat ne proizvaja električne energije. To velja tudi za obravnavane tri tipe vetrnic (Preglednica 3).

Preglednica 3: Podatki za močnostne krivulje za tri tipe vetrnic (Southwest Windpower, 2013b)

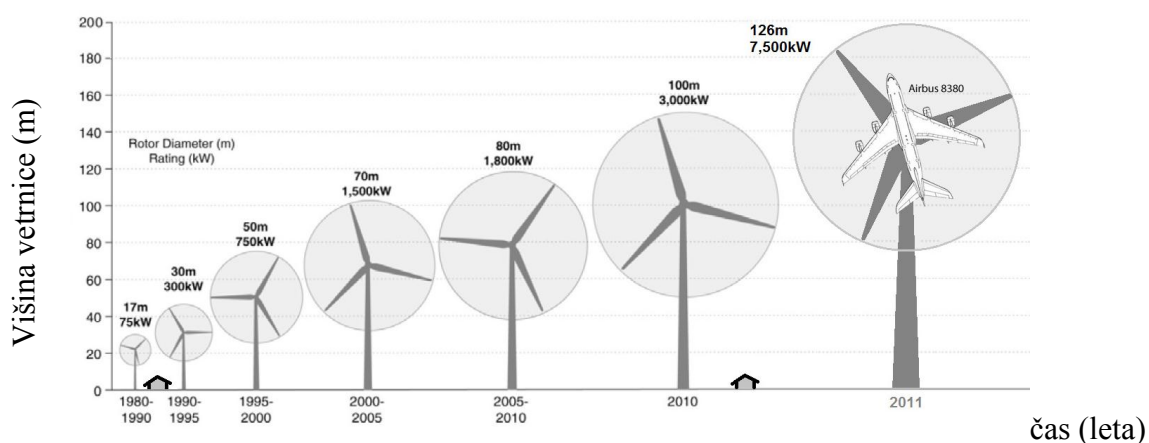
Hitrost vetra m/s	Tipi vetrnic			Hitrost vetra m/s	Tipi vetrnic		
	AIR X (kW)	Whisper 100 (kW)	Whisper 200 (kW)		AIR X (kW)	Whisper 100 (kW)	Whisper 200 (kW)
0	0	0	0	12,5	0,106	0,863	0,998
0,5	0	0	0	13	0,071	0,9	1,002
1	0	0	0	13,5	0,07	0,918	1,002
1,5	0	0	0	14	0,042	0,92	1
2	0	0	0	14,5	0,031	0,914	0,998
2,5	0	0	0	15	0,024	0,907	0,991
3	0	0	0	15,5	0,017	0,895	0,98
3,5	0	0,006	0,025	16	0,01	0,88	0,964
4	0,001	0,022	0,054	16,5	0,014	0,865	0,947
4,5	0,007	0,039	0,097	17	0,01	0,85	0,931
5	0,014	0,063	0,149	17,5	0,018	0,829	0,915
5,5	0,022	0,09	0,21	18	0,002	0,808	0,895
6	0,031	0,119	0,279	18,5	0	0,788	0,875
6,5	0,041	0,153	0,355	19		0,769	0,85
7	0,052	0,191	0,443	19,5		0,748	0,834
7,5	0,067	0,237	0,539	20		0,727	0,81
8	0,083	0,282	0,626	20,5		0,706	0,788
8,5	0,1	0,334	0,709	21		0,685	0,766
9	0,12	0,391	0,78	21,5		0,665	0,743
9,5	0,137	0,451	0,841	22		0,644	0,721
10	0,146	0,517	0,89	22,5		0,624	0,699
10,5	0,147	0,586	0,926	23		0,603	0,676
11	0,149	0,656	0,957	23,5		0,583	0,654
11,5	0,132	0,724	0,98	24		0,562	0,632
12	0,12	0,801	0,991	24,5		0	0

2.5 RABA VETRNE ENERGIJE

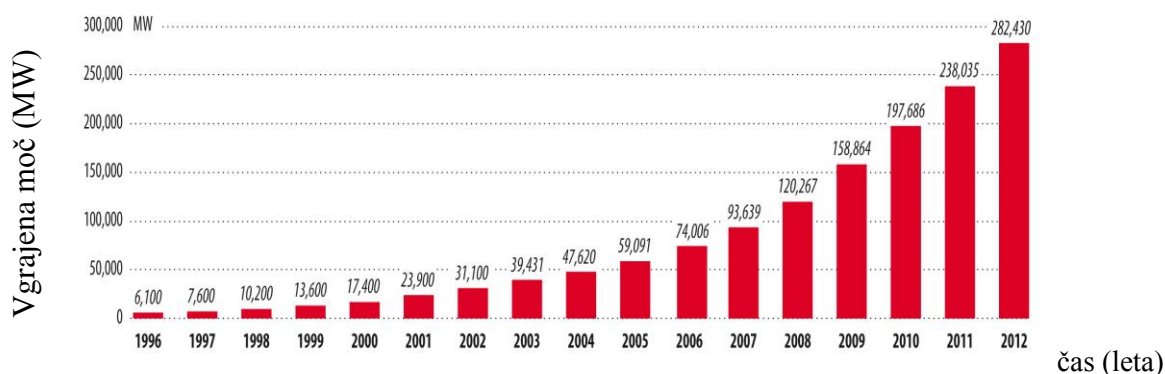
Globalna raba vetrne energije v svetu narašča (GWEC, 2013). Vetrna energija je danes najhitrejši rastoči obnovljivi vir energije. Moči vetrnih elektrarn se gibljejo od nekaj kW do

nekaj MW, z napredkom tehnologij pa se moči vetrnih elektrarn še povečujejo. Vetrna energija trenutno v svetu predstavlja okrog 3,5 % vse proizvedene električne energije.

Sodobne vetrne elektrarne so začeli postavljati leta 1979 s serijsko proizvodnjo vetrnih turbin danskih proizvajalcev Kuriant, Nordtank in Bonus. Začetne turbine so bile majhne, z zmogljivostjo od 20 do 30 kW. Danes so velikosti oz. zmogljivosti mnogo večje, tudi do 8 MW, med drugim se je njihova proizvodnja povečala v mnogih državah (sliki 10 in 11). Za prihodnost pa napovedujejo razvoj še močnejših vetrnic, pa tudi raznih nekonvencionalnih tipov vetrnic (Chen in sod., 2011).



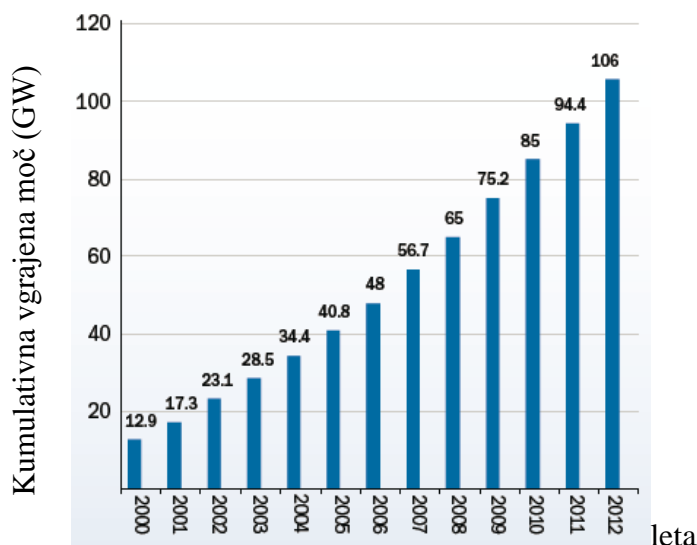
Slika 10: Razvoj vetrnih elektrarn (New Zealand ..., 2013)



Slika 11: Narasčanje kumulativne vgrajene moči vetrnih elektrarn po svetu od leta 1996 (GWEC, 2013)

Leta 2012 je bila v EU skupna vgrajena moč vetrnih elektrarn že 106 GW. Skupna vgrajena moč v EU narašča (slika 12). Največji delež odpade na Nemčijo (31 %), sledijo Španija (22 %), Italija in Velika Britanija s po 8 %, Francija (7 %) in s po 4 % Portugalska, Danska ter Švedska (Wilkes in Moccia, 2013).

Če pogledamo, kakšen delež električne energije katera od držav pridobi iz energije vetra, pa je na prvem mestu Danska s 27 %, na drugem Portugalska s 17 % ter tretjem Španija s 16 %. Sledijo Irska (13 %), Nemčija (11 %) in Romunija (7 %).



Slika 12: Naraščanje kumulativne vgrajene moči vetrnih elektrarn v Evropi od leta 2000 (Wilkes in Moccia, 2013)

2.5.1. Raba vetrne energije v Sloveniji

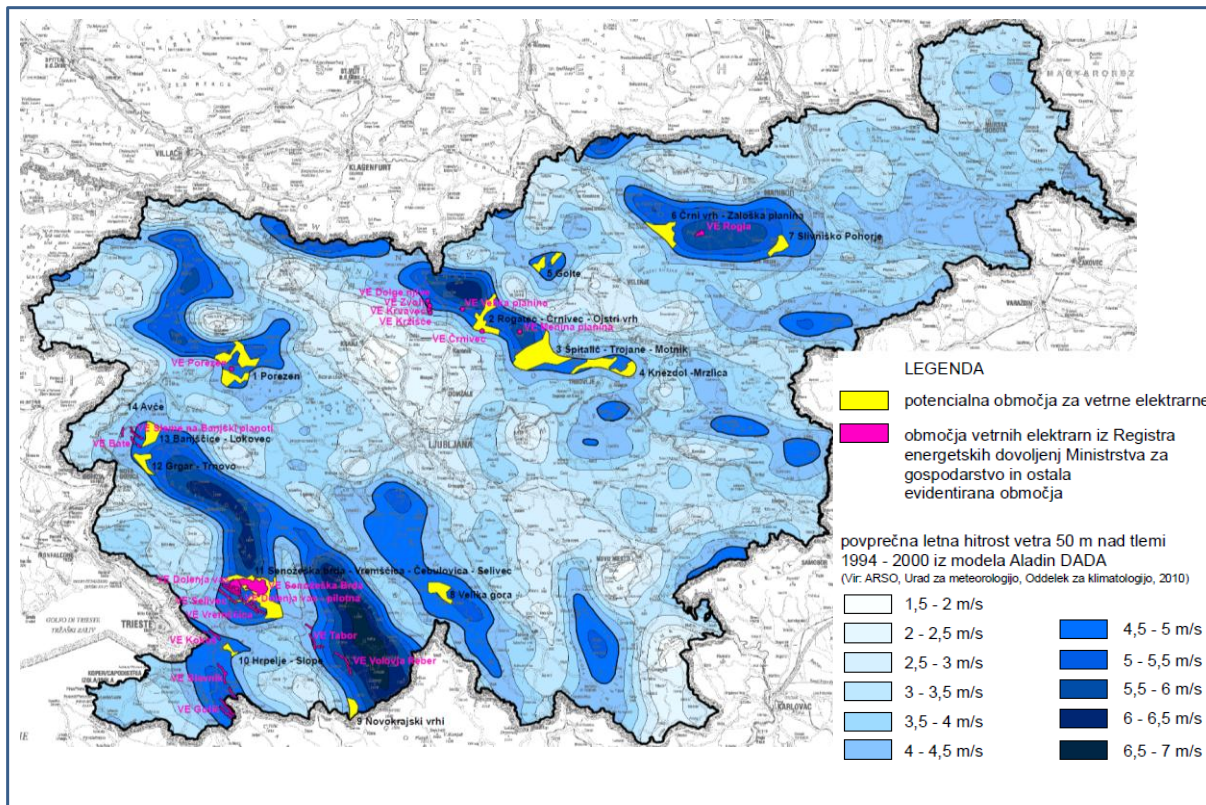
Raba vetrne energije je v Sloveniji še v povojih. Do leta 2012 smo imeli le nekaj manjših vetrnic, ki so proizvajale majhne količine električne energije (Lorger, 2013). Vetrna elektrarna Dolenja vas na Griškem polju pri Dolenji vasi blizu Senožeč v občini Divača je prva velika vetrna elektrarna v Sloveniji (slika 13).

Elektrarno sestavlja ena vetrnica nazivne moči 2,3 MW nemškega proizvajalca Enercon. Rotor premera 71 m se vrti na 98 m visokem stebru. Vetrnica je bila postavljena jeseni 2012. Proizvedla naj bi 4,5 milijona kWh električne energije letno – toliko energije v enem letu porabi približno 1000 gospodinjstev. V Dolenji vasi želijo v prihodnosti postaviti polje vetrnih elektrarn z 20 vetrnicami. V naši sosedni Hrvaški pa, za primerjavo, deluje že 129 vetrnic s skupno močjo 237 MW.



Slika 13: Vetrnici na Kredarici (levo) in vetrna elektrarna Dolenja vas (Elektro Ljubljana, 2013)

Ministrstvo, pristojno za energetiko Republike Slovenije, je v Nacionalnem energetskem programu (NEP) 2030 predvidelo 14 območij po vsej Sloveniji, ki bi bila namenjena gradnji vetrnih elektrarn (slika 14).



Slika 14: Potencialno ustrezna območja za izkoriščanje vetrne energije v Sloveniji (Aquarius, 2011)

Lokacije za izkoriščanje vetrne energije pri nas so podane v študiji *Celovit pregled potencialno ustreznih območij za izkoriščanje vetrne energije* (Aquarius, 2011). NEP predvideva, da bo do leta 2030 pri nas zgrajenih za skoraj 300 MW vetrnih elektrarn. To pomeni več kot tristo vetrnic, kakršne so bile načrtovane na Volovji rebri ali 147 vetrnic, kakršna obratuje v Dolenji vasi.

Možne lokacije, ki jih predvideva NEP, so na naslednjih območjih: Porezen, Rogatec - Črnivec - Ojstri vrh, Špitalič - Trojane - Motnik, Knezdol - Mrzlica, Golte, Črni vrh - Zaloška planina, Slivniško Pohorje, Velika gora, Novokrajski vrhi, Hrpelje- Slope, Senožška brda - Vremščica - Čebulovica - Selivec, Grgar - Trnovo, Banjšice - Lokovec in Avče.

2.5.2. Prednosti in slabosti rabe vetrne energije

Raba vetrne energije ima tako vnete zagovornike kot tudi nasprotnike (Zgonik, 2009). Tako je pri nas in tudi po svetu. Objektivno gledano ima raba vetrne energij tako dobre kot slabe plati. Bistvena slabost nestalne vetrne energije je, da potrebujemo rezervne zmogljivosti v elektroenergetskem sistemu, saj veter ne piha ves čas z optimalno hitrostjo.

Zaradi hitrih sprememb moči vetrnih elektrarn je pretok moči po električnem omrežju nepredvidljiv. To vetrno energijo zelo podraži. Pri malih vetrnicah, ki niso vključene v elektroenergetsko omrežje, pa teh skrbi nimamo. Te vetrnice proizvajajo elektriko samo za lastne potrebe. Glavne prednosti in slabosti rabe vetrne energije so zbrane v preglednici 4.

Preglednica 4: Nekatere prednosti in slabosti rabe vetrne energije (prirejeno po Zgonik (2009) in Lorger (2013))

Prednosti	Slabosti
Zmanjšujejo rabo fosilne energije (nafte, premoga, plina).	Problem nestalnosti obratovanja zaradi nestalnega vetra.
Ne povzročajo emisij. Ne potrebujejo vode. Delujejo lahko 24 ur na dan.	Povzročanje hrupa.
Pretvorba energija vetra v električno energijo je enostavna.	Vetrne elektrarne zaradi svoje velikosti izstopajo iz okolice. Kvarijo vizualni izgled.
Hitra gradnja in nizki stroški obratovanja.	Majhna gostota energije na površinsko enoto.
Lahko jih postavljamo na morju.	Živali motijo najmanjše frekvence hrupa, ki ga ljudje sploh ne slišimo.
Dolga življenjska doba (tudi do 25 let)	Občutljivost vetrnice na ekstremno vreme (žled, led, orkanski veter ipd.)
Nova delovna mesta in dodaten gospodarski razvoj regije	Pticam omejujejo letenje (ni še znanstveno potrjeno).

V mnogih državah so ocenili, da so prednosti pridobivanja vetrne energije mnogo večje kot pa njene slabosti. Na Danskem kar 80 % ljudi podpira pridobivanje in rabo vetrne energije. V Sloveniji raziskav javnega mnenja na temo vetrnih elektrarn (še) nimamo. Pri izdajanju dovoljenj za postavitve vetrnic pa trenutno sodeluje ARSO.

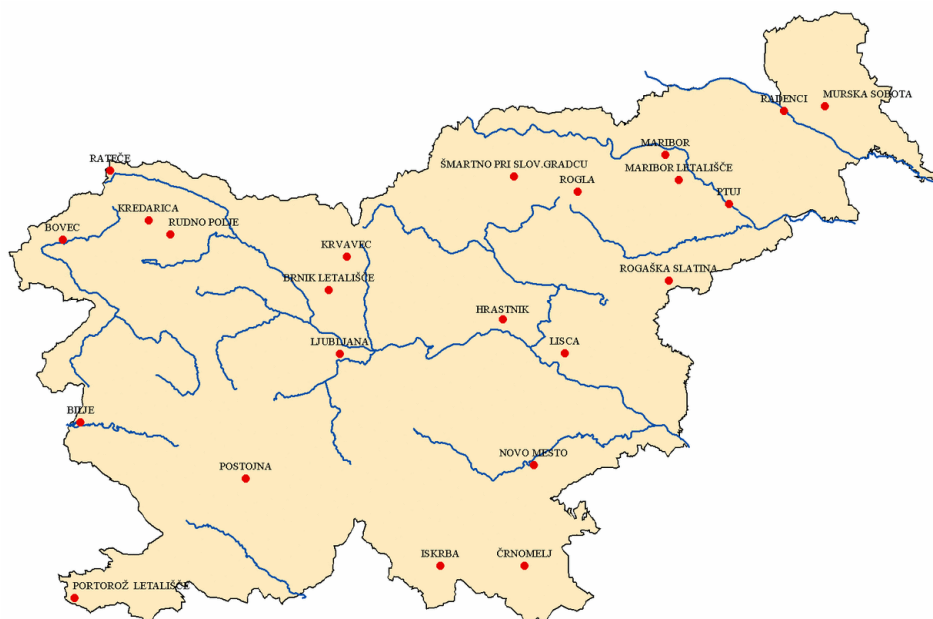
Sklepamo, da na pašni planini postavitve majhnih vetrnih turbin ne bi motila nikogar, še posebej, če bi delovale le, ko traja pašna sezona. Planinci in drugi obiskovalci planin se ne pritožujejo nad malimi vetrnimi generatorji v Sloveniji, ki so postavljeni za potrebe planinskih koč: pri Triglavskem domu na Kredarici, pri Prešernovi koči na Stolu, pri Zoisovi koči na Kokrškem sedlu, pri Koči na Kamniškem sedlu, na Črni Prsti in pri Domu Valentina Staniča v triglavskem pogorju (Lorger, 2013).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

3.1.1 Opis izbranih lokacij

Iz mreže samodejnih meteoroloških postaj za natančno merjenje lastnosti vetra v Sloveniji (slika 15), ki eluje v okviru ARSO, smo izbrali 6 lokacij in sicer Rateče (864 m), Kredarica (2515 m), Rudno polje (1347 m), Krvavec (1740 m), Rogla (1492 m) ter Lisca (943 m), ki so višje ležeče in kjer so vetrovne razmere primerljive s pašnimi planinami.



Slika 15: Mreža samodejnih meteoroloških postaj za natančno merjenje lastnosti vetra v Sloveniji v okviru ARSO (ARSO, 2013)

V preglednicah 5 in 6 so opisane nadmorske višine in zemljepisne koordinate izbranih postaj in podani opisi lokacij in okolice izbranih postaj.

Preglednica 5: Nadmorske višine in zemljepisne koordinate izbranih postaj (ARSO, 2013)

postaja	Nadmorska višina (m)	Koordinata zemljepisna širina	Koordinata zemljepisna dolžina
RATEČE-PLANICA	864	46.50	13.72
KREDARICA	2515	46.38	13.85
RUDNO POLJE	1347	46.35	13.92
KRVAVEC	1740	46.30	14.53
ROGLA	1492	46.45	15.34
LISCA	943	46.07	15.29

Preglednica 6: Opisi lokacije in okolice izbranih postaj (ARSO, 2013)

Postaja	Opis lokacije in okolice
RATEČE-PLANICA	Anemometer je postavljen v dolini na JZ delu Rateč, na drogu višine 10 m. V bližini je nekaj hiš na Z, najbližja 10 m od instrumenta.
KREDARICA	Anemometer stoji na 6 m drogu na vrhu grebena. Proti JZ je na razdalji 50 metrov planinski dom, za njim pa hrib, katerega vrh je 300 m nad anemometrom.
RUDNO POLJE	Postaja na visoki gorski planoti, obdana s hribi. Okolica je pogozdena. Anemometer na višini 10 m.
KRVAVEC	Je gorska pobočna postaja. Odprta proti jugu in zaprta proti severu.
ROGLA	Anemometer stoji na 10-metrskem drogu na hribčku višine 4 m ob sedežnici Planja na Rogli. Okolica je pogozdena in se spušča v vseh smereh. V smeri proti SZ je nizka koča in postaja sedežnice.
LISCA	Anemometer stoji na vrhu hriba Lisca. V smeri SV je radarski sistem. Pobočje se spušča proti J, tam je v oddaljenosti 4 km dolina Save.

3.1.2 Pridobljeni podatki o vetru

Iz arhiva ARSO smo dobili podatke o vetru za izbranih šest postaj za obdobje od leta 2001 do leta 2012, ki so bili že delno obdelani. Pridobili smo podatke o smeri vetra in o hitrosti vetra v mesečni časovni skali (Preglednice 7 do 9). To so bile povprečne in maksimalne hitrosti vetra ter standardni odklon po mesecih leta, pogostost povprečnih hitrosti vetra v odstotkih po mesecih in hitrostnih razredih in pa povprečna hitrost vetra po mesecih in urah v dnevu.

Preglednica 7: Primer pridobljenih podatkov o mesečni povprečni hitrosti vetra (m/s) za Rateče Planico (ARSO, 2013)

Leto/meseci	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec
2001	0,9	1,0	1,2	1,1	1,1	1,2	1,0	1,1	0,9	1,0	0,8	0,8
2002	0,8	1,0	1,2	1,2	1,1	1,2	1,0	0,9	0,9	1,2	1,1	0,9
2003	0,8	1,0	1,0	1,2	1,1	1,1	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	0,7
2004	0,7	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	0,8	0,9	0,7	0,7
2005	0,6	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,6
2006	0,7	0,9	1,1	0,9	1,1	1,1	1,2	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7
2007	0,7	0,8	0,9	1,2	1,2	1,1	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
2008	0,9	0,9	1,1	1,1	1,2	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0	0,8	0,8
2009	0,8	0,7	1,0	0,9	1,1	1,1	1,1	1,0	0,8	0,9	0,9	0,8
2010	0,8	0,9	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,6	0,6
2011	0,7	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	1,0	0,8	0,9	0,9	1,0	0,8
2012	0,7	1,1	1,2	1,2	1,0	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,7	0,5

Preglednica 8: Primer pridobljenih podatkov o povprečnem dnevnem poteku (za 24 ur) hitrosti vetra (v m/s) za Rateče Planico (ARSO, 2013)

Meseci ura dneva	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec
1	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6
2	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6
3	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,7
4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,7
5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,7
6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6
7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,6	0,7	0,6
8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,7	0,5	0,6	0,6	0,7
9	0,7	0,7	0,8	1,1	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7
10	0,8	0,9	1,1	1,3	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	0,7
11	0,9	1,1	1,4	1,5	1,6	1,5	1,5	1,3	1,4	1,4	1,2	0,8
12	1,0	1,3	1,6	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,6	1,3	1,0
13	1,1	1,5	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,7	1,4	1,0
14	1,2	1,6	1,9	1,8	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,7	1,5	1,0
15	1,1	1,6	2,0	1,9	2,0	1,8	1,8	1,7	1,6	1,8	1,4	0,9
16	1,0	1,6	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,2	0,8
17	0,9	1,4	1,8	1,7	1,8	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	0,9	0,7
18	0,8	1,1	1,4	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,1	1,0	0,8	0,7
19	0,7	1,0	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,1	0,8	0,8	0,7	0,7
20	0,7	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7
21	0,6	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7
22	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6
23	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
24	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6
Povp.hitrost vetra (m/s)	0,8	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	1,0	0,8	0,7

Preglednica 9: Primer pridobljenih podatkov o porazdelitvi vetra (relativna frekvenca v %) v hitrostne razrede za Rateče Planico (ARSO, 2013)

Hitrostni Razred (m/s)	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec
0-1	75,2	64,6	58,8	56,3	54,2	54,8	55,1	59,1	63,3	61,1	67,4	76,2
1-2	19,5	25,1	26,3	28,5	30,6	32,2	31,7	29,5	27,2	27,7	23,7	18,4
2-3	2,8	6,8	8,7	9,1	11,0	9,7	9,3	7,9	6,0	7,3	3,9	2,3
3-4	0,5	1,4	2,8	2,9	2,4	1,7	1,7	0,9	0,7	1,1	0,9	0,4
4-5	0,2	0,4	1,0	0,9	0,6	0,4	0,3	0,1	0,1	0,4	0,4	0,2
5-6	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
6-7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7-8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
brezvetrje	1,8	1,7	1,9	2,1	1,2	1,1	1,7	2,4	2,8	2,2	3,5	2,6

3.1.3 Opis izbranih vetrnic

V nalogi smo za izračune izbrali tri tipe malih vetrnic, ki jih proizvaja ameriško podjetje Southwest Windpower iz Arizone in sicer so njihova komercialna imena AIR X,

WHISPER 100 in WHISPER 200 (slika 16). Isto podjetje izdeluje tudi model WHISPER 500, ki pa ga zaradi prevelikega premera rotorja (4,5 m) nismo obravnavali v nalogi.



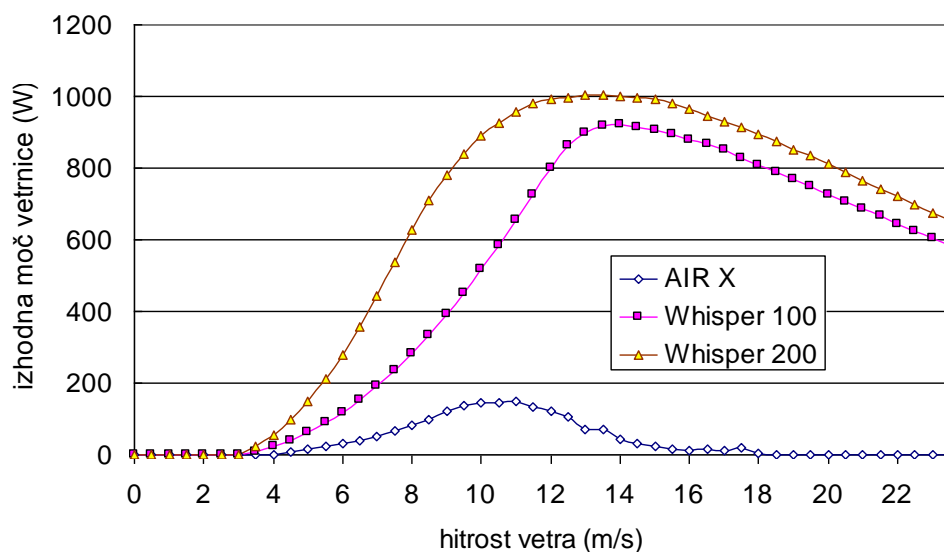
Slika 16: Trije tipi malih vetrnic, ki jih proizvaja ameriško podjetje Southwest Windpower: AIR X (levo), WHISPER 100 (sredina) in WHISPER 200 (desno) (Southwest Windpower, 2013)

Preglednica 10 podaja nekaj tehničnih značilnosti obravnavanih vetrnic in sicer so to premer rotorja, masa, začetna in kritična hitrost vetra, ocena električne moči in proizvedene energije ter okvirna cena. Najmanjša po vseh tehničnih karakteristikah in tudi najcenejša je vetrnica AIR X, sledi ji WHISPER 100, največja in najdražja pa je WHISPER 500.

Preglednica 10: Tehnične značilnosti manjših vetrnic: AIR X, WHISPER 100, 200 in 500 (Southwest Windpower, 2013a)

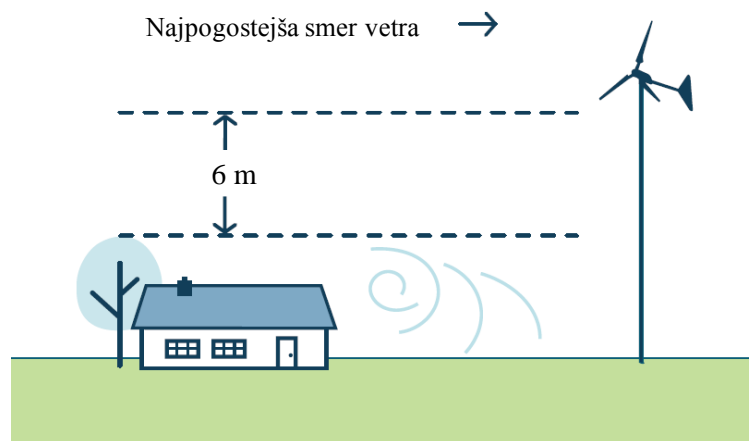
	AIR X	WHISPER 100	WHISPER 200	WHISPER 500
Premer rotorja (m)	1,15	2,1	2,7	4,5
Masa (kg)	5,85	21	30	70
Začetna hitrost vetra (m/s)	3,58	3,4	3,1	3,1
Kritična hitrost vetra (m/s)	49,2	55	55	55
Ocena moči (W) pri $v=12,5$ m/s	400	900	1000	3000
Ocena proizvedene energije (kWh/mesec) pri $v=5,4$ m/s	38	100	200	538
Okvirna cena (€)	850	3000	3500	7000

Izhodna moč, ki jo izražamo v enoti W, se pri obravnavanih vetrnicah razlikuje, pri vseh pa je odvisna od hitrosti vetra (Slika 17). Pri hitrostih vetra manjših od 3 m/s se rotor ne vrti. Največjo moč doseže AIR X pri hitrostih vetra okrog 11 m/s, WHISPER 100 pri hitrostih vetra okrog 14 m/s in WHISPER 200 pri hitrostih vetra med 13 do 14 m/s. Pri hitrostih vetra nad 24 m/s se vetrnice zaradi varnosti obratovanja zaustavijo. Takrat se vetrnica postavi v položaj, v katerem najlažje prenese mehanske obremenitve vetra.



Slika 17: Izhodna moč treh različnih tipov vetrnic: AIR X, Whisper 100 in Whisper 200 (proizvajalca Southwest Windpower) v odvisnosti od hitrosti vetra (Southwest Windpower, 2013b)

Priporočen način namestitve vetrnic tipa Whisper 100 in Whisper 200, ki upošteva prevladujočo smer vetra glede na morebitne objekte ali druge ovire, podaja slika 18. Višina vetrnice mora biti vsaj za 6 m večja od višine morebitnih ovir, horizontalna oddaljenost od ovir pa naj bi bila vsaj 76 m.



Slika 18: Priporočena namestitve vetrnic tipa Whisper 100 in Whisper 200 (Southwest Windpower, 2013a)

3.2 METODE DE LA

3.2.1 Metodologija obdelave vetra

Podatke o smeri in hitrosti vetra smo obdelali z metodami opisne statistike in jih grafično prikazali z uporabo programa Microsoft Excel. Za prikaz smeri vetra smo uporabili prikaz z vetrovnimi rožami, ki pokažejo, kako pogosto piha veter iz določene smeri. Smer vetra vedno označimo po strani neba, od koder piha. Pri grafičnih prikazih smo uporabili risanje letnih (na x-osi so meseci) in dnevnih hodov (na x-osi so ure dneva) hitrosti vetra.

3.2.2 Metodologija izračunov pridobljene energije

Ker veter običajno piha neenakomerno, povprečna hitrost vetra ne pove dovolj o možni proizvodnji energije, od katere je odvisna rentabilnost pridobivanja električne energije. Na primer, če veter piha v določenem obdobju z neko konstantno hitrostjo, bomo dobili štirikrat manj energije, kakor če bi pihal z dvakratno hitrostjo v zgolj polovici tega obdobja, v drugi polovici obdobja pa vetra sploh ne bi bilo. V obeh primerih je povprečna hitrost vse obdobje enaka. Zato moramo poznati časovno porazdelitev hitrosti vetra za vsak mesec v letu v izbranih hitrostnih območjih.

Izračun mesečne proizvodnje oz. pridobljeno energijo iz vetrnega generatorja določimo v več korakih. Najprej določimo časovno porazdelitev hitrosti vetra za vsak mesec v letu v izbranih hitrostnih območjih. To je zmnožek porazdelitve hitrosti vetra v izbranem hitrostnem področju (npr. 0 do 1 m/s, 1 do 2 m/s, 2 do 3 m/s, itd.) in števila ur v posameznem mesecu (npr. mesec januar ima 744 ur, februar 672 ur, marec pa spet 744 ur). Primer lastnih izračunov za lokacijo Lisca podaja Preglednica 11.

Preglednica 11: Mesečno število ur, ko piha veter s hitrostjo v določenem razredu za postajo Lisca

Razred hitrosti vetra (m/s)	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec
0-1	127	53	75	41	57	85	82	103	71	70	53	69
1-2	131	127	173	168	233	259	257	270	224	164	125	127
2-3	118	136	150	155	159	142	145	144	151	127	141	128
3-4	93	97	101	115	101	94	103	94	106	95	112	103
4-5	72	67	68	94	65	63	69	59	68	79	101	74
5-6	56	49	56	68	56	37	43	37	50	67	75	60
6-7	42	43	45	41	39	24	25	19	30	56	53	48
7-8	37	36	32	23	20	12	13	13	14	43	36	44
8-9	27	27	22	8	8	4	4	5	2	25	15	37
9-10	16	19	13	4	3	1	1	1	1	11	5	25
10-11	13	11	6	1	1	0	1	0	0	4	4	14
11-12	7	4	3	1	0	0	0	0	0	1	2	10
12-13	3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	4
13-14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14-15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

V drugem koraku upoštevamo osnove karakteristike vetrnice – določimo moč vetrnice pri hitrosti, ki odgovarjajo hitrosti v izbranih hitrostnih razredih. Te podatke lahko dobimo pri proizvajalcu vetrnic oziroma iz testiranj vetrnic (Preglednica 12). Pomembni podatki pri tem so na primer vklopna ali začetna hitrost vetra, pri kateri vetrnica sploh začne delovati ter izklopna hitrost vetra, pri kateri elise rotorja ali vetrnico zamaknemo tako, da rotor miruje.

V tretjem koraku računamo količino proizvedene energije tako, da množimo pogostosti hitrosti vetra v posameznem hitrostnem razredu po mesecih z vrednostmi moči vetrnice, ki izhajajo iz karakteristične krivulje vetrnice po hitrostnih razredih vetra. Izračuni so bili izvedeni z uporabo programa Microsoft Excel.

Pri seštevanju skupne proizvedene energije smo upoštevali tri časovne intervale in sicer celo leto, toplo polovico leta (od aprila do vključno septembra) in pa poletje (od 1. junija do 31. avgusta), torej čas, ko so pašne planine aktivne.

Preglednica 12: Izhodna moč (W) treh različnih tipov vetrnic v odvisnosti od hitrosti vetra iz podatkov Southwest Windpower (2013b)

hitrost vetra (m/s)	AIR X izhodna moč (W)	Whisper 100 izhodna moč (W)	Whisper 200 izhodna moč (W)
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
3,5	0	6	25
4	1	22	54
5	14	63	149
6	31	119	279
7	52	191	443
8	83	282	626
9	120	391	780
10	146	517	890
11	149	656	957
12	120	801	991
13	71	900	1002
14	42	920	1000
15	24	907	991
16	10	880	964
17	10	850	931
18	2	808	895
19	0	769	850
20	0	727	810
21	0	685	766
22	0	644	721
23	0	603	676
24	0	562	632
25	0	0	0

3.2.3 Energija potrebna pašni planini

Na pašni planini bi potrebovali kar nekaj električne energije. Pašniki se po velikosti razlikujejo, ravno tako porabniki energije v pastirski koči. Za ograditev pašnika velikosti enega kvadratnega kilometra potrebujemo pašnega pastirja z okvirno močjo 25 W. Porabniki energije v pastirski koči bi potrebovali električno energijo za razsvetlavo, prečrpavanje vode, kuhanje, televizijo, pripravo tople vode, hladilnik in za polnjenje telefona ter prenosnika.

Preračun približne dnevne porabe električne energije za eno osebo in za dve osebi, ki temelji na lastni oceni, je podan v preglednici 13.

Preglednica 13: Ocena dnevne in mesečne porabe električne energije na pašni planini za eno in za dve osebi

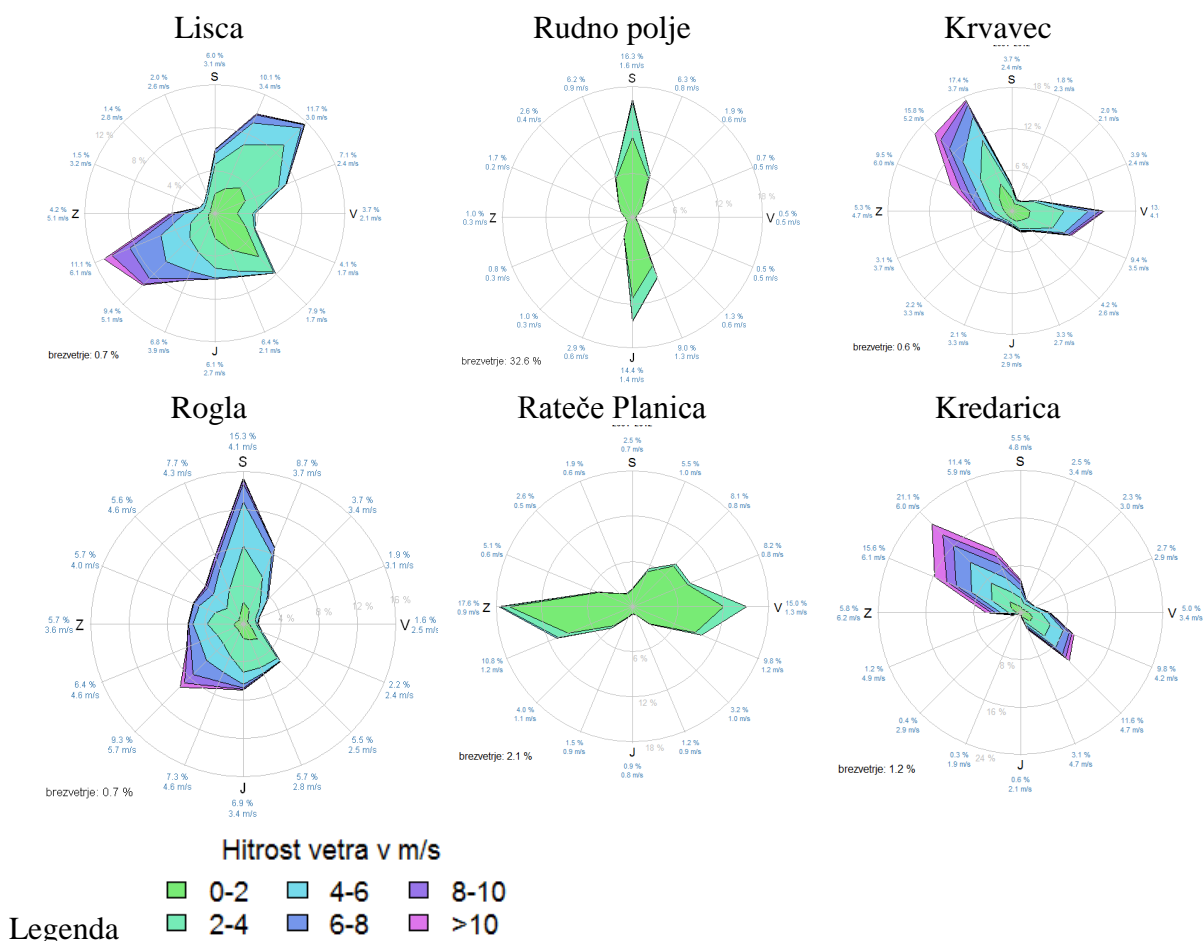
ENA OSEBA Porabnik	Instalirana moč (W)	Poraba (ure)	Dnevna poraba (kWh)	Mesečna poraba (kWh)
Prečrpavanje vode	200	2	0,4	12
Kuhanje	2000	1	2	60
Gretje vode	2000	1	2	60
Hladilnik	60	12	0,72	21,6
Razsvetljava	20	6	0,12	3,6
Televizija	100	3	0,3	9
Polnjenje telefona	5	2	0,01	0,3
Pašni pastir	30	20	0,6	18
SKUPAJ			6,15	184,5
DVE OSEBI				
Prečrpavanje vode	200	4	0,8	24
Kuhanje	2000	1	2	60
Gretje vode	2000	2	4	120
Hladilnik	60	12	0,72	21,6
Razsvetljava	20	6	0,12	3,6
Televizija	100	3	0,3	9
Polnjenje telefona	5	4	0,02	0,6
Pašni pastir	30	20	0,6	18
SKUPAJ			8,56	256,8

4 REZULTATI Z RAZPRAVO

V tem poglavju podajamo najprej rezultate v zvezi z vetrom na izbranih lokacijah, nato pa še rezultate, povezane z obratovanjem vetrnic in pridobljeno energijo.

4.1. LASTNOSTI VETRA NA IZBRANIH LOKACIJAH

Smer vetra smo prikazali z vetrovnimi rožami. Te kažejo, kako pogosto piha veter iz določene smeri. Smer vetra označimo po strani neba, od koder piha. Vetrovne rože so zelo odvisne od okolice kraja, ker na smer vetra močno vplivajo relief in vetrne ovire, kot so drevesa in zgradbe. Na sliki 19 so podane vetrovne rože za vse izbrane postaje, ki prikazujejo prevladujočih 12 smeri vetra, pa tudi hitrosti vetra v 6 razredih in sicer je največji hitrostni razred nad 10 m/s. Zanimivo je, da na lokaciji Rudno polje prevladujeta južna in severna smer vetra, na lokaciji Rateče Planica pa izrazito vzhodna in zahodna smer vetra. To lepo kaže, da ima okolica merilnega mesta velik vpliv na smer vetra.



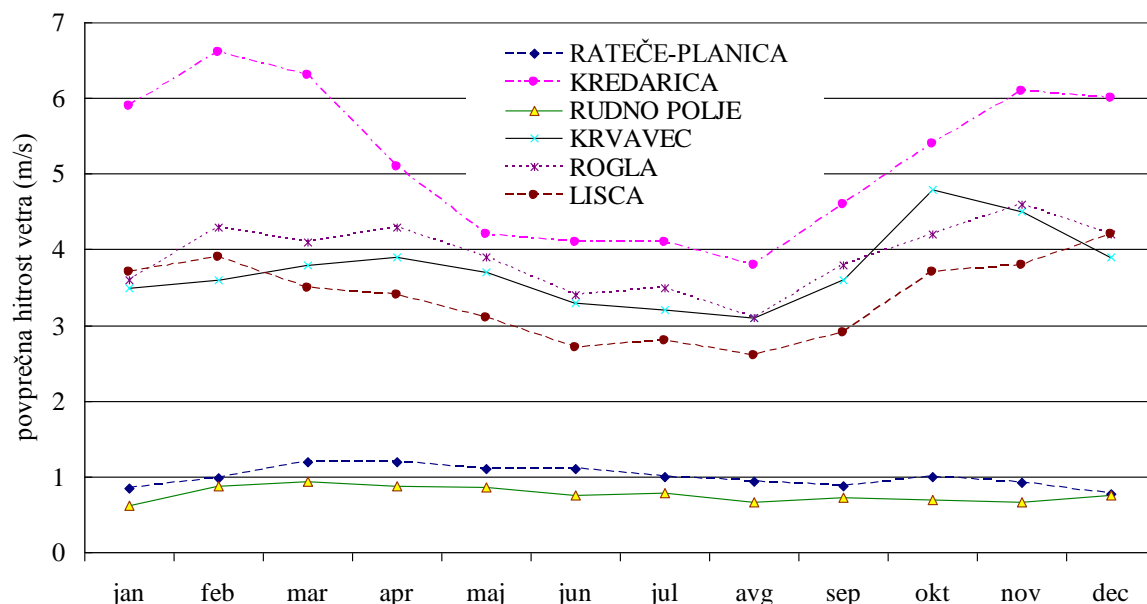
Slika 19: Vetrovne rože za šest lokacij v Sloveniji (Rateče, Kredarica, Rudno polje, Krvavec, Rogla ter Lisca), ki so višje ležeče in kjer so vetrovne razmere primerljive s pašnimi planinami (ARSO, 2013).

Tudi pri drugih lokacijah ima okolica merilnega mesta velik vpliv na izmerjene vrednosti. Na Kredarici lega opazovalnega prostora vpliva tako na osončenje, ki je v popoldanskem času zmanjšano, kakor tudi na smer in moč vetra. Prevladujeta dve glavni smeri vetra: severozahodnik in jugovzhodnik. Močan jugozahodni veter v prostem ozračju se na Kredarici kaže kot jugovzhodni veter, saj močan veter ne more pihati v skalno steno. Severovzhodnika na Kredarici skoraj ni, saj veter ne more pihati iz stene.

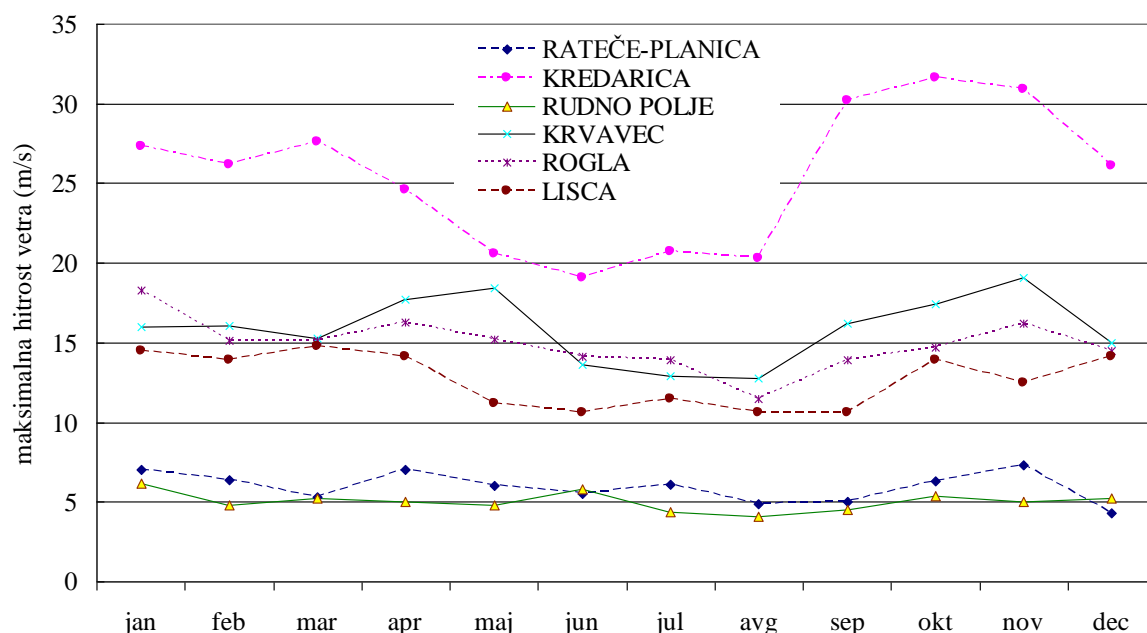
Poglejmo si tudi povprečne mesečne hitrosti vetra na izbranih lokacijah (Slika 20). Najmanjše hitrosti vetra so na Rudnem polju in v Ratečah, kjer povprečne mesečne hitrosti vetra sploh ne presežejo 2 m/s. Povprečna letna hitrost vetra za Rudno polje znaša le 0,8 m/s, v Ratečah pa 1,0 m/s. Sledi Lisca, kjer je povprečna letna hitrost vetra 3,4 m/s, nato pa Krvavec z 3,7 m/s in Rogla z 3,9 m/s.

Pričakovano so največje hitrosti vetra na Kredarici, kjer je povprečna letna hitrost vetra 5,2 m/s. Poleti so hitrosti vetra žal povsod manjše kot pozimi in celo na Kredarici komaj presegajo 4 m/s. Na Kredarici najbolj piha meseca februarja, na Krvavcu oktobra, na Rogli novembra in na Lisci decembra. Razlike med leti oziroma letnimi povprečji niso zelo velike in ponavadi odstopajo od 0,1 do 0,2 m/s od povprečja. Spremenljivost hitrosti vetra med meseci je večja od medletne spremenljivosti.

Analiza maksimalnih hitrosti vetra po mesecih je prikazana na sliki 21. Spet so največje hitrosti vetra na Kredarici, kjer so v oktobru že namerili hitrost vetra kar 31,6 m/s, najmanjše pa na Rudnem polju, navkljub relativno veliki nadmorski višini. Tudi na ostalih lokacijah maksimalne hitrosti vetra ne presežejo 20 m/s. V Ratečah Planici in na Rudnem polju je maksimalna hitrost vetra pod 8 m/s, kar kaže, da ti dve lokaciji nista prevetreni.

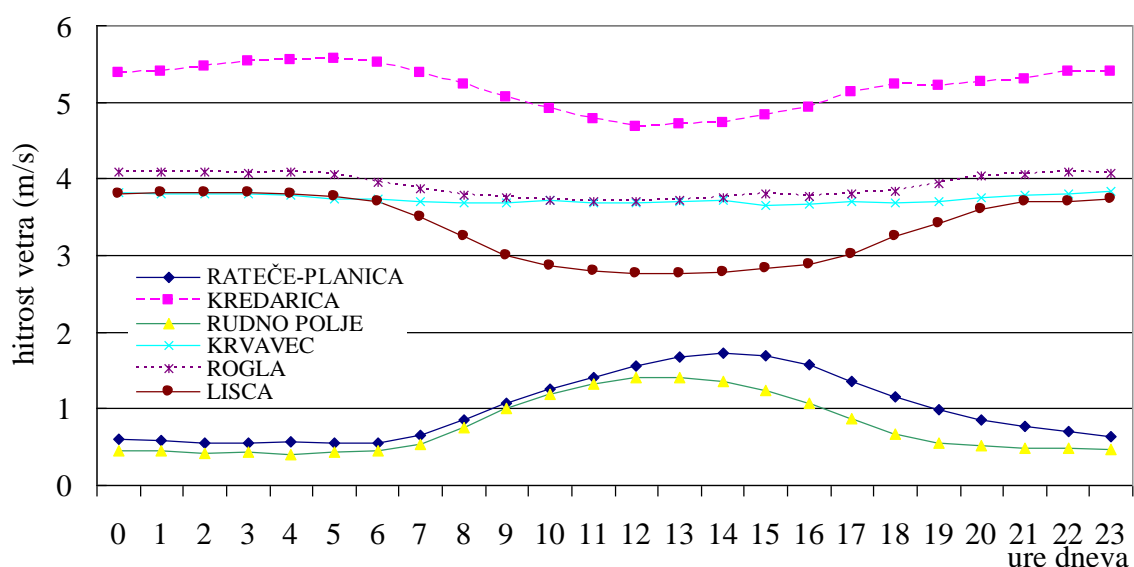


Slika 20: Letni potek povprečnih hitrosti vetra na šestih višje ležečih lokacijah v Sloveniji



Slika 21: Letni potek maksimalne hitrosti vetra na šestih višje ležečih lokacijah v Sloveniji

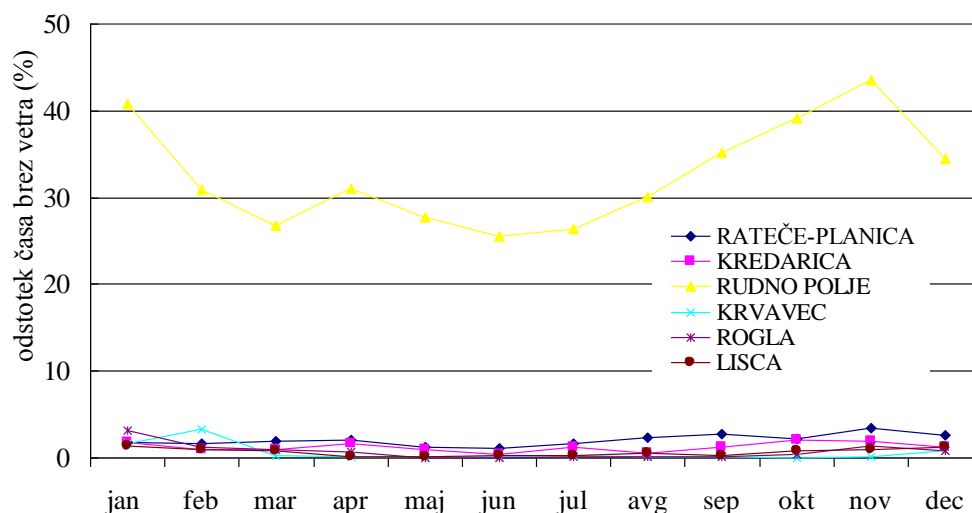
Tekom dneva se hitrost vetra spreminja. Povprečna hitrost vetra ima v nižinah značilen zvonast dnevni hod. V povprečju je najmanjša ponoči, ko je zrak zaradi ohlajanja zemeljske površine stabilen. Zjutraj se začne površina ogrevati, ozračje postane nestabilno in veter se okrepi. Največjo hitrost doseže veter med 14. in 17. uro. Ta razlika je še opaznejša v toplim delu leta. Takrat so nočna povprečja nižja, dnevna pa večja kot pri celoletnem povprečju. Vzrok je v jasnejšem vremenu, ko se zrak ob zemeljski površini hitreje ohlaja in postane stabilnejši. Tudi maksimum nastopi uro pozneje.



Slika 22: Povprečni dnevni hod hitrosti vetra na šestih višje ležečih lokacijah v Sloveniji

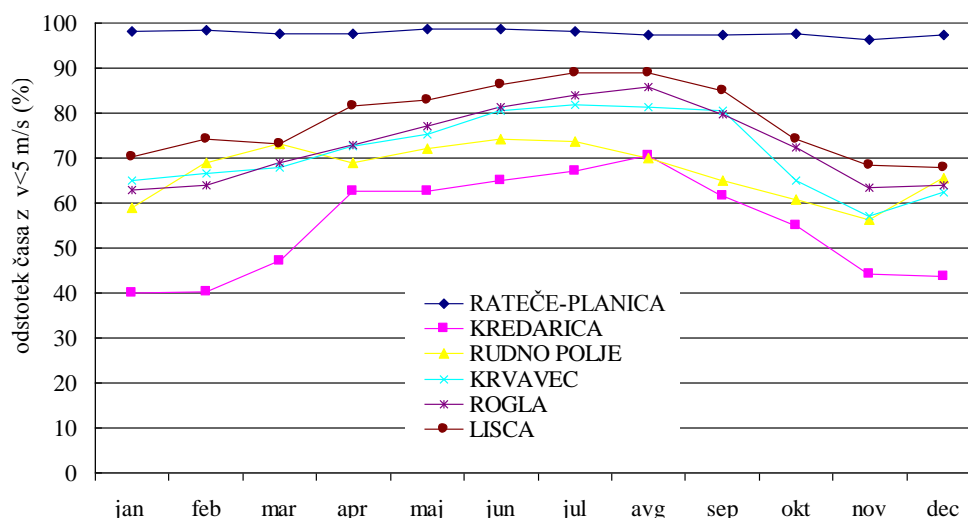
Na višinskih legah pa je drugače in zvonast dnevni hod imata le postaji Rateče Planica in Rudno polje, ki sta zaradi okolice slabo prevetreni. Na Krvavcu in na Rogli ni izrazitega dnevnega hoda, na Lisci in na Kredarici pa je veter močnejši ponoči kot podnevi (slika 22).

Za izrabo energije vetra je pomembno tudi, koliko je brezvetrja. Odstotek brezvetrja na obravnavanih postajah prikazuje slika 23. Vidimo, da izstopa Rudno polje, kjer je odstotek brezvetrja izredno velik, vse leto nad 25 %. Na ostalih postajah pa je odstotek brezvetrja manjši od 4 %.



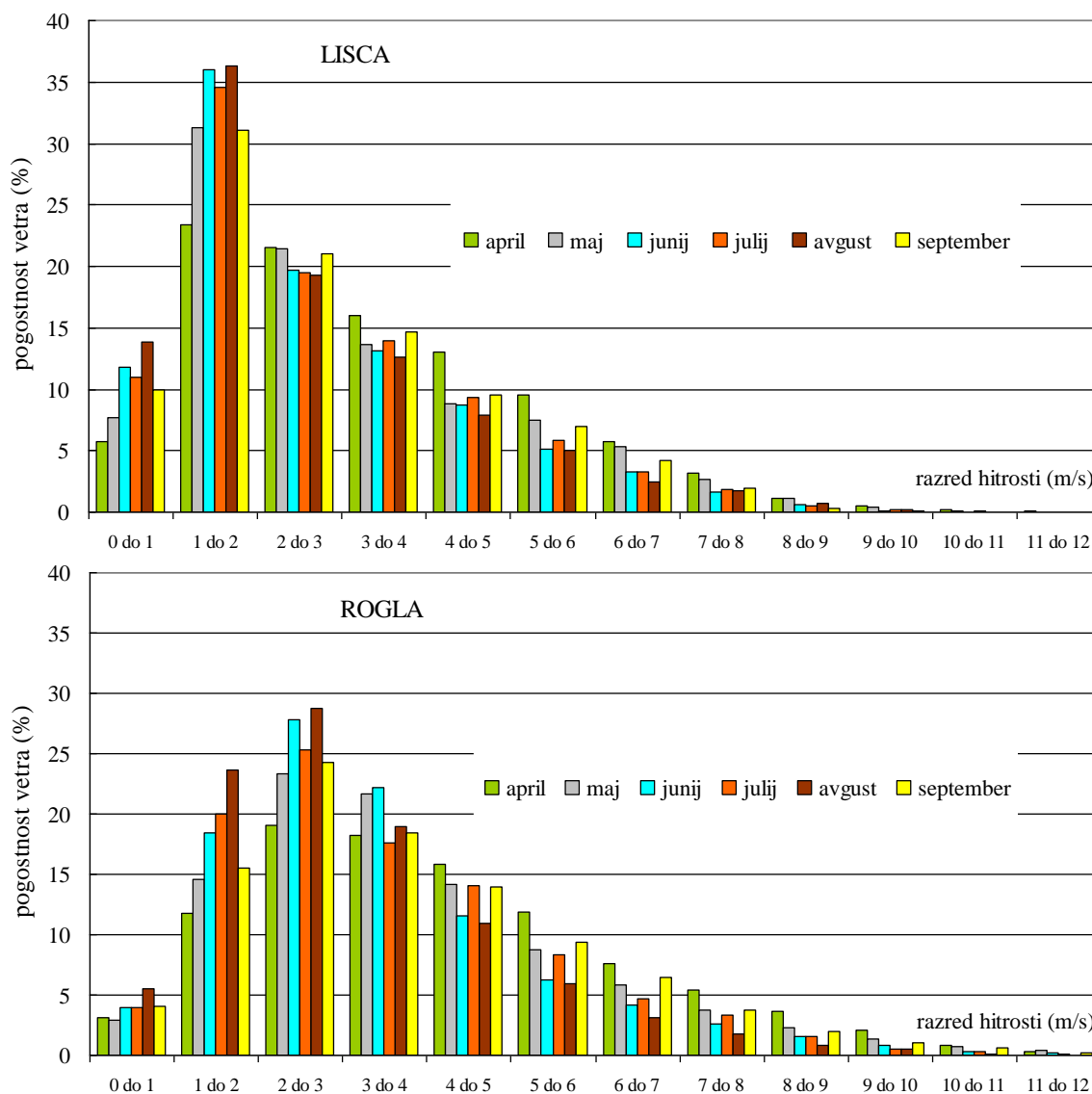
Slika 23: Brezvetrje na obravnavanih postajah po mesecih

Poleg poznavanja brezvetrja je za izrabo energije vetra pomembno tudi, koliko časa veter piha s primerno hitrostjo za izrabo. Odstotek časa, ko je hitrost vetra manjša od 5 m/s na obravnavanih postajah, prikazuje slika 24. Vidimo, da izstopajo Rateče Planica, kjer je ta odstotek izredno velik, vse leto nad 95 %. Na ostalih postajah pa je odstotek manjši, a še vedno razmeroma velik. Poleti je ta odstotek večji kot v zimskem času.



Slika 24: Odstotek časa, ko je hitrost vetra na obravnavanih postajah manjša od 5 m/s

Analizirali smo tudi časovno porazdelitev hitrosti vetra za vsak mesec v letu v izbranih hitrostnih razredih oziroma intervalih. Hitrosti vetra smo porazdelili na razrede široke 1 m/s in sicer je bil prvi razred od 0 do 1 m/s, drugi 1 do 2 m/s, tretji 2 do 3 m/s, itd. Primer takih porazdelitev podaja slika 25 za Lisco in Roglo in to za mesece tople polovice leta.



Slika 25: Pogostnost vetra v različnih hitrostnih razredih za Lisco (zgoraj) in Roglo (spodaj) za toplo polovico leta

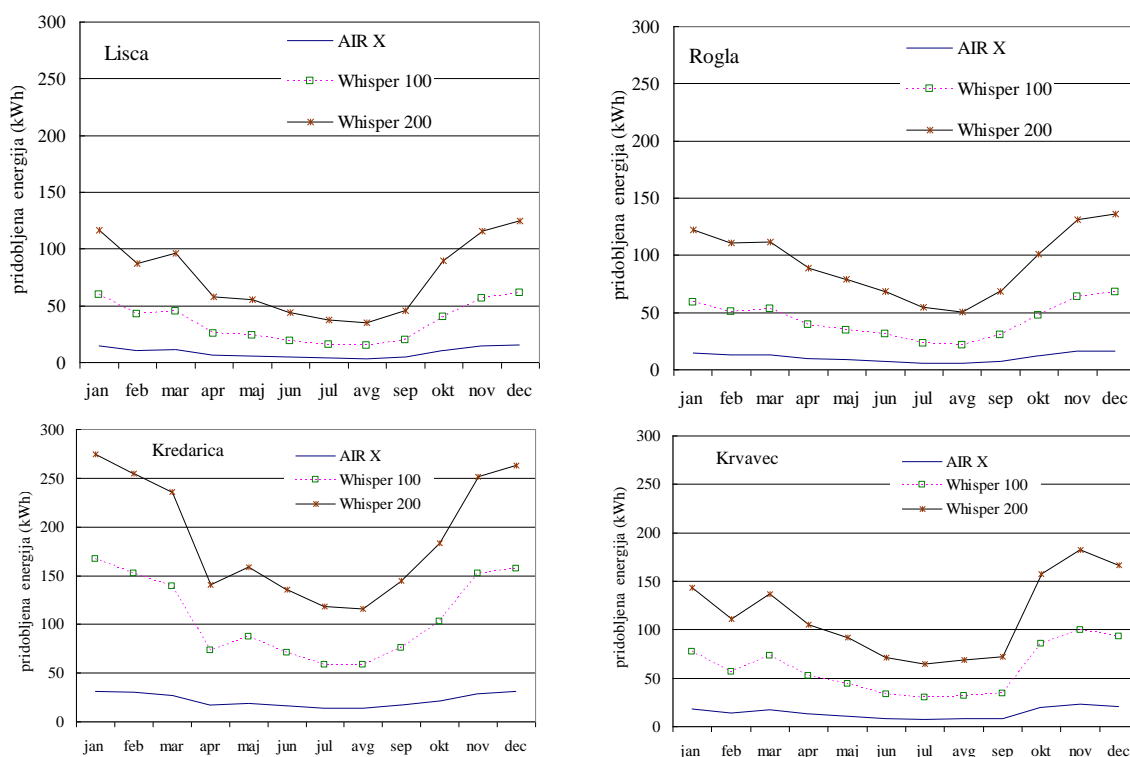
Na Lisci se veter v topli polovici leta največkrat pojavi s hitrostmi od 1 do 2 m/s, na Rogli pa s hitrostmi med 2 in 3 m/s. Pogostnost vetrov s hitrostmi, večjimi od 11 m/s, je na obeh postajah zelo majhna.

4.2. PRIDOBLJENA ENERGIJA VETRA

Najbolj nas seveda zanima pridobljena energija. Ta se razlikuje tako med lokacijami kot med tipi vetrnic. Delovno hipotezo smo tako z izračuni potrdili.

4.2.1 Primerjava pridobljene energije med vetrnicami

Pri vetrnicah ustvari pričakovano največ energije na vseh lokacijah tip vetrnice Whisper 200, najmanj pa tip AIR X. Na sliki 26 vidimo, da to velja za vse mesece leta in za vse postaje. S tipom AIR X dobimo na obravnavanih lokacijah premalo električne energije, da bi se postavitve izplačala. Tudi postavitve vetrnice tipa Whisper 100 je vprašljiva, čeprav pridobimo z njo do petkrat več energije kot s tipom AIR X. V praksi tako v poštev pride le tip vetrnice Whisper 200. Rezultati so potrdili našo drugo hipotezo, da se po izplenu električne energije tipi vetrnic razlikujejo.



Slika 26: Primerjava mesečnih vrednosti pridobljene energije (kWh) med različnimi vetrnicami na različnih lokacijah

Največ električne energije pridobimo na vseh postajah v hladni polovici leta in to v zimskih mesecih. Na Kredarici pridobimo največ električne energije januarja, na Lisci in Rogli decembra in na Krvavcu novembra.

4.2.2 Primerjava pridobljene energije med lokacijami

Največ energije se lahko pridobi na Kredarici, kjer so tudi največje hitrosti vetra. S tipom vetrnice Whisper 200 lahko proizvedemo skoraj 2300 kWh elektrike. Z modelom AIR X pa bi proizvedli osemkrat manj energije (Preglednica 14). Najmanj uspešno pridobivanje energije vetra je v Ratečah, kjer na primer pri tipu Whisper 200 v povprečju pridobimo v letu tristokrat manj energije kot na Kredarici. Slab izkoristek vetra je tudi na Rudnem

polju, letno se pridobi največ 10,6 kWh. Po uspešnosti sledijo Lisca, Rogla in Krvavec. Na Krvavcu na primer letno dobimo le do 60 % energije, ki jo dobimo na Kredarici.

Preglednica 14: Primerjava pridobljene električne energije (kWh) za celo leto in za toplo polovico leta za tri tipe vetrnic in šest lokacij

lokacije	Celo leto			Topla polovica leta		
	AIR X	Whisper 100	Whisper 200	AIR X	Whisper 100	Whisper 200
	kWh			kWh		
RATEČE-PLANICA	0,4	2,9	8,4	0,2	1,4	4,2
KREDARICA	267,3	1293,0	2276,3	96,7	423,8	813,4
RUDNO POLJE	0,4	3,3	10,6	0,1	1,1	3,9
KRVAVEC	169,5	708,9	1371,8	56,5	224,9	474,2
ROGLA	130,1	521,3	1121,8	44,8	179,4	409,4
LISCA	107,1	422,0	906,4	29,5	118,5	276,4

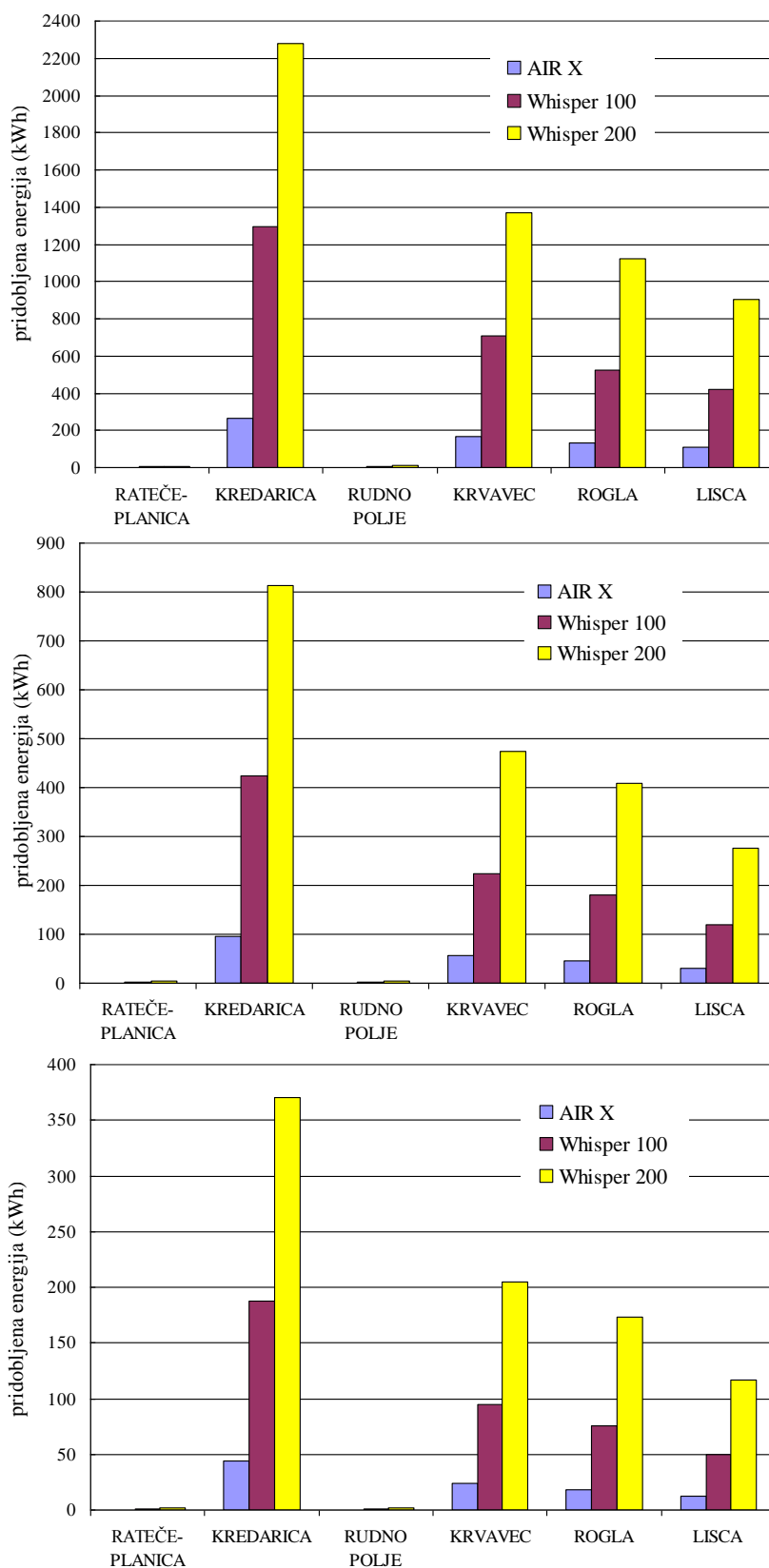
Preglednica 15: Primerjava pridobljene električne energije (kWh) v poletnem času za tri tipe vetrnic in šest lokacij

lokacije	Junij do avgust		
	AIR X	Whisper 100	Whisper 200
	kWh		
RATEČE-PLANICA	0,1	0,5	1,5
KREDARICA	44,0	187,3	369,9
RUDNO POLJE	0,0	0,5	1,8
KRVAVEC	23,9	94,7	205,1
ROGLA	18,5	75,4	173,0
LISCA	12,3	49,8	117,1

4.2.3 Primerjava pridobljene energije med letnimi časi in toplo polovico leta

Pridobljena električna energija poleti je pričakovano manjša, saj so poleti hitrosti vetra manjše kot pozimi. Največ energije pridobimo na Kredarici (od 44 do 370 kWh) in najmanj v Ratečah Planici (le od 0,1 do 1,5 kWh). Zadovoljivo količino energije proizvede le vetrnica tipa Whisper 200 in sicer na Krvavcu 205 kWh, na Rogli 173 kWh in na Lisci 117 kWh (Preglednica 15 in Slika 27).

V topli polovici leta pa so vrednosti večje in ponovno največ energije pridobimo na Kredarici (od 97 do 813 kWh) in najmanj spet v Ratečah Planici (od 0,2 do 4,2 kWh). Največjo količino energije da vetrnica tipa Whisper 200 in sicer na Krvavcu 474 kWh, na Rogli 409 kWh in na Lisci 276 kWh (Preglednica 14 in Slika 27).



Slika 27: Primerjava pridobljene energije (kWh) med lokacijami: letna vsota (zgoraj), v topli polovici leta od aprila do septembra (v sredini) in poleti (junij, julij, avgust) spodaj

4.2.4 Pokrivanje potreb pašne planine po električni energiji

Izračun okvirne dnevne porabe električne energije za eno osebo in za dve osebi, ki temelji na lastni oceni, predvideva mesečno porabo električne energije za eno osebo okrog 185 kWh in za dve osebi okrog 257 kWh (Preglednica 13). Največ električne energije se porabi za kuhanje in gretje tople vode.

Opisanih potreb po elektriki vetrnica tipa AIR X ne zadosti, ravno tako ne Whisper 100. V Ratečah in na Rudnem polju si tudi s tipom vetrnice Whisper 200 ne moremo pomagati, saj je vetra premalo. Za ostale lokacije smo primerjali razmerje potreb in proizvedene električne energije (Preglednica 16).

Preglednica 16: Primerjava in razmerje potreb in proizvedene električne energije z vetrnico Whisper 200 za Kredarico, Krvavec, Roglo in Lisca

	Potreba po energiji za eno osebo (kWh)	Mesečna proizvedena energija z Whisper 200 poleti (kWh)	Razmerje ali potrebno število vetrnic
Kredarica	185	123,3	1,5
Krvavec	185	68,4	2,7
Rogla	185	57,7	3,2
Lisca	185	39,0	4,7

Za pokrivanje potreb po električni energiji za eno osebo bi morali postaviti na Lisca kar 5 vetrnic tipa Whisper 200, na Krvavcu pa tri. Na Kredarici pa v ta namen zadostujeta dve vetrnici.

Izračuni kažejo, da tretje hipoteze, ki smo si jo zastavili v tej nalogi, ne moremo v celoti potrditi. Postavitev in obratovanje malih vetrnic v Sloveniji na pašnih planinah zagotavlja le del potrebne električne energije.

5 SKLEPI

V naši raziskavi uporabnosti energije vetra na pašnih planinah smo prišli do več zanimivih ugotovitev, ki jih lahko strnemo v nekaj sklepov. Ugotovili smo, da je v Sloveniji raba vetrne energije v kmetijstvu še zelo redka. Na pašnih planinah so možne konstrukcije montažnih vetrnic, ki bi se jih dalo hitro postaviti in po potrebi tudi prestavljati.

Potrdili smo hipotezo, da se lastnosti vetra razlikujejo po različnih lokacijah v sredogorju Slovenije, ki so primerne za pašo poleti. Razlike so tako v prevladujočih smereh kot hitrostih vetra. Z velikimi hitrostmi vetra izstopa Kredarica, ki je tudi najvišje ležeča lokacija. Rateče Planica in Rudno polje sta izrazito slabo prevetrena.

Potrdili smo tudi drugo hipotezo, saj se po ceni, velikosti in izplenu električne energije razlikujejo tudi tipi vetrnic, ki so primerne za hitro postavitve na planinah. S tipom vetrnice AIR X, ki je najcenejši in najmanjši, dobimo na obravnavanih lokacijah zelo malo električne energije. Še največ energije proizvede vetrnica tipa Whisper 200, ki pa je večja in dražja ter bolj zahtevna za postavitve.

Tretje hipoteze – da je postavitve in obratovanje takih sistemov v Sloveniji na pašnih planinah smiselno, tako iz vidika pridobljene električne energije kot iz ekonomskega vidika – pa ne moremo v celoti potrditi. S tipom vetrnice AIR X dobimo na vseh obravnavanih lokacijah premalo električne energije, da bi se postavitve izplačala. Tudi smiselnost postavitve vetrnice tipa Whisper 100 je vprašljiva, čeprav pridobimo z njo do petkrat več energije kot s tipom AIR X. Tako v poštev pride le uporaba tipa vetrnice Whisper 200, ki pa tudi ne pokrije vseh potreb po električni energiji. Za pokrivanje potreb po električni energiji za eno osebo bi morali postaviti na Lisci 5 vetrnic tipa Whisper 200, na Krvavcu 3, na Kredarici pa bi zadostovali dve taki vetrnici.

Zaključimo lahko, da bi na pašnih planinah sicer lahko izkoriščali in uporabljali energijo vetra, a bi jo morali dopolniti še z uporabo sončne energije, kar je v času paše tudi zelo smiselno. Hitrosti vetra so poleti pri nas manjše kot pozimi, sončne energije pa je ravno v poletnih mesecih največ.

6 POVZETEK

Planinsko pašništvo ima v Alpah dolgo tradicijo in pri nas imamo uradno registriranih okrog dvesto pašnikov. Pašna planina ima praviloma gospodarske objekte ter naprave za oskrbo ljudi in živali in zato potrebuje električno energijo za nemoteno obratovanje. Če so planine na območjih, odrezanih od mreže elektroenergetskega sistema, bi lahko uporabili na njih vetrnice majhnih moči, ki so primerne za individualno preskrbo z električno energijo. Možne so tudi montažne konstrukcije vetrnic, ki se jih da hitro postaviti ali tudi prestavljati. Izgradnja takega vetrnega generatorja je enostavna in brez velikih tveganj. V nalogi je zato obravnavana možnost izkoriščanja vetra za pridobivanje električne energije na pašnih planinah v Sloveniji, saj je tam hitrost vetra zaradi višje nadmorske višine večja kot v nižinah. Pri raziskavi smo si zastavili nekaj hipotez. Prva je bila, da se lastnosti vetra razlikujejo po različnih lokacijah v Sloveniji, ki so primerne za pašo poleti. Druga hipoteza je bila, da se razlikujejo tudi tipi vetrnic oziroma izplen električne energije. Tretja hipoteza pa je bila, da je postavitvev in obratovanje takih sistemov na pašnih planinah pri nas smiselna, tako iz vidika pridobljene električne energije kot iz ekonomskega vidika.

Analizirali smo veter za šest višje ležečih lokacij: Rateče-Planico, Kredarico, Rudno polje, Krvavec, Roglo in Lisca. Na teh lokacijah imamo na voljo meteorološke podatke, ki jih meri in zbira Agencija republike Slovenije za okolje. Analizirali smo hitrost in smer vetra ter letne in dnevne hode. Smer vetra smo prikazali z vetrnimi rožami. Ugotovili smo, da ima okolica merilnega mesta velik vpliv na smer vetra. Najmanjše hitrosti vetra so na Rudnem polju in v Ratečah, kjer povprečne mesečne hitrosti vetra sploh ne presežejo 2 m/s. Pričakovano so največje hitrosti vetra na Kredarici, kjer je povprečna letna hitrost vetra 5,2 m/s. Poleti so hitrosti vetra povsod manjše kot pozimi. Tudi tekom dneva se hitrost vetra spreminja. Odstotek brezvetrja je največji na lokaciji Rudno polje, vse leto nad 25 %, na ostalih postajah pa je manjši od 4 %. Obravnavali smo tri tipe malih vetrnih generatorjev in sicer AIR X, Whisper 100 in Whisper 200, ki jih proizvaja podjetje Southwest Windpower iz ZDA. Izračunali smo, da največ energije na vseh lokacijah pridobi tip vetrnice Whisper 200, najmanj pa tip AIR X. Največ energije pridobimo na Kredarici, najmanj pa v Ratečah, kjer pri tipu Whisper 200 pridobimo v letu tristokrat manj energije kot na Kredarici. Slab izkoristek vetra je tudi na Rudnem polju. Ti dve lokaciji nista primerni za pridobivanje energije iz vetra. Po uspešnosti sledijo Lisca, Rogla in Krvavec. Na Krvavcu letno dobimo do 60 % energije, ki jo dobimo na Kredarici. Ugotovili smo, da se postavitvev vetrnice AIR X ne izplača, saj proizvede premalo električne energije za pokrivanje potreb na pašni planini. Vprašljiva je tudi postavitvev tipa Whisper 100, zato v pošteev pride le tip Whisper 200, ki pa tudi ne pokrije vseh potreb po električni energiji. Za pokrivanje potreb po električni energiji za eno osebo bi morali postaviti na Lisca 5 vetrnic tipa Whisper 200, na Kredarici pa bi zadostovali dve taki vetrnici.

Potrdili smo hipotezo, da se lastnosti vetra razlikujejo po različnih lokacijah v sredogorju Slovenije, ki so primerne za pašo poleti. Potrdili smo tudi drugo hipotezo, saj se izplen električne energije razlikuje med tipi vetrnic. Tretje hipoteze, da je postavitvev in obratovanje takih sistemov na pašnih planinah smiselno, tako iz vidika pridobljene električne energije kot iz ekonomskega vidika – pa nismo v celoti potrdili. Zaključimo lahko, da bi na pašnih planinah sicer lahko izkoriščali in uporabljali energijo vetra, a bi jo morali dopolniti še z uporabo sončne energije.

7 VIRI

ARSO. 2013. Podnebne značilnosti vetra.

<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/diagrams/wind/>

Aquarius. 2011. Celovit pregled potencialno ustreznih območij za izkoriščanje vetrne energije: 25 str.

<http://www.energetika-portal.si/dokumenti/strateski-razvojni-dokumenti/nacionalni-energetski-program/> (13.4.2013)

Ban M., Perković L., Duić N., Penedo R. 2013. Estimating the spatial distribution of high altitude wind energy potential in Southeast Europe. *Energy*, 57, 1: 24-29

Bertalanč R. 2005. Lastnosti vetra v Sloveniji. V: Zbornik referatov 7. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin. Zreče, 8-10. marec 2005: 28-33

Che L., Ponta F.L., Lago L.I. 2011. Perspectives on innovative concepts in wind-power generation. *Energy for Sustainable Development*, 15, 4: 398-410

Clean energy brands. 2013

<http://www.cleanenergybrands.com/shoppingcart/knowledgemanager/questions/157/101+Small+Wind+Turbines> (3.11.2013)

Elektro Ljubljana 2013. Elektro Ljubljana OVE, inženiring s področja obnovljivih virov energije.

<http://www.el-ove.si/dejavnosti/vetrne-elektrarne> (14.4.2013)

ESPON 2013. European Observation Network for Territorial Development and Cohesion.

http://www.espon.eu/main/Menu_Publications/Menu_MapsOfTheMonth/map1101.html (14.4.2013)

Wilkes J., Moccia J. 2013. Wind in power. 2012 European statistics. Brussels, Belgium, The European wind energy association: 14 str.

Small Wind World Report 2013. WWEA Head Office, Bonn: 23 str.

http://www.wwindea.org/webimages/SWWR_summary.pdf (13.4.2013)

Gradišnik D., Muškinja N., Verhovnik B. 2005. Veter kot alternativni vir energije. V: Zbornik četrte konference Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu. 7. in 8. april 2005, Maribor, Društvo avtomatikov Slovenije: 1-6

http://www.aig.si/05/Zbornik/ZE4_Gradisnik_Alternativni_viri.pdf (12.3.2013)

Global Wind Report - Annual Market Update 2012. Global wind energy council: 70 str.

http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2012_LowRes.pdf (3.3.2012)

Hočvar A., Petkovšek Z. 1988. Meteorologija. Ljubljana, Partizanska knjiga: 219 str.

Kajfež-Bogataj L., Bergant K. 1997. Možnost izkoriščanja energije vetra v Sloveniji. *Sodobno kmetijstvo*, 30, 9: 374-377

Kandus U. 2009. Konstrukcija sistema vetrnega agregata za potrebe kmetijstva. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo: 64 str.

Kariž T. 2008. Analiza možnosti izrabe vetrne energije v kmetijstvu. Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 40 str.

- Lorger Š. 2013. Raba obnovljivih virov energije v planinskih postojankah I. kategorije na območju Triglavskega narodnega parka. Dipl. delo. Koper, Univ. na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije: 92 str.
- Medved S., Novak P. 2000. Varstvo okolja in obnovljivi viri energije. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo: 231 str.
- Nemac F. 2004. Vetrna energija je dosegljiva in čista: zakaj potrebujemo vetrne elektrarne. Delo, 46,140: 16
- New Zealand wind energy association. 2013.
<http://www.windenergy.org.nz/improvements-in-technology> (4.3.2013)
- Novak P., Medved S. 2000. Energija in okolje: Izbira virov in tehnologij za manjše obremenjevanje okolja. V: Zbirka usklajeno in sonaravno št. 5. Ljubljana, Svet za varstvo okolja Republike Slovenije: 80 str.
- Poje D., Cividini B. 1988. Assesment of wind energy potential in Croatia. Solar Energy, 41: 543-554
- Pučnik J. 1980. Velika knjiga o vremenu. Ljubljana, Cankarjeva založba: 366 str.
- REAP 2013. Renewable Energy Alaska Project. Wind for Schools Webinar: August 12th, 2010
<http://alaskarenewableenergy.org/wp-content/uploads/2010/08/Energy-Science.ppt>
(2.11.2013)
- Rakovec J., Gregorič G., Bertalanič R., Dolinar M., Cegnar T., Zupancič B. 2001. Veter na Primorskem. Ljubljana, FMF in ARSO: 107 str.
- Rakovec J., Vrhovec T. 2007. Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike. 3. izd. Ljubljana, DMFA: 313 str.
- Rakovec J., Bertalanič R., Cedilnik J., Gregorič G., Skok G., Žagar M., Žagar N. 2009. Vetrovnost v Sloveniji. Ljubljana, ZRC SAZU: 176 str.
- Satcitananda. 2013. Instrukcije Riki Podjetje za instrukcije, izobraževanje in svetovanje. Ljubljana
<http://instrukcije.net/2012/01/vetrna-elektrarna/> (2.2.2013)
- Schweiger V., Širok B. 2011. Dvostopenjska vetrna turbina. Ventil, 17, 4: 348-353
- Slameršak A. 2012. Pašni red kot bodoče orodje za trajnostno upravljanje planinskih pašnikov v območjih Natura 2000. Varstvo narave, 26: 63-78
- Southwest Windpower. 2013a. Harness the power of wind. Whisper 100/200: 4 str.
<http://www.homedepot.com/catalog/pdfimages/ea/ea40126f-5e83-4dab-808d2ccaab146eb5.pdf> (2.2.2013)
- Southwest Windpower. 2013b.
http://www.inl.gov/wind/software/powercurves/pc_southwest.xls (2.2.2013)
- Sutherland L.A., Holstead K.L. 2014. Future-proofing the farm: On-farm wind turbine development in farm business decision-making. Land Use Policy, 36: 102– 112
- Trnovec B. 2008. Brez ljubezni do živali in planine tega ne moreš početi. Dnevnik, 26. april 2008.
<http://www.dnevnik.si/objektiv/vec-vsebin/315513#315513/> (2.2.2013)

Troen I., Petersen E. L. 1989. European wind atlas. Roskilde, Riso National laboratory: 656 str.

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

Zgonik S. 2009. Senčna stran vetra. Mladina, 67: 8

http://www.mladina.si/tednik/200908/sencna_stran_vetra (4.4.2013)

ZAHVALA

Za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. Rajku Berniku in doc. Zaliki Črepinšek. Zahvaljujem se tudi staršem in starim staršem, ki so me vzpodbujali vsa leta študija. Hvala tudi vsem, ki so mi kakorkoli pomagali, da sem študij zaključil.